

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en sciences de la mer

**Spécialité : Gestion et Protection du Littoral**

Etude de protection de la frange littorale de projet de la nouvelle  
station de dessalement de Fouka marine : Wilaya de Tipaza

Présentée par :

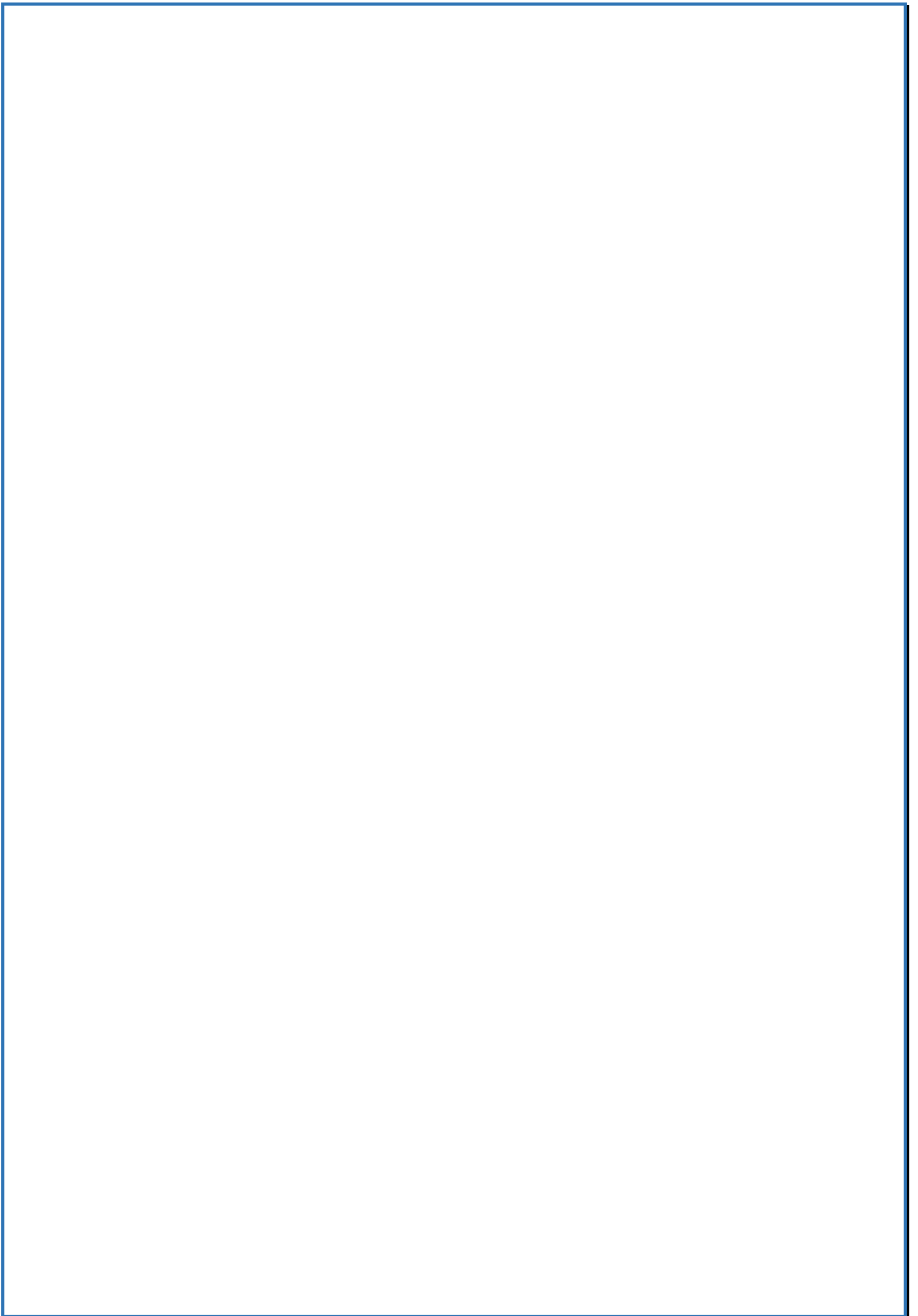
- **Alioua Wiam**
- **Bensalah Mohamed**

**Soutenu le : 22/07/2023**

Devant le jury :

<b>Mme. FAZAA N.</b>	Professeur (ENSSMAL)	<b>Présidente</b>
<b>Mr. OTMANI H.</b>	Maître conférence A (ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
<b>Mr. BRAHIMI M.</b>	Cadre (LEM)	<b>Co-promoteur</b>
<b>Mr. BOUAICHA F.</b>	Maitre-assistant A (ENSSMAL)	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2022 – 2023**



# REMERCIEMENT

## *DEDICACE*

*À mes merveilleux parents, Votre amour inconditionnel, vos sacrifices et votre soutien constant m'ont amené à ce que je suis aujourd'hui. Je dédie ce travail à votre honneur, pour vous remercier de m'avoir donné le meilleur départ dans la vie.*

*À mes frères, Amine et Anis, vous êtes mes compagnons de vie. Votre complicité et votre présence ont été une source d'inspiration et de force tout au long de mon parcours académique.*

*À mes amies Wahiba et Selma, merci d'être présentes à mes côtés dans les moments de joie et de peine.*

*Wiam*

*Je dédie ce travail*

*A ma famille, elle qui m'a doté une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*Particulièrement à mon père Djelloul, pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, par sa rigueur.*

*A ma mère Fatna, ceci m'a profonde gratitude pour ton éternel amour, que de rapport soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.*

*A vous mon frère Abdelkader et mes Sœurs Asma, Assia et Roumaïssa, qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*Mohamed*

---

# ***SOMMAIRE***

---

## TABLE DES MATIERES

---

### TABLE DES MATIERES

**REMERCIEMENT**

**DEDICACE**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLAUX**

**INTRODUCTION GENERALE ..... 15**

#### **CHAPITRE I : Cadre général**

**1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE :..... 18**

1.1 Le besoin d'occupé l'espace littoral ..... 18

1.2 La fragilité de littoral..... 19

1.3 La nécessité d'assurer la protection de la frange littorale ..... 20

**2. CONTEXTE DU PROJET :..... 23**

**3. SITUATION GEOGRAPHIQUE :..... 24**

3.1 Situation géographique de la commune Fouka C.N.E.R.U. (2005) :..... 24

3.2 Situation géographique et délimitation : ..... 24

#### **CHAPITRE II : Diagnostic physique et interaction de facteurs**

**1. ETUDE CLIMATIQUE : ..... 28**

1.1. Les précipitations : ..... 28

1.1.1. Variation annuelle :..... 28

1.1.2. Variation mensuelle : ..... 29

1.2. Température : ..... 29

1.2.1. Variation mensuelle : ..... 29

1.3. Synthèse climatique :..... 30

1.4. Les vents :..... 32

**2. ETUDE OCEANOGRAPHIQUE ..... 34**

## TABLE DES MATIERES

---

2.1. Les houles :.....	34
2.2. Les courants :.....	36
<b>3. ETUDE HYDROGRAPHIQUE :.....</b>	<b>39</b>
<b>4. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE :.....</b>	<b>41</b>
4.1. Cadre géologique :.....	41
4.1.1. Les principales formations géologiques.....	41
4.1.2. Tectonique de la région.....	41
4.1.3. Sismicité de la région.....	42
4.2. Cadre géomorphologique.....	43
4.3. Morphologie des fonds marin.....	44
4.4. L'indice de vulnérabilité :.....	45
4.4.1. L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) :.....	45
<b>CHAPITRE III : Diagnostique de détail</b>	
<b>1. ETUDE TOPO BATHYMETRIQUE :.....</b>	<b>48</b>
1.1. Source des données :.....	48
1.2. Les résultats de l'étude bathymétrique :.....	48
1.3. Génération des profils bathymétriques avec le logiciel Global Mapper :.....	49
<b>2. PROPAGATION DE LA HOULE ET MODELISATION HYDRO- SEDIMENTAIRE :.....</b>	<b>51</b>
2.1. Logiciel utilisé.....	51
2.2. Etude de propagation de la houle :.....	55
2.2.1. Données de base :.....	55
2.2.2. Discussion des résultats.....	61
2.3. Etude Hydro-sédimentaire.....	69
2.3.1. Discussion des résultats :.....	70
<b>3. ETUDE DE L'EVOLUTION DE TRAIT DE COTE :.....</b>	<b>75</b>

## TABLE DES MATIERES

---

3.1	Les logiciels utilisés : .....	75
3.1.1	Arc gis 10.4 : .....	75
3.1.2	L'extension DSAS : .....	75
3.2	La méthodologie suivie : .....	76
3.2.1	Les données disponibles : .....	76
3.2.2	Préparation et lancement au calcul : .....	77
<b>4.</b>	<b>ETUDE ANTHROPIQUE : .....</b>	<b>83</b>
4.1.	L'évolution chronologique de la population du littoral : .....	83
4.2.	Extraction et quantification du tissu urbain : .....	83
4.2.1.	Méthodologie suivie.....	83
A.	Les données disponibles : .....	83
B.	La digitalisation .....	84
4.2.2.	Résultats : .....	85
<b>Chapitre IV : Solution de protection et d'aménagement</b>		
<b>1.</b>	<b>LA PROTECTION COTIERE FRONTALE : .....</b>	<b>89</b>
<b>2.</b>	<b>CHOIX DES SCENARIOS D'INTERVENTION : .....</b>	<b>90</b>
<b>3.</b>	<b>DIMENSIONNEMENT : .....</b>	<b>90</b>
3.1	Carapace : .....	90
3.2	Epaisseur : .....	91
3.3	Sous Couche filtre : .....	91
3.4	La largeur de la berme : .....	91
3.5	Run up : .....	92
3.6	Application numérique : .....	92
<b>4.</b>	<b>DESCRIPTION DE L'OUVRAGE : .....</b>	<b>93</b>
<b>5.</b>	<b>ESTIMATION DES COUTS CONSTRUCTIONS : .....</b>	<b>93</b>

## TABLE DES MATIERES

---

**7. COMPARAISON ENTRE LES VARIANTES :..... 100**

**CONCLUSION GENERALE ..... 102**

**BIBLIOGRAPHIE**

**ANNEXE**

**BMC**

## LISTE DES FIGURES

---

### LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Les bandes littorales délimitées par la loi littorale 02-02 du 05/02/2002 .....	22
<b>Figure 2:</b> Limites administratives de la commune de Fouka. ....	25
<b>Figure 3:</b> Situation géographique de la zone d'étude. ....	26
<b>Figure 4:</b> les précipitations annuelles dans la région de Fouka marine (de 2013 à 2022).....	28
<b>Figure 5 :</b> les moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Fouka marine (de 2013 à 2022) (Source : <a href="https://www.historique-meteo.net">https://www.historique-meteo.net</a> ) .....	29
<b>Figure 6 :</b> Les variations mensuelles des températures de 2013 à 2022 (Source : <a href="https://www.historique-meteo.net">https://www.historique-meteo.net</a> ).....	30
<b>Figure 7:</b> Diagramme ombrothermique de la commune de Fouka Marine (de 2013-2022) (Source : <a href="https://www.historique-meteo.net">https://www.historique-meteo.net</a> ) .....	31
<b>Figure 8:</b> Localisation de la région d'étude dans le climagramme d'EMBERGE .....	32
<b>Figure 9:</b> La position de la station de mesure (Puertos del Estado) .....	33
<b>Figure 10:</b> Rose des vents annuelles (Puertos del Estado, 1958 à 2022) .....	33
<b>Figure 11:</b> La position de la station de mesure (Puertos del Estado) .....	34
<b>Figure 12:</b> la Rose annuelle des houles (Puertos del Estado 1958-2022) .....	35
<b>Figure 13:</b> Roses saisonnières des houles (Puertos del Estado 1958-2022).....	36
<b>Figure 14:</b> Localisation et coordonnées du point de mesure .....	37
<b>Figure 15:</b> Mise en place de courantomètre au niveau du site d'étude ( <b>LEM</b> ) .....	37
<b>Figure 16:</b> Rose mensuelle des courants (nov, déc 2021).....	38
<b>Figure 17:</b> Rose mensuelle des courants (avril 2022) .....	38
<b>Figure 18:</b> Réseau hydrologique de Fouka Marine. ....	39
<b>Figure 19:</b> Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Mazafran .....	40
<b>Figure 20:</b> Carte géologique de côté ouest de wilaya de Tipaza (LEM,2016) .....	41
<b>Figure 21 :</b> Carte tectonique de la région du Tipaza (LEM,2016) .....	42
<b>Figure 22:</b> Carte classification sismique des wilayas D'ALGERIE ( <b>d'après CGS 2003</b> ).....	43

