

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur et master en Sciences de la Mer
Option: gestion et protection du littoral

THÈME:

**Modélisation des processus hydro sédimentaire de la
partie ouest de Sidi Fredj**

Présenté par :

- Razali Oussama
- Mokrane mehdi

Soutenu le 27/10/2021 devant le jury composé de :

Président	Mehdid Sonia	MAA	ENSSMAL
Promoteur	Mezouar Khoudir	Professeur	ENSSMAL
Examineur	Dahmani Abdelalim	MAA	ENSSMAL
Examineur	Abdeddaim hakima	MCB	ENSSMAL

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier grandement dieu tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons tout particulièrement à remercier Mr Mezouar, qui nous a encadré, soutenu, encouragé, et avec qui nous avons établi une relation de confiance.

Nous remercions, Madame MEHDID SONIA (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nos plus vifs remerciements à :

Mr, DAHMANI ,A Maitre Assistant A (ENSSMAL), on le remercie d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Mme ABDEDDAIM, H Maître de conférences B (ENSSMAL), on le remercie d'avoir accepté examiner notre travail.

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.

Dédicace

À mes chers parents

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chers frères (Racim , Raouf , Imen)

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À mes amis (Ettaieb , Lina ,Douha ,aymen ,chakib)

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et
Mon affection la plus sincère.

Mehdi

À mes chers parents, pour leurs amours, leurs tendresses et leurs prières tout au long de mes études,

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

À tous mes amis pour leurs appuis, leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

Merci d'être toujours là pour moi.

Oussama

Table des matières

Chapitre 1 : Cadre général	2
1. Situation géographique	3
1.1. Baie d'El Djamila	3
1.2. Le port de Sidi Fredj	3
□ Aménagement portuaire	5
• Aperçu sommaire des travaux antérieurs	5
• Conséquences sur le milieu marin et terrestre	5
2. Aspects morphologiques du littoral de la Baie d'EL Djamila	6
2.1. Les dunes	6
2.2. Les plages	6
2.3. Les platiers rocheux	7
2.4. Les barres et les fosses de lévigation	7
3. Etude géologique	8
3.1. Géologie régional	8
3.2. Géologie locale	9
4. Facteurs climatiques	10
4.1. Température	10
4.2. Précipitations	12
5. Condition océanologique	12
5.1. La houle	12
5.2. Le vent	15
5.3. La marée	18
5.4. Courants	19
6. Cadre hydrographique	19
7. Phénomène de l'érosion du littoral	20
Chapitre 2 : Modélisation hydrodynamique	22
Introduction	23
1. Modélisation numérique	23
1.1. Modélisation numérique des vagues	23
1.2. Description du modèle de simulation MIKE 21	24
2. Modèle FM MIKE21/3 Couplé	24
2.1. Mike 21 HD	25
2.2. Mike 21 SW	26
2.3. Mike 21 ST	28

3. Approche méthodologique	30
3.1. Création 2D Bathymétries sous le maillage	32
3.3. Les étapes fondamentales de la création du maillage	30
4. Paramètre du modèle MIKE 21/3 Coupled Model FM (.mfm)	34
4.1. Modèle HD	34
4.2. Modèle ST	36
4.3. Modèle SW	36
5. Résultats	38
5.1. Résultats du Modèle SW	38
5.2. Résultats du Modèle HD	40
5.3. Résultats du Modèle ST	43
6. Conclusion	46
Chapitre 3 : Evolution spatiotemporelle du trait de côte	47
1. Introduction	48
2. Matériel et Méthode	49
2.1. Les logiciels utilisés pour étudier l'évolution du littoral	49
Google Earth Pro	49
ArcGis10.4	49
L'extension DSAS	49
2.2. Acquisition des données	51
2.3. Méthodologie	51
<input type="checkbox"/> La méthode de la Mouvement de rivage net (Net Shoreline Movement-NSM)	52
<input type="checkbox"/> La méthode des points extrêmes (End Point Rate - EPR)	52
3. Résultats	53
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 1956 et 1980	53
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 1980 et 1999	55
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 1999 et 2003	57
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 2003 et 2010	59
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 2010 et 2021	61
<input type="checkbox"/> Evolution du rivage entre 1956 et 2021	63
4. Analyse du bilan sédimentaire	65
5. Evolution prévisionnelle à l'horizon 2100	66
6. Conclusion	68
Conclusion générale	70
Bibliographie	73

Figure 1: la situation géographique de la zone d'étude (Google Earth Pro, 2021)	4
Figure 2 Dimensionnement du port de sidi Fredj « plan de masse » (BELABDI et OUNNAS, 2011)	4
Figure 3 : carte lithologique de la région d'Alger (NADIR, 2016)	9
Figure 4 : Température mensuelles en (°C) de la wilaya d'Alger (O.N.M, Dar El Bieda, 1996-2005). ...	11
Figure 5: Profil de variation des températures moyennes annuelle de la wilaya d'Alger (ONM,Dar El Bieda 1996-2005).	11
Figure 6 : Roses des houles au large de la baie El Djamila 2016-2020	14
Figure 7: Roses des vents au large de la baie EL Djamila 2016-2020	16
Figure 9 : Carte de principaux oueds de la baie de Bousmail (NRH)	19
Figure 10 : l'approche méthodologique adoptée pour de la modélisation intégrée du transport de sédiments non cohésifs	29
Figure 11: Carte bathymétrique de la zone de baie El Djamila (2021)	31
Figure 12 : Carte bathymétrique du port de sidi Fredj (2021)	31
Figure 13 : Le maillage de la zone de baie El Djamila (2021)	33
Figure 14 : Le maillage de la zone de la zone d'étude port de sidi Fredj (2021)	33
Figure 15 : Grille de données (vent, direction et intensité).	35
Figure 16 : Spectre des vents (DHI-Mike 21, Mokrane Mehdi, Razali Oussama, 2021).	35
Figure 17: Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,93m; Tp = 11,01s; Direction = 45°N). ..	38
Figure 18 : Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N).	39
Figure 19 : Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N).	39
Figure 20 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,93m; Tp = 11,01s; Direction = 45°N).	41
Figure 21 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N).	42
Figure 22 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N).	42
Figure 23 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj Hs = 4,93m; Tp = 11,01s; Direction = 45°N (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021).	43
Figure 24 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021).	44
Figure 25 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021)	45
Figure 26 Analyse du taux d'évolution en surface entre 1956 et 2021	65
Figure 27 Le bilan sédimentaire de la baie de El Djamila.	66
Figure 28 Estimation du trait de côte à l'horizon de 2100	67
Figure 29 Estimation des variations de taux d'évolution EPR du trait de côte entre 2021 et 2100	68

Tableau 1 :précipitations moyennes dans la région de Bouismail (ONM, 1991-2020).....	12
Tableau 2 : Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).	17
Tableau 3 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).	18
Tableau 4 : Les données utilisées dans la digitalisation des traits de cote	51
Tableau 5 Evolution du trait de côte entre 1956 et 1980 de la baie El Djamila	54
Tableau 6 Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la baie El Djamila	56
Tableau 7 Evolution du trait de côte entre 1999 et 2003 de la baie El Djamila	58
Tableau 8 Evolution du trait de côte entre 2003 et 2010 de la baie El Djamila	60
Tableau 9 Evolution du trait de côte entre 2010 et 2021 de la baie El Djamila	62
Tableau 10 Evolution du trait de côte entre 1956 et 2021 de la baie El Djamila	64

Introduction générale :

Le littoral est un lieu de convergence et de compétition entre des nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'homme. (**Mezouar.K, 2009**).

La sédimentation littorale c'est tous les matériaux amenés à la mer par les fleuves, les glaciers, le vent, ou détachés des falaises, qui sont repris par les vagues aidées par la marée et les courants. Le transport et le dépôt des particules détritiques transportées par l'eau dépend de leur taille et de la vitesse du courant qui détermine l'énergie hydraulique du milieu. Les grains détritiques dont la taille est supérieure à 0,05 m se déposent graduellement selon un granoclassement horizontal (des particules les plus grossières aux plus fines au fur et à mesure que la vitesse du courant diminue). Les particules les plus fines se déposent très lentement, dans un milieu non agité.

Avec l'élévation actuelle et future du niveau de la mer, ces problèmes d'érosion devraient s'aggraver surtout sur les côtes sableuses déjà en recul (**IBE et AWOSIKA,1991 ; NIANG-DIOP, 1995**).

L'érosion côtière est une grave menace pour de nombreux sites côtiers algériens, en particulier le long des littoraux sableux. Ces derniers qui constituent un milieu très mobile, sont au centre de cette étude. Ils résultent d'une accumulation de grains provenant de l'érosion des reliefs continentaux et transportés jusqu'à la côte sous l'action des fleuves. Ils transitent ensuite le long du rivage sous l'action de la houle et des courants qu'elle induit. Si ces grains sont suffisamment nombreux, les vagues viennent le déposer au-dessus du niveau de la mer, où ils sont repris par le vent, formant ainsi les plages. Si les apports ne sont pas suffisants, aucune plage ne peut être édifiée, la mer gagne alors du terrain en érodant la côte. (**Azzi.M, Boukert.H, 2017**).

Les principaux objectifs de ce travail, sont de parvenir à la compréhension des processus actuels qui commandent l'évolution morphodynamique de la côte Ouest de Sidi Fredj (transferts sédimentaires). Ceci nous aidera à mieux interpréter les modalités d'évolution spatio-temporelle, d'érosion, de transport et de dépôt dans l'environnement côtier actuel. Ces objectifs s'appuient essentiellement sur des observations, étude des processus hydro sédimentaire en utilisant des modèles numériques (DHI-Mike21) et diachroniques de l'évolution du rivage avec des images satellitaires et des photos aériennes contribuant aux changements de la morphologie de la cote. L'organisation et la démarche adoptée dans ce travail reposent sur trois chapitres suivants :

Dans le premier chapitre on entame une synthèse générale sur la zone d'étude, la situation géographique de la zone avec ces caractéristiques géologiques, les aspects morphologiques, l'étude géologique, les facteurs climatiques et les conditions océanographiques ainsi que les phénomènes de l'érosion du littoral.

Le deuxième chapitre, porte sur la modélisation hydrodynamique, présentation du logiciel MIKE 21 et ces modèles (SW, HD, ST). La création des cartes bathymétriques de la zone d'étude et le lancement des simulations.

Dans le troisième chapitre on étudie l'évolution spatiotemporelle du trait de côte, présentation du logiciel ArcGis et de l'extension DSAS de ce dernier, acquisition des données et de la méthodologie de travail, et l'analyse de l'évolution du rivage de 1956 jusqu'à 2020.

Chapitre 1 : Cadre général

Ce chapitre porte sur le contexte général de notre zone d'étude, la frange côtière de Sidi Fredj Est. En premier lieu, nous abordons la situation géographique, ensuite nous passons aux différents contextes : géomorphologique, géologique, hydrographique et bathymétrique. En concluant par l'étude de l'érosion.

1. Situation géographique :

1.1. Baie d'El Djamila:

Sur le plan administratif, Le port de Sidi Fredj appartient à la commune de Staouéli, l'une des 19 communes littorales de la wilaya d'Alger. Le port est situé à l'ouest de la wilaya dans la baie d'El Djamila.

La baie d'El Djamila est une baie qui se situe à environ une vingtaine de kilomètre à l'ouest de la wilaya d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl, c'est une baie relativement fermée. Cette baie est orientée sud-ouest Nord-est et s'étend sur un linéaire de 6 km environ. Elle est ouverte sur la mer aux houles provenant des secteurs ouest à nord. La baie est délimitée au Sud-ouest par la presqu'île de Sidi Fredj sur la laquelle se trouve le port de plaisance de Sidi Fredj à $2^{\circ}50'54''E$ et $36^{\circ}45'43''N$, et au nord-est par Ras Acrata sur lequel se trouve le port d'El Djamila (ex. La Madrague) à $2^{\circ}53'42''E$ et $36^{\circ}48'6''N$.

La baie constitue une cellule hydro-sédimentaire fermée et aucun échange de sédiment ne peut s'effectuer de part et d'autre du fait de la présence des deux caps. Ses coordonnées sont les suivants :

- Port de Sidi Fredj $36^{\circ}45'51.12''N$ et $2^{\circ}50'48.86''E$
- Ras Acrata $36^{\circ}48'15.02''N$ et $2^{\circ}53'43.09''E$

Notre étude va porter sur la partie Est de Sidi Fredj :

- Port de Sidi Fredj
- Plage Est de Sidi Fredj

1.2. Le port de Sidi Fredj :

Le port de Sidi Fredj est implanté dans l'anse Est de la presqu'île de Sidi Fredj. Il s'intègre dans les complexes touristiques. Le tout formant une station balnéaire importante. Il est le seul port de plaisance en Algérie. Il remplit une superficie de 35400 m². Il est constitué de :

- Cinq bassins (pour l'amarrage des bateaux).
- Grande jetée Nord (jetée principale) : longueur : 260 m (enrochement naturel).
- Petite jetée Sud : longueur : 200m (enrochement naturel).
- Trois épis.
- Un quai et un appontement de 777ml
- Une capacité de 400 plaisanciers.

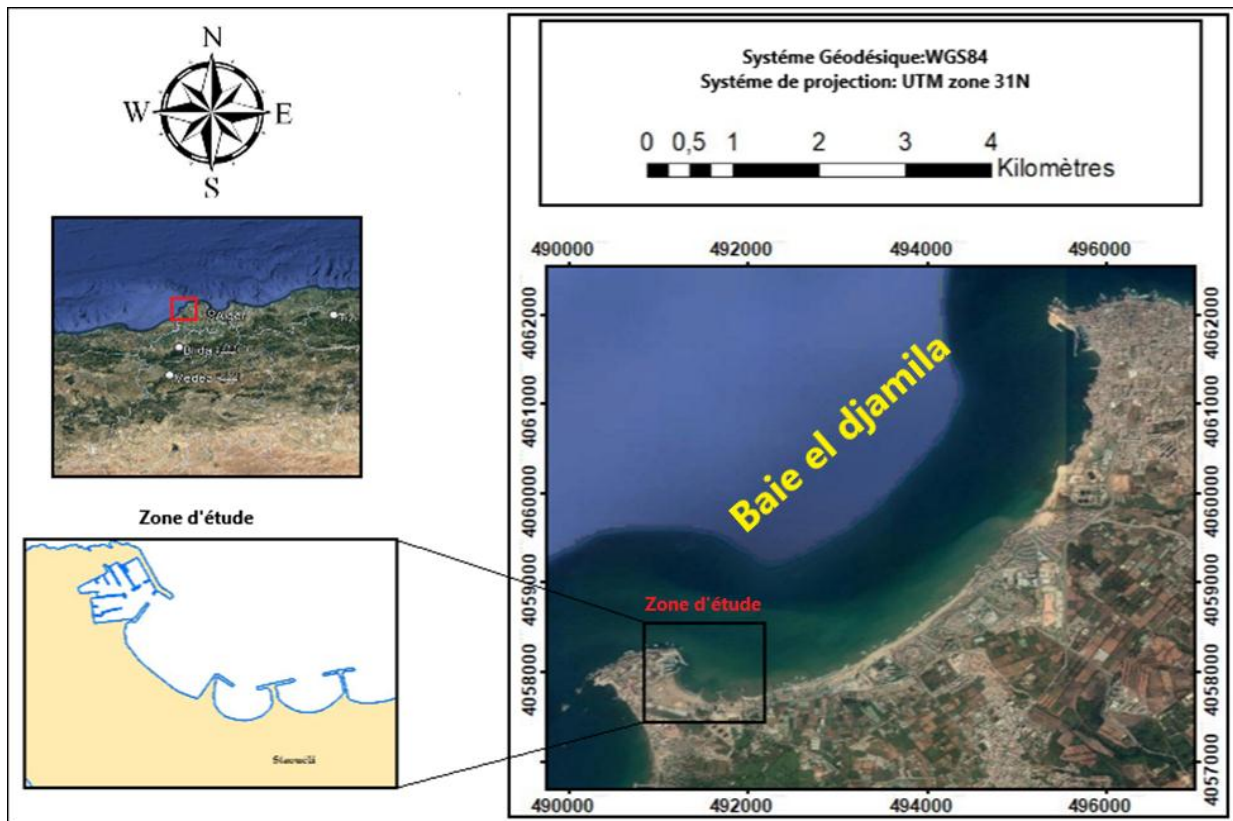


Figure 1: la situation géographique de la zone d'étude (Google Earth Pro, 2021)

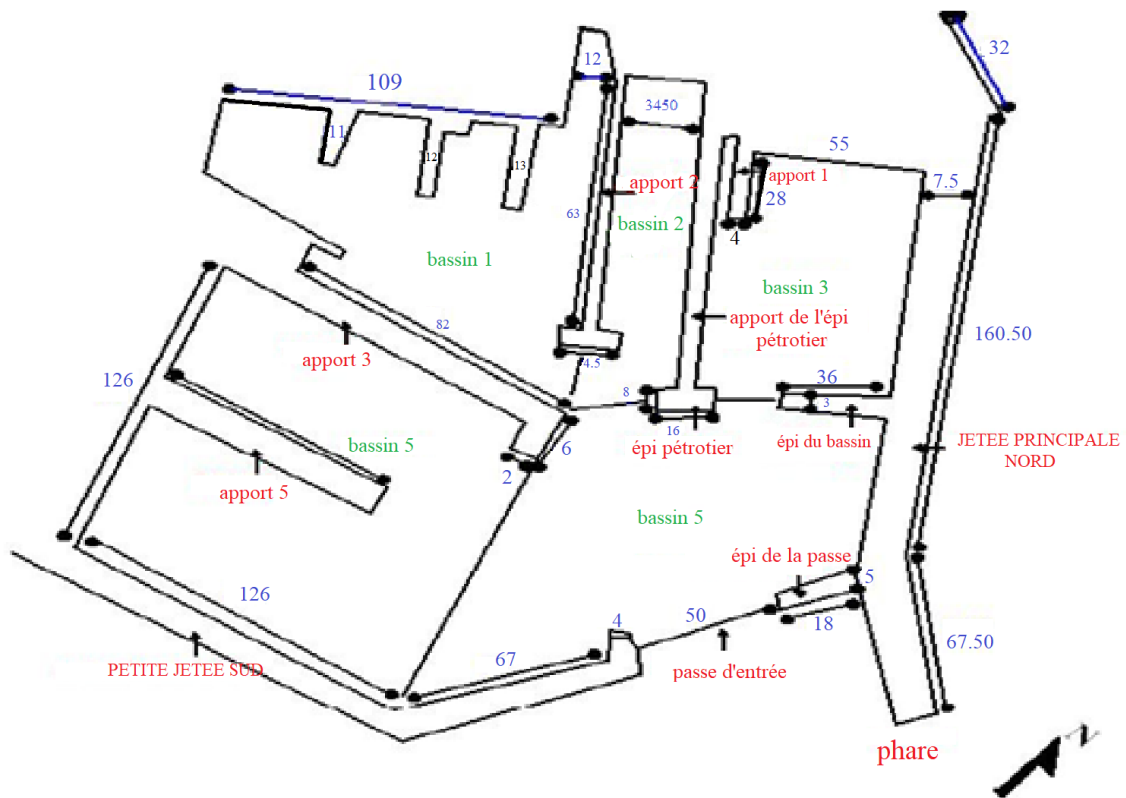


Figure 2 Dimensionnement du port de sidi Fredj « plan de masse » (BELABDI et OUNNAS, 2011)

C'est le port qui a le rôle majeur dans le cycle d'érosion dans la région de Sidi Fredj depuis la fin de sa construction en 1972. En effet, il a entraîné des modifications du régime des houles, des courants et des transits du sédiment, à proximité du site. Ceci s'est traduit par un déséquilibre dynamique de la côte et la modification du littoral meuble, en bloquant une partie du transit littoral des sédiments, entraînant une accumulation dans la zone au vent et une érosion dans la zone sous le vent (ANNANE et al, 2007).

Les effets directs liés à la construction de ce port de plaisance, sont ceux créés par la modification des conditions sédimentologiques de la zone, à proximité du port, et de la qualité des eaux en dehors de l'enceinte du port proprement dite, par la diffusion des polluants et par la dégradation de certains biotopes par l'augmentation de la fréquentation humaine.

➤ **Aménagement portuaire :**

● **Aperçu sommaire des travaux antérieurs :**

Pour éviter l'ensablement du port et afin de stabiliser les apports de sédiments résultants de la dérive littorale, **DEGIOVANI (1971)** réalise un travail de la dynamique sédimentaire à la suite duquel il propose la construction d'un épi perpendiculaire au rivage, au point d'inflexion des zones d'érosion et d'ensablement. L'extrémité vers le large de cet épi sera légèrement concave vers l'Est.

Cet ouvrage permettra ainsi de modifier le profil de plage qui se traduira par l'engraissement et devrait diminuer l'érosion devant Moretti.

Par la suite **BAKIR (1987)** et **ABROUS et al, (1996)**, propose des brise-lames avec plusieurs épis perpendiculaires tout le long de la côte jusqu'à Moretti.

Les travaux effectués vers la fin de la décennie 80 sur la plage Est de Sidi Fredj se résument dans la réalisation de trois épis perpendiculaire à la côte. Equidistants d'environ 150m.

● **Conséquences sur le milieu marin et terrestre :**

Avant 1969, c'est-à-dire avant la construction du port, le littoral subissait l'influence d'un double transit littoral : [Ouest - Est] et [Est - Ouest]. Le transport Est - Ouest était le plus important et se produisait sous l'effet des vents de Nord - Est qui génèrent des courants dirigés vers le port. Le transport Ouest-Est sous l'influence des houles Nord - Ouest permettait de stabiliser la plage par un retour des sédiments sur la partie Est.

Après la construction de la première phase du port, le transit Ouest - Est est arrêtée par la structure portuaire, parallèlement une érosion de plage apparaît entre l'hôtel El Riad et le front de mer de Moretti, suivie d'un engraissement progressif de l'anse Est au détriment de la zone de Moretti, formant ainsi un banc de 600m environ sur 50 à 200m de largeur (**L.C.H.F: 1973**).

Comme conséquence, la présence du port a fondamentalement modifié les mouvements des matériaux véhiculés par le transit littoral, provoquant une avancée du trait de côte à l'abri de la jetée II Sud, une érosion de la plage Est au droit de Moretti

2. Aspects morphologiques du littoral de la Baie d'EL Djamila :

Le littoral compris entre Sidi Fredj et Ras Acrata se caractérise par une importante accumulation actuelle et subactuelle.

La côte Ouest de la Baie comprise entre l'embouchure de l'Oued Béni Messous et la pointe de Sidi Fredj est bordée par un cordon de sable dunaire limité par des plages plus ou moins importantes (Staouéli et Club des Pins).

Le seul oued se déversant dans la baie est situé à environ 5 km à l'Est de Sidi Fredj, c'est l'oued de Béni Messous ; il prend source dans le grand Chéraga, traverse les communes de

Bouzaréah, Daly Brahim et Ain Benian et débouche au niveau de la plage « les DUNES » à environ 2 km à l'Ouest du port d'El Djamila. Du côté Est de cette embouchure, le littoral est taillé en falaise qui domine la mer par endroit.

2.1. Les dunes :

Les dunes littorales sont des accumulations des sables d'origine marine. Les dunes littorales de la Baie d'El Djamila constituent le prolongement oriental d'un cordon dunaire prenant naissance à l'embouchure de l'Oued Mazafran et se continuent jusqu'à l'Est de l'Oued Béni Messous. Le cordon atteint une largeur de 650 m sur les plages de Staouéli et

Club des pins. C'est à cet endroit que les sommets atteignent leurs maximum d'altitude (34 m au niveau de Staouéli – plage) (AINI, 2012).