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 23 :</b> Carte géomorphologique de côté ouest de wilaya de Tipaza (LEM, 2016).....	44
<b>Figure 24:</b> l'étagement marin de la wilaya de Tipaza (LEM,2016) .....	45
<b>Figure 25:</b> Carte des classes du CVI de wilaya de Tipaza (LEM) .....	46
<b>Figure 26 :</b> Carte bathymétrique de Fouka marine .....	48
<b>Figure 27 :</b> Illustration de la pente au niveau du site de Fouka marine Profil 1 .....	49
<b>Figure 28 :</b> Illustration de la pente au niveau du site de Fouka marine Profil 2.....	50
<b>Figure 29:</b> Interface de Mike Zéro .....	51
<b>Figure 30:</b> Bathymétrie de la zone de Fouka.....	55
<b>Figure 31 :</b> valeurs des hauteurs significatives maximales avec la méthode POT .....	57
<b>Figure 32:</b> secteurs de provenance des houles retenues .....	59
<b>Figure 33:</b> Position des points d'extraction.....	59
<b>Figure 34:</b> maillage de modèle .....	60
<b>Figure 35:</b> maillage de modèle côtier de la zone d'étude .....	60
<b>Figure 36:</b> simulation de modèle SW pour une période de retour annuelle .....	62
<b>Figure 37:</b> Simulation de modèle SW pour une période de retour décennale .....	64
<b>Figure 38:</b> Simulation de modèle SW pour une période de retour Cinquantennale.....	66
<b>Figure 39:</b> simulation des modèles direction NE30° pour une période de retour annuelle .....	71
<b>Figure 40:</b> Simulation des modèles direction N 360° pour une période de retour annuelle ...	72
<b>Figure 41:</b> Simulation des modèles direction NW 315° pour une période de retour annuelle	73
<b>Figure 42:</b> simulation des modèles direction NE30° pour une période de retour annuelle .....	74
<b>Figure 43 :</b> Barre outil de DSAS. ....	76
<b>Figure 44 :</b> Illustration du calcul du module DSAS, (Himmelstoss, 2009).....	76
<b>Figure 45 :</b> L'ajout de la ligne de base dans la zone d'étude. ....	77
<b>Figure 46 :</b> Fenêtre de dialogue de la création des transects sur logiciel Arc .....	78
<b>Figure 47 :</b> Carte des transects.....	79

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 48</b> : Résultat cartographique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode NSM en (m) entre 2009 et 2017. ....	80
<b>Figure 49</b> : Résultat graphique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode NSM en (m) entre 2009 et 2017. ....	80
<b>Figure 50</b> : Résultat cartographique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode EPR en (m/an) entre 2009 et 2017. ....	81
<b>Figure 51</b> : Résultat graphique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode EPR en (m/an) entre 2009 et 2017. ....	82
<b>Figure 52</b> : Image satellitaire de la zone d'étude	<b>Figure 53</b> : Image satellitaire de la zone d'étude
.....	
<b>Figure 54</b> : La digitalisation du réseau routier de la zone d'étude .....	84
<b>Figure 55</b> : La digitalisation des terrains agricoles de la zone d'étude .....	85
<b>Figure 56</b> : La digitalisation des urbain de la zone d'étude .....	85
<b>Figure 57</b> : Carte d'étude anthropique de Fouka 2014.....	86
<b>Figure 58</b> : Carte d'étude anthropique de Fouka 2023 .....	87
<b>Figure 59</b> : Coupes-types de différents types de digues (CETMEF (2007)).....	90
<b>Figure 60</b> : Projection de la variante 01.....	94
<b>Figure 61</b> : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 01 ...	95
<b>Figure 62</b> : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 02 ....	96
<b>Figure 63</b> : Projection de la variante 02 .....	97
<b>Figure 64</b> : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 01 ...	98
<b>Figure 65</b> : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 02 ...	99

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Données d'entrée pour le calcul du quotient pluviométrique d'EMBRGER.....	32
<b>Tableau 2:</b> Les principaux séismes sont frappés Tipaza pendant la période 2014-2015 ( <b>LEM</b> ) .....	43
<b>Tableau 3 :</b> Amplitude de la houle annuelle (équivalente) au large par direction et par période .....	56
<b>Tableau 4:</b> hauteurs significatives extrêmes en fonction des périodes de retour.....	58
<b>Tableau 5:</b> hauteurs significatives extrêmes en fonction des périodes de retour.....	58
<b>Tableau 6:</b> Moyennes des amplitudes annuelles obtenues.....	67
<b>Tableau 7:</b> Moyenne des amplitudes obtenues pour la houle Cinquantennale (50 ans) .....	67
<b>Tableau 8 :</b> Evolution de la population des communes côtières de l'Est de Tipasa à travers les différents RGPH [Source <b>DPSB in (CNL-Tipasa)</b> ] .....	83
<b>Tableau 9 :</b> Comparaison des variantes .....	100

---

***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

---

### INTRODUCTION GENERALE :

Le littoral n'est pas seulement le rivage des océans, c'est aussi le point de contact entre les deux compartiments terrestres que sont l'hydrosphère, la lithosphère. En ce point, les lois physiques de chacun des compartiments se cumulent et interagissent, l'étude de ce milieu en devient complexe. (**Certain, 2002**)

En Algérie, pays bordé par la mer Méditerranée, la protection du littoral revêt une importance particulière en raison de la dégradation croissante de ses rivages due à divers facteurs tels que l'érosion marine et les activités humaines.

La nouvelle station de dessalement de Fouka Marine représente un projet d'une envergure considérable, conçu pour répondre aux besoins croissants en eau potable de la région. Dans cette optique, il est impératif de mener une étude approfondie afin de la protéger et d'atténuer les effets néfastes potentiels, tout en mettant en place des mesures adéquates pour garantir la durabilité environnementale de ce projet crucial.

Plusieurs études de protection sont faites sur le rivage de Fouka marine à **savoir** (**Guebbabi and Salem, 2012**) et (**Amroune et al, 2010**), l'originalité de notre travail réside dans notre approche visant à protéger une station de dessalement en tant qu'infrastructure stratégique, afin de d'accomplir cette tâche nous avons réalisé des modélisations hydro sédimentaire détaillées et des analyses approfondies.

L'objectif de notre étude intitulé (**Etude de protection de la frange littoral de projet de la nouvelle station de dessalement de Fouka marine, Wilaya de Tipaza**) consiste à mettre en place des mesures de protection adéquates pour prévenir l'érosion côtière et ses impacts néfastes. En assurant une protection efficace de la frange littorale, nous visons à minimiser le recul de la ligne de côte et à préserver l'intégrité des infrastructures de la station de dessalement.

Ainsi, pour élaborer cette étude nous avons suivi le plan de travail suivant :

Un cadre général dans le premier chapitre qui contient une synthèse bibliographique, contexte de notre étude et la présentation de la zone d'étude choisie, un diagnostic physique dans le second comprend une analyse environnementale intégrée de la zone d'étude englobe l'étude climatique, océanographique, hydrographique et géomorphologique. Dans le troisième chapitre nous présentons un diagnostic détaillé de la zone, qui inclut des études portant sur l'évolution de trait de côte, modélisation hydro sédimentaire et l'influence anthropique, le

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

quatrième chapitre aborde les solutions de protection et d'aménagement, où nous discuterons de différentes structures de protection proposées.

---

# *CHAPITRE I*

## *Cadre général*

---

## 1. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE :

L'espace littoral, qui se matérialise par une bande plus ou moins large à l'interface terre - mer, peut être compris comme un système dont l'évolution est conditionnée par de nombreux éléments : « les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes (**Paskoff, 1993**).

### 1.1 Le besoin d'occuper l'espace littoral

Presque partout dans le monde, les côtes, en particulier dans les pays industrialisés et les pays en développement, sont soumises à des fortes pressions qui les menacent leur équilibre naturel et compromettent la richesse de toutes les espèces qu'elles contiennent.

Le littoral subit une forte pression anthropique en raison de son attractivité qui augmente avec l'augmentation de la disponibilité des opportunités économiques et des équipements publics qui facilitent la vie humaine et répondent à leurs besoins. Cette augmentation est en ligne avec la montée des activités humaines, au point de provoquer une artificialisation des sols. (**Rabehi et al., 2019**).

Ensuite, étant donné les possibilités offertes par la mer en termes d'alimentation, de transport et de commerce, une analyse remarquable qui a été faite par rapport à la Méditerranée a montré que l'utilisation des côtes est avant tout affaire de civilisation. L'ouverture sur le monde après les grandes expéditions, surtout la révolution des transports à la fin du 19<sup>e</sup> siècle ont fait émerger les échanges commerciaux et les activités qui les accompagnent, l'émergence de grands ports et la mondialisation de l'économie dans le dernier quart du 20<sup>e</sup> siècle. (**Ghodhani and Berrahi-Midoun, 2013**).

Les activités humaines regroupent essentiellement les activités industrielles, les implantations urbaines et le développement touristique. La dégradation du milieu littoral par l'activité humaine correspond à une modification de l'équilibre naturel susceptible de mettre en danger la santé de l'homme, de nuire aux ressources biologiques, à la flore et la faune, de porter atteinte aux agréments ou gêner toutes autres utilisations légitimes de la mer. (**Mérenne, 2008**)

Aujourd'hui, 91 % de la population algérienne vit le long de la côte méditerranéenne sur 12 % de la surface totale du pays et près de la moitié de la population est urbaine (**MATE, 2006**).

L'urbanisation en Algérie est un phénomène fort ancien par ses racines : les civilisations romaine, puis arabe, furent à base citadine. Mais c'est en même temps un phénomène très récent par son ampleur : c'est durant les quarante dernières années qu'il a pris cette allure d'explosion urbaine qui a bousculé les paysages, les mentalités et la société elle-même (Côte, 1994). Fondamentalement, l'urbanisation procure de nombreux avantages à la population en termes de développement humain. Et lorsqu'elle est rapide et incontrôlée, elle génère des impacts négatifs sur la pérennité des ressources environnementales : naturelles et artificielles, le développement de la pauvreté, la croissance des inégalités sociales, voire des formes de fragilité urbaine (Oluwatayo and Opoko, 2014).

## 1.2 La fragilité de littoral

Le littoral est un milieu fragile, et est considéré comme un système complexe où se rencontre trois interfaces : la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère reliés par des interactions entre elles. L'influence continentale est manifestée par les paramètres de la structure géologique (la topographie, la lithologie,...), l'influence marine par l'hydrodynamisme (la houle, les vagues, les courants,...) et l'influence atmosphérique par les actions des agents et des processus d'érosion subaériens (les forces éoliennes, la température, la précipitation,...) ainsi que l'action anthropique avec différentes activités de la vie (l'occupation des sols, l'industrie, le tourisme,...). (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie., 2010)

Le littoral est un milieu fragile et instable, à moins de 60 km duquel vit environ 70% de la population mondiale, soit près de 4 milliards de personnes. Une telle pression démographique accompagnée de l'importance des enjeux industriels et économiques associés nécessite une prise de conscience de la fragilité des façades littorales. En effet, 80% du linéaire côtier mondial est en cours d'érosion à des taux de l'ordre du centimètre à la dizaine de mètres par an (Pilkey and Hume, 2001), sous la forte influence de la remontée du niveau marin mesurée depuis une centaine d'années. A cette tendance naturelle causée par la poursuite de la transgression holocène débutée voilà une quinzaine de milliers d'années, s'ajoute l'impact des activités humaines qui modifient les équilibres climatiques, tendant à accroître la température de l'atmosphère et la fonte des glaces continentales, accélérant par conséquent la remontée du niveau moyen de la mer à l'échelle globale (Stépanian, 2002)

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

Enfin, le littoral est exposée à deux types de pressions qui conduisent à l'instabilité du littoral : la pression naturelle qui est due par l'influence de la nature (inondations, feux de forêts, érosion, les marées...) et la pression anthropique qui est due par l'effet de l'homme (littoralisation, coupe à blanc des forêts, rejets illicites des ordures ou des déchets ménagers ou industriels, exploitation illicite du sable des plages...).

### **1.3 La nécessité d'assurer la protection de la frange littorale**

Dans un contexte de mondialisation, l'espace littoral est géographiquement le mieux placé pour répondre efficacement à la concurrence territoriale. Il englobe un grand potentiel de développement et cautionne par conséquent les chances d'ascension de toute économie. Sa préservation et sa valorisation sont deux actes indispensables pour permettre à tout pays de se développer dans la durabilité.

Dans le cadre du développement durable et la mise en place d'une nouvelle structure en Algérie pour la protection de l'environnement, comme le Ministère de l'environnement (ME), des décisions politiques ont été prises pour mieux protéger les milieux naturels fragiles côtiers. Un grand nombre de textes juridiques ont également été promulgués depuis 1990. Dans ce contexte, il est fait référence à la loi 90-92 (1990) relative à l'aménagement et à l'urbanisme, la loi 01-20 (2001) relative à l'aménagement et développement durable du territoire et à la loi 02-02 (2002) relative à la protection et à la valorisation du littoral.

La loi du littoral contient plusieurs articles qui ont pour objet de mobiliser l'ensemble des moyens requis pour la protection des zones littorales ou côtières sensibles ou exposées à des risques environnementaux particuliers. Il comprend toutes les îles, îlots et le plateau continental, ainsi qu'une bande de terre d'au moins huit cent mètres de large. Longeant la mer et incluant : les versants de collines et montagnes, visibles de la mer et n'étant pas séparés du rivage par une plaine littorale, les plaines littorales de moins de 3 km de profondeur à partir des plus hautes eaux maritimes. L'intégralité des massifs forestiers, les terres à vocation agricole, l'intégralité des zones humides et leurs rivages dont une partie se situe dans le littoral à partir

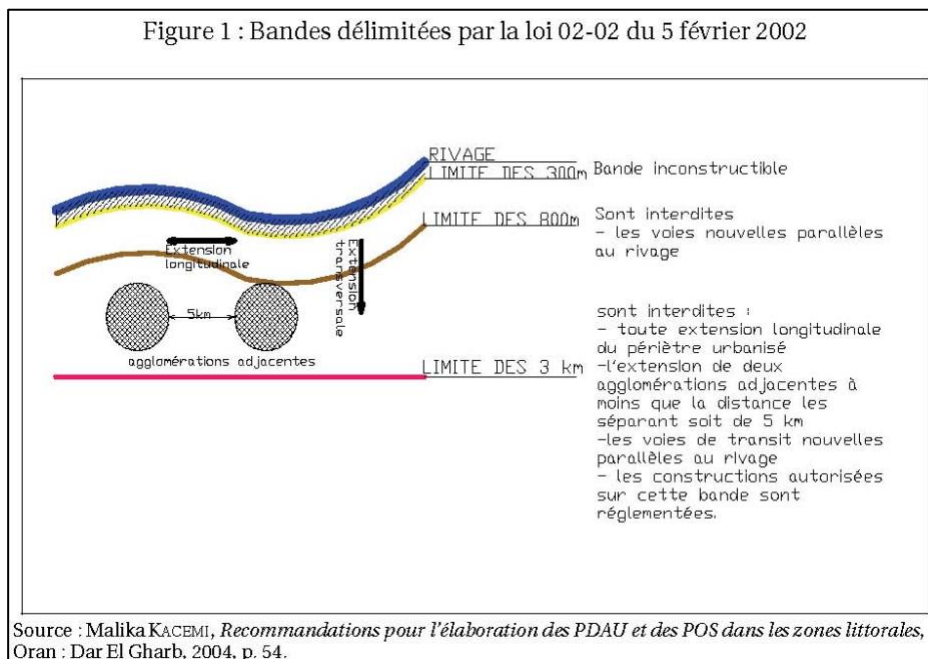
des plus hautes eaux maritimes tel que défini ci-dessus et les sites présentant un caractère paysager culturel ou historique (article 07), aussi cette loi permet de fixer les dispositions particulières relatives à la protection et à la valorisation du littoral (article 01) et de protéger l'état naturel du littoral (article 05). Ce cadre a prévu également des entités locales d'arbitrages des activités dans les zones côtières sensibles et fragiles sont également prévues par la législation, notamment les Conseils de Coordination Côtière.

La loi 02-02 délimite trois bandes dans le littoral tel que défini à l'article 7, dans lesquelles sont édictées des restrictions relatives à l'urbanisation (Fig.1) :

- **la bande 1** : Il s'agit de la bande inconstructible dont la largeur peut atteindre 300 mètres à partir du rivage pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier. Cette bande inclut le rivage naturel dans lequel sont interdits la circulation et le stationnement des véhicules (sauf les véhicules de service, de sécurité, de secours, d'entretien ou de nettoyage des plages).

- **la bande 2** : qui est d'une largeur de 800 mètres, dans cette bande sont interdites les voies carrossables nouvelles parallèles au rivage (alinéa 1 de l'article 16). Toutefois, en raison de contraintes topographiques de configuration des lieux ou de besoins des activités exigeant la proximité immédiate de la mer, il peut être fait exception à cette disposition.

- **la bande 3** : dont la largeur est de 3 kilomètres, dans cette bande sont interdites : toute extension longitudinale du périmètre urbanisé, c'est-à-dire toute extension parallèle au rivage, l'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral à moins que la distance les séparant soit de 5 kilomètres au moins, les voies de transit nouvelles parallèles au rivage.



**Figure 1:** Les bandes littorales délimitées par la loi littorale 02-02 du 05/02/2002

Les constructions et les occupations du sol directement liées aux fonctions des activités économiques autorisées par les instruments d'urbanisme dans cette bande des 3 kilomètres sont réglementées.

## 2. CONTEXTE DU PROJET :

Le littoral est un lieu de rencontre, où s'expriment avec la plus grande diversité des écosystèmes façonnés par l'action des houles, du vent et des embruns (**Paskoff, 2001**).

C'est aussi un milieu très dynamique, la force des vagues et la vigueur des courants en témoignent, et le rendent parfois hostile et dangereux pour l'homme, (**Certain, 2002**)

Le recul de trait de côte n'est pas un phénomène récent mais son ampleur s'est accrue au cours des dernières décennies. Ce recul est notamment dû à l'érosion marine qui peut prendre plusieurs formes et qui se généralise actuellement sur la plupart des rivages maritimes algériennes : les causes sont diverses et font généralement appel à la conjonction de facteurs naturels et humains. Ses conséquences sont souvent difficiles à observer dans les conditions dynamiques les plus habituelles, mais les tempêtes en accélèrent les processus érosifs de manière spectaculaire et en mettant en péril des espaces urbanisés ou naturel, viennent régulièrement nous rappeler la fragilité de l'espace littoral.

Actuellement l'Algérie se base sur trois axes stratégiques pour lancer un projet, qui sont la sécurité énergétique, la sécurité sanitaire et la sécurité alimentaire ; dans notre cas la station dessalement fait partie de la sécurité alimentaire.

La sécurité alimentaire repose sur quatre piliers principaux qui sont la disponibilité, l'accès, l'utilisation et la stabilité. La « disponibilité » fait référence à la disponibilité d'aliments en quantité suffisante et d'une qualité appropriée et dont l'approvisionnement est assuré par la production nationale ou les importations (y compris l'aide alimentaire). L'« accès » fait référence à l'accès physique et économique alors que le pilier « utilisation » intègre la qualité de l'eau, l'hygiène, la qualité nutritionnelle, ainsi la répartition de la nourriture au sein du ménage lors de la prise des repas ; enfin, la « stabilité » est réalisée lorsque les trois autres dimensions sont vérifiées dans le temps.

La réalisation de la station de dessalement de Fouka est stratégique et nécessaire faisait partie des projets prioritaires pour faire face à la crise de l'eau qui prévaut après le stress hydrique qui a persisté durant ces trois dernières années et l'amélioration du niveau de vie de population plus particulièrement dans le milieu rural. L'eau de mer dessalée produite par cette station est destinée à répondre aux besoins en eau potable des habitants de la partie Ouest d'Alger et de Blida. (**MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES**)

### 3. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

#### 3.1 Situation géographique de la commune Fouka C.N.E.R.U. (2005) :

Fouka est l'une des communes côtières de la wilaya de Tipaza. Elle a été érigée en chef-lieu de daïra après le nouveau découpage territorial et conformément au décret exécutif n°91.305 du 24 Aout 1991. La commune se situe au Nord-est de la wilaya à 35Km du chef-lieu Tipaza. Elle est sillonnée par la route nationale n°11 qui relie Alger à Tipaza, est reliée à Koléa par le chemin de wilaya n°110 et à Bou Ismail par le chemin de wilaya n°126.

La commune se situe au point de vue géographiquement sur le versant nord du sahel. Son relief est composé de deux parties : la plaine côtière qui s'étend sur 4.92Km où se localisent les terrains agricoles les plus riches, et les collines séparées de la plaine par une forte pente.

Les données relatives au domaine littoral :

- La surface du domaine littoral : 146.7ha.
- Le pourcentage du domaine littoral par rapport à la surface de la commune : 11.53%.
- La surface de la zone de servitude (300Km) : 117.1ha.
- La surface urbanisée dans la zone de servitude : 14.14ha.
- Le pourcentage de la surface urbanisée par rapport à la zone de servitude : 12.08%.