Ces dunes ont une extension et une morphologie très variable en fonction de la direction des vents dominants. En effet, il existe deux bandes littorales parallèles à la côte. L'une borde la haute plage, c'est la zone des dunes mobiles, l'autre se situe vers l'intérieure des terres, et est caractérisée par une couverture végétale dense ; c'est la zone des dunes fixes (CTH, 2011).

2.2. Les plages :

A la suite du cordon dunaire, et vers la mer, s'étale principalement une zone de plage sableuse. Cette plage, qui s'adosse contre la jetée Sud du port de Sidi Fredj, décrit un large arc de cercle dont la concavité s'atténue progressivement vers l'Est.

La plage présente un développement maximal du côté de Sidi Fredj (100 à 200 m de large), entre Club des Pins et Moretti, et se réduit considérablement jusqu'à disparaître complètement au droit du centre touristique de Moretti.

Les sédiments de plages sont surtout des sables fins à moyens, contenant parfois des débris de coquilles. La taille des particules diminue en allant d'Est en Ouest.

Entre l'Hôtel El Riadh et la jetée Sud du port de Sidi Fredj, la plage est formée des sédiments très fins contenant de nombreux minéraux lourds, (LECLAIRE, 1972).

Entre le chicot rocheux de Club des Pins et Moretti, les plages sont tapissées d'un sable moyen, qui par endroit s'associe à des débris de coquilles marines surtout aux alentours des affleurements rocheux de Club des Pins et Moretti. (De GIOVANNI, 1972) avait noté la présence de deux formes mineures de plages : les sinuosités de plage et les croissants de plages. Ces formes mineures se rencontrent surtout sur la plage de club des Pins et les plages Est de Moretti, zones fortement battues par les houles.

2.3. Les platiers rocheux :

Au Club des Pins et sur la plage de Moretti, de nombreux bancs rocheux, affleurent et se poursuivent sous l'eau jusqu'à des profondeurs de 4 à 5m. A 500m à l'Est de l'embouchure de l'oued Béni Messous (BERTOUNI, 1983) (AINI, 2012), relève la coupe stratigraphique, où nous notons la succession suivante de bas en haut :

- Grès coquilliers marins,
- Grès dunaire inférieurs,
- Limons rouges supérieurs,
- Grès dunaires supérieurs (ou carapace gréseuse),
- Dunes actuelles et subactuelles.

Actuellement, certains affleurements sont recouverts par l'ensablement de la zone adjacente à la jetée Sud du port (CTH, 2011).

2.4. Les barres et les fosses de lévigation :

Les barres et les fosses de lévigation sont le résultat des mouvements sédimentaires à proximité du fond. Dans la zone de déferlement de la houle, des barres naissent et se déplacent en fonction de la force et la direction des houles.

Dans la Baie d'El Djamila, ces barres parallèles au trait de côte, se rencontrent devant la plage de Staouéli et de Club des Pins à une distance de 150 m à 200 m à partir de ligne du niveau moyen des mers.

La morphologie de ces formes est très variable. Le sommet des barres peut atteindre des côtes de 2 et 3 m de profondeur alors que les fonds de fosses de lévigation sont de 4 et 5 m de profondeur.

3. Etude géologique :

3.1. Géologie régional :

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja.

- **Le Primaire :**

Les terrasses primaires forment les massifs d'Ain Benian, de Bouzareah (massif d'Alger) et ces prolongements vers Sidi Fredj à l'ouest et Bordj El Bahri à l'est. Ces massifs sont constitués de roches cristallophylliennes de nature pélitique et carbonatées (gneiss, schiste, calcaire) recoupées par des épisodes éruptifs d'âge tertiaire (**Glangeaud, 1932**).

- **Le Secondaire :**

Plus connu dans la région blidéenne (atlas blidéen). Il ne touche pas la région d'Alger.

- **Le Tertiaire :**

Marqué par le Miocène et le Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques par des grès grossiers sableux et des marnes à lentilles de calcaires (**Glangeaud, 1932**).

- **Le Quaternaire :**

Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (**Glangeaud et al, 1952**).RE
2 : ZONE D'ETUDE

- Formation d'El Harrach (Villafranchien) représentée par des argiles marneuses jaunâtres et quelques lentilles de graviers

- Formation de la Mitidja (Tensiftien-Soltanien) représentée par des alluvions grossières provenant de l'érosion de l'atlas blidéen.

- Formation de Mazafran et Halloula (Flandrien-rharbien) représentée par des limons. Argiles limoneuses et des galets provenant de l'atlas blidéen.

- Les dépôts récents (Rharbien-Actuel) englobent les dépôts marins (lumachelles à pétoncles et des grès coquilliers) et les dépôts dunaires occupant la majeure partie du littoral algérois sous forme de dunes friables à consolidées.

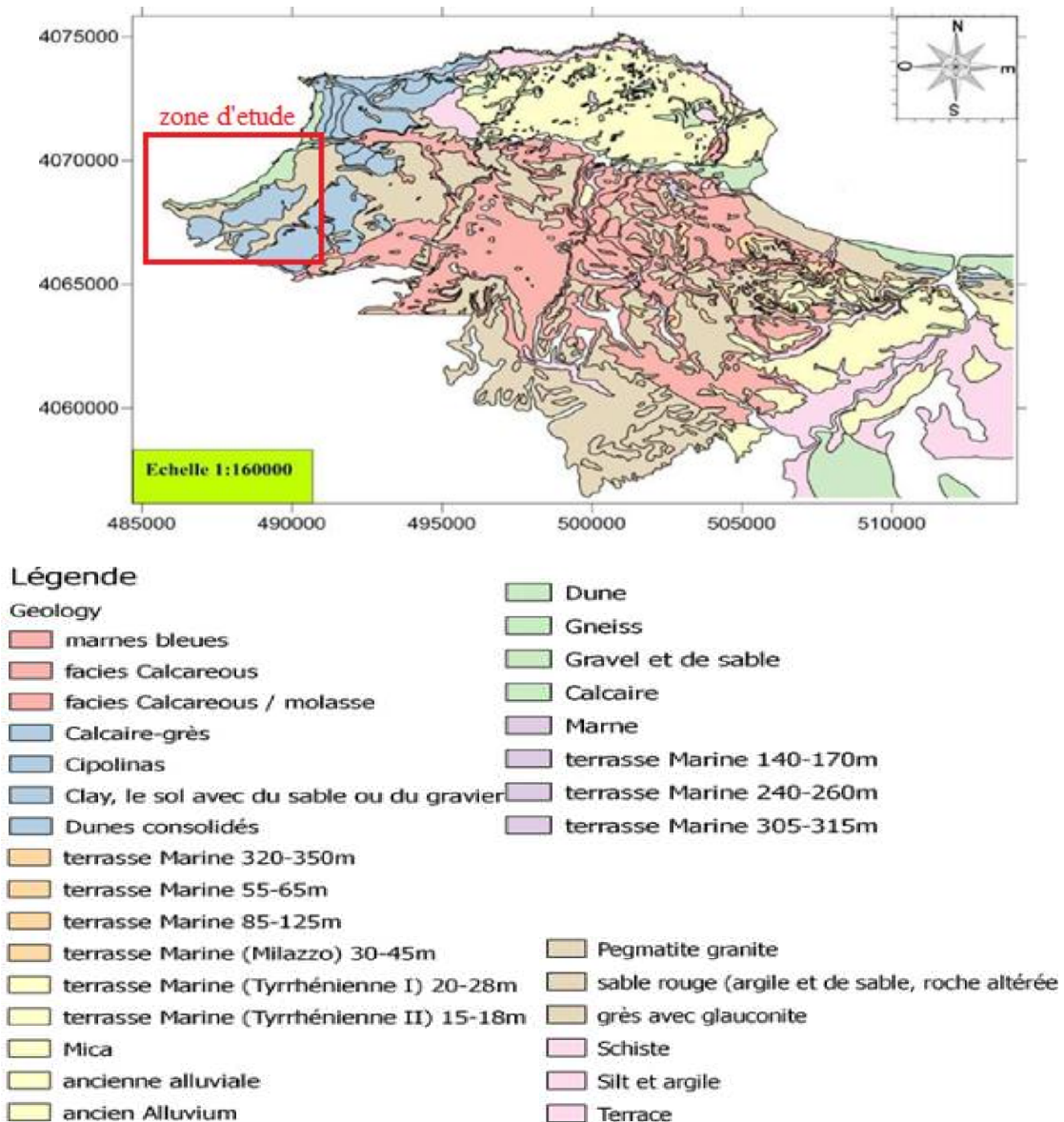


Figure 3 : carte lithologique de la région d'Alger AZZI, M. & Boukert, H (2017)

3.2. Géologie locale :

Le littoral de la baie d'El Djamilia est caractérisé par une importante accumulation sableuse.

Un cordon dunaire de l'ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d'El Djamilia, de nombreux bands rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau.

Au niveau de la plage El Djamilia, un platier rocheux parallèle au trait de côte se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers (**Boutiba, 1996**).

Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi Fredj est constitué de granites et de gneiss largement fissurés et diaclases.

Le promontoire rocheux est constitué de quatre types gneiss oeillets identifiés par l'étude pétrographique :

- **Type 1** : « vieux gneiss » caractérisé par la foliation et linéation bien marquées de teintes grises assez claires.
- **Type 2** : gneiss œillet massif peu orienté de teinte claire.
- **Type 3**: gneiss œillet à grains fins bien lités de teinte claire, riche en quartz.
- **Type 4** : gneiss œillet avec un aspect de granite orienté avec une foliation moulante de phénocristaux.

4. Facteurs climatiques

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents, car ils sont générateurs des vagues et des courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leur vitesse.

Aussi pour une étude du site, le régime des vents doit être une donnée locale que l'on définit par sa fréquence, son intensité et sa direction à partir de l'exploitation des données d'observation étalées sur une assez grande période (**Larid. 1992**).

Lorsque l'action du vent est continue, elle génère de la houle et joue ainsi un rôle important dans l'optimisation du chenal d'accès et la passe d'entrée, de façon à ce que les navires entrant au port reçoivent le vent sur l'avant (**Chapon. 1975**).

4.1. Température :

La température est un facteur important qui est toujours pris en considération pour étudier une zone côtière donnée, dans notre cas on l'a pris en compte puisqu'elle intervient dans l'érosion de notre falaise, on a utilisé des données de l'Office National de la Météo (O.N.M) allant de 1996 jusqu'à 2005.

Comme on n'a pas eu de données sur notre zone d'étude (sidi Fredj), on s'est contenté des données de la wilaya d'Alger. (Station : Alger Dar El Bieda).

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. On distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à octobre où les températures moyennes de l'air varient entre 20°C et 27°C, et se rafraichissent en novembre et une autre saison qui débute en décembre et s'achève en mars où les températures moyennes varient entre 11°C et 18°C.

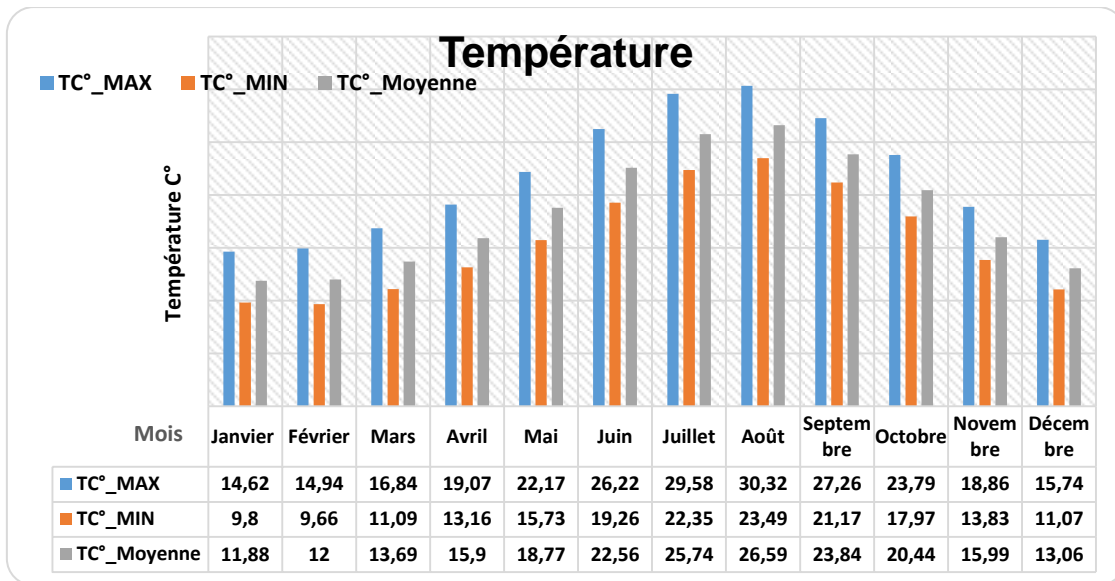


Figure 4 : Température mensuelles en (°C) de la wilaya d'Alger (O.N.M, Dar El Bieda, 1996-2005).

On remarque très bien que la variation des valeurs de températures n'est pas vraiment large et que notre zone contient un climat doux tout s'est dû à son approximation à la mer.

Sur la figure suivante nous pouvons apprécier la variation moyenne des températures maximales et minimales entre 1996 et 2005. **BOURTI, H. HENDA, S. (2014).**

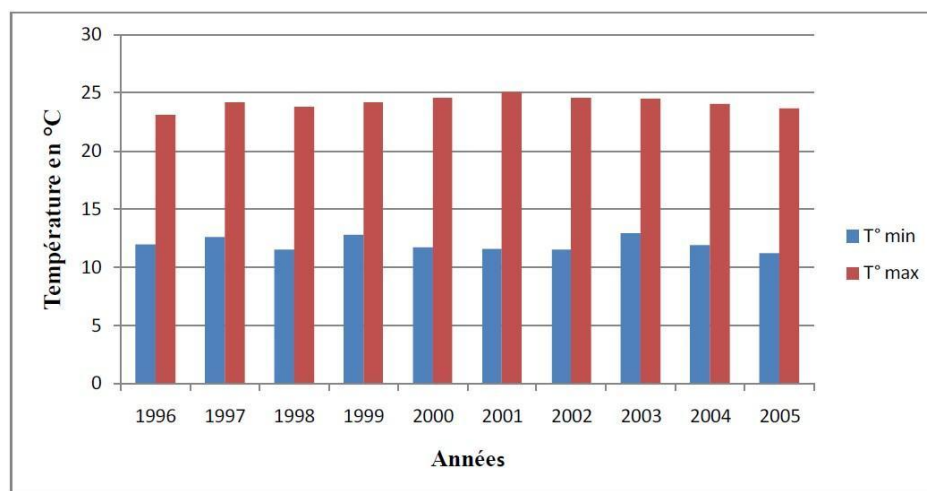


Figure 5: Variation des températures moyennes annuelles de la wilaya d'Alger (ONM,Dar El Bieda 1996-2005).

4.2.Précipitations

Les précipitations totalisent 600 mm par an ; le régime est typiquement méditerranéen, en fait, la période la plus pluvieuse va de novembre à janvier, tandis qu'en été il pleut très rarement. Voici les précipitations moyennes.

Tableau 1 :précipitations moyennes dans la région de Bouismail (ONM, 1991-2020)

Alger - Précipitations moyennes 1991-2020		
Mois	Quantité (mm)	Jours
Janvier	80	11
Février	75	10
Mars	55	9
Avril	60	11
Mai	40	7
Juin	9	3
Juillet	5	2
Août	8	3
Septembre	30	5
Octobre	60	9
Novembre	90	11
Décembre	90	12
An	600	92

5. Condition océanologique

Le littoral évolue à travers les déplacements des sédiments qui le composent. La houle, le vent et les courants sont capables de transporter le sédiment présent sur une plage, ce sont les forçages de l'évolution du littoral.

5.1.La houle

La houle constitue l'agent primordial de la dynamique des plages (**PASKOFF., CLUSAUBY, 2007**). La houle est issue de l'action du vent sur la surface de l'eau. Formée au large, elle se propage à travers plusieurs domaines. Tout d'abord en domaine profond où l'action du fond n'a aucun effet sur leur propagation qui est alors définie comme dispersif. A l'approche de la côte, la houle va peu à peu se modifier en raison des contraintes de frottement au niveau du fond (**AHFIR., MEZIANE, 2016**).

Le traitement statistique des données d'observation des houles au large, nous a permis de déterminer les fréquences d'apparition des houles par direction et par période.

Les directions et les fréquences les plus dominantes pour chaque période sont :

La période estivale : c'est les directions Nord, Nord-est qui domine avec des fréquences d'apparition respectivement de 27% et 38%.

La période printanière : les directions Nord, Nord-est et ouest qui sont plus dominantes avec les fréquences d'apparitions respectivement 12%,20% et 25%.

La période hivernale : elle est également caractérisée par la dominance des secteurs Nord, Nord-est et ouest par les fréquences d'apparitions respectivement de 15% ,20% et 22.5%.

La période automnale : cette période est caractérisée par la dominance des secteurs Nord et ouest avec les fréquences d'apparition respective de 19% et 24%.

Les houles annuelles : Les houles qui proviennent des secteurs Sud-Ouest et Nord-Est et possèdent annuellement dans la baie de Bousmail des valeurs presque égales respectivement à 22 % et 20%.

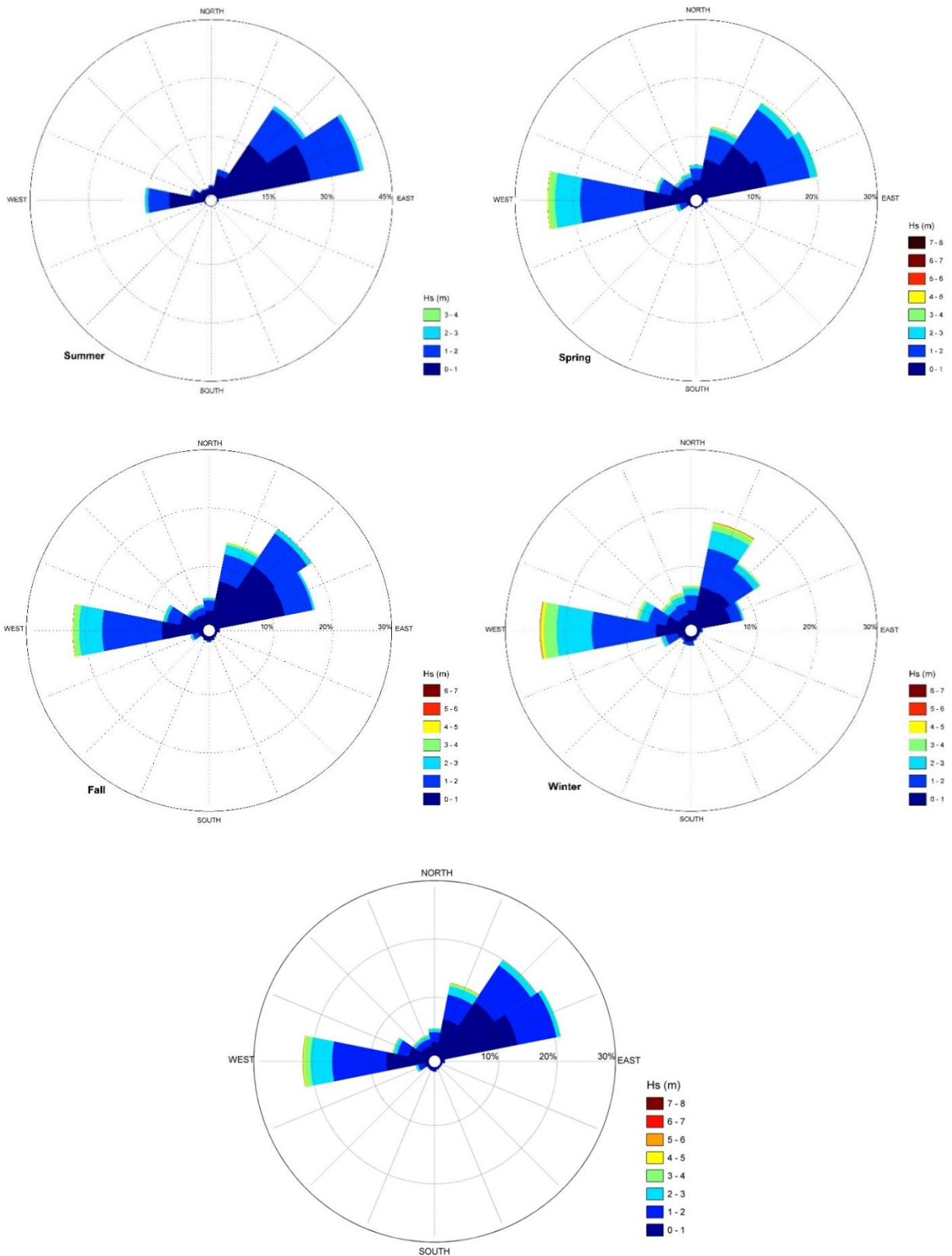


Figure 6 : Roses des houles au large de la baie El Djamilia 2016-2020 (O.N.M)

5.2.Le vent

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques qui régulent et transforment les fonds marins et la zone côtière de notre zone d'étude. Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2015. Station: Alger Dar-El-Beida. Altitude : 25 m - Latitude: 36°41 N - Longitude: 03°13 E

Pour les données au large, elles sont fournies par le service hydrographique des forces navales. La baie d'El Djamila comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré ; relativement froid et humide en hiver, chaud en été.

Au large :

Les côtes sont toujours plus ventées que leur arrière-pays immédiat parce que les vents qui les abordent en venant du large n'ont pas été freinés par des obstacles topographiques. Par leur fréquence et leur force, les vents qui soufflent sur les littoraux peuvent avoir des actions morphogéniques importantes. On a déjà dit qu'un vent parallèle à un rivage est capable, suivant sa direction, de renforcer ou de ralentir la dérive littorale. Un vent marin perpendiculaire à une plage accroît la cambrure des vagues, d'où une agressivité accrue quand elles déferlent et un démaigrissement de la plage. S'il s'agit d'un vent de terre, il diminue la hauteur des vagues, réduit leur cambrure, ralentit leur avancée, d'où un engraissement de la plage. On peut constater de tels phénomènes.