#### 3.2 Situation géographique et délimitation :

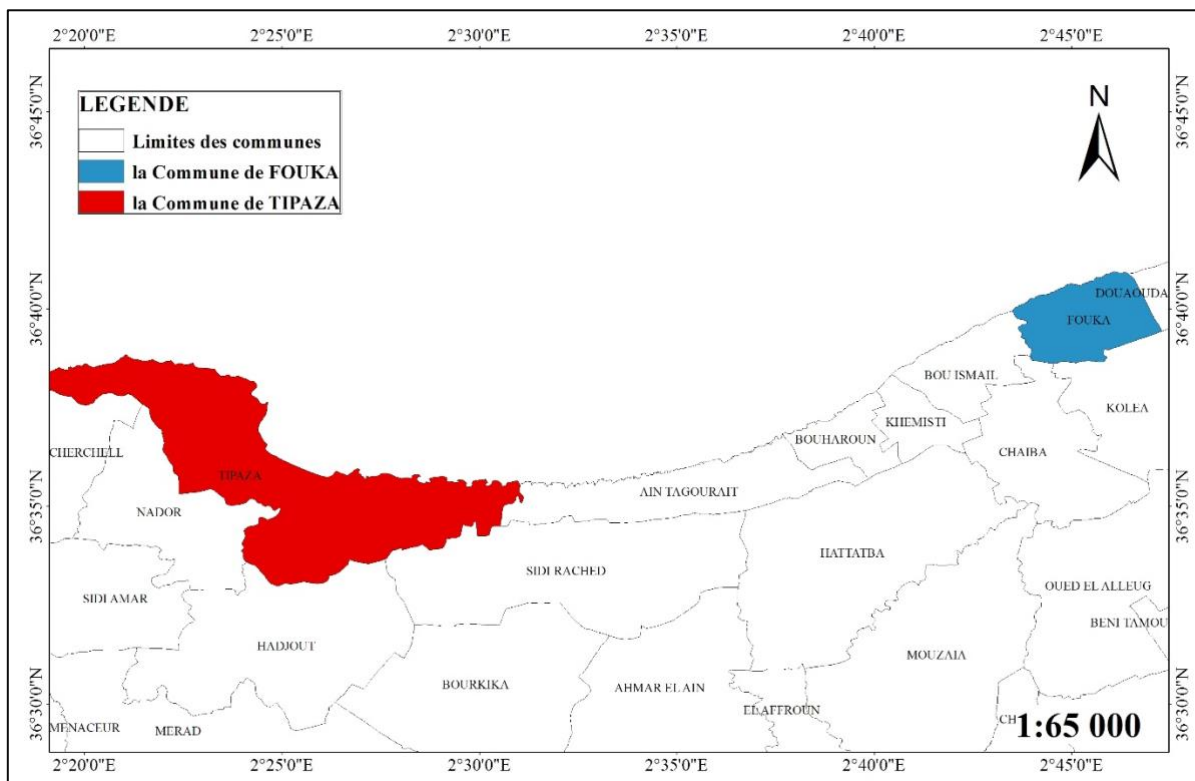
##### ▪ La commune de Fouka Marine :

**Fouka Marine** est située à environ 40Km à l'ouest d'Alger. Elle fait partie de la baie de Bou Ismail (ex Castiglione), qui est comprise entre le mont de Chenoua et le point de Sidi Fredj, L'ouverture de la baie est de 40 Km (**Leclair, 1972**). Une des plus importantes de la côte Algériennes.

Elle s'étend sur une superficie totale de 1273ha et délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud par la commune de Koléa.
- A l'Est par la commune de Douaouda.

- A l'Ouest par la commune de Bou Ismail.



**Figure 2:** Limites administratives de la commune de Fouka.

▪ **la zone d'étude :**

Notre zone d'étude se situe entre ; Les Latitudes : 36°40'30'' et 36°40'50'' Nord,

Et les Longitudes : 2°45'10'' et 2°45'30'' Est.



**Figure 3:** Situation géographique de la zone d'étude.

Le fond de carte représente une image du satellite d'après l'Arc Gis.

---

## ***CHAPITRE II***

*Diagnostic physique et  
interaction de facteurs*

---

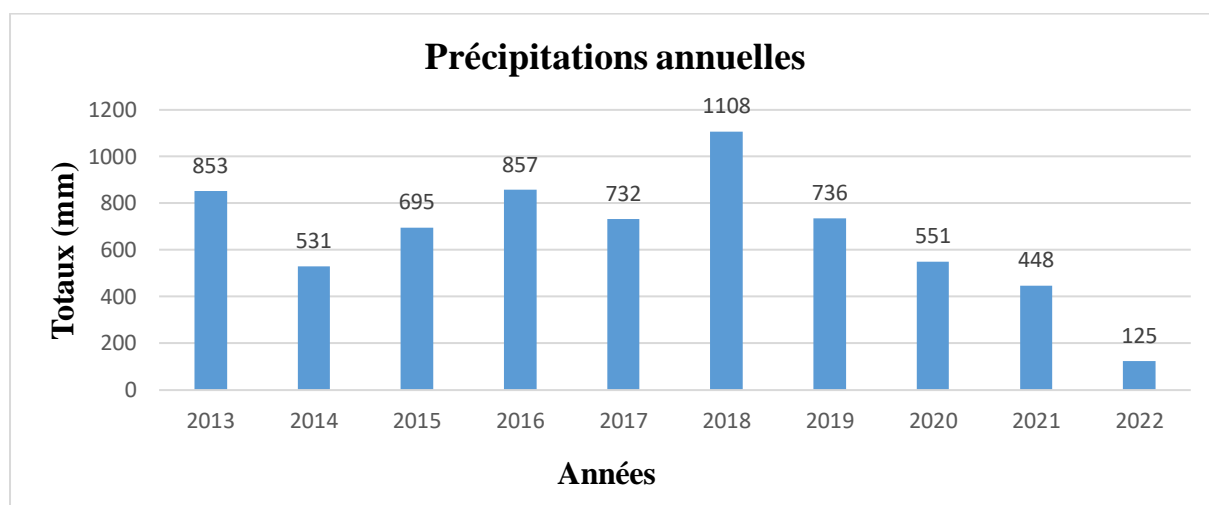
## 1. ETUDE CLIMATIQUE :

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants. En région méditerranéenne le climat est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes. Les facteurs climatiques sont formés par un ensemble de phénomènes énergétiques constitués par la lumière, la température et les facteurs hydrologiques et mécaniques (**Ramade, 1984**). Il varie en fonction du relief (altitude) et l'éloignement par rapport à la mer (**ADEM, 2014**).

### 1.1. Les précipitations :

L'étude des précipitations constitue un élément essentiel pour l'analyse des ressources en eau, dont la connaissance des pluies journalières et l'intensité maximale est primordiale pour les projets d'aménagements afin de pouvoir dimensionner certains ouvrages hydrauliques.

#### 1.1.1. Variation annuelle :



**Figure 4:** les précipitations annuelles dans la région de Fouka marine (de 2013 à 2022)

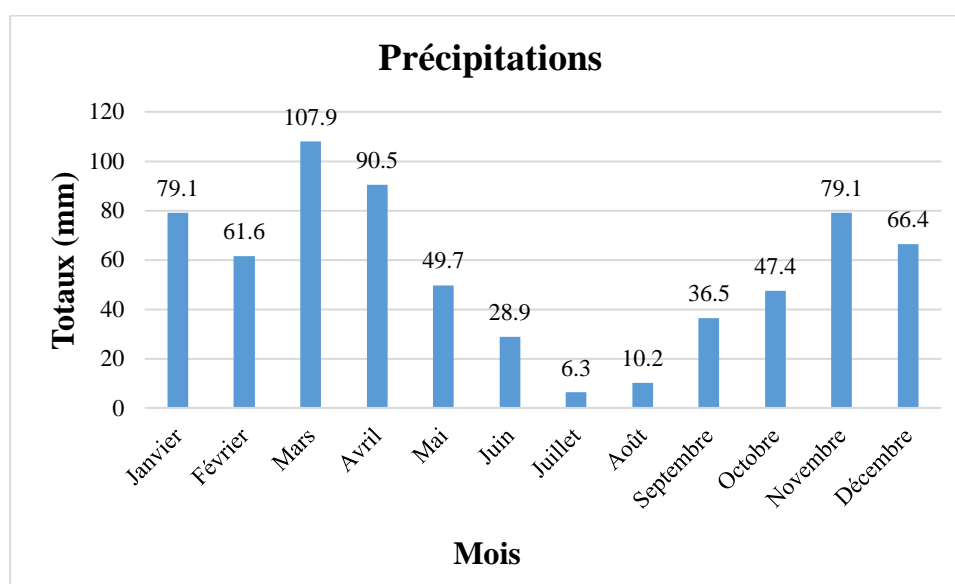
(Source : <https://www.historique-meteo.net>)

On constate d'après la **figure 04** :

- Une diminution remarquable des précipitations pour l'année 2022, avec une valeur moyenne de 125 mm
- Une augmentation importante des précipitations pour l'année 2018, avec une valeur moyenne de 1108 mm

La moyenne annuelle des précipitations dans la région de Fouka marine de (2013 à 2022) est d'environ 663,6 mm

### 1.1.2. Variation mensuelle :



**Figure 5** : les moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Fouka marine (de 2013 à 2022) (Source : <https://www.historique-meteo.net>)

Le régime des pluies dans la région de Fouka marine obéit un cycle méditerranéen caractérisé par son irrégularité et l'alternance de deux saisons distinctes :

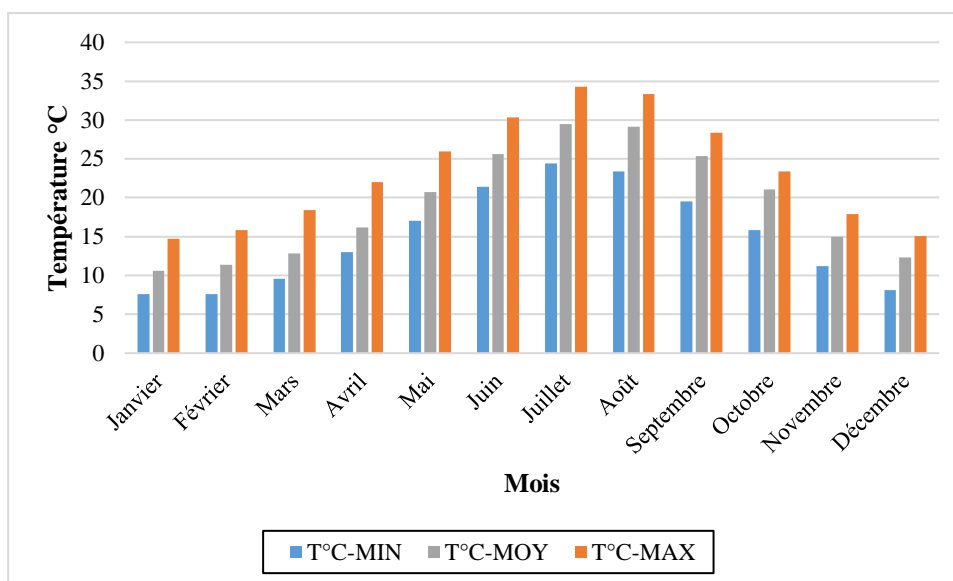
- Une saison estivale sèche allant de juin à septembre (précipitation moyenne est de **20.48 mm**).
- Une saison hivernale humide allant de mois d'Octobre au mois d'Mai (précipitation moyenne est de **72.71 mm**).

La moyenne mensuelle des précipitations le long de l'année est de **55.3 mm**

### 1.2. Température :

La température est un élément fondamental en océanographie. Ce facteur contrôle en surface l'intensité des échanges mer-atmosphère et conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers.