L'analyse statique des données de MEDATLAS de vent montre que :

Les directions les plus dominantes sont :

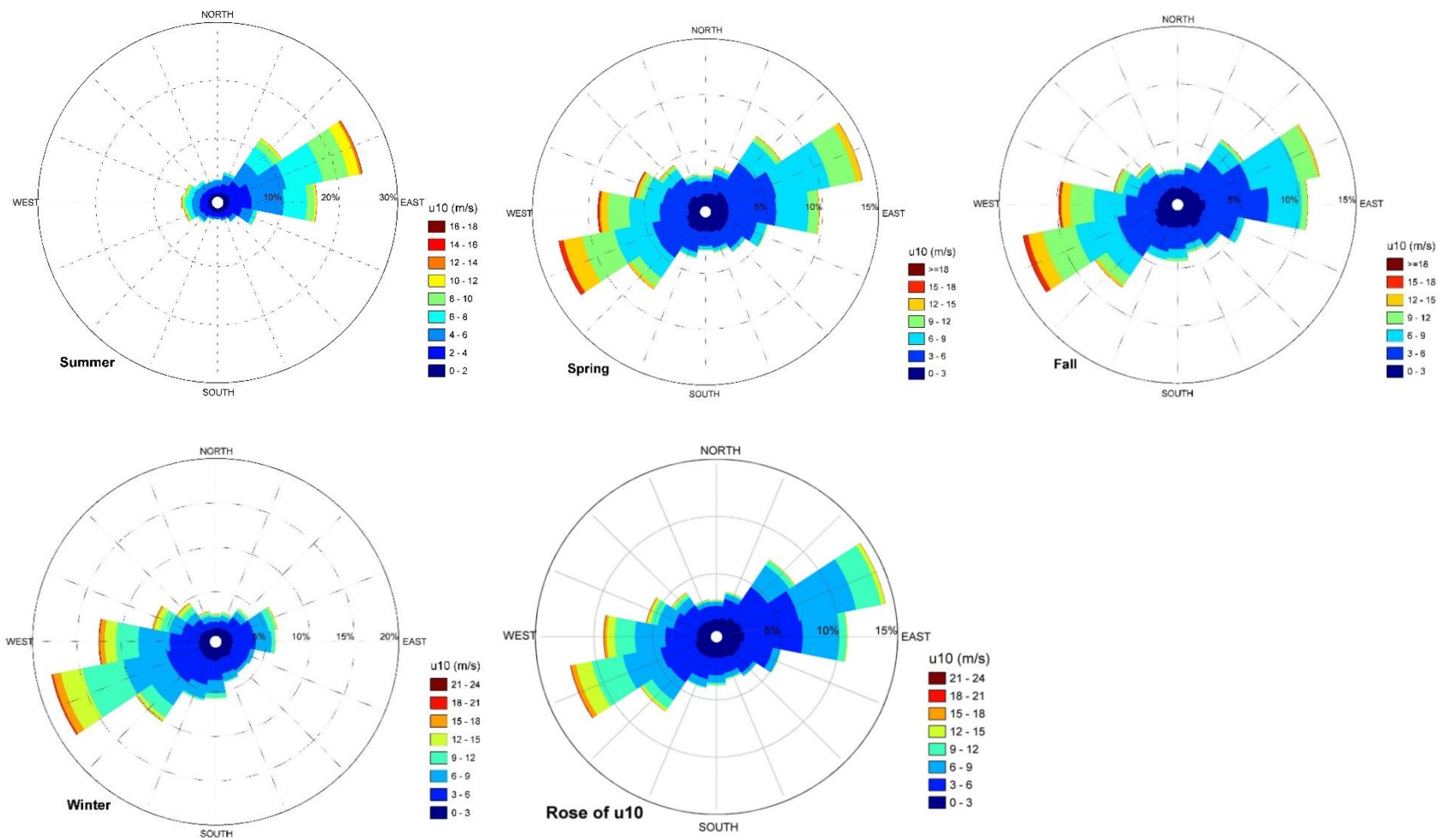
Période printanier : Nous constatons qu'en cette période les directions de vent les plus dominantes proviennent du secteur Sud-Ouest et Nord Est avec des fréquences d'apparitions respectives de 13.5% et 12.5%.

Période hivernale : Elle est également caractérisée par la dominance de secteur Sud, Sud-Ouest avec une fréquence de 13% et en secteur Nord Est avec une fréquence de 14%.

Période automnale : Les vents qui proviennent des secteurs Sud-Ouest possèdent une fréquence qui est de 19%.

Période estivale : Les secteurs Nord Est est le plus fréquent avec une fréquence presque égale à la valeur de 25.5%.

Les vents annuelles : Les directions Nord-Est, Sud-Ouest, Est et Ouest sont les plus dominantes annuellement dans la baie de El Djamila avec des fréquences d'apparitions respectivement 14%, 12.5%, 11% et 9%.



Annuelle

Figure 7: Roses des vents au large de la baie EL Djamila 2016-2020 (O.N.M)

Données locales :

Dans la baie d'El Djamilia où la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le service hydrographique des forces navales qui sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).

Période saisonnière	Secteur du vent	Direction dominant	Fréquence d'apparition	Classes des vitesses (kt) et leurs Pourcentages		
				17 Nœuds	17-33 nœuds	33 nœuds
Période Hivernale	Nord-ouest à Sud-ouest	ouest	60 à 80 %	55 %	40 %	05 %
Période Estivale	Nord-est à Nord	Est-nord-est	45 à 75 %	74 %	25%	01 %

Les mesures indiquent que les vents soufflent environ 60% du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 14 % du temps.

Tableau 3 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).

Mois	Annuel				
Direction	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	1,0_6,0	6,0_11,0	11,0_16,0	>=16,0	
N	3%	2%	0%	0%	5%
NNE	3%	1%	0%	0%	4%
NE	3%	3%	0%	0%	6%
ENE	3%	2%	0%	0%	5%
E	2%	1%	0%	0%	3%
ESE	0%	0%	0%	0%	0%
SE	0%	0%	0%	0%	0%
SSE	1%	0%	0%	0%	1%
S	1%	1%	0%	0%	2%
SSW	2%	0%	0%	0%	2%
SW	4%	1%	0%	0%	5%
WSW	5%	2%	0%	0%	7%
W	4%	4%	1%	0%	9%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
NW	1%	1%	0%	0%	2%
NNW	2%	2%	0%	0%	4%
Calme					43%
Total (%)	35%	21%	1%	0%	57%

5.3.La marée

Les oscillations du niveau des mers et des océans qu'entraîne la marée s'accompagne de mouvements horizontaux de masses d'eau appelés courants de marée. Les courants induits par la marée sont fondamentaux. L'originalité de ces courants qui affectent l'ensemble de la masse d'eau (avec malgré tout une lente décroissance des vitesses vers le fond) réside, d'une part, dans leur puissance (AHFIR., MEZIANE, 2016). Dans les côtes algériennes et d'une façon générale, l'amplitude de la marée n'est pas importante, le marnage est de l'ordre de 20 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle.

5.4. Courants

Par définition, le courant marin est un déplacement d'eau de mer causé par le vent, la force de Coriolis et des variations de températures, de densité et de salinité. Ce courant est caractérisé par sa direction, sa vitesse, son débit et sa température. Les courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments (érosion, transport et sédimentation) (OTMANI, 2014).

- Les courants généraux :

Ce sont des courants qui sont créés par le franchissement des eaux atlantiques du détroit de Gibraltar. Dans les côtes algériennes, ces courants progressent vers l'Est à une vitesse de 0.5 m/s à 1 m/s (LECLAIRE 1972).

Ils sont affectés par des tourbillons cycloniques et anticycloniques de 50 km à 200 km de diamètre et qui atteignent 500 à 2000 m de profondeur (MILLOT 1985, MAILLOT 1987, TAUPIER-LETAGE 1988).

- Les courants côtiers :

Des courants qui sont actifs près de la côte, engendrés par la marée et les vagues, ces dernières qui abordent la côte avec une certaine obliquité et créent un courant parallèle au rivage qui prend naissance au niveau de la zone de déferlement qui est le facteur moteur dans le phénomène de la dérive littoral.

6. Cadre hydrographique :

Trois principaux oueds déversent dans cette baie avec des différents apports provenant de plusieurs sources terrigènes qui sont cités respectivement de l'Est à l'Ouest (Fig. 9):

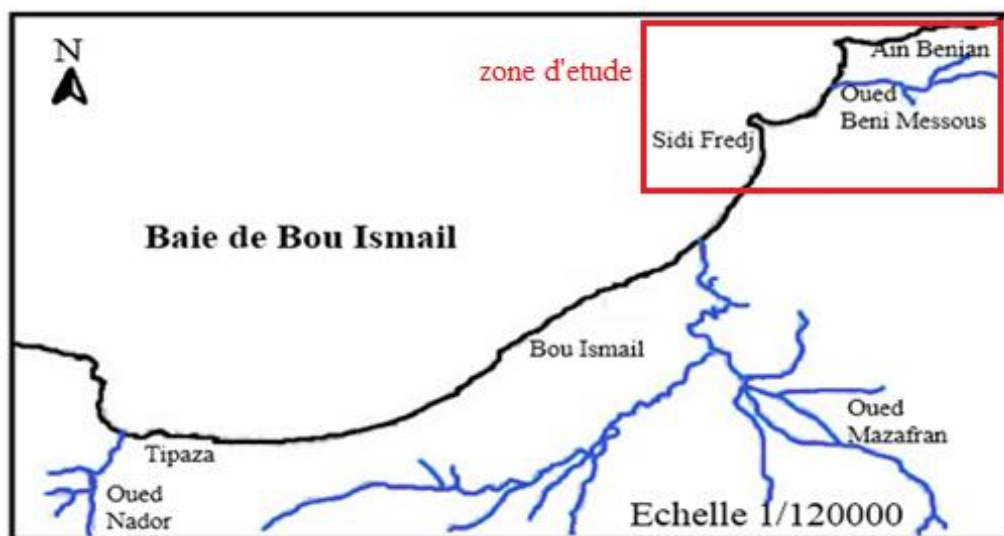


Figure 8 : Carte de principaux oueds de la baie de Bousmail (ANRH)

- **Oued Beni-Messous** : Il débouche dans la baie d'El Djamila avec un débit estimé à 0.245 m³/s. Son bassin versant à une superficie de 33 km². Il prend naissance au massive de Bouzeréah et il est alimenté par les décharges provenant de Bouzeréah, Beni-Messous et Chéraga.
- **Oued Mazafran** : Le plus importants des oueds qui déversent dans la baie de Bousmail. Son bassin versant couvre une superficie de 1850 km². Il prend source au niveau du point de rencontre d'oued Chiffa et oued Djer et il débouche entre Douaouda et Zeralda avec un débit qui est estimé à environ 7.566 m³/s pendant la période de Décembre à Avril(ANRH).
- **Oued Nador** : Il débouche entre Tipaza et Mont Chenoua avec un débit de 0.89 m³/s ; Il est alimenté Deux oueds qui sont : Oued Bourguiga et Oued Merrad.

7. Phénomène de l'érosion du littoral

L'érosion du littoral peut se définir comme l'emprise de la mer sur la terre et doit s'observer sur des périodes suffisamment longues pour éliminer les effets du climat, des tempêtes et des régimes locaux de transports sédimentaires. L'évolution du littoral et des fonds marins (avancée ou recul du rivage, érosion ou sédimentation des fonds) et les mouvements des sédiments dépendent de l'action de divers facteurs morpho-dynamiques d'origine météorologique ou marine sur les matériaux de la côte et des fonds. Tel que la marée, le niveau de la mer (surcote), les vents, la houle notamment par le biais des courants qu'ils génèrent. Ainsi que des facteurs anthropiques liés au développement touristique, industriel et commercial des zones littorales. L'érosion côtière induit des risques, comme la submersion de la côte (résultat de l'érosion complète des dunes), la destruction des ouvrages de protection contre la mer (associée à l'érosion de l'avant plage et au recul du trait de côte), le recul des plages et dunes causant la perte de terres à valeurs économique et écologique (**BLANCHARD et MOUKHLISS, 2007**).

Les causes de l'érosion côtière naturelle sont nombreuses et peuvent être le fait, entre autres, de :

- L'évolution du paysage littoral.
- Les variations climatiques.
- L'élévation du niveau marin.

Les structures côtières interférant avec le transport littoral sont la cause la plus commune de l'érosion côtière. Ce type d'érosion s'explique le plus souvent par :

- La présence de certains aménagements côtiers ou offshore.
- Une réduction des apports fluviaux.
- Des extractions de sables.

D'autres types de protection côtière qui ne débordent pas sur la mer, cependant, peuvent causer également une érosion côtière accrue. Les digues et les perrés sont typiquement construits le long des sections côtières pour assurer la protection de la côte mais peuvent empêcher alors les échanges de sable entre la plage et les dunes en arrière du trait de côte **(D.H.I, 2014)**.

Chapitre 2 :

Modélisation

hydrodynamique

Introduction :

L'étude des conditions hydrodynamiques sur le littoral a toujours été un élément fondamental dans la compréhension des différents phénomènes côtiers. Depuis quelques années, les chercheurs se contentent de la description mathématique du mouvement.

Aujourd'hui, avec l'évolution de la technologie et l'avancement des recherches il est possible d'approcher numériquement la solution des équations mathématiques et donc de simuler les mouvements et comportements des vagues et houles qui demandent beaucoup de calculs.

L'objectif principal de cette partie est de faire une modélisation numérique des vagues du large vers la côte et les courants. Subissant de nombreuses transformations dès leur interaction avec le fond, et influence le paramètre du transport sédimentaire ce qui nous aidera à mieux cerner notre étude.

1. Modélisation numérique :

La représentation des phénomènes hydrauliques réels nécessite des moyens matériels et immatériels qui peuvent être très coûteux. Dès qu'on cherche à comprendre et prévoir, même de manière qualitative, le comportement d'un système, on essaiera de s'appuyer sur la traduction de la complexité des phénomènes sous forme d'un ensemble d'équations mathématique décrivant les processus physiques qui seront par la suite implémenter dans un système afin d'être traité et avoir le résultat souhaité : On parle de la « Modélisation numérique ».

1.1. Modélisation numérique des vagues :

Une modélisation précise des vagues et courant de surface se doit de traiter, de façon la plus fidèle possible, d'une part les effets non linéaire (dus aux interactions vague-vague et vague-fond et vague-courant) et d'autre part les effets dispersifs, tout en prenant en compte le caractère irrégulier et multidirectionnel de l'état de mer, mais aussi les variations bathymétriques.

La prise en compte correcte de toutes ces caractéristiques reste un défi largement ouvert, même si de nombreux modèles mathématiques et méthodes de simulation numérique ont été proposés depuis plusieurs décennies afin de traiter tout ou une partie de ces aspects.

- Modéliser les transformations de la houle du large jusqu'à la côte.

- Obtention des données sur le climat de la houle au large de la côte qui seront utiliser par la suite avec les mesures de la houle autant que source indépendante afin d'obtenir des informations sur le climat à court terme de la houle au large. A partir de ces données, une analyse de la houle extrême peut être réalisée, si la durée des simulations des états de la mer dont on dispose est suffisante.
- Modéliser les courants de surface (Long-shore, cross-shore ...) qui vont nous emmener à mieux comprendre et trouver de meilleures explications aux transports sédimentaires et la dérive littorale existante dans nos zones d'études.

1.2. Description du modèle de simulation MIKE 21:

MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D des écoulements à surface libre, développée par DHI Water & Environnement. Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans. (DHI, 2014)

La modélisation de la dynamique sédimentaire en milieu côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles. Il s'ensuit que l'approche modélisatrice doit faire appel à un système de modélisation intégré comprenant 3 modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de houle et un modèle de transport sédimentaire de particules non-cohésifs, sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants. Dans ce contexte, le module MIKE21, comprend les calculs suivants (DHI, 2014):

- MIKE 21-SW (Spectral Waves Flexible Mesh);
- MIKE 21-HD (Hydrodynamic model);
- MIKE 21-ST (Non-Cohésive sédiment transport).

2. Modèle FM MIKE21/3 Couplé :

Le modèle FM MIKE21/3 Couplé comprend différents modules, nous pouvons sélectionner pour être inclus dans la simulation : hydrodynamique, transport du sable, spectre de vague, etc. ... Le modèle comprend également un couplage dynamique entre le module de transport du sable et le module hydrodynamique et le module spectral de vague (DHI, 2014). Le pas de temps global discret est utilisé pour déterminer la fréquence de sortie qui peut être obtenue à partir des différents modules et synchroniser le couplage entre les différents modules. Le pas de temps local

pour le module d'onde spectrale (SW) et le module de transport de sable (ST) peut être défini comme un multiple du pas de temps global et d'un facteur de pas de temps. (DHI, 2014).

2.1. Mike 21 HD :

Le modèle MIKE 21 HD résout les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant, sur maillage structuré ou non structuré, en tenant compte du frottement sur le fond, de l'effet des événements météorologiques (vent et gradient de pression atmosphérique), de la force de Coriolis, de différentes modélisations de la turbulence de l'écoulement et de la variation de géométrie du domaine au cours du temps (zones inondée et non inondée au cours de la marée). Il permet également de calculer les courants littoraux en prenant en compte les contraintes de radiation dues à la houle dans la zone de déferlement.

Les équations suivantes, la conservation de la masse et la dynamique intégrée à la verticale, décrivent les variations du débit et de l'eau :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2.h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_\alpha) = 0 \dots (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2.h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_\alpha) = 0 \dots (3)$$

Les symboles suivants sont utilisés dans ces équations (DHI, 2014):

- $h(x,y,t)$: Profondeur de l'eau (m).
- $(x,,)$: Variation temporelle de la profondeur de l'eau (m).
- $\zeta(x,y,t)$: L'élévation de surface (m).
- $p,(x,y,t)$: Densités de flux dans les directions x et y (m3/s/m).
- $(x,)$: Coefficient de Chezy (m12/s).
- g : L'accélération de la pesanteur (m/s2).
- (V) : Facteur de frottement de vent.
- F : Force du frottement du vent.
- $V,,(x,y,t)$: Vitesse et composantes du vent dans les directions x et y (m/s).
- $\Omega(x,y)$: Paramètre de Coriolis (s-1).
- $(x,,)$: Pression atmosphérique (kg/m/s2).
- ρ_w : Masse volumique de l'eau (kg/m3).

- $\tau_{x,,}$: Composantes de l'effort de cisaillement effectif.

2.2. Mike 21 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, 2014) et est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanées 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 (ROCHE, 2011 ; DHI, 2014 ; Wikhydro, 2014).

Il nous faut choisir des formulations pouvant être utilisées dans un modèle spectral de vague (Damlamian et Kruger, 2013).

Formulation spectrale : Le module d'analyse spectrale de la houle (SW) est approprié à la fois au large et près des côtes pour la modélisation des vagues car il comprend deux formulations différentes :

Formulation directionnelle découplée paramétrique (formulation paramétrique à découplage directionnel), adaptée la modélisation de la houle à la côte (DHI, 2014). Elle a des incertitudes pour la modélisation de la transformation des vagues à une échelle assez large (Damlamian et Kruger, 2013).

Cette formulation est basée sur le paramétrage de l'équation de conservation de l'action des vagues. Le paramétrage est réalisé par l'introduction du moment du zéro et du premier ordre du spectre d'action de vague en tant que variables dépendantes. (DHI, 2014) Formulation entièrement spectrale, la plus adapté à la modélisation des vagues spectrales au large. Le spectre fréquence-directionnel de l'action des vagues est la variable dépendante. (DHI, 2014).

Elle permet de modéliser de manière plus efficace la croissance, la décroissance et la transformation des vagues en présence du vent (Damlamian et Kruger, 2013).

Dans nos travaux, la formulation entièrement spectrale a été utilisée, elle requière des temps de calcul nettement plus réduits (Damlamian et Kruger, 2013). La deuxième formulation a été

utilisée pour obtenir le spectre fréquence-directionnel de l'action des vagues pendant une courte période.

Formulation temporelle :

MIKE21 SW utilise deux formulations temporelles quasi stationnaire et instationnaire. La formulation quasi stationnaire nécessite en général des temps de calcul moins importants. Elle s'adapte aux forçages qui évoluent lentement dans le temps et dans l'espace (**Damlamian et Kruger, 2013**).

Nous utilisons la formulation quasi stationnaire dans nos calculs. Pour des informations plus détaillées sur ces formulations, nous renvoyons au manuel d'utilisation du logiciel MIKE21 (**DHI, 2014**).

Le module permet d'utiliser des données de vagues au large préétablies, qui doivent alors être connues grâce à des mesures ou autres données externes, ou de générer des vagues par le vent. La deuxième approche a été utilisée pour la présente étude.

L'équation de base : l'équation de base de ce modèle est l'équation de conservation de l'action de vague. (**Komen, et al, 1996**)

L'équation de conservation pour l'action des vagues peut être écrite comme :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots (4)$$

Avec : $N(x, y, \sigma, \theta, t)$ densité d'action, t le temps, $\vec{x} = (x, y)$ les coordonnées cartésiennes, $\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ Est la vitesse de propagation d'un groupe de vagues dans l'espace de phase à quatre dimensions, et S est le terme source pour l'équation de l'équilibre énergétique. ∇ Est l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace x, y, σ, θ . Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \dots \dots \dots (5)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla \vec{x} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \dots \dots \dots (6)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Ici, S est la coordonnée de l'espace dans la direction de l'onde θ , et m est une coordonnée perpendiculaire à S. ∇_X est l'opérateur différentiel bidimensionnel dans l'espace x, y. (DHI, 2014)

2.3. Mike 21 ST :

La modélisation du transport sédimentaire associé aux courants et aux vagues est effectuée à l'aide du module ST (Sand Transport) de MIKE 21. En fonction de l'ensemble des forçages hydrodynamiques (courant de marée, agitation due aux vagues et courants littoraux), ce module permet le calcul du transport des sables et de l'évolution morphologique des plages. (DHI, 2014).

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'hydrodynamique 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).

On est amené à résoudre cette équation de transport-diffusion pour calculer la concentration des sédiments transportés.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + [(\vec{U} + \vec{W}_s)C] = \text{div}(\gamma t * \vec{\nabla} C) \dots \dots \dots (8)$$

Avec :

\vec{U} : Étant le champ de vitesse 3D ;

\vec{W}_s : vecteur vitesse de chute des particules dirigé vers le bas ;

γt : le coefficient de diffusivité turbulente des sédiments. (DHI, 2014)

La variation correspondante de la hauteur de la houle (Par rapport à la hauteur de la houle au large, H_s), due à la redistribution de l'énergie le long des crêtes, est habituellement exprimée par le coefficient de réfraction K_r . (Benoît et al, 2009)

Le coefficient de réfraction correspondant, K_r est donc calculé comme suit (Benoît et al, 2009) :

$$K_r = \frac{H_{s\text{locale}}}{H_{s\text{large}}}$$

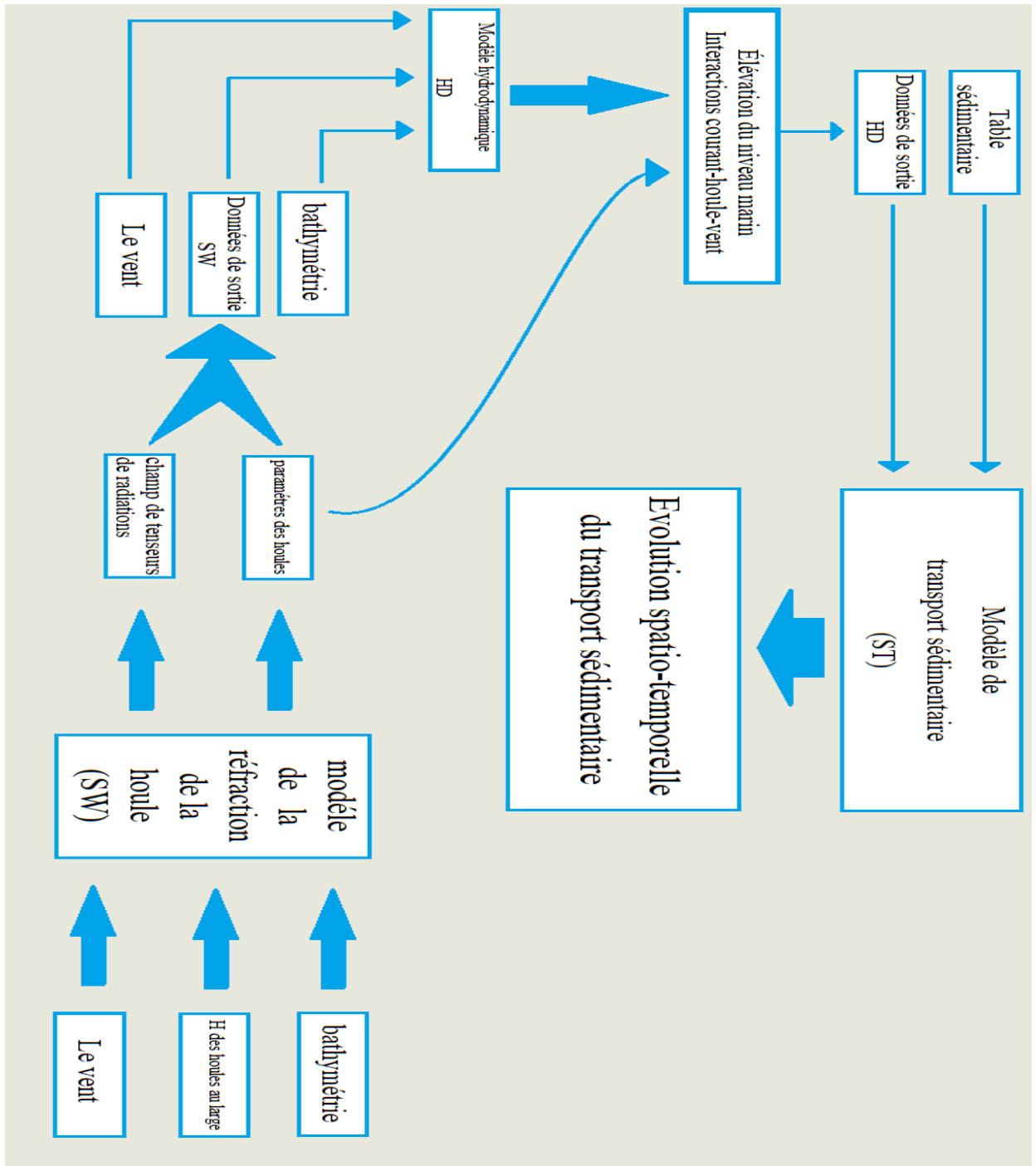


Figure 9 : l'approche méthodologique adoptée pour de la modélisation intégrée du transport de sédiments non cohésifs

3. Approche méthodologique :

- Principe de simulation du MIKE21-DHI :

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées. MIKE a été construit à partir de savoir-faire de spécialistes reconnus, il a été considéré comme le plus fiable (Kerssens et al. 2012).