#### 1.2.1. Variation mensuelle :



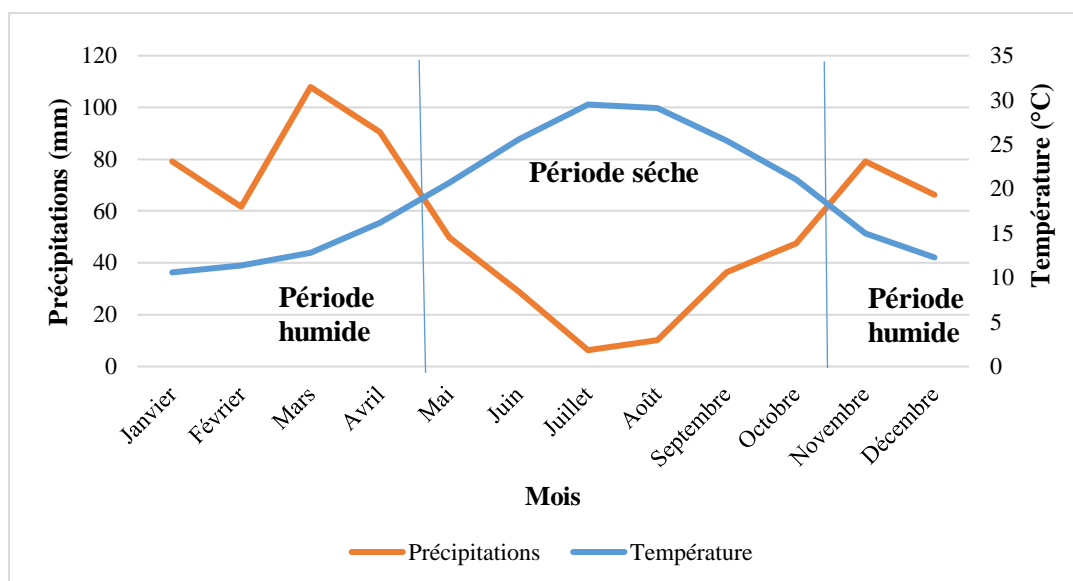
**Figure 6** : Les variations mensuelles des températures de 2013 à 2022 (Source : <https://www.historique-meteo.net>)

Cette zone est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides.

L'analyse de la moyenne mensuelle des températures (**Figure 06**) montre que le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec une moyenne de 29,5°C alors que le mois de Janvier est le mois le plus froid ou les températures moyennes n'excédant pas 10,6°C.

### 1.3. Synthèse climatique :

Le diagramme ombrothermique suivant est obtenu en portant sur les abscisses les mois , et sur les axes verticaux les précipitations et les températures mensuelles moyennes et ceci durant une décennie , le graphe obtenu est représenté dans la figure n° 7 :



**Figure 7:** Diagramme ombrothermique de la commune de Fouka Marine (de 2013-2022)  
(Source : <https://www.historique-meteo.net>)

Pour déterminer le bioclimat d'une région, EMBERGER (1955) a institué un quotient pluviothermique **Q2** valable pour les climats de type méditerranéen. (HELALI ET MOUSSAOUI, 2016)

$$Q2 = 1000 * P / (M - m) (M + m)$$

Ce quotient a été modifié par STEWART (1969) en

$$Q2 = 3,43 * P / (M - m)$$

- **Q2** : Quotient pluviothermique annuel (en mm).
- **P** : Précipitation annuelle moyenne (en mm).
- **M** : Moyenne des maximales des mois le plus chaud (en C°).
- **m** : Moyenne des minimales des mois le plus froid (en C°).

Pour définir l'étage bioclimatique de notre région d'étude, nous avons utilisé le climagrammepluvio-thermique de **Sauvage (1963)** qui combine deux paramètres climatiques. L'axe des ordonnées représente les valeurs du quotient(Q2) et sur l'axe des abscisses figurent les valeurs de température minimale (m) du mois le plus froid. Sur ce climagramme nous avons **cinq étages** bioclimatiques :

**Saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide**

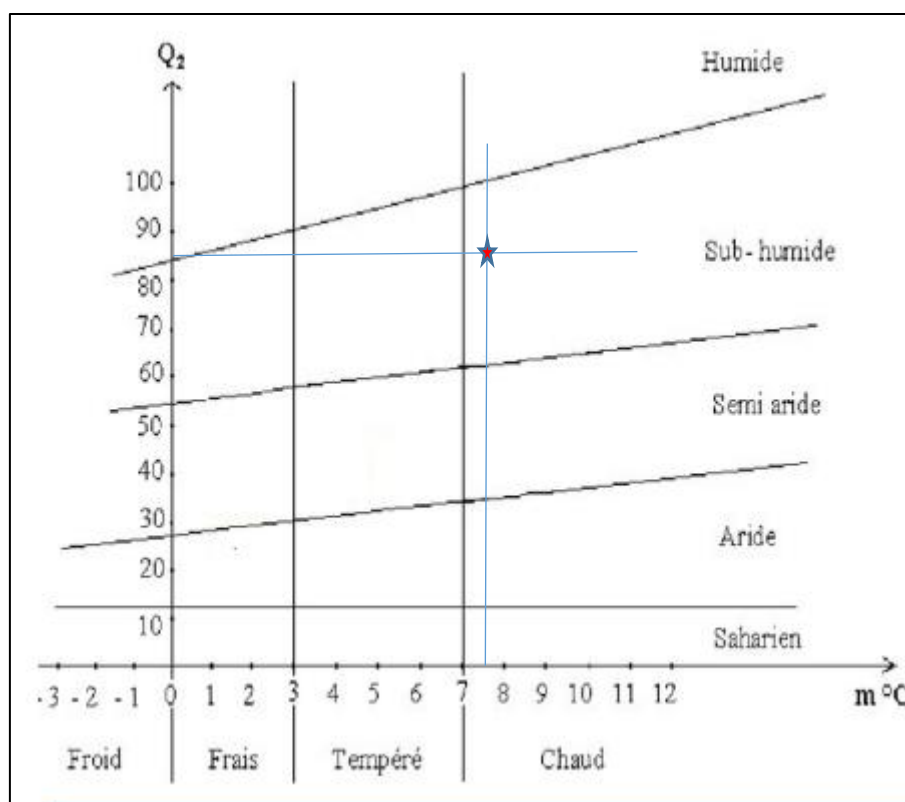
Ces derniers sont divisés en sous étages (inférieur, moyen et supérieur) puis en variantes thermiques en fonction de la valeur de (m) :

$0^{\circ} < m < -3^{\circ}$	Froid
$+3^{\circ} < m < +7^{\circ}$	Tempéré
$0^{\circ} < m < +3^{\circ}$	Frais
$m > +7^{\circ}$	Chaud

Variable	P	M	m	Q3
Valeur	663,6 mm	34,3 °C	7,6 °C	85,24

**Tableau 1:** Données d'entrée pour le calcul du quotient pluviométrique d'EMBERGER

La valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER Q2 est égale à 85,24. Suivant le climagramme d'EMBERGER (**Figure 08**), la zone d'étude est située à des climats Sub-humide.



**Figure 8:** Localisation de la région d'étude dans le climagramme d'EMBERGE

#### 1.4. Les vents :

Le vent est un élément moteur dans la dynamique des eaux marines, il est l'origine des houles et courants superficiels, leurs caractéristiques peuvent être déterminantes pour le choix d'un dispositif de protection. (Guebbabi and Salem, 2012)

Les données utilisées pour étudier les vents de notre zone d'étude sont de la base de données hébergée dans le site web Puertos del Estado de janvier 1958 jusqu'à mai 2022, les coordonnées de la station de mesure sont : 2.17° E, 36.67°N.



Figure 9: La position de la station de mesure (Puertos del Estado)

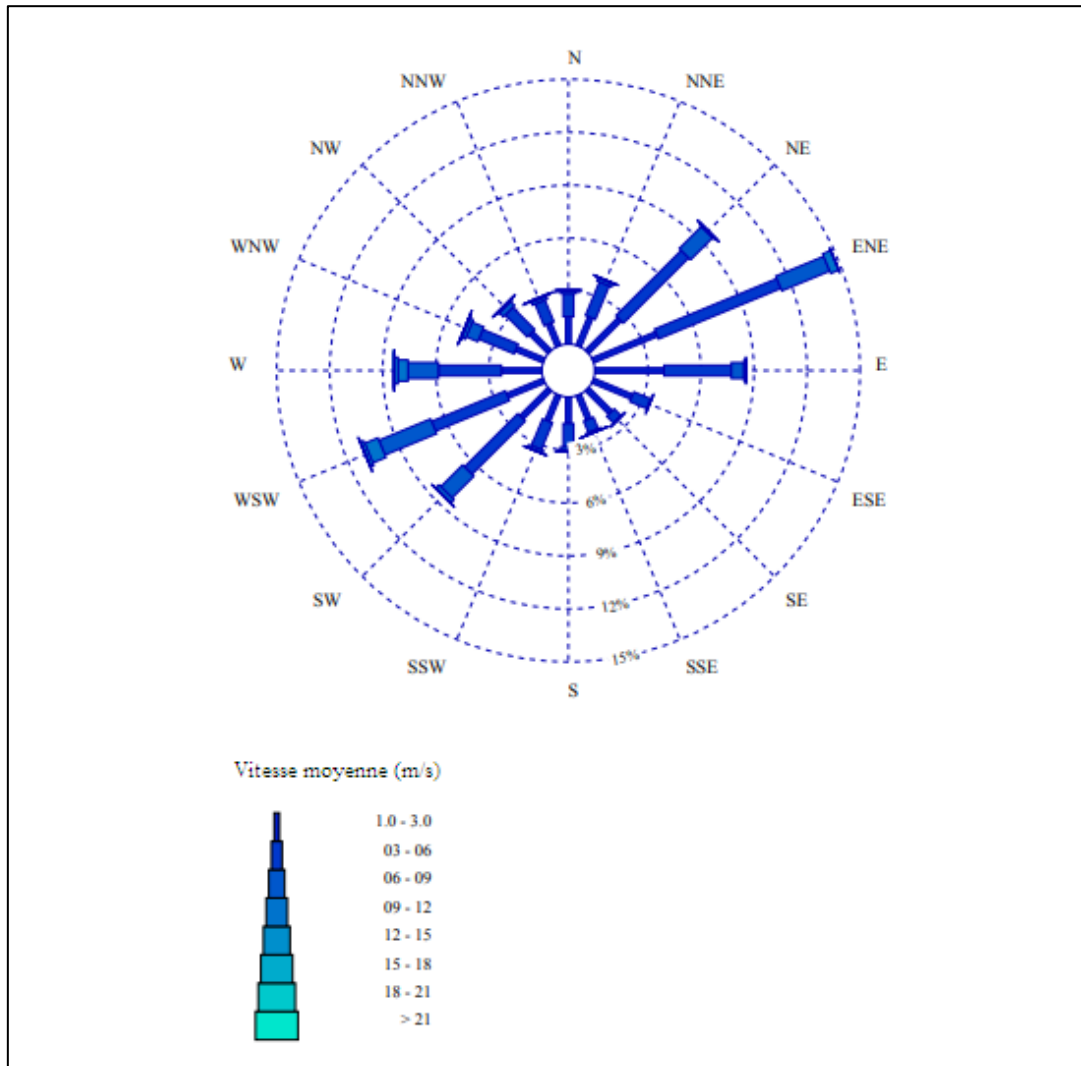


Figure 10: Rose des vents annuelles (Puertos del Estado, 1958 à 2022)

On remarque que les vents les plus dominants sont de direction Est Nord Est, Ouest Sud-Ouest et Nord Est avec intensité de 15 %, 11% et 10% respectivement .ils soufflent le plus souvent sur la région et peuvent engendrer des tempêtes, celle-ci causent l'érosion et endommagent les habitats construits sur le rivage, sans oublier que ces vents peuvent être à l'origine d'une érosion éolienne.

## 2. ETUDE OCEANOGRAPHIQUE

### 2.1. Les houles :

La houle est une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau, celle-ci étant générée initialement par le vent. Elle se propage plus ou moins régulièrement jusqu'à l'approche des côtes où elle subit des modifications par réfraction, diffraction et déferlement. (Guilcher, 1979)

La détermination des caractéristiques de la houle au large permet de :

- Mieux analyser les constatations faites à l'évolution du littoral.
- Déterminer les dimensions des ouvrages de protection.
- Estimer le transit sédimentaire.

Les données utilisées pour étudier les houles et l'état de la mer de notre zone d'étude Fouka Marine sont de la base de données hébergée dans le site web **Puertos del Estado** de janvier 1958 jusqu'à novembre 2022, les coordonnées de la station de mesure sont : 2.00° E, 37.00°N.



Figure 11: La position de la station de mesure (Puertos del Estado)

L'analyse des roses des houles fait ressortir que les directions dominantes proviennent des secteurs :

- Est Nord Est à 33% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (55%) qu'en hiver (>15%).
- Ouest à (20%) du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (29%) qu'en été (15%).

Les pourcentages d'apparition des deux secteurs (ENE et W) sont similaires durant l'année et les deux trimestres (Automne et Printemps), ils s'élèvent en moyenne à (28%). En conclusion, les houles en provenance du secteur Est-Nord-Est prédominent en été. Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui proviennent des deux secteurs Est-Nord-Est et Ouest prédominent durant l'automne, le printemps et annuellement.

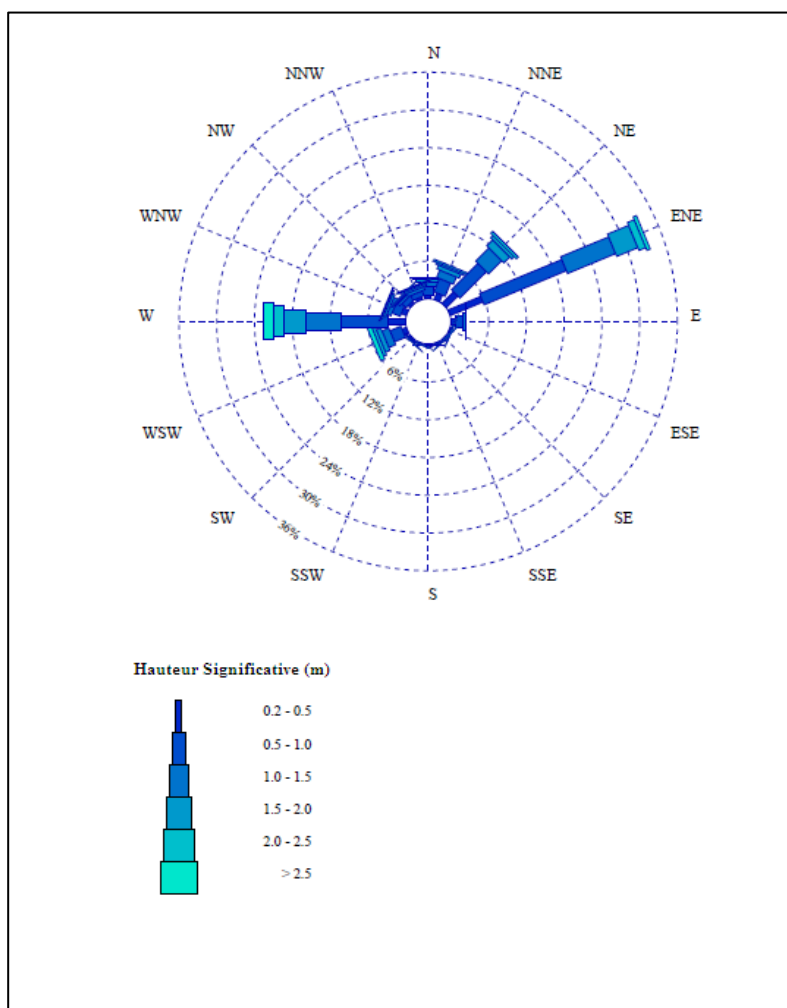


Figure 12: la Rose annuelle des houles (Puertos del Estado 1958-2022)

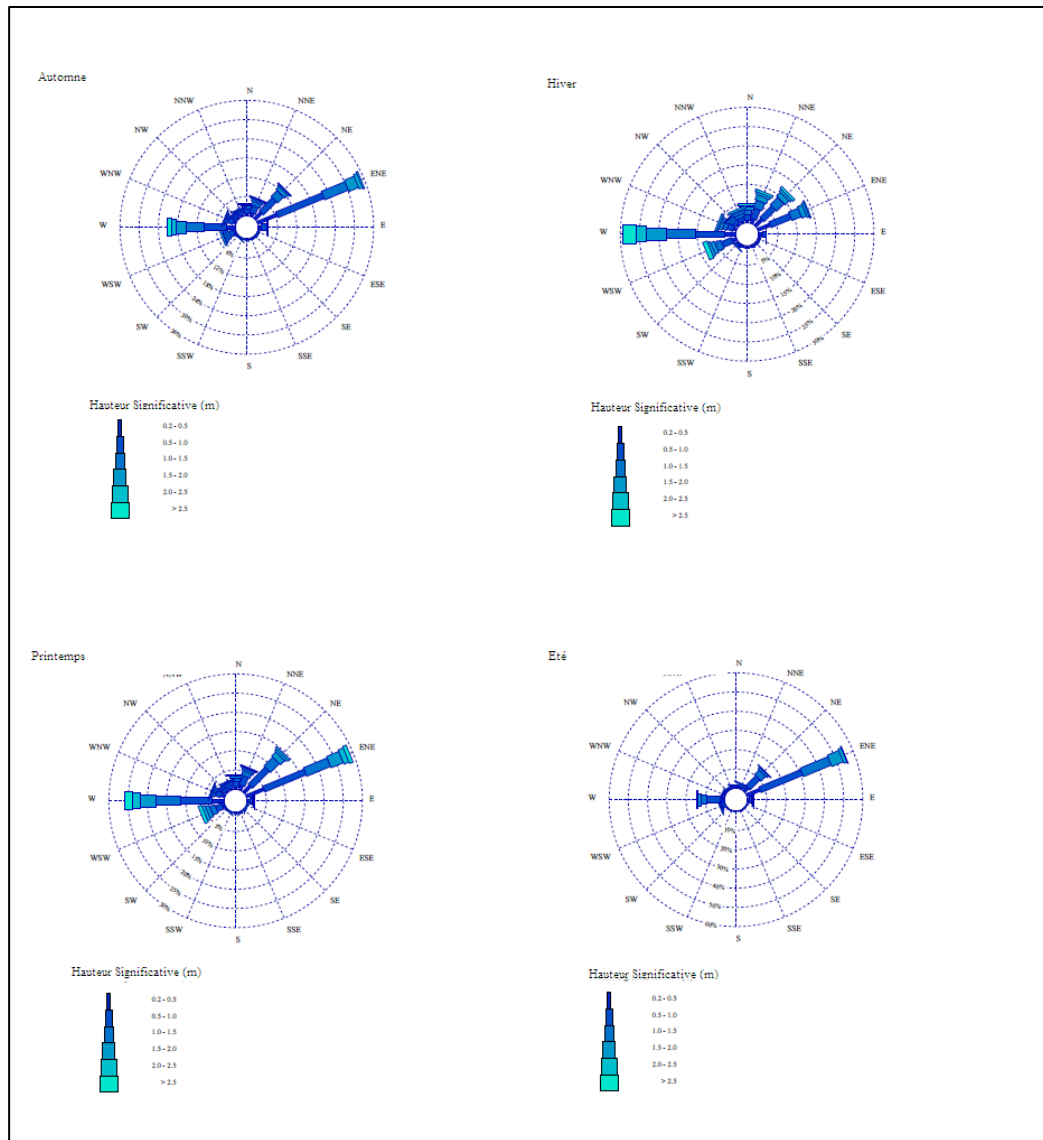


Figure 13: Roses saisonnières des houles (Puertos del Estado 1958-2022)

**2.2. Les courants :**

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

Les courants côtiers elles sont produites au niveau du bord d'un bassin (marin ou lacustre) par le déplacement de masses d'eau perpendiculaire et parallèle à la tendance de la côte.

Les roses de courants sont réalisés par WRPLOT-view à partir des données de courants côtiers enregistrés par le LEM dans les mois novembre, décembre 2021 et avril 2022. Les coordonnées de courantomètre sont 36° 41' 1. 1795'' N ,2° 45' 7. 7786'' E et -12 m de profondeur.



**Figure 14:** Localisation et coordonnées du point de mesure



**Figure 15:** Mise en place de courantomètre au niveau du site d'étude (LEM)

L'analyse des roses des courants fait ressortir que les directions dominantes sont orientés vers :

- le Secteur EST à 29,3 % avec une vitesse sup à 2 m/s, Nord-Est à 23.4% avec une vitesse entre 0.4 et 0.8 m/s.
- le secteur sud à 99,5% avec une vitesse supérieure à 1m/s.

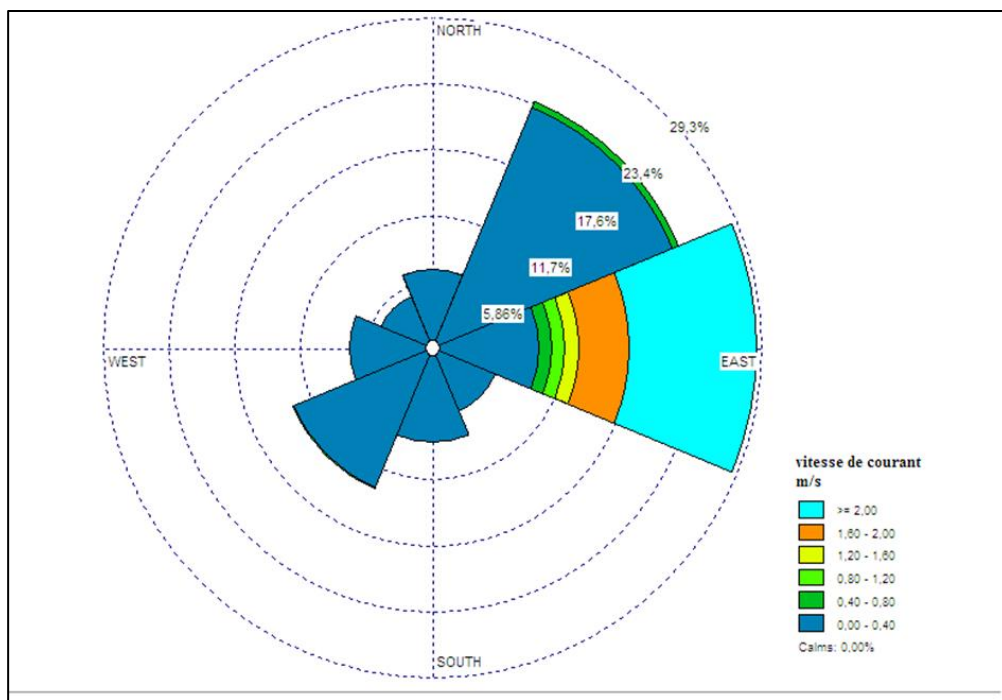


Figure 16: Rose mensuelle des courants (nov, déc 2021)