3.1. Génération du maillage (Mesh Generation)

Le module Mesh Generator nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. MeshGenerator génère un format souple de maillage (DHI, 2014).

Le programme nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour 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, 2014).

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 dans différents formats.

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 des maillages non structurés tenant compte des limites et de la profondeur.

3.2. Les étapes fondamentales de la création du maillage:

Il faut noter que tous les maillages de nos zones d'étude ont été faits grâce à l'outil "MeshGenerator", ci-dessous les étapes suivies pour définir un maillage:

- Création d'un espace de travail ou 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).
- Lissage du maillage (Smoothing Mesh).
- Configuration de l'interpolation.
- Lancement de l'interpolation.
- Exportation du maillage.

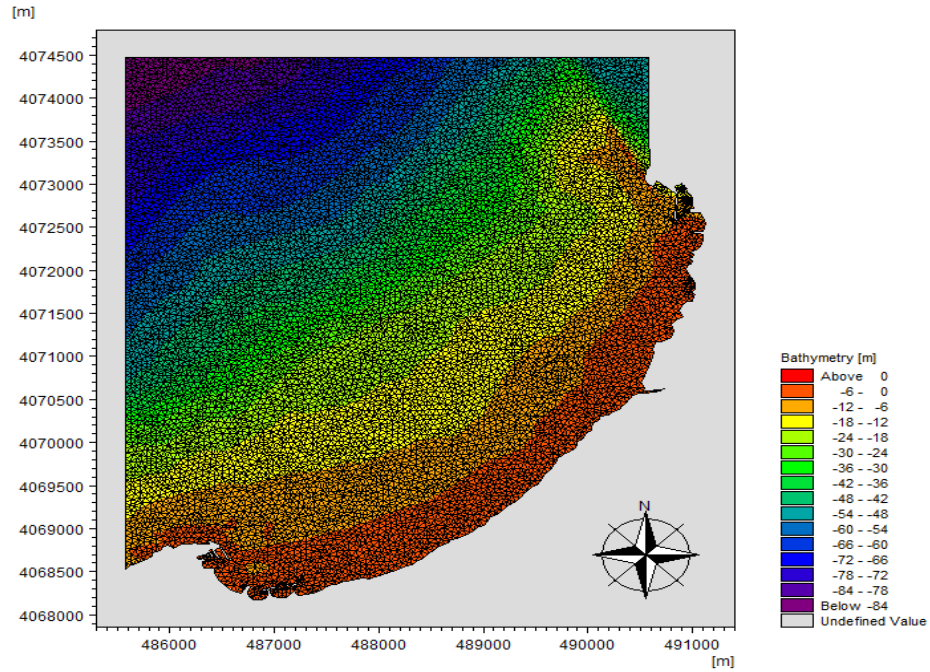


Figure 10: Le maillage de la zone de la baie El Djamilia (2021)

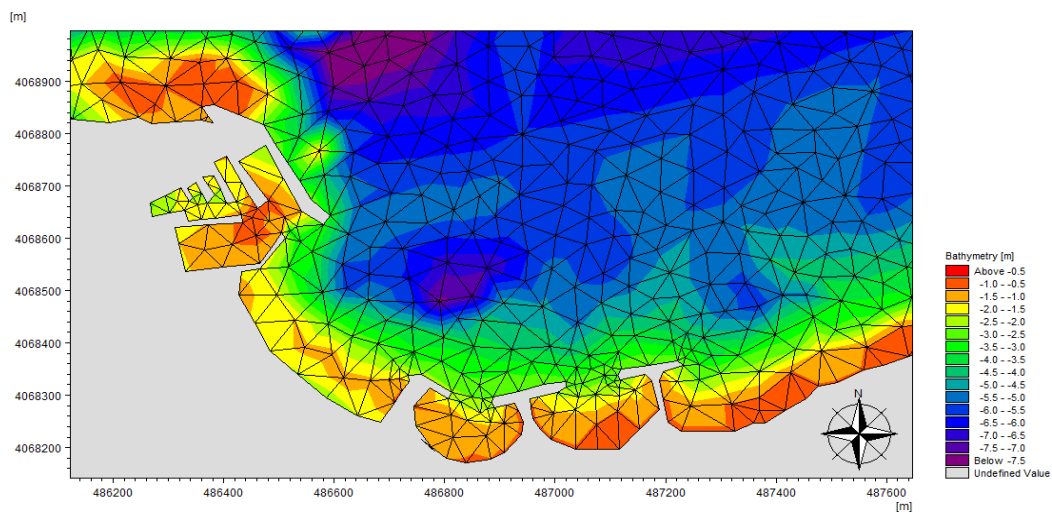


Figure 11 : Le maillage de la zone de la zone d'étude port de sidi Fredj (2021)

3.3. Création 2D Bathymétries sous le maillage :

- **L'étude bathymétrique :**

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 selon deux méthodes pour essayer d'obtenir un résultat fiable et précis. Les développements technologiques récents, notamment en imagerie, conduisent à l'acquisition de 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.

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 permettre le calcul 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.

Interprétation de la bathymétrie :

Les changements morphologiques du domaine marin ont pu être observés sur des cartes bathymétriques. Une carte bathymétrique a été acquise pour la zone de la baie de El Djamila à partir d'Avril 2021 jusqu'en Mai 2021 de la base des données Navionics. Cette base de données a été complétée par plusieurs levés au large réalisés par GEOBCO, afin d'obtenir une carte globale de la région à partir de la ligne de cote jusqu'au large (+2700 m).

Les données bathymétriques proviennent de captures prenant de la base de données Navionics (précision 0.5m). Ces captures sont bien géo-référencés grâce à logiciel Arc Gis et à l'aide d'une image satellitaire fourni par le promoteur de résolution de 50cm. Les données recueillies de la digitalisation des isobathes sont étaient enregistrées sous forme d'un fichier XYZ.

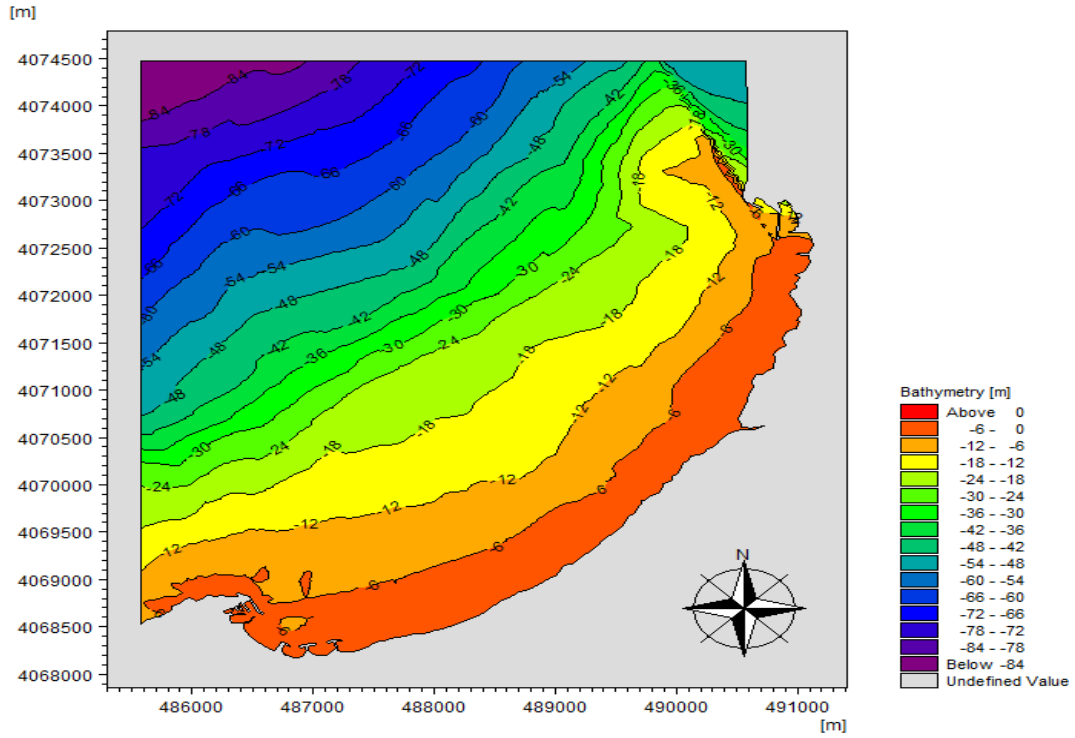


Figure 12 : Carte bathymétrique de la zone de baie El Djamilia (2021)

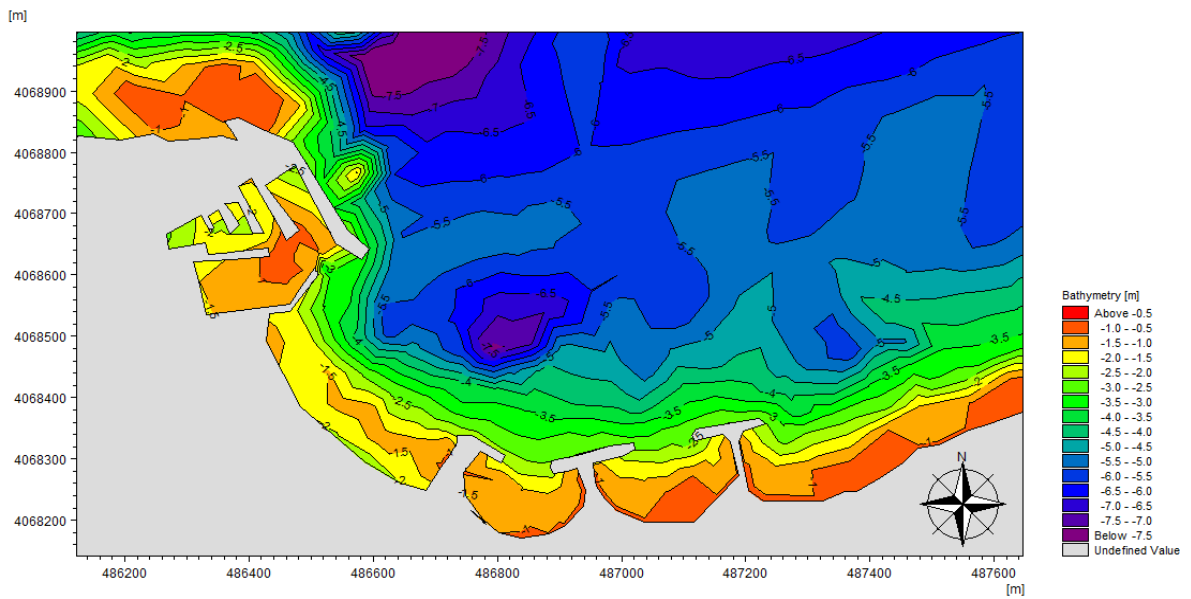


Figure 13 : Carte bathymétrique du port de sidi Fredj (2021)

4. Paramètre du modèle MIKE 21/3 Coupled Model FM (.mfm) :

Pour lancer la simulation, il y a un certain nombre de paramètres requis afin de calibrer le modèle à la zone d'étude :

- ✓ Le choix de l'extension : Coupled Model FM(.mfm)
- ✓ La charge du maillage et la définition des limites du domaine de travail
- ✓ Le réglage de la durée de la simulation : la date et l'heure
- ✓ La sélection des 3 modèles : HD, ST et SW
- ✓ Paramétrage de chaque modèle : données concernées (étape de temps, profondeur, vent, houle, table de sédiment, propriété des sédiments, conditions aux limites, le choix des fichiers de sortie).

4.1. Modèle HD :

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. 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, ceux-ci 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.

c. 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.

d. Force des Vents :

Les forces des vents sont introduites par une grille de donnée qui varie dans le temps et dans le domaine, les données utilisées sont celle de 01/01/2015 de la station météorologique du port d'Alger (Otmani Housseyn). Les données sont enregistrées quatre fois par jours (un pas de 6 heures) pendant 6 jours.

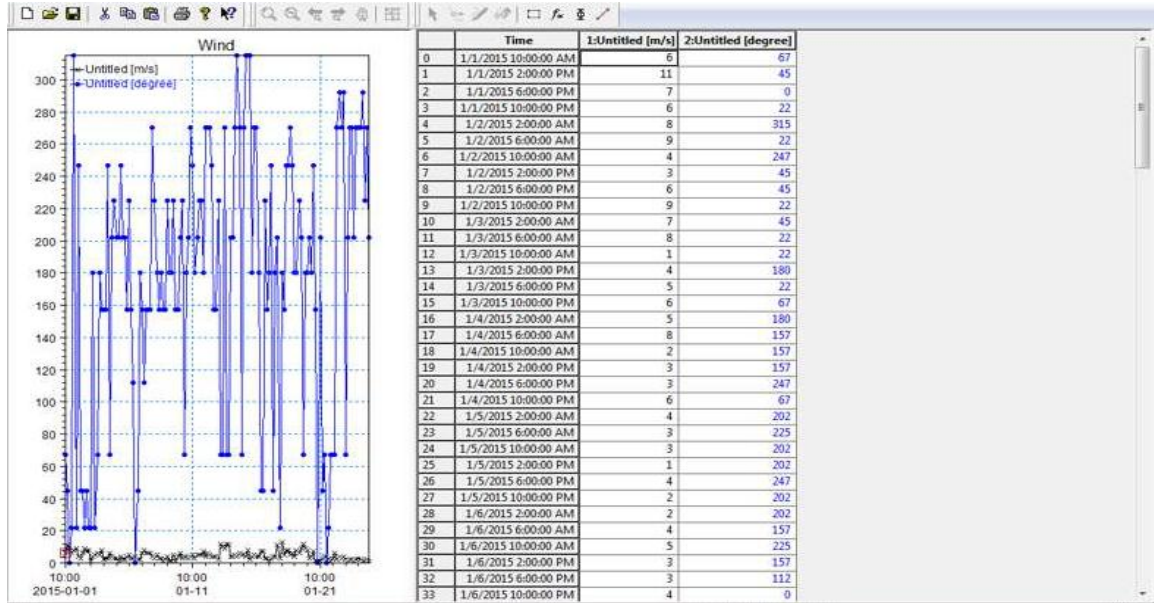


Figure 14 : Grille de données (vent, direction et intensité).

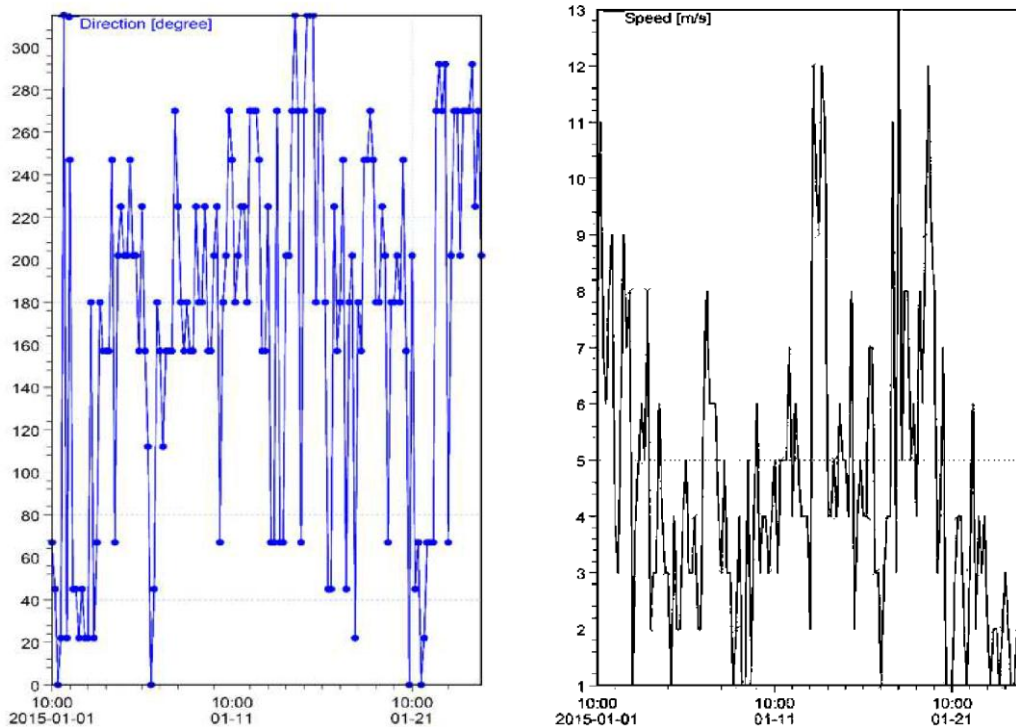


Figure 15 : Spectre des vents (DHI-Mike 21, Mokrane Mehdi, Razali Oussama, 2021).

e. les radiations des champs de houle :

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

f. 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).

4.2. Modèle ST :

Pour les trois zones d'étude, la modélisation du transport sédimentaire a été faite en utilisant le module MIKE 21/3Coupled Model FM, C'est un couplage entre les trois modèles (Le modèle hydrodynamique MIKE21-HD, le modèle de réfraction de vague MIKE21-SW et le modèle du transport de sable MIKE21-ST).

Deux méthodes de simulation dans MIKE Bijker et STP utilisent l'équation du transport des sédiments qui est calculée comme suit (DHI, 2014):

$$q_{tb} = q_b + q_s$$

Où :

- q_{tb} : le transport total des sédiments.
- q_b : le transport par charriage.
- q_s : le transport par suspension.

4.3. Modèle SW :

a. 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.

b. Les conditions de courant

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

c. Rupture des vagues

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

d. Conditions initiales des limites

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle anuelle, dans ce travail on a pris trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle, et direction) comme suite :

Hs = 4,93m; Tp = 11,01s; Direction = 045°N (1)

Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N (2)

Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N (3)

On souligne que ces données sont récentes et qui sont obtenues par la base de données Global Ocean Waves (GOW) validé par des données satellitaires et des bouées de houles.

Ces données proviennent d'une série d'enregistrement toutes les heures de 1979 jusqu'à 2014 et traités par le module Wavewatch III. **(IH Cantabria, 2015).**

✓ Lancer les simulations.

5. Résultats

5.1. Résultats du Modèle SW:

La figure 17 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 45° N (Nord-Est) avec une hauteur de 4.93 m au large et une seule période $T_p = 11.01$ s.

Le résultat de la simulation numérique montre que le champ de houle se propage de la direction Nord est avec une hauteur maximale de 4.93 m en diminuant progressivement du fait du fond jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.5 m à 0.75 m au pied de la côte.

La figure 18 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 360° N (Nord-est) avec une hauteur de 4,90 m au large dont la période est de 10.88s.

A partir de la figure on remarque que les houles commencent à perdre leurs énergies progressivement à partir de l'isobathe -10 m ou la hauteur de houle est de l'ordre de 4 m dans la partie Nord-est de la zone d'étude. En revanche dans la partie Nord-ouest la hauteur est de l'ordre de 4.4 m, elle diminue à fur et a mesuré jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.8 m à l'approche du rivage, ce qui nous laisse penser que pour cette direction de houle la configuration de la bathymétrie est la principale cause de la dissipation de l'énergie de la houle.

On remarque aussi que pour cette direction de houle, la zone de Sidi Fredj est exposée directement aux houles de façon perpendiculaire.

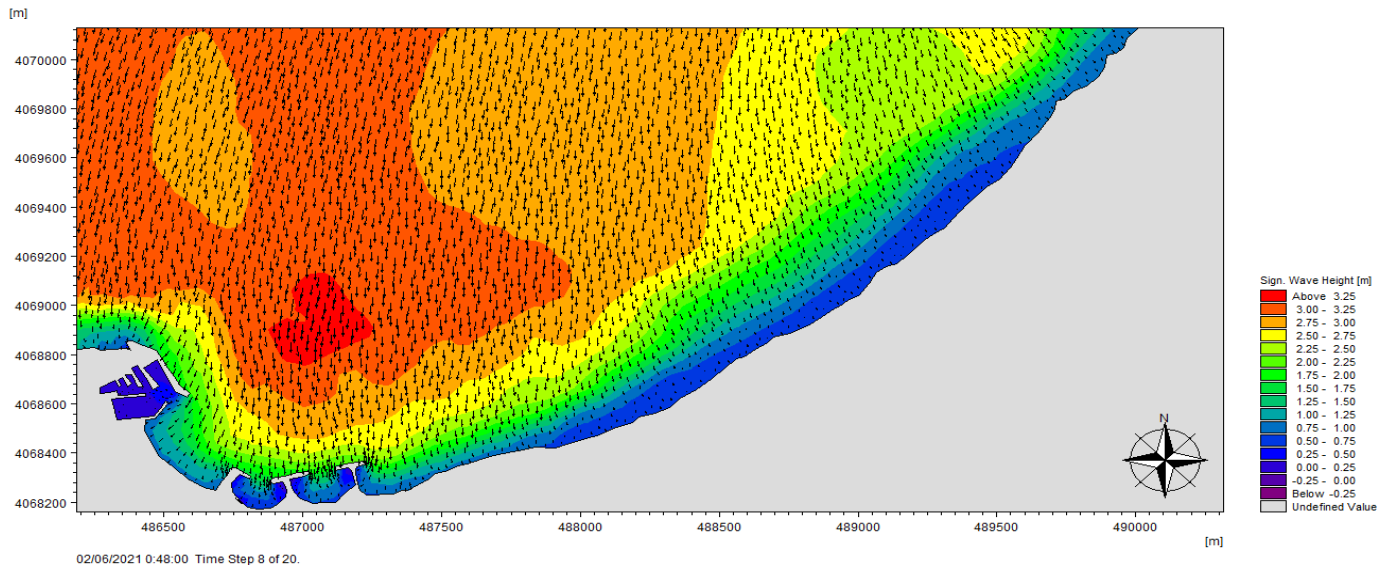


Figure 16:Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj($H_s = 4,93$ m; $T_p = 11,01$ s; Direction $=45^\circ$ N).