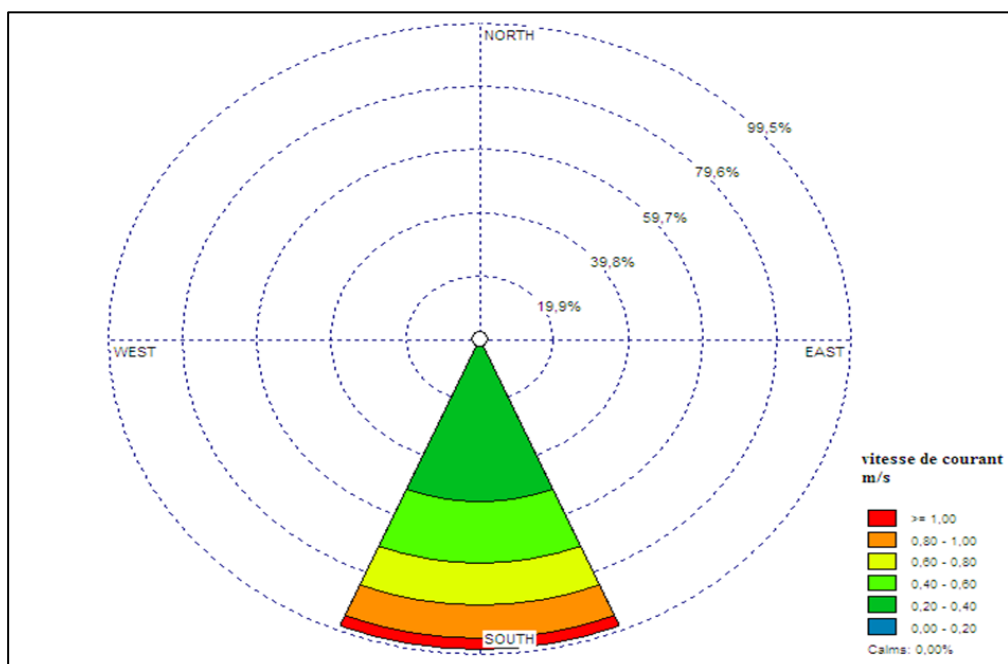


Figure 17: Rose mensuelle des courants (avril 2022)

### 3. ETUDE HYDROGRAPHIQUE :

La connaissance de la provenance des eaux irriguant la zone d'étude ainsi que leurs principales caractéristiques (origine, débit liquide et solide, pente, dimension de bassin versant, etc.) constitue un élément primordial pour déterminer le chemin et la quantité de sédiments arrachés et transportés jusqu'aux zones d'embouchure. (BELLABAD, 2020)

Après le traitement d'un MNT qui a été téléchargé à partir du site EARTHDATA, une carte du réseau hydrographique de Fouka Marine et une autre carte du bassin versant d'Oued Mazafran ont été produites.

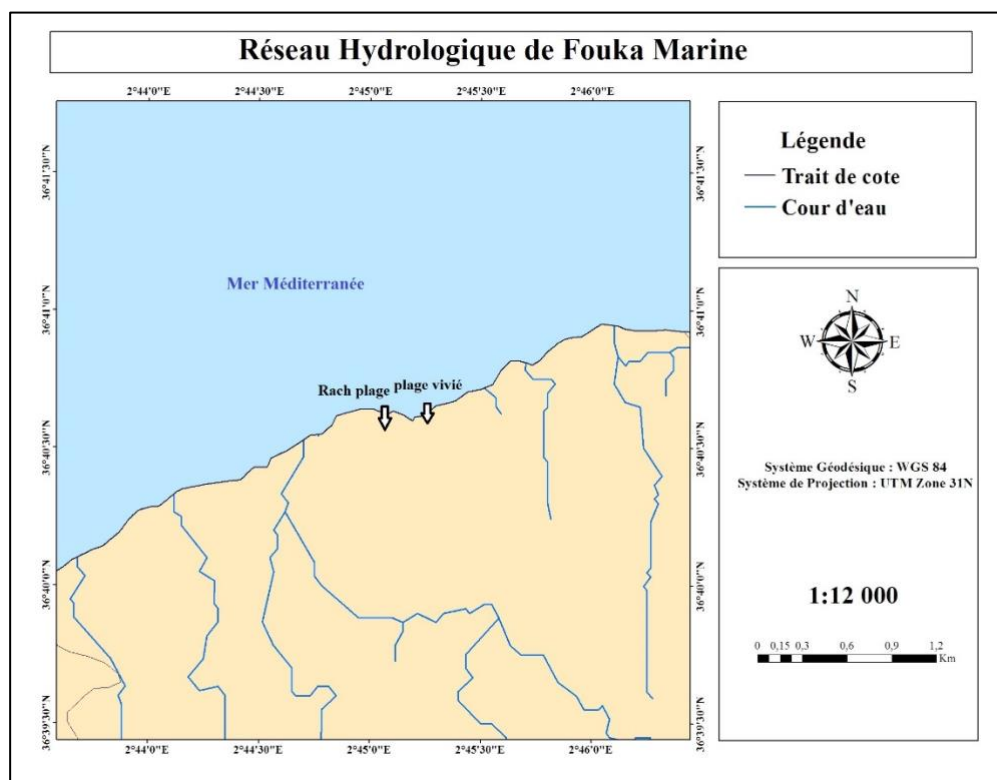
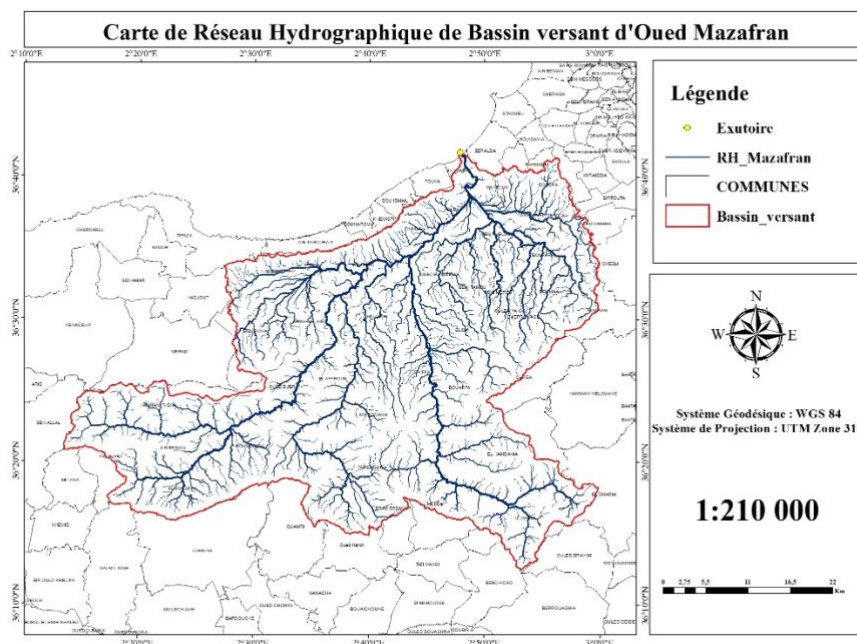


Figure 18: Réseau hydrographique de Fouka Marine.

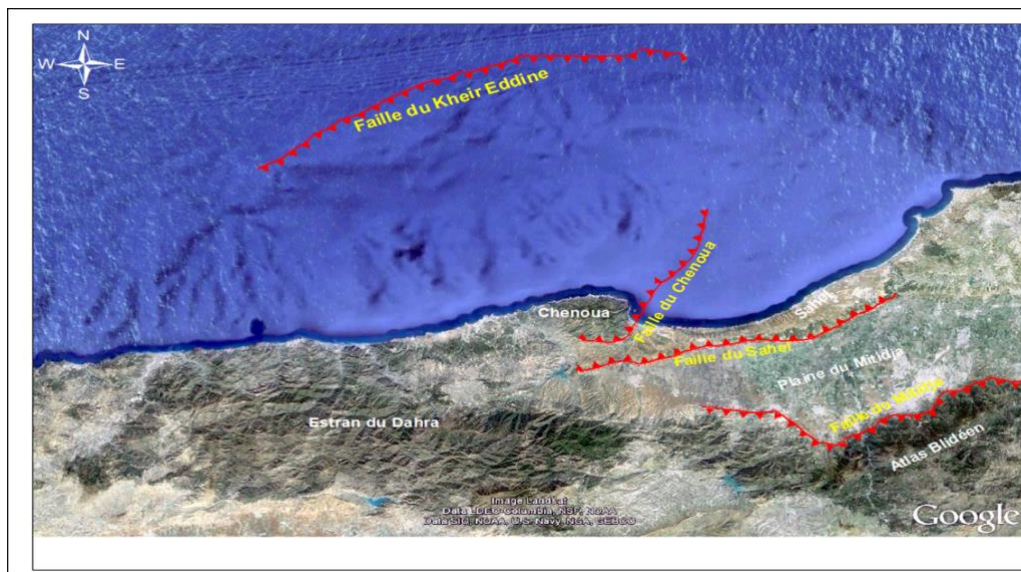


**Figure 19:** Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Mazafran

Les principales cours d'eau qui alimente la région de Fouka marine est l'Oued Mazafran. Cet oued qui prend son nom de la couleur de ses eaux : El Ma Essaфра (eau jaune) ; constitue l'un des principaux cours d'eau de la Mitidja et le plus important débouchant de la Baie de Bousmail .Il est formé principalement par la confluence de trois oueds secondaires, qui sont l'Oued Djer, Bouroumi et la Chiffa et reçoit comme affluent Oued Fatis.

Le bassin de Mazafran est plus important, il est subdivisé selon l'A.N.R.H en quatre sous bassins versants : Chiffa, Djer, Bouroui et le bassin intermédiaire de Mazafran, l'ensemble des écoulements de ce bassin se dirigent vers la cluse de Mazafran.





**Figure 21** : Carte tectonique de la région du Tipaza (LEM,2016)

### 4.1.3. Sismicité de la région

La sismicité de l'Algérie du Nord est maintenant connue depuis 1365, date du séisme qui frappé la ville d'Alger.

Dans notre pays, cinq zones sont définies en fonction de leur sismicité croissante :

**Zone 0** : sismicité négligeable.

**Zone 1** : sismicité faible .

**Zone 2** : sismicité moyenne .

**Zone 3** : sismicité élevée .

La région d'étude est située dans la zone 3, caractérisée par une sismicité élevée .elle a connue plusieurs séismes.