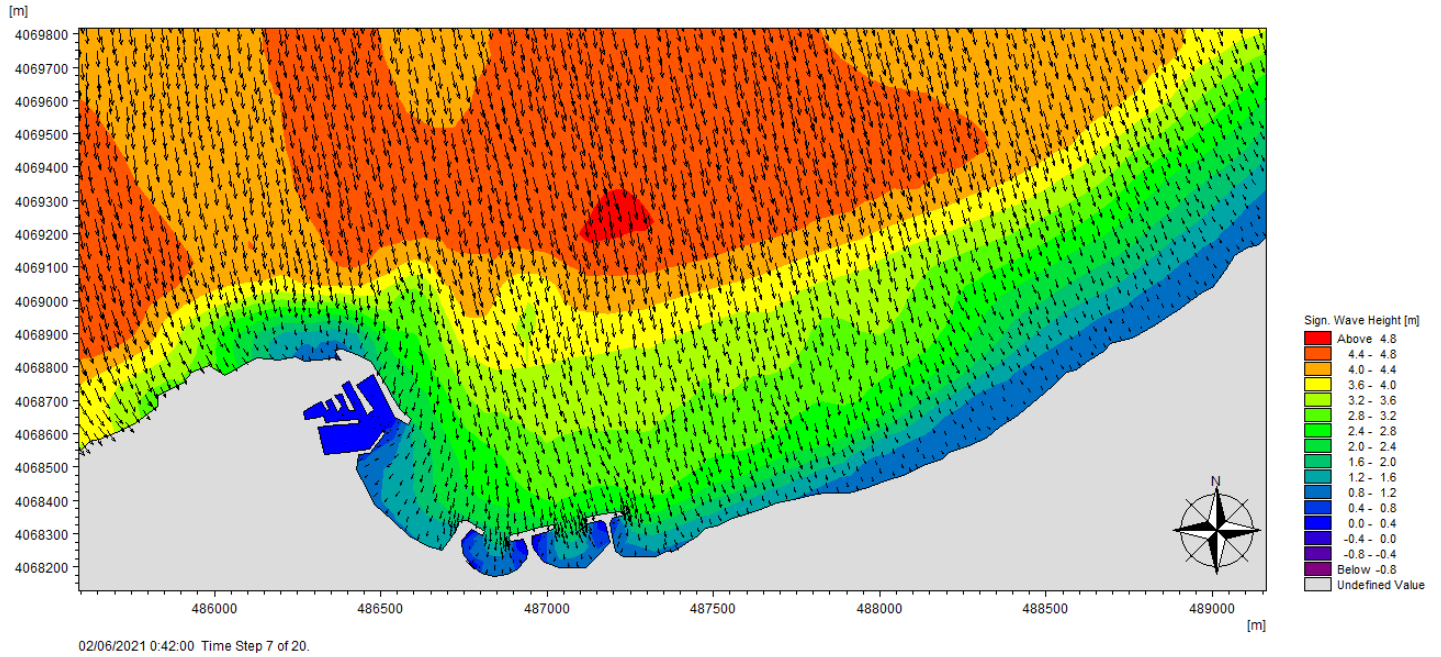


Figure 17 : Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj(Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N).

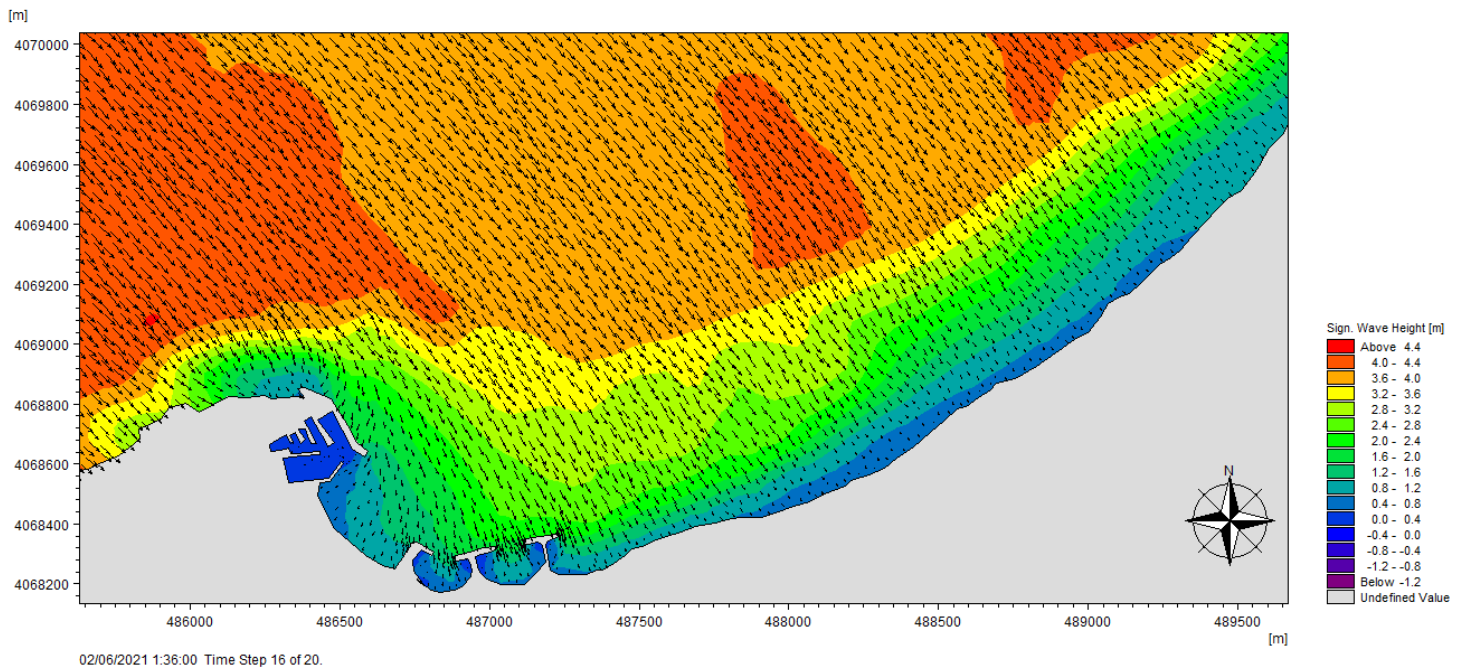


Figure 18 : Champs des houles dans la zone de Sidi Fredj(Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N).

La figure 19 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 315° N (Ouest) avec une hauteur de 4.16 m au large et une seule période $T_p = 10.00s$.

La simulation montre qu'à l'isobathe - 12 m, la hauteur de houle est de l'ordre de 2.8m.

On observe que du fait du fond la houle commence à perdre ses caractéristiques jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.4 m de hauteur près de la côte. La cause principale de cette réfraction est la nature du fond.

On remarque aussi qu'à proximité des ouvrages de protection et la jeté principal du port qui n'y a presque pas de houle cela est causé par ces ouvrages qui dispersent l'énergie de la houle et abrite la zone a proximité pour cette direction de houle.

5.2. Résultats du Modèle HD:

La figure 20 représente les champs de courant dans la zone de Sidi Fredj générés par des houles de secteur nord-est.

On remarque au niveau de la plage de Moretti des vitesses allant de 0.6 m/s à 1.4 m/s qui est due à la forte présence des houles qui peuvent causer une forte érosion suivant la direction Ouest-Est.

Suite à la présence des ouvrages de protection la vitesse du courant diminue à un intervalle de 0.5 m/s à 1.2 m/s et on remarque un changement de direction du fait de la dissipation d'énergie.

Des vitesses de courant réduites et de changement de direction sont aussi enregistrées au niveau de la passe d'entrée du port et c'est grâce à la jetée principale et le courant du sens opposé que ces directions ont réfracté. On peut dire que le port est abrité

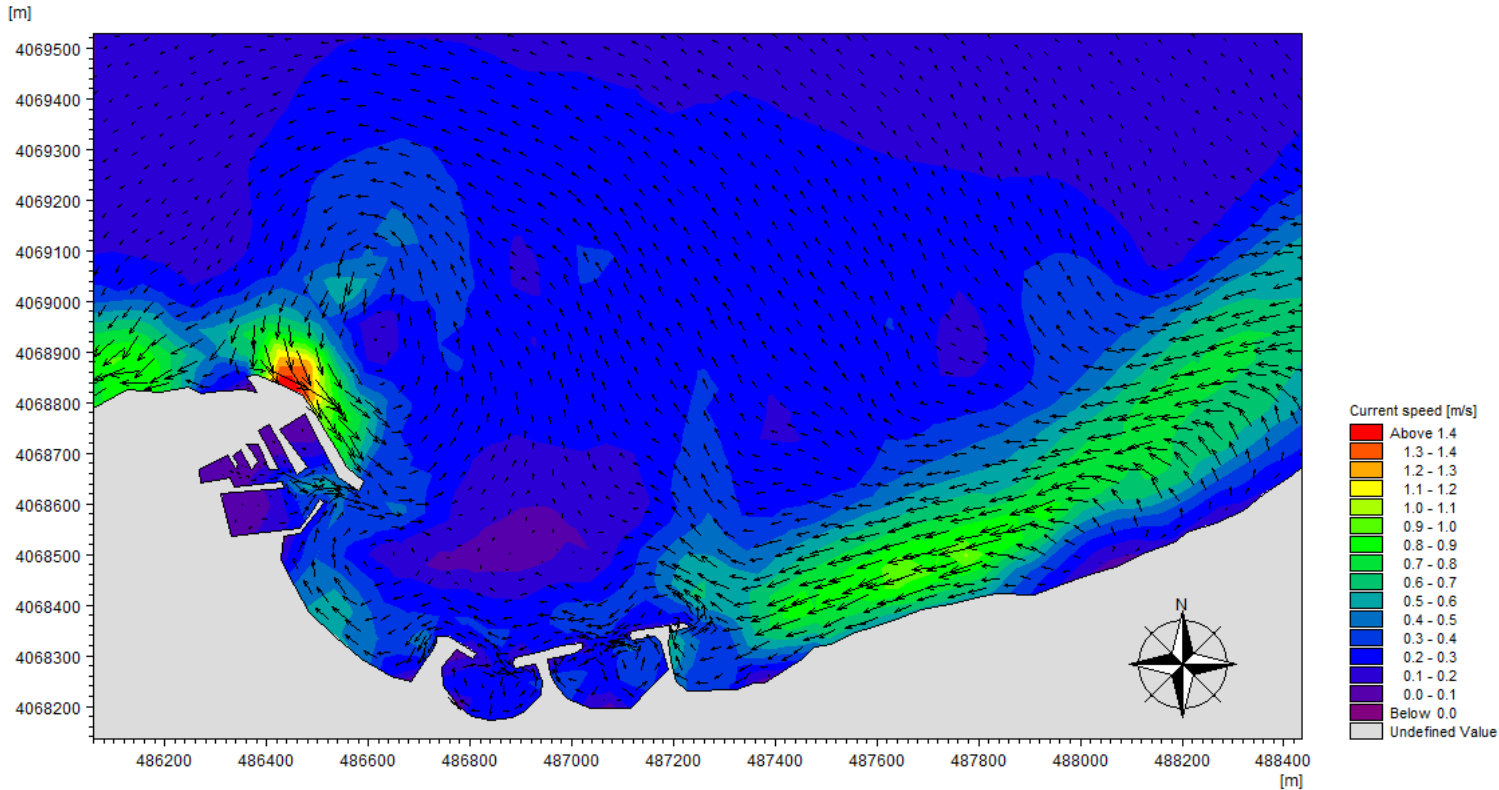


Figure 19 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj ($H_s = 4,93\text{m}$; $T_p = 11,01\text{s}$; Direction $=45^\circ\text{N}$).

La figure 21 représente les champs de courant dans la zone de Sidi Fredj générés par des houles de secteur nord.

On remarque au niveau de la plage de Moretti des vitesses allant de 0.6 m/s à 1.8 m/s qui est due à la forte présence des houles suivant la direction Ouest-Est.

On remarque à l'est des ouvrages de protection des vitesses allant des 0.3 m/s à 1.2 m/s qui est due à la forte présence des houles suivant la direction Est-Ouest.

On observe d'après cette carte que les courants sont évoluent avec une vitesse maximale 1.8m/s a Est et Ouest de la zone d'étude, deux courant parallèle au rivage de direction différente se rencontrent ce qui engendre un courant de retour.

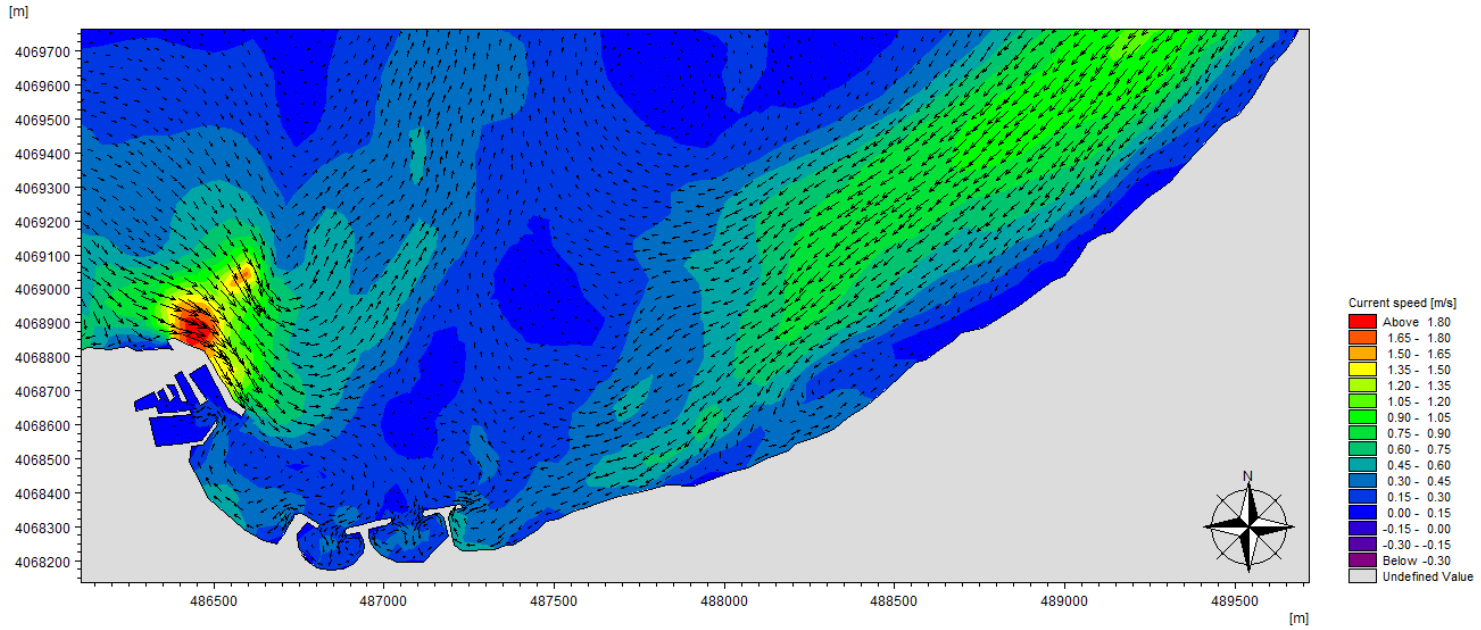
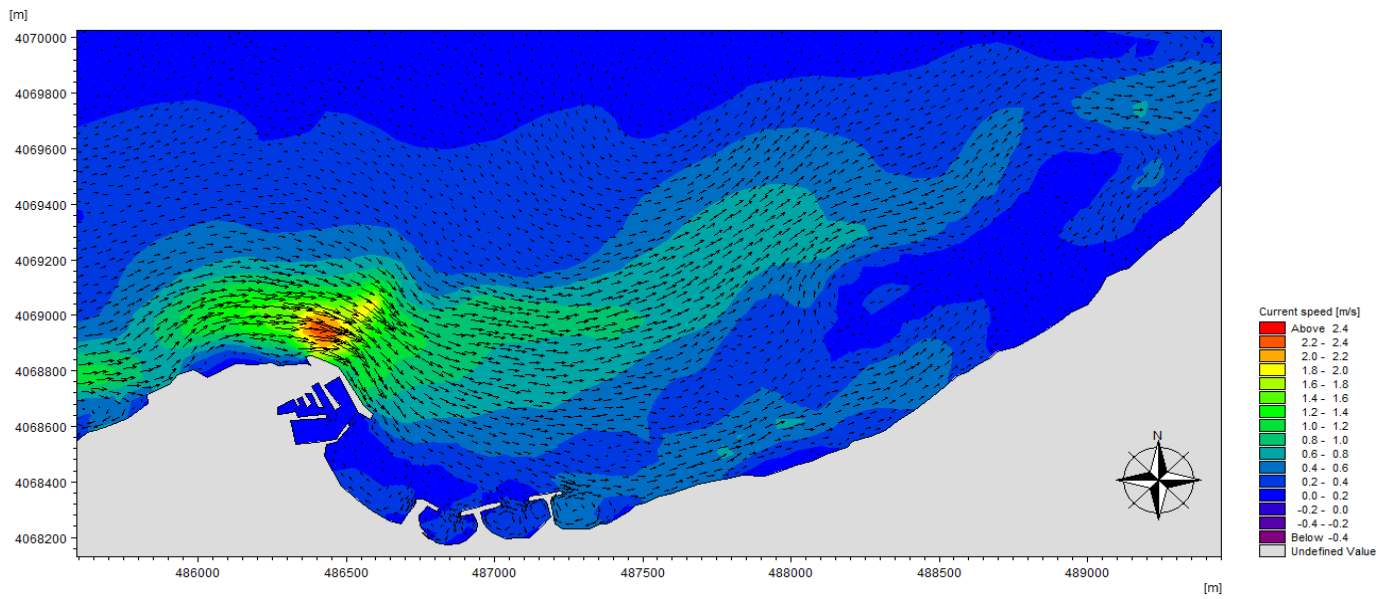


Figure 20 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N).



02/06/2021 1:36:00 Time Step 16 of 20.

Figure 21 : Champs des courants dans la zone de Sidi Fredj (Hs = 4,16m; Tp = 10,00s; Direction = 315°N).

La figure 22 représente les champs de courant dans la zone de Sidi Fredj générés par des houles de secteur nord-ouest.

On remarque au niveau de la plage de Moretti des vitesses allant de 0.6 m/s à 1 m/s qui est due à la forte présence des houles qui peuvent causer une forte érosion suivant la direction Ouest-Est.

Suite à la présence du port la vitesse du courant diminue à un intervalle de 0.5 m/s à 2 m/s et on remarque un changement de direction du fait de la dissipation d'énergie.

5.3. Résultats du Modèle ST:

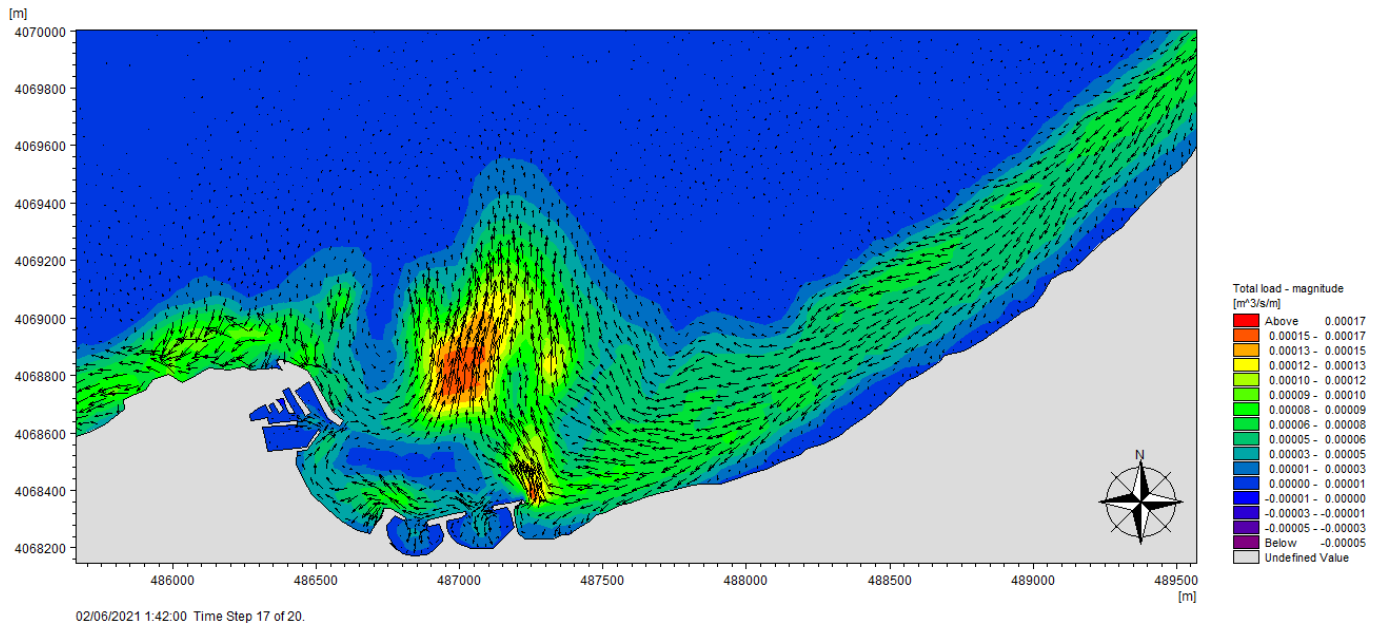


Figure 22 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj $H_s = 4,93\text{m}$; $T_p = 11,01\text{s}$; Direction $=45^\circ\text{N}$ (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021).

La carte 23 représente la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj par des houles de secteur nord-est.

Le transit sédimentaire dans la zone reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologique, on constate la présence de zone de couleur foncée à l'Est et le Nord des épis, au niveau de la plage de Moretti, traduisant des capacités de transport solide d'environ **3153.6 m³/an/m**, et quand on s'éloigne vers le large, cette capacité augmente graduellement suivant les vitesses des courants qui crée un

courant de retour jusqu'à atteint une capacité moyenne de l'ordre de **4730.4 m³/an/m** au niveau de la zone au-dessus des ouvrages de protection.

On voit aussi que le débit du transport sédimentaire diminue vers le large puisque la profondeur augmente et les courants n'ont pas un impact sur le sédiment de ces profondeurs.