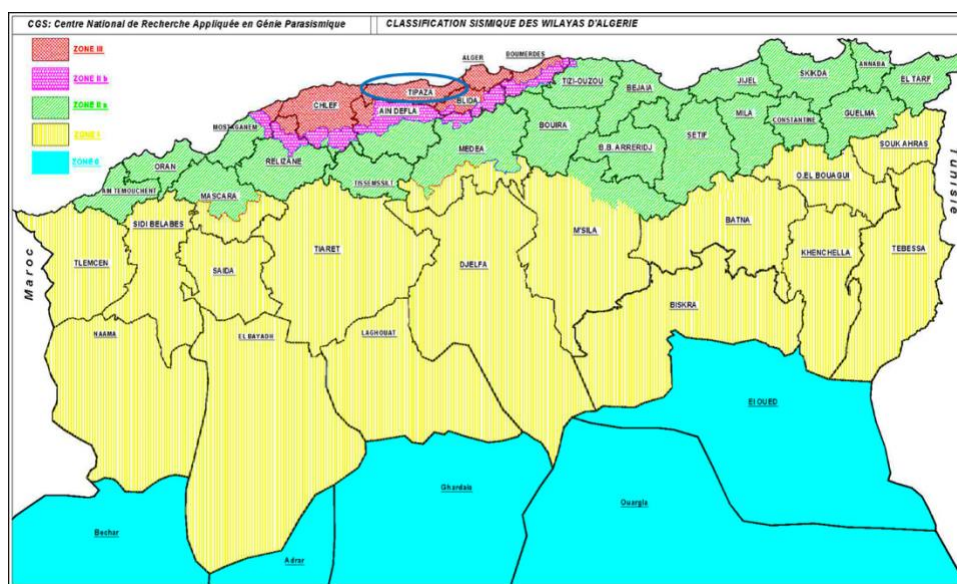


Figure 22: Carte classification sismique des wilayas D’ALGERIE (d’après CGS 2003)

Entre les années 2014 et 2015 la région de PAC est connue une activité sismique dense avec des magnitudes faibles d’une valeur moyenne de 3,3. Les principaux séismes sont frappés Tipaza pendant cette période cités au tableau suivant :

Localité	Date	Magnitude
Au large de Douaouda	14/12/2014	3.0
Nord-est de Nador (en mer)	16/06/2015	3.8
Sud-est de Gouraya	23/08/2015	3.2
Nord-est de Sidi Ghiles	01/10/2015	3.6
Fouka	11/10/2015	3.4
Nord-ouest	14/12/2015	2.7

Tableau 2: Les principaux séismes sont frappés Tipaza pendant la période 2014-2015 (LEM)

#### 4.2. Cadre géomorphologique

La région de Tipaza présente une morphologie singulière, délimité par la mer méditerranée sur 159 km. Les pentes sont variables, au Nord elles sont plus douces. La morphologie de la région s’est formée à la faveur d’une succession de mouvements tangentiels et de soulèvement de l’orogénèse atlasique et /ou alpine. Les unités dont l’existence est essentiellement liée à des conditions structurales. Il existe également des unités dont la genèse est tributaire, tandis que d’autres ont été façonnées par les phénomènes d’érosion

continentale ou d'abrasion marine. Chaque unité physique comporte un grand nombre de sous-unités dont le but est de mettre en évidence l'essentiel de leurs caractères morpho structuraux et morpho dynamiques. Les principales grandes unités qui traversent notre zone d'étude sont constituées : d'un système montagneux, un système des bassins et d'autres appartenant aux vallées et au littoral

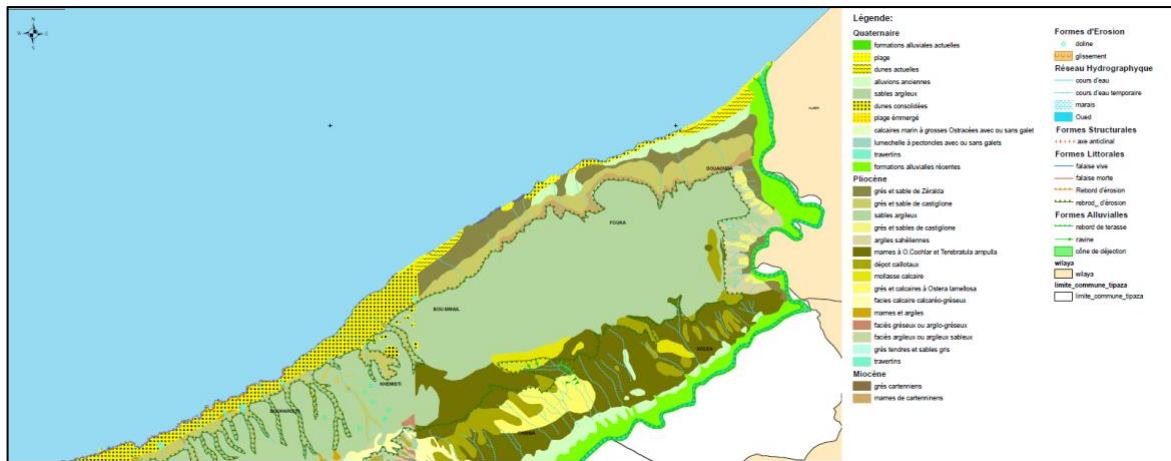


Figure 23 : Carte géomorphologique de côté ouest de wilaya de Tipaza (LEM, 2016)

### 4.3. Morphologie des fonds marin

Un étage en océanographie est une zone bathymétrique. On va distinguer différents étages dans l'estran, c'est-à-dire la zone du littoral comprise entre les niveaux connus des plus hautes et des plus basses mers. Aussi un étage sous-marin est défini comme « l'espace vertical du domaine benthique marin où les conditions écologiques, fonction de la situation par rapport au niveau de la mer, sont sensiblement constantes ou varient régulièrement entre les deux niveaux critiques marquant les limites des étages ».

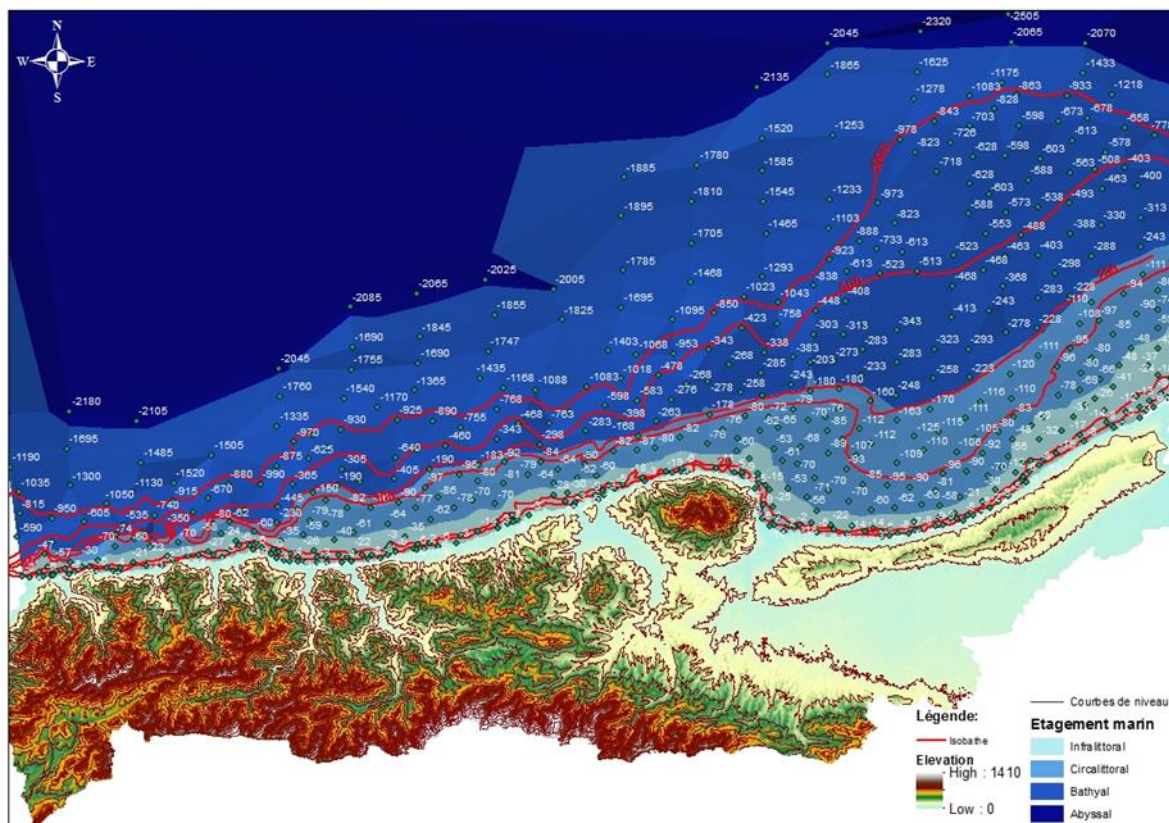


Figure 24: l'étagement marin de la wilaya de Tipaza (LEM,2016)

#### 4.4. L'indice de vulnérabilité :

La vulnérabilité représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages.

L'indice de vulnérabilité vise à simplifier et à présenter l'information dans une forme plus facilement compréhensible et donc plus utile pour les gestionnaires.

##### 4.4.1. L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) :

Le CVI (Coastal Vulnerability Index) imaginé par Gornitz V. (1991) est une sorte d'une base de données constituée de plusieurs variables (géomorphologie, Taux de changement de la côte, pente, élévation relative du niveau de la mer, hauteur moyenne des vagues et la moyenne de la marée)

Après avoir évalué l'intensité de vulnérabilité pour les 6 variables physiques, l'étape suivante consiste à calculer la valeur numérique unique qui définit la vulnérabilité de chaque section par la formule de Gornitz (Marc, 2016) :

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

- a = géomorphologie ;
- b = Taux de changement de la côte ;
- c = pente
- d = élévation relative du niveau de la mer ;
- e = hauteur moyenne des vagues ;
- f = moyenne de la marée

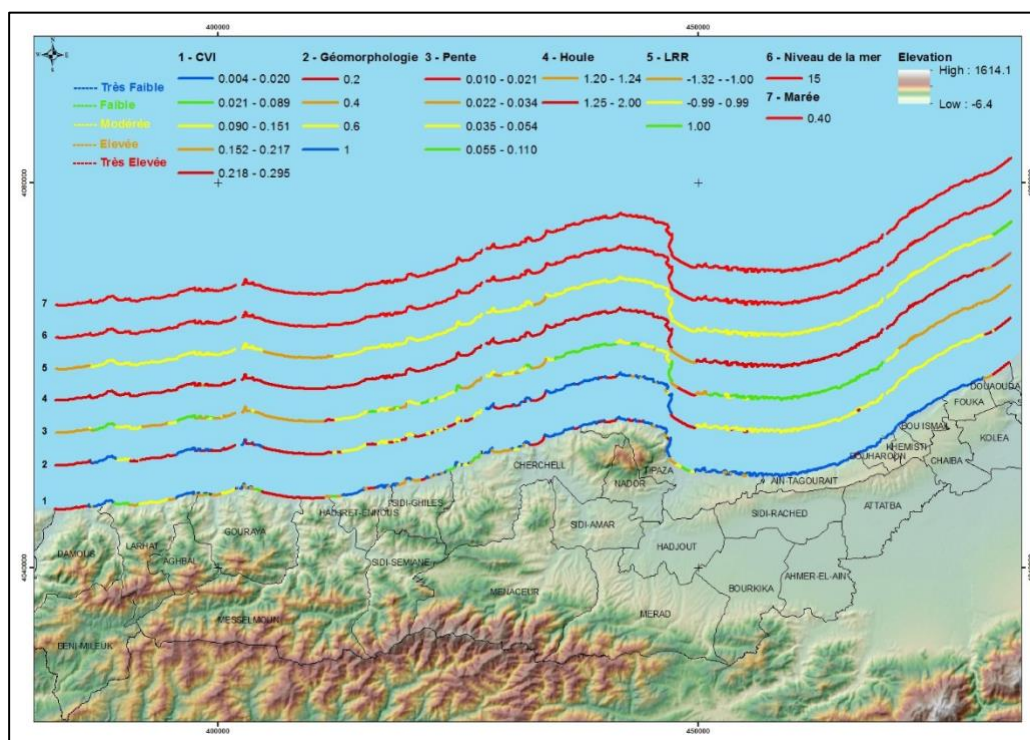


Figure 25: Carte des classes du CVI