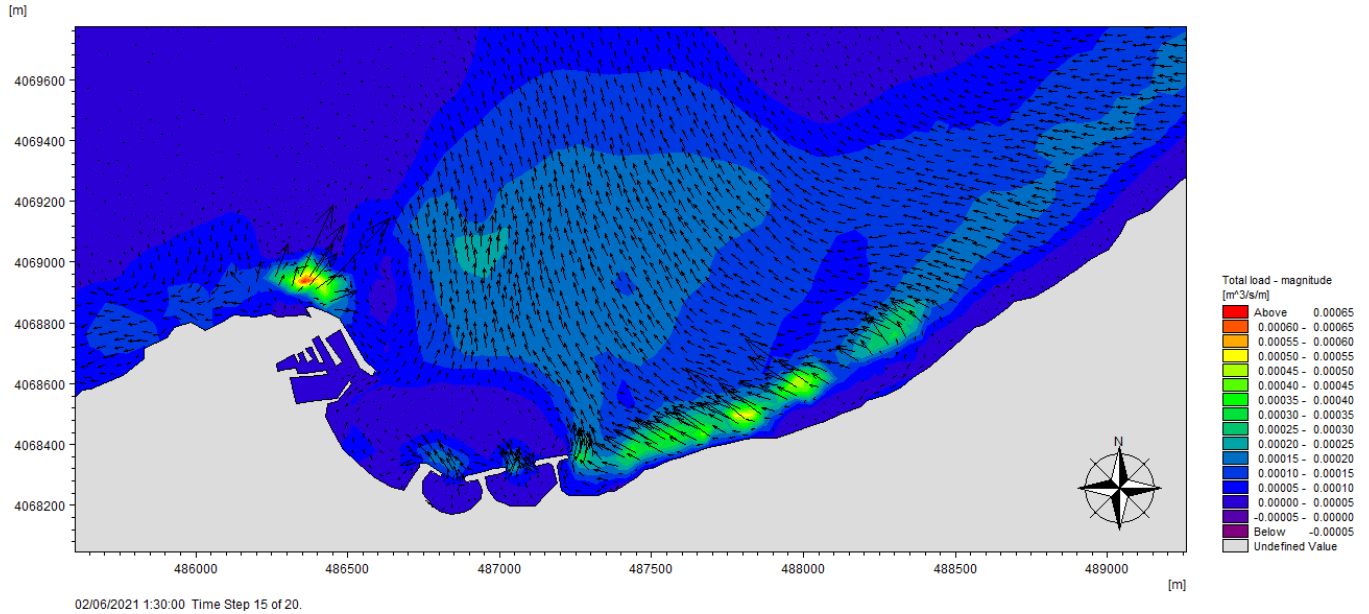
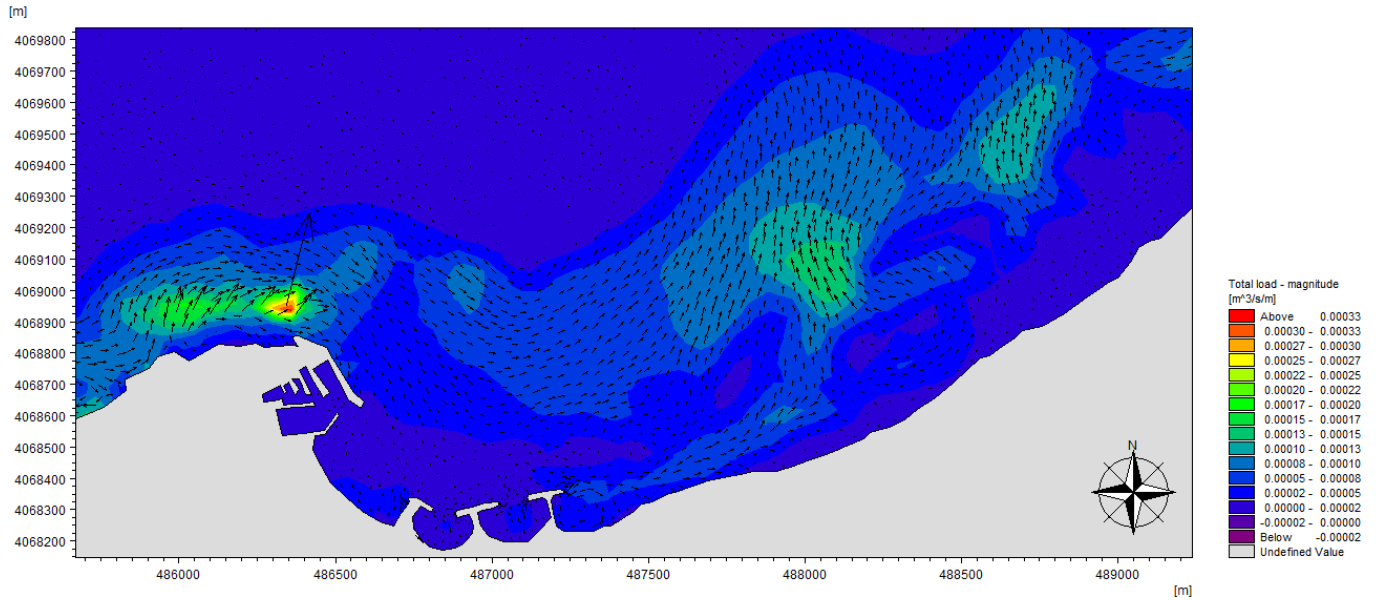


Figure 23 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj Hs = 4,90m; Tp = 10,88s; Direction = 360°N (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021).

La carte 24 représente la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj par des houles de secteur nord.

Le transit sédimentaire dans la zone reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologique, on constate la présence de zone de couleur foncée à l'Est des épis, traduisant des capacités de transport solide d'environ **12614.4 m³/an/m**, et quand on s'éloigne vers le large, cette capacité diminue graduellement suivant les vitesses des courants qui crée un courant de retour jusqu'il atteint le large, puisque la profondeur augmente et les courants n'ont pas un impact sur le sédiment de ces profondeurs.



02/06/2021 1:42:00 Time Step 17 of 20.

Figure 24 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj $H_s = 4,16m$; $T_p = 10,00s$; Direction = $315^\circ N$ (DHI Mike 21- Mokrane, Razali 2021)

La carte 25 de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj illustre le mouvement des sédiments dans cette zone par des houles de secteur nord-ouest.

On voit que le transport sédimentaire suit la direction des courants représentées dans le résultat précédent, il y a un fort débit de transport en parallèle à la jetée principale qui dépasse parfois les **9460.8 m³/s/m**. On a aussi un transport sédimentaire important dans la partie des trois épis vers la plage Est de Sidi Fredj ce qui explique l'accrétion produite dans la majeure partie de la plage.

On voit aussi que le débit du transport sédimentaire diminue vers le large puisque la profondeur augmente et les courants n'ont pas un impact sur le sédiment de ces profondeurs.

6. Conclusion

Les résultats de la modélisation des houles, des champs de courants et des transports sédimentaires de la zone d'étude réalisée à l'aide des modules de calcul du Mike 21, nous ont permis d'analyser le comportement de ces phénomènes sur le littoral et leur propagation dans tous les processus.

On constate que les houles les plus virulentes dans le site, sont les houles de direction Nord-Ouest 315°N car la direction des houles est perpendiculaire à la côte, abordant la zone de façon frontale, à l'opposé des houles Nord-Est (45°N) et Nord (360°N) qui abordent de façon oblique.

Chapitre 3 :

Evolution

spatiotemporelle du

trait de côte

1. Introduction :

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion et que le changement environnemental est la conséquence de l'occupation humaine des littoraux. Il faut noter que le contexte dynamique intervient dans la position du trait de côte. La détermination de la tendance de fond est difficile parce que la largeur de la plage varie selon l'échelle de temps, instantanée, quotidienne, saisonnière, décennale ou géologique, selon les marées, l'énergie de vagues, l'élévation du niveau de la mer et des facteurs humains. La surface des mers et des océans se modifie toujours en raison des mouvements des marées, des vagues, des courants, des variations de la température et de pression et de la salinité des eaux superficielles (CHAABAN, 2011). L'évolution du trait de côte dans l'ensemble de la côte de Sidi Fredj, en présence des interventions anthropiques, est examinée à plusieurs échéances dans le cadre de cette étude.

L'érosion côtière constitue une préoccupation croissante dans le monde entier. Elle est causée par des forces naturelles, telles que, les courants, les vagues, les tempêtes et les vents ainsi que les actions anthropiques. C'est un problème mondial ayant des implications économiques concernant le tourisme côtier et le développement durable. Les changements du trait de côte peuvent être utilisés comme un bon indicateur de présence de l'érosion côtière. En outre, les photographies aériennes verticales, les images satellitaires et les cartes fournissent une information convenable pour la cartographie et la classification environnementale, l'examen des effets tempête, les caractéristiques des vagues, l'occupation du sol, etc. Des cartes de vulnérabilité ont été obtenues pour plusieurs secteurs côtiers dans le monde par l'utilisation des (SIG), de l'analyse multivariée assistée par ordinateur et des modèles numériques. (CHAABAN, 2011).

L'objectif principal de ce chapitre est résumé en 3 points essentiels qui sont :

- Un suivi spatio-temporel de l'évolution du trait de côte de la grande baie El Djamila selon la méthode d'analyse diachronique entre 1956 et 2021.
- Calcul du bilan surfacique de la zone d'étude et voir le rythme d'évolution (érosion ou d'accrétion).
- L'établissement d'un scénario tendanciel prévisionnel à l'horizon 2050

2. Matériel et Méthode :

2.1. Les logiciels utilisés pour étudier l'évolution du littoral

Google Earth Pro :

Google Earth Pro est un logiciel ouvert qui, bien qu'il ne soit pas un "vrai" SIG, permet la visualisation, l'évaluation, la superposition et la création de données géospatiales. Cette ressource conviviale est souvent un intermédiaire utile pour les apprenants qui souhaitent en savoir plus sur les SIG et qui veulent commencer avec des processus et des outils de base. Google Earth Pro peut également être utilisé pour visualiser des images satellite à très haute résolution, télécharger des données géospatiales dans son format de fichier natif interopérable (KML), et aussi pour la localisation (par exemple pour un simple géocodage).

Google Earth Engine donne accès à des images satellites à haute résolution, à des jeux de données géospatiales et à des capacités d'analyse à l'échelle planétaire pour permettre aux scientifiques, aux chercheurs et aux développeurs de détecter les changements, de cartographier les tendances et de quantifier les différences observées à la surface de la Terre.

ArcGis10.4:

ArcMap est l'application où vous affichez et explorez les jeux de données SIG pour votre zone d'étude, où vous attribuez des symboles et où vous créez des mises en page de carte en vue de l'impression ou de la publication. ArcMap est aussi l'application que vous utilisez pour créer et modifier des jeux de données.

ArcMap représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres éléments dans une carte. Les éléments cartographiques communs d'une carte incluent le bloc de données contenant les couches de carte pour une étendue donnée, une barre d'échelle, une flèche nord, un titre, un texte descriptif, une légende des symboles, pour ne citer que quelques exemples.

L'extension DSAS :

The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0 est une extension gratuite au bureau Esri ArcGIS 10.4 qui permet à un utilisateur de calculer des statistiques de taux de variation du trait de côte à partir de plusieurs positions historiques du littoral. Il fournit une méthode automatisée pour établir des emplacements de mesure, effectue des calculs de taux, fournit les données statistiques nécessaires pour évaluer la robustesse des taux et comprend un modèle bêta de prévision du littoral avec la possibilité de générer des mesures de rivage sur 10 à 20 ans.

Une interface facile à utiliser par l'utilisateur à travers les principales étapes de l'analyse des changements de rivage. Un guide d'utilisation détaillé et des vidéos dédiées pour le modèle sont disponibles et des instructions détaillées sur le flux de travail DSAS, notamment.

Barre d'outils de DSAS :

1: Définir / Modifier les paramètres : spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.

2: transects Cast : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.

3: Le menu déroulant : répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.

4: Calculer les statistiques : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.

5: Clip transects à SCE : lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.

6: Lance la fonction d'aide DSAS.

7: A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.



2.2.Acquisition des données :

Tableau 4 : Les données utilisées dans la digitalisation des traits de cote

Trait de cote	Moyen d'acquisition	Résolution
1956	Photographies aériennes	20 m
1980	Photographies aériennes	20 m
1999	Google Timelapse	15 m
2003	Google Timelapse	10 m
2010	Google Earth Pro	2 m
2021	Google Earth Pro	2 m

2.3.Méthodologie :

Une fois toutes les données sont prêtes, il convient de les traiter à l'aide d'outils spécifiques afin de cartographier le trait de côte, et d'effectuer des études diachroniques visant à calculer les taux d'évolution du trait de côte.

Dans notre cas, on a effectué un traitement, basant essentiellement sur l'utilisation des logiciels Arc gis et l'extension DSAS a fin de digitaliser les traits de côte et de tracer les transects.

- La digitalisation des traits de côte par le logiciel Arc GIS Desktop 10.4 afin de la réalisation des cartes.
- Le calcul statistique des vitesses d'érosion (EPR), la méthode de la Mouvement de rivage net (NSM) et les distances entre la ligne de rivage la plus ancienne 1956 et celle qui est la plus récente 2021, (1956-1980; 1980-1999; 1999-2003; 2003-2010; 2010-2021 et 1959- 2021) à partir des différents traits de côte par DSAS v5.
- Afin de lancer l'outil DSAS, le référentiel choisi est le système WGS UTM Nord 31, puis on a créé une ligne de base qui est entièrement parallèle au changement moyenne des différents traits de côte.
- Génération des transects perpendiculaires à la ligne de base avec une longueur de 500 m et un espacement de 20 m.

- **La méthode de la Mouvement de rivage net (Net Shoreline Movement-NSM) :**

Le mouvement du littoral net indique une distance et non un taux. Le NSM est associé aux dates de deux rivages seulement. Il indique la distance entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque transects. Cela représente la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes. Si cette distance est divisée par le nombre d'années écoulées entre les deux positions littorales, le résultat est le taux final indiqué dans la section suivante.

- **La méthode des points extrêmes (End Point Rate - EPR) :**

Le taux du point final est calculé en divisant la distance du mouvement de trait de côte par le temps écoulé entre le littoral le plus ancien et le plus récent. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et l'exigence minimale de seulement deux dates riveraines. L'inconvénient majeur est que dans les cas où plus de données sont disponibles, les informations supplémentaires sont ignorées.

- **Interprétation des résultats :**

L'analyse des données a permis de définir la cinématique du trait de côte de l'ensemble de la Baie El Djamila avec une marge d'erreur estimée par +/- 6 m liée principalement à la résolution des images satellitaires utilisé dans ce traitement et aussi le traitement lui-même.

3. Résultats

Pour bien comprendre la dynamique de ces différents rivages selon l'échelle spatio temporelle, on a projeté les résultats statistiques des indicateurs EPR, NSM, afin d'élaborer des cartes d'évolution représentatives de cette tendance selon les périodes suivantes :

➤ **Evolution du rivage entre 1956 et 1980 :**

Le tableau 5 nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côté sur chaque transect entre 1956 et 1980 dans la baie El Djamila.

La couleur verte des transects indique une accrétion faible de 0 à 0.5 m avec un ERP max très rare de 4.5m/an et un NSM max de 48 m. Par contre la couleur des transects qui indiquent la régression est le rouge des grandeurs d'environ 0 à 1 m pour les fortes érosions avec un ERP max de 1.45m/an et un NSM max de 30m.

Le rivage du secteur Est (transect 1 à 41) marque un important recul avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre -1 m/an et -0.01 m/an avec un maximum de recul enregistré au niveau du transect 12 de l'ordre de -0.96 m/an. Cependant la région après Oued Beni Messous (du transect 42 à 51) enregistre une avancée remarquable de son trait de côte avec des taux d'EPR respectivement 0.06 m/an et 1.77 m/an soit des distances de 1.38 m et 37.35m. L'érosion de ce secteur peut être expliquée par le climat des houles que subit la région.

Le rivage du secteur centre (du transect 52 à 143) enregistre une érosion modérée avec des valeurs d'EPR entre 0 m/an et -1.2 m/an soit des distances 4.26 m et -20.5 m. cette recul du trait de côte est peut-être expliquée par l'agression de l'énergie de la houle suit à la configuration morphologique de la baie.

Le secteur Ouest (du transects 144 à 154) a connu une accrétion modérée de l'ordre 19.5 m soit un taux d'EPR moyen de 0.92 m/an. Cela est expliqué par la morphologie naturelle du secteur et le port qui va bloquer le transit littoral en favorisant l'accumulation du sédiment.

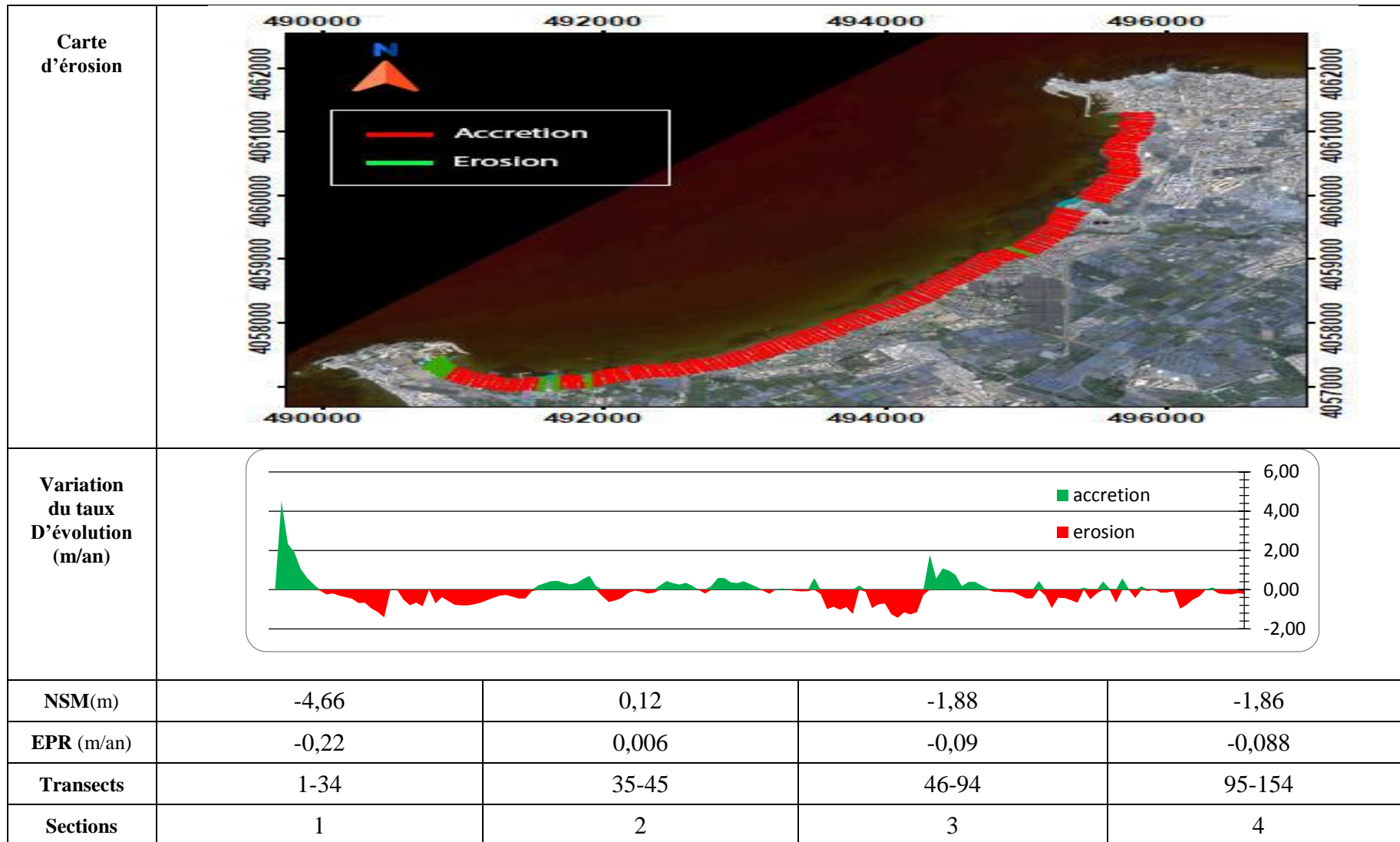


Tableau 5 Evolution du trait de côte entre 1956 et 1980 de la baie El Djamilia

➤ **Evolution du rivage entre 1980 et 1999 :**

Le tableau 6 nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côté sur chaque transect entre 1980 et 1999 dans la baie El Djamila.

La couleur verte des transects indique une accrétion très forte de 0 à 1.9 m avec un ERP max de 1.95m/an et un NSM max de 37 m. Par contre le couleur de transects qui indiquent la régression est le rouge des grandeurs d'environ 0 à 1.25 m pour les fortes érosions avec un ERP max de 1.45m/an et un NSM max de 23.7m.

Le rivage du secteur Est (transect 1 à 78) marque une progression remarquable avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre 0 m/an et 1.5 m/an avec un maximum d'accumulation enregistré au niveau du transect 26 de l'ordre de 1.94 m/an.

L'accrétion de ce secteur peut être expliquée au dépôt de l'oued de Beni Messous et le transfert sédimentaire du secteur centre vers ce secteur qui se fait dispersée sur tout le secteur à cause des phénomènes hydrodynamiques.

Le rivage du secteur centre (du transect 79 à 129) enregistre une érosion remarquable avec des valeurs d'EPR entre 0.25 m/an et -1.25 m/an soit des distances 4.63 m et -23.68 m. cette recul du trait de côte est peut-être expliquée par l'agression de l'énergie de la houle suite à la configuration morphologique de la baie.

Le secteur Ouest (du transects 130 à 148) a connu une accrétion modérée de l'ordre 17.77m soit un taux d'EPR de 0 m/an à 1.93 m/an. Cela est expliqué par la morphologie naturelle et artificielle (les brises lame construit en 1988) du secteur qui va bloquer le transport sédimentaire littoral en favorisant l'accumulation du sédiment.

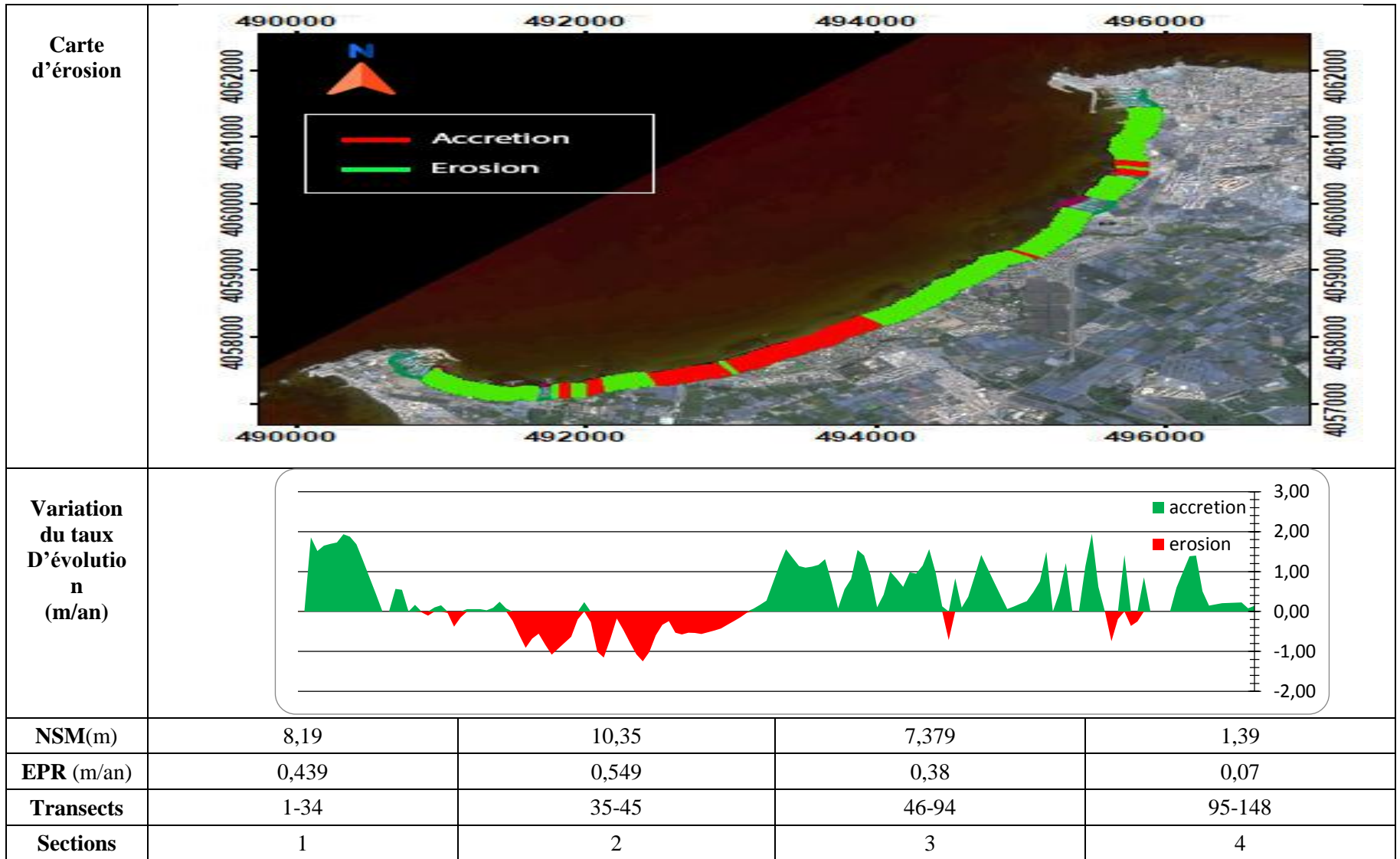


Tableau 6 Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la baie El Djamilia

➤ **Evolution du rivage entre 1999 et 2003 :**

Le tableau 7 nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côté sur chaque transect entre 1999 et 2003 dans la baie El Djamila.

La couleur verte des transects indique une accrétion moyenne très faible de 2.6 m/an avec un ERP max de 8.91m/an et un NSM max de 35 m. Par contre le couleur de transects qui indiquent la régression est le rouge des grandeurs moyennes d'environ -5 m/an pour les fortes érosions avec un ERP max de 14.38m/an et un NSM max de -57.55m.

Toutes les secteurs soubise une forte érosion à cause des forçages hydrodynamique frontales que subit notre zone d'étude avec des houles ont une amplitude de l'ordre de 4.93 m leur rendre très vulnérable ce qui traduit par une érosion importante sur la majorité des plages de la baie avec un taux maximal de recul, il y a une accumulation notable dans quelque partie de la baie particulièrement dans e port de Madrague, l'oued de Beni Messous et entre les brise-lames et le port de Sidi Fredj.

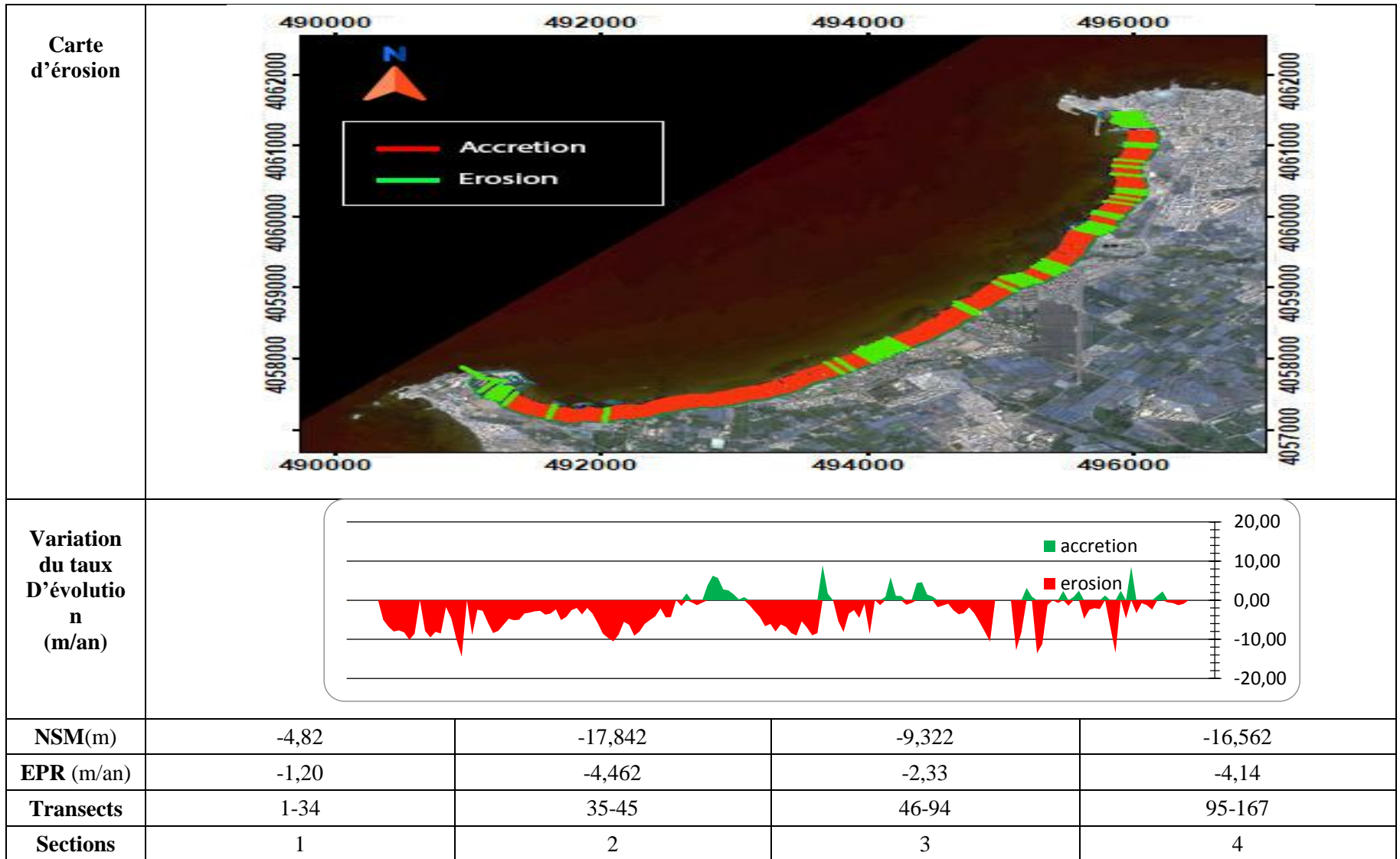


Tableau 7 Evolution du trait de côte entre 1999 et 2003 de la baie El Djamilia

➤ **Evolution du rivage entre 2003 et 2010 :**

La figure 3 nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côté sur chaque transect entre 2003 et 2010 dans la baie El Djamilia.

La couleur verte des transects indique une accrétion très forte entre 0 m/an à 7 m/an avec un NSM max de 49.1 m. Par contre le couleur de transects qui indiquent la régression est le rouge des grandeurs d'environ de 0 m/an à -4 m/an avec NSM max de -28.36m.

Toutes les secteurs soubise une grande accrétion du trait de côte d'un EPR moyen de 2.46 m/an et un NSM moyen de 17.26 m, cette accumulation est le résultat des constructions des ouvrages de protection dans le baie.

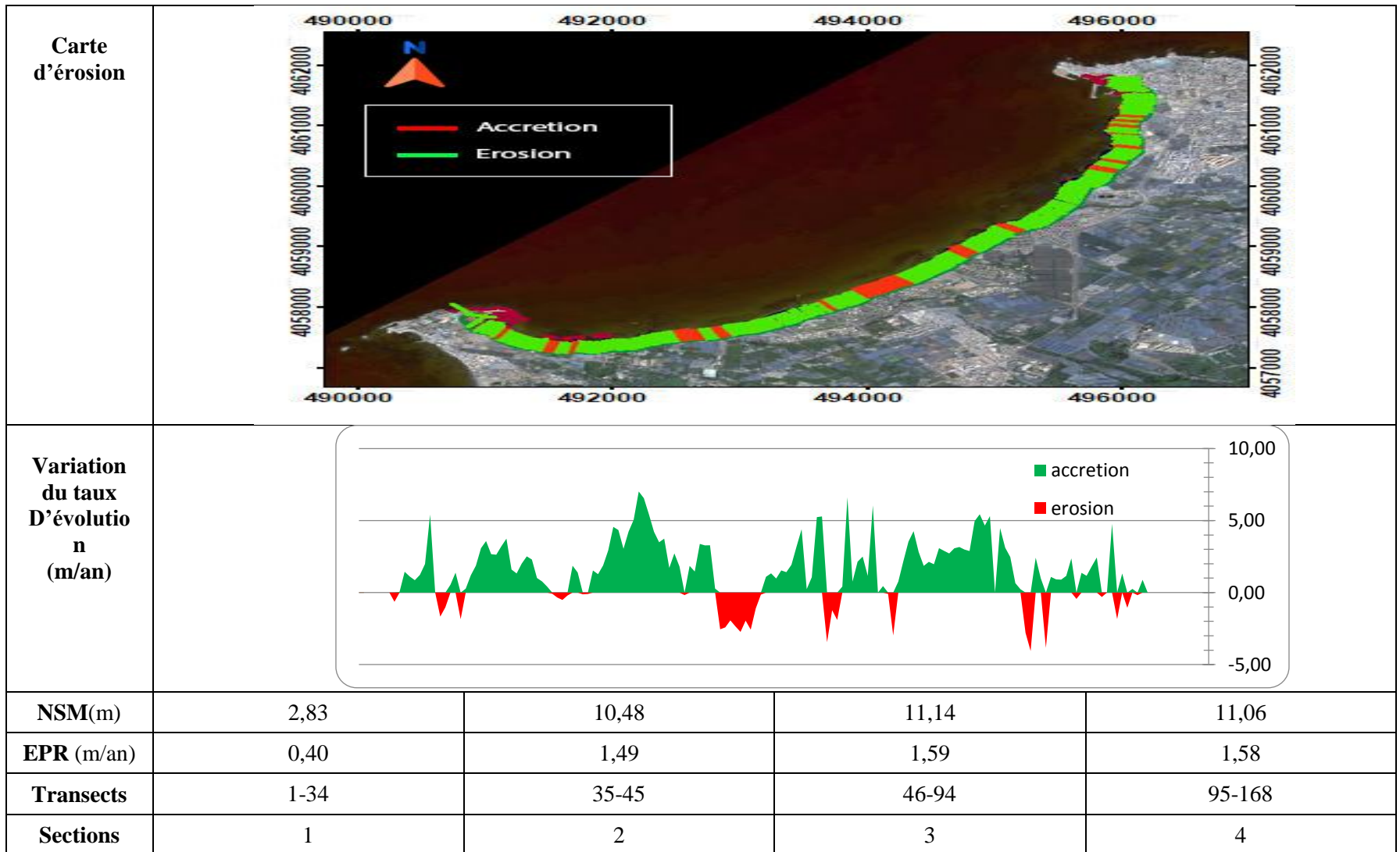


Tableau 8 Evolution du trait de côte entre 2003 et 2010 de la baie El Djamilia

➤ **Evolution du rivage entre 2010 et 2021 :**

La figure 5 nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côté sur chaque transect entre 2010 et 2021 dans la baie El Djamila.

La couleur verte des transects indique une accrétion de 0 à 2.19 m avec un NSM max de 24.12 m. Par contre le couleur de transects qui indiquent la régression est le rouge des grandeurs moyenne d'environ 0 à -1 m pour les fortes érosions avec un ERP max de 3.75m/an et un NSM max de -41.24m.

Le rivage du secteur Est (transect 1 à 36) marque une variation d'accrétion et érosion sur le long du secteur, avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre 0.6 m/an et 1 m/an avec un maximum et un minimum d'accumulation et d'érosion enregistré au niveau du transect 23 et 33 de l'ordre de 11 m et -6.2 m respectivement, l'accrétion de ce secteur peut être expliquée au dépôt de l'oued de Beni Messous.

Le rivage du secteur centre (du transect 37 à 59) enregistre une érosion remarquable avec des valeurs d'EPR varie entre -0.12 m/an et 3 m/an avec un maximum de recul enregistré au niveau du transect 50 de l'ordre de -3.32 m/an avec un NSM de -36.5 m. cette recul du trait de côte est peut-être expliquée non seulement par l'absence des infrastructures au niveau de ce secteur, mais aussi par l'agression de l'énergie de la houle sur la baie.

Le secteur Ouest (du transects 60 à 89) a connu une accrétion modérée de l'ordre 24.12 m soit un taux d'EPR de 0 m/an à 2.2 m/an. Cela est expliqué par l'érosion des secteurs adjacents et le chargement de cette zone par les phénomènes hydrodynamiques.

Le secteur Ouest (du transects 90 à 164) subit une érosion considérable du taux de 0.8m/an à 3.74m/an avec un max NSM de 41.24 m. Cette érosion est due aux facteurs anthropiques et hydrodynamiques.

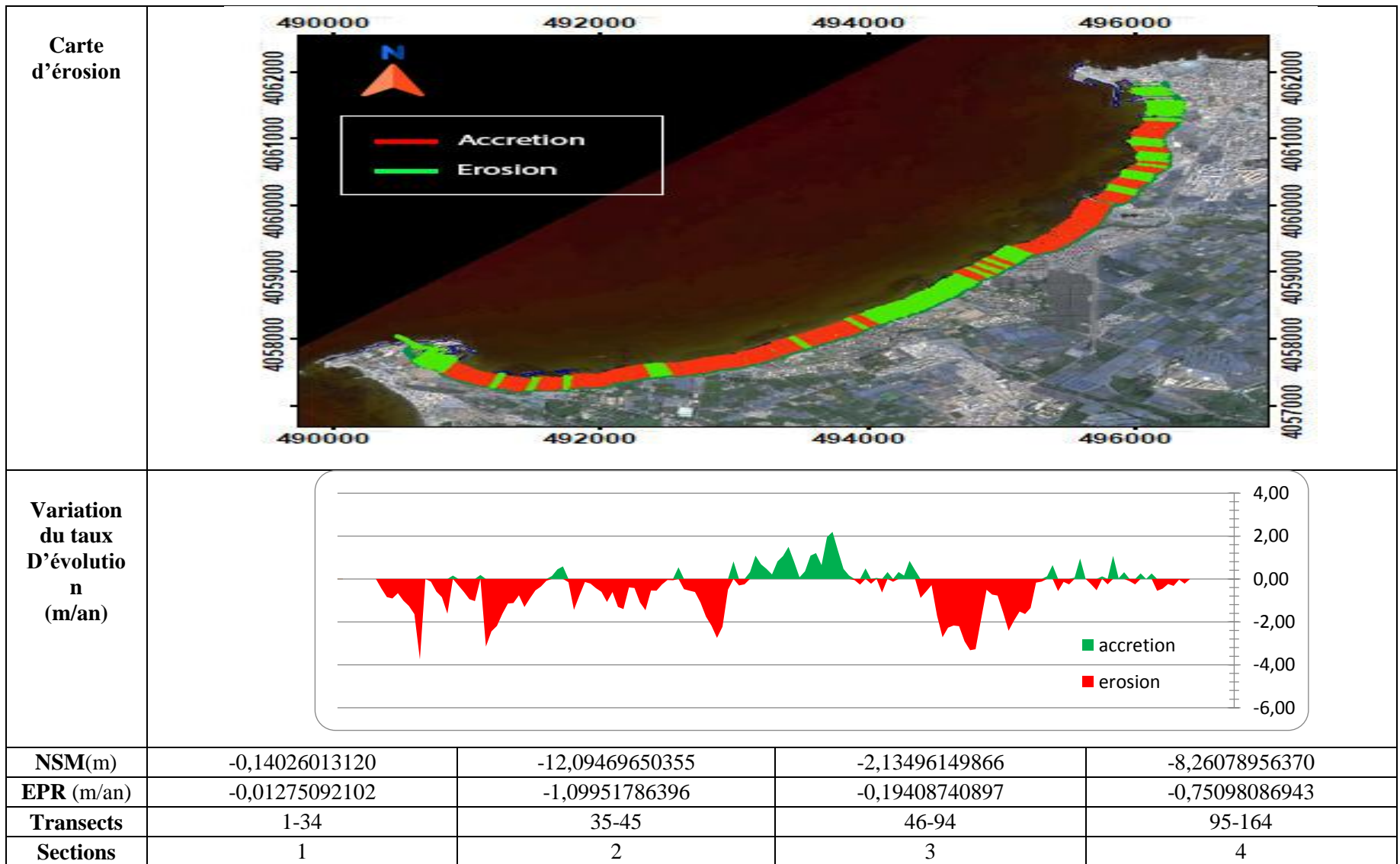


Tableau 9 Evolution du trait de côte entre 2010 et 2021 de la baie El Djamilia

➤ **Evolution du rivage entre 1956 et 2021 :**

Les changements de la ligne de rivage de la baie El Djamila sur une période de 65 ans (1956-2020) sont étudiés à partir des résultats des deux paramètres : Net shoreline movement (NSM) et End point rate (EPR).

Ces résultats montrent une position du rivage qui varie entre phase de recul et d'autre en progradation selon les secteurs, les secteurs stables sont observés majoritairement au voisinage des ports (port de Sidi Fredj et port de Madrague), et dans le secteur de l'oued de Beni Massous. Le recul le plus marqué durant cette période est enregistré dans la partie Ouest de la baie qui atteint -1.25 m/an soit une distance de -77.6 m au niveau du transect 42.

Dans la partie Est de la baie, le recul du rivage a atteint -1.20 m/an alors que les secteurs en accrétion marquent des taux nets d'évolution d'ordre de 2 m/an au niveau du transect 13.

L'avancée la plus marquée du rivage est observée sur la partie Est de la baie notamment la plage de Sidi Fredj, le taux d'accrétion a atteint 2 m/an.

La tendance générale de l'ensemble du littoral de la baie, révèle que durant les 65 ans (1956 à 2020), 52% du rivage a connu une érosion soit 4 km de linière côtier, contre 48% en engraissement équivalent à une distance 3.9.

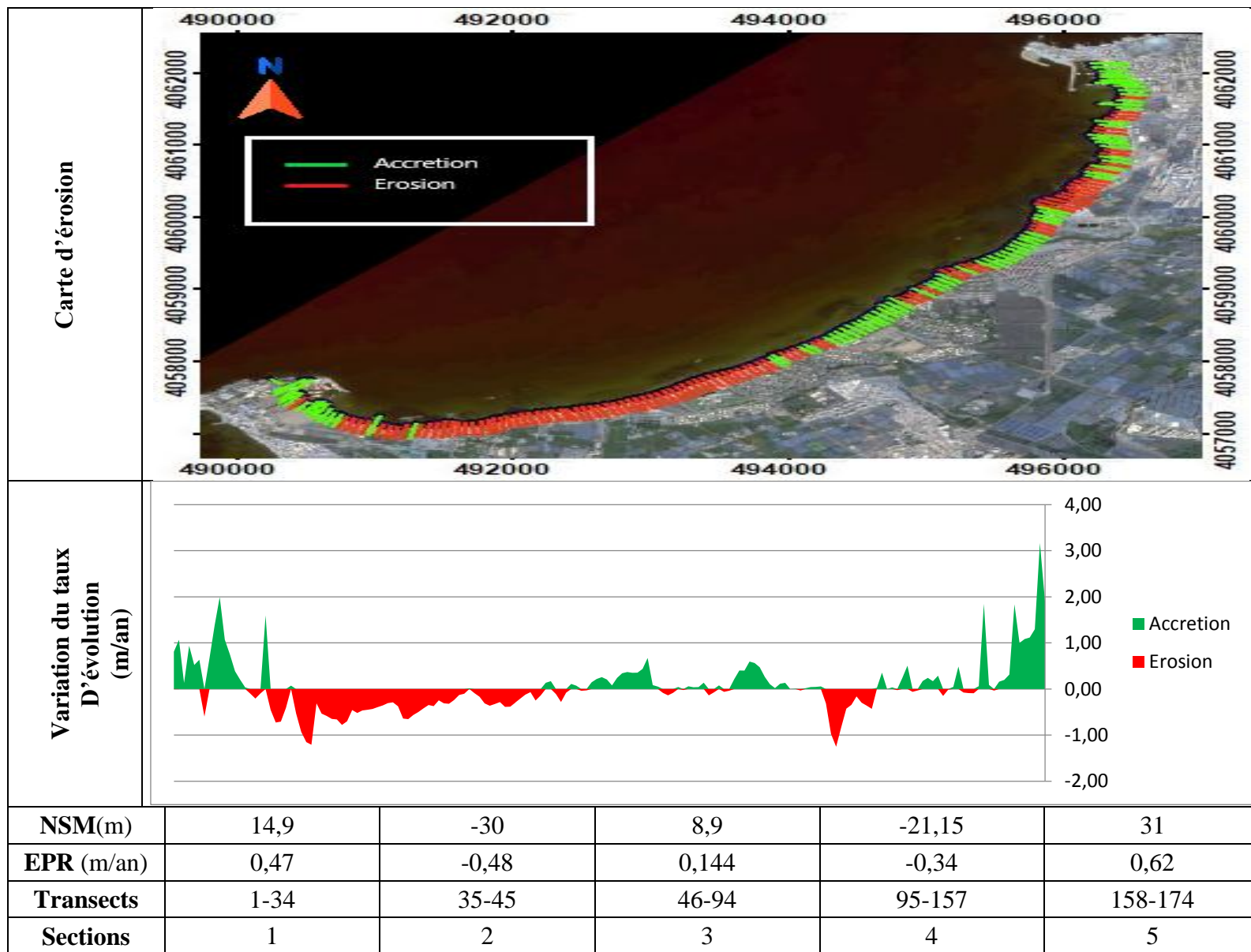


Tableau 10 Evolution du trait de côte entre 1956 et 2021 de la baie El Djamilia

4. Analyse du bilan sédimentaire :

Pour évaluer les pertes et les gains en sédiments dans la zone d'étude, les évolutions du trait de côte ont été exprimés en termes de surfaces. Les résultats montrent une variabilité spatio-temporelle le long du littoral de la baie El Djamila.

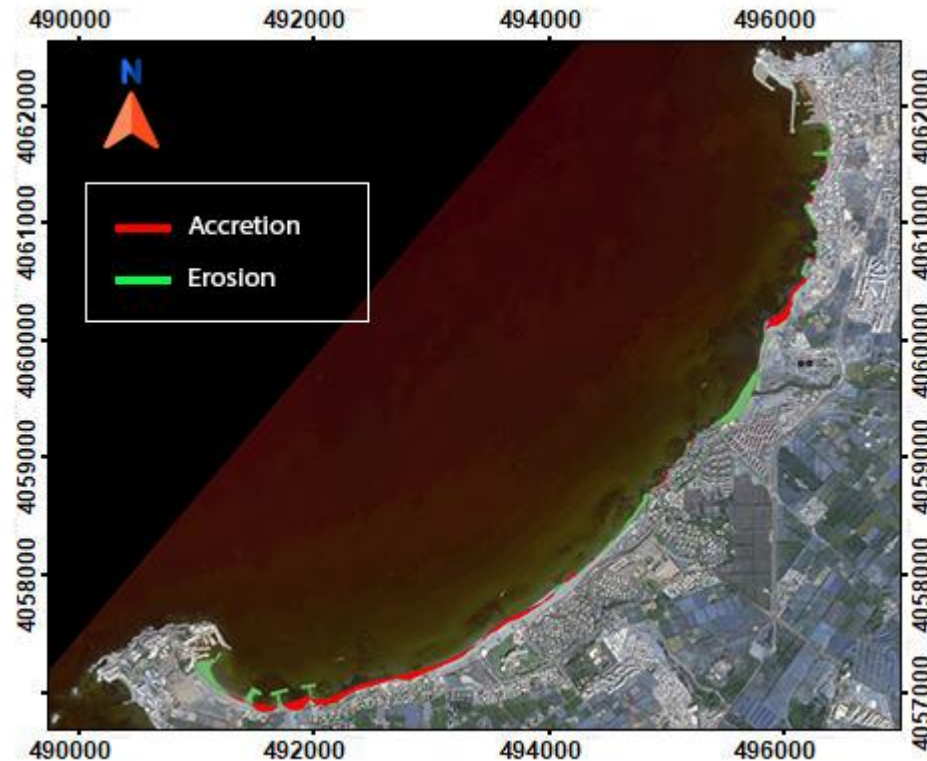


Figure 25 Analyse du taux d'évolution en surface entre 1956 et 2021

Les surfaces des plages perdues sont plus grandes que celles gagnées par accrétion, et le bilan net sédimentaire sur les 65 ans est négatif.

Le baie ont enregistrés 85026 m² des surfaces perdues, ce bilan négatif est expliqué par une conjugaison des agents naturels (forçages hydrodynamiques) et des actions anthropiques (infrastructures, soulèvement des sédiments ...etc.), Cependant le gain de surface estimé par 68156 m², cela est dû à la dissipation de l'énergie de la houle et aux ouvrages de protection de Sidi Fredj (les épis jouent un rôle d'obstacle pour le transit littorale E/O) et les deux ports qui abritent la baie.

Cette étude a révélé que durant cette période 69.5 % des transects correspondant à 5 km sont en érosion, la zone en accrétion représente 30.5 % soit 2.2 km du linéaire côtier.

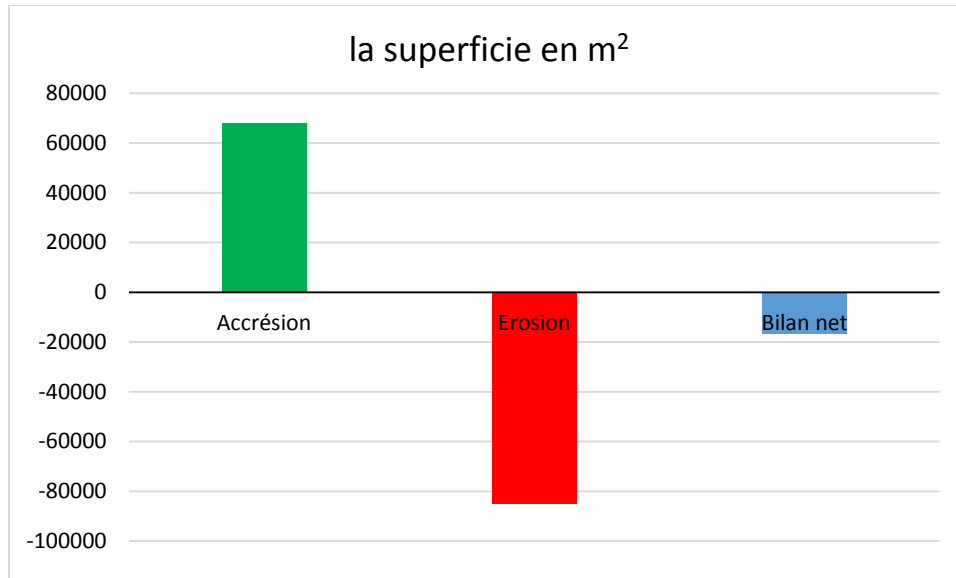


Figure 26 Le bilan sédimentaire de la baie de El Djamilia.

	Erosion	Accrétion	Bilan net
La superficie en m ²	85025,95	68155,99	-16 869,96

5. Evolution prévisionnelle à l'horizon 2100

Pour cette étude, aucune hypothèse spécifique de modification des agents dynamiques (houle, vent, tempête, hydrologie...) n'a été considérée afin d'estimer les conséquences du réchauffement climatique, compte-tenu des incertitudes des modèles globaux et régionaux et l'absence de doctrine nationale sur cette thématique. Cependant, le fait d'utiliser l'évolution des différents traits de cote sur plusieurs décennies, permet de manière intrinsèque de prendre en compte les éventuelles variations de ces agents.

L'outil DSAS d'Arc Gis a été utilisé pour réaliser un calcul statistique des taux d'évolution entre les traits de côte de 1956 et 2021 par des transects de 600m de longueur espacés tous les 20 m.

Modèle EPR pour la prédiction du trait de côte

La position future du trait de côte peut être prédite à partir des modèles mathématiques non-linéaires basés sur la fonction temps, taux d'érosion et d'accumulation ou l'élévation du niveau de la mer. Parmi ces derniers, les modèles du taux du point extrême (EPR) et celui de la régression linéaire (LR) restent les plus utilisés.

Dans le cas de cette étude la position future du trait de côte pour l'horizon 2100 a été calculée à l'aide de l'équation qui suit tenant compte le taux de changement du trait de côte (EPR), l'intervalle de temps entre la position du trait de côte observé et prédit et l'interception du modèle lui-même.

$$P_{ftr} = T_{EPR} \times t + K_{EPR}$$

- P_{ftr} : Postions futures du trait de côte
- t : L'intervalle de temps
- K_{EPR} : Pour l'interception du modèle
- T_{EPR} : Taux de changement du trait de côte (EPR)
- avec: $T_{EPR} = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$
- P_2, P_1 : positions la plus ancienne et la plus récente du trait de côte
- t_2, t_1 : dates
- et : $K_{EPR} = P_1 - (T_{EPR} \times t_1) = P_2 - (T_{EPR} \times t_2)$

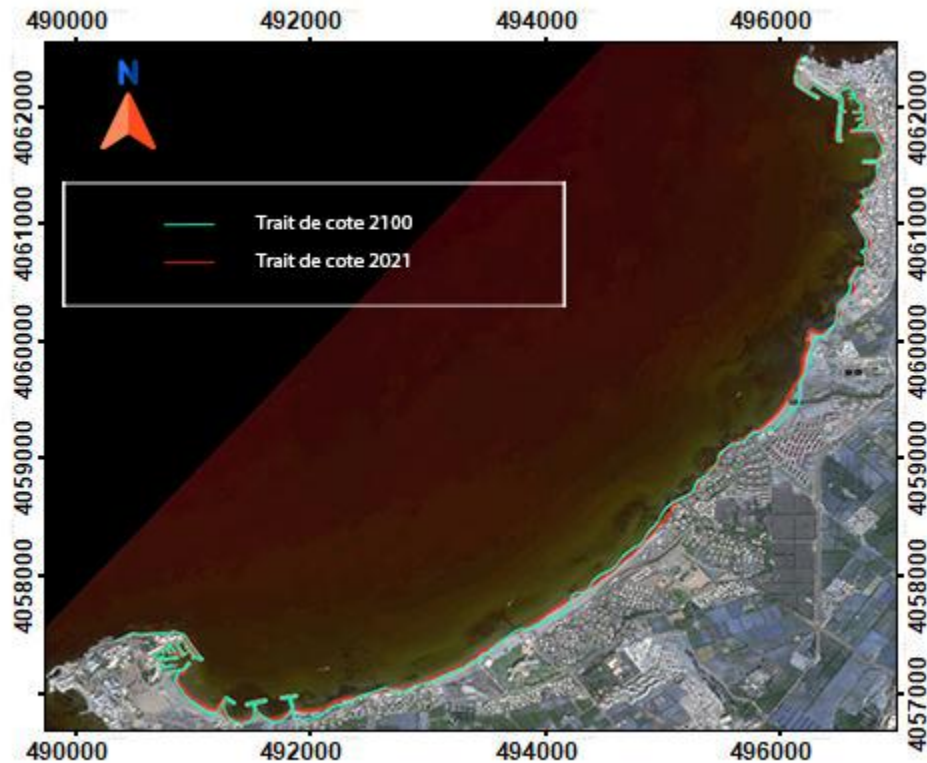


Figure 27 Estimation du trait de côte à l'horizon de 2100

A l'horizon de 2100, une forte augmentation du phénomène d'érosion. Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un recul moyen d'EPR d'environ -0,5 m/an sur la quasi-totalité de la ligne du rivage. Dans la partie centre Est de cette portion côtière les résultats obtenus affichent des zones en accretion avec des moyennes de progradation de 0.26 m/an.

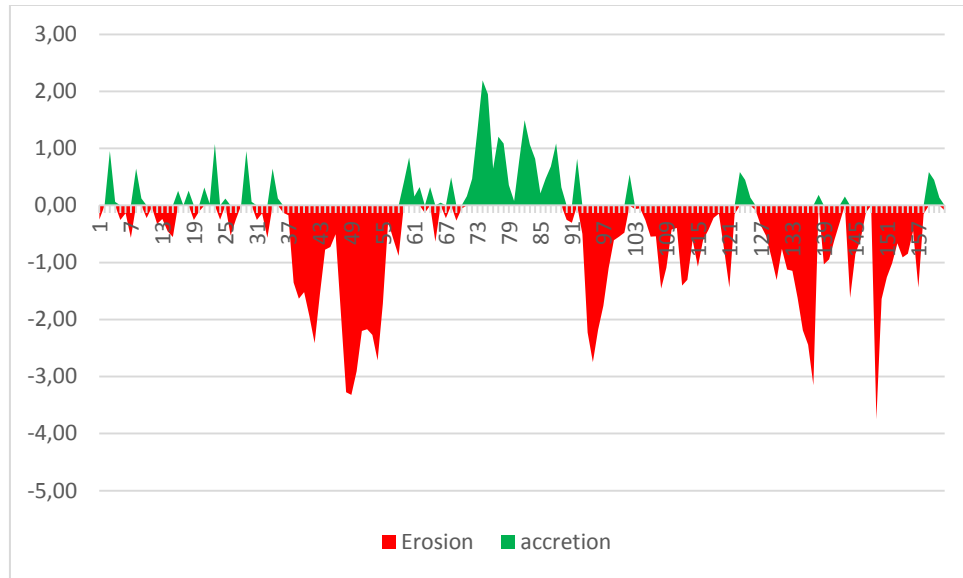


Figure 28 Estimation des variations de taux d'évolution EPR du trait de côte entre 2021 et 2100

L'érosion moyenne maximale (érosion forte à très forte) est enregistrée sur la plage de Sidi Fredj, avec des valeurs maximales d'EPR de -3.34 m/an.

L'accrétion moyenne maximale (accrétion forte à très forte) est enregistrée sur la plage d'hôtel Sheraton et la plage de club des pins, avec des valeurs maximales d'EPR de +2.20 m/an.

Les causes de ces Changements peuvent être dues à la fois à des facteurs naturels et anthropiques. Les causes naturelles d'érosion dans le secteur Est et Ouest de la baie sont dues principalement aux effets des tempêtes et dans la hausse relative du niveau moyen de la mer. Les causes anthropiques peuvent être dues aux extractions massives et arbitraires des dunes requises pour le développement urbain dans la région.

6. Conclusion :

L'analyse des évolutions historiques de la ligne de rivage de baie El Djamilia a permis de préparer un bilan sédimentaire de cette côte. Nous illustrons le rôle agitateur de la digue portuaire sur les variations du rivage.

Après une période de fortes variations du rivage, entre 1956 et 2021 durant laquelle le trait de côte se réadapte suite à la construction du port de Sidi-Fredj, la zone d'étude n'est plus affectée par des modifications importantes du rivage de la partie centrale et occidentale, malgré la construction de

trois épis sur la partie centrale du littoral. Par contre, la côte de Moretti continue à s'éroder avec le temps. Les aménageurs du littoral de Sidi-Fredj doivent donc rester vigilants quant aux problèmes d'érosion qui peuvent cependant persister, surtout suite à la mise en place des complexes touristiques sur les dunes bordières.

Conclusion générale

Les plages sableuses sont des systèmes complexes. Leur fonctionnement est dominé par l'interaction de différents forçages qui apportent de l'énergie et transportent des éléments entre les compartiments du système. Le résultat s'observe généralement par une modification du volume de ces compartiments et par une évolution de la morphologie des interfaces. La compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires (**Amrouni, 2008**).

La modélisation des processeurs hydro sédimentaire de la plage ouest de sidi Fredj est un problème très difficile et compliqué, en particulier pour la présence de plusieurs facteurs hydrodynamique, climatologiques et les variations de fond. Notre étude utilise des moyens de recherche modernes pour corrompre les complexes donnés et pour l'objectif de comprendre la progression littorale et les interactions entre ses facteurs.

Le premier chapitre discute le contexte général de cette thématique, et la présentation de notre zone, en terme de sa situation géographique régional et local, et les différents aperçues qui la caractérisent que ce soit des aperçues géomorphologique, la dynamique sédimentaire, climatologique, hydrologique et océanographique, dans cette partie, on s'est préoccupé de mettre quelques notions et des approches générales qui portent des caractérisations concernant le littoral, le profil d'une côte sableuse, le forçage hydrodynamique, et aussi les différents phénomènes qui accompagnent et affectent la zone.

Le deuxième chapitre représente les outils des systèmes d'information géographique disponible, sont utilisée pour crée des bases de données, faire des études statistiques, pour commencer une L'application du logiciel DHI-Mike 21 pour évaluer l'impact de ces facteurs. Les résultats de nos calculs ont donné une image complète de la variation du littoral, avec les observations réalisées sur le terrain, Ils ont montré que la houle joue un rôle essentiel dans la dynamique littorale. Il est aussi important de prendre en compte l'impact fort des paramètres du fond tels que sédiment, et les autres facteurs tels que le courant, les tempêtes, le vent...

Les houles les plus virulentes dans le site, sont les houles de direction Nord-Ouest 315°N avec une hauteur entre **1.6m a 2.4m** qui engendre généralement des courants côtiers avec des vitesse qui varient de **0.5 m/s à 1.5 m/s** le long de la cote.

Le transit sédimentaire dans la zone reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Le transport solide maximale observé dans notre zone viens de la direction nord-ouest et nord avec des débits entre **9460 m³/an/m** et **12614 m³/an/m** , et quand on s'éloigne vers le large, cette capacité diminue graduellement suivant les vitesses des courants qui crée un courant de retour jusqu'il atteint le large.

Les données dans notre disposition ont démontré que le modèle développé avec MIKE21 donnait des résultats satisfaisants de ce point de vue et donc pouvait servir de base au test de solutions. Ainsi, nous pouvons utiliser le modèle pour calculer l'évolution du littoral, l'avenir et prévoir l'impact des solutions de protection sur l'évolution du littoral.

La troisième partie consistait à la mise en place d'un SIG afin d'évaluer l'évolution de la ligne de côte entre la période **1956-2021**. En effet, le suivi de l'évolution de cette portion du littoral algérien a fait ressortir que la récession des plages est un phénomène ancien, il met en évidence une action néfaste et successive de faits météorologiques, hydrodynamiques et humains. Cette érosion ne s'est pas atténuée au fil du temps, bien au contraire, elle a continué à sévir en fonçant encore plus notre littoral dans une déroute dramatiquement incontrôlable.

Le recul de trait de côte le plus marqué durant entre période **1956 et 2021** est enregistré dans la partie Ouest de la baie qui atteint un taux **-1.25 m/an** soit une distance de **-77.6 m** au niveau du oued de beni messous et l'avancée la plus marquée du rivage est observée sur la partie Est de la baie notamment la plage de Sidi Fredj entre le port et les épis construit en 1988, le taux d'accrétion a atteint **2 m/an**.

La baie ont enregistrés **85026 m²** des surfaces perdues, ce bilan négatif est expliqué par une conjugaison des agents naturels (forçages hydrodynamiques) et des actions anthropiques (infrastructures, soulèvement des sédiments ...etc.), Cependant le gain de surface estimé par **68156 m²**.

A l'horizon de **2100**, L'érosion moyenne maximale (érosion forte à très forte) est enregistrée sur la plage de Sidi Fredj et Embouchure du oued de Beni messous, avec des valeurs maximales d'EPR de **-3.34 m/an**

L'accrétion moyenne maximale (accrétion forte à très forte) est enregistrée la plage d'hôtel Sheraton et la plage de club des pins, avec des valeurs maximales d'EPR de **+2.20 m/an**

Ce projet d'INGENIORAT a donné lieu à une plate-forme de base de données récente qui pourra être utile lors de la conception des ouvrages ou bien pour une étude future de la zone.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, approfondir nos connaissances et le savoir-faire acquis durant les cinq ans années de notre formation à l'ENSSMAL, et d'autre part, de préparer notre intégration à la recherche scientifique dans le domaine de l'aménagement du littoral.

Les résultats de ce mémoire s'arrêtent juste au niveau de la recherche, de l'analyse de l'évolution du littoral et de l'impact sur le littoral, mais nous n'avons pas pris en considération le rôle d'autres facteurs tel que la posidonie, le franchissement sur les ouvrages de protection, l'impact socio-économique.

Bibliographie

ABROUS, K. & KETFI, M. (1996). Evolution de la plage Est de Sidi Fredj : Impact des épis. Mémoire d'Ingéniorat Géologie Marine. Alger :USTHB, P.P.12-42.

AHFIR, Y. et MEZIANE, I. (2016). Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaia, Skikda Cas d'étude : Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL,P.P.120-130.

AINI, A. (2012). Morpho-dynamique de la zone côtière Est de la presqu'île de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). Mémoire de Magister en Géomorphologie. Alger :USTHB, P.P.96-140.

ANNANE, G. & KEMILA, A. & LADJIMI, F. (2007). Inventaire et impacts des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou Ismaïl. Mémoire d'Ingéniorat, . Alger : ENSSMAL,P.P.80-97.

AZZI, M. & Boukert, H (2017). Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral centre de l'Algérie (cas d'étude : Boumerdès, Sidi Fredj et Hamdania) Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral Alger : ENSSMAL,P.P.53-7.

BELABDI, K. & OUNNAS, A. (2011). Étude des courants côtiers observés sur les petits fonds de la plage de Sidi Fredj: application pour la protection d la plage de Sidi Fredj. Mémoire d'Ingéniorat, Alger : ENSSMAL,P.P.90-130.

BLANCHARD et MOUKHLISS, (2007). Mécanismes de transport des sédiments : Erosion et dépôt, appliqués au Littoral Nord-Pas de Calais. Mémoire d'Ingénieur ,France : Ecole des mines de Douai. ,P.P.32-46 .

BOURTI, H. HENDA, S. (2014) Evolution et dynamique de la falaise Est de Boumerdes et proposition des solutions. Mémoire d'Ingéniorat, Alger : ENSSMAL,P.P.59-68.

BOUTIBA, M. (1996). Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). Thèse de magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, P.P.40-55.

Chaaban et al; (2011) Apport potentiel des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable : Approches conceptuelles et méthodologiques appliquées dans le Nord de la France », P.3

Chapon.J (1975) : Travaux maritimes, Tome 1, *Ingénieur General des Ponts et Chaussées.* France : Edition Eyrolles. P.P.240-280

CTH, (2011). Contrôle Technique de la construction Hydraulique. Etude de désensablement du Port de plaisance de Sidi Fredj. Alger : CTH.

Damlamian et Kruger, (2013). Vulnerability and hazard assessment 1.0: Coastal hazards. Secrétariat of the Pacific Community . p. 40.

DE GIOVNNI, C. (1973). Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). Thèse de doctorat, Géologie marine et sédimentologie. France : Uni d'Aix Marseille. P.P 60-67

DHI (2014). MIKE 21 Spectral Wave Module Scientific Documentation. Denmark: Hørsholm, p 385.

DHI (2014). MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Denmark: Hørsholm, p 114.

EID et SMNLR. (2005). Guide technique n°9. Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Secrétariat technique du SDAGE Bassin Rhône Méditerranée-Corse (RMC). Mars(2005). P.149

Geistdoerfer, p. (2002). Océanographie générale. France : édition Informer, P.P 130-145

GLANGEAUD ., AYME ., CAIRE .et al. (1952). Histoire géologique de la province d'Alger. publ. XIX ème CGI. Monogr. Région, 1ère sér.. Alger: P.P 25-36.

GLANGEAUD, K. (1932). Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull. série. Carte géologique. Alger : Bureau des recherches géologiques et minières

GRASSO, F. (2009). Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages. Thèse de doctorat. Océans, Atmosphère, Hydrologie. France: l'Université JOSEPHFOURIER- Grenoble1. P.P 45-67

IBE A.C., AWOSIKA L.F. (1991). National assessment and effect of sea level rise on the Nigerian Coastal Zone. Unpublished report to the University of Maryland :USA

ISMALAINI, A. (2012). Morpho-dynamique de la zone côtière Est de la presqu'île de Sidi-Fredj (Ouest d'Alger). Mémoire de magister. Sciences de la terre et l'univers. Alger : U.S.T.H.B.P.P 80-110.

Larid (1992) : Cours d'aménagement du littoral ENSSMAL

LCHF, (1970) : Laboratoire Central de l'Hydraulique de France. **LCHF :** Evolution du trait de côte entre 1921-1984. France : **LCHF**

LECLAIRE, (1972). Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien). Muséum national d'histoire naturelle de Paris, France. :édition du Muséum

MEZOUAR, K. (2009). Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain. Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie : Université Technique de Construction de Bucares..Alger :ENSSMAL ,P.P 350.

NIANG-DIOP I., (1995). *L'érosion côtière sur la Petite Côte à partir de l'exemple de Rufisque. Passé – Présent – Futur.* Thèse de doctorant en géologie, ORSTOM éd., .France :Université d'Angers .P.P 55-62.

Paskoff, R., Clus-Auby, C. (2007). L'érosion des plages : les causes, les remèdes. Paris : Armand.P.P 25-34

THAN V. (2015). Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo DeGiens. France : thèse de doctorat. L'université de Marseille France. p 427.

Resumé

Les principaux objectifs de ce travail, sont de parvenir à la compréhension des processus actuels qui commandent l'évolution morphodynamique de la côte Ouest de Sidi Fredj (transferts sédimentaires). Ceci nous aidera à mieux interpréter les modalités d'évolution spatio-temporelle, d'érosion, de transport et de dépôt dans l'environnement côtier actuel. Ces objectifs s'appuient essentiellement sur des observations, étude des processus hydro sédimentaire en utilisant des modèles numériques (DHI-Mike21) et diachroniques de l'évolution du rivage avec des images satellitaires et des photos aériennes contribuant aux changements de la morphologie de la cote.

abstract

The main objectives of this work are to gain an understanding of the current processes that control the morphodynamic evolution of the west coast of Sidi Fredj (sediment transfers). This will help us to better interpret the modalities of spatio-temporal evolution, erosion, transport and deposition in the current coastal environment. These objectives are mainly based on observations, study of hydro-sedimentary processes using digital models (DHI-Mike21) and diachronic models of shoreline evolution with satellite images and aerial photos contributing to changes in the morphology of the coast.

ملخص

تتمثل الأهداف الرئيسية لهذا العمل في اكتساب فهم للعمليات الحالية التي تتحكم في التطور التشكل الديناميكي للساحل الغربي لسيدى فرج (عمليات نقل الرواسب). سيساعدنا هذا على تفسير أفضل لطرائق التطور المكاني الزمني ، والتعرية ، والنقل ، والترسب في البيئة الساحلية الحالية. تعتمد هذه الأهداف بشكل أساسي على الملاحظات ودراسة العمليات المائية الرسوبية باستخدام والنماذج غير المتزامنة لتطور الشواطئ مع صور الأقمار الصناعية والصور الجوية التي تساهم DHI-Mike21 النماذج الرقمية في تغييرات في مورفولوجيا الساحل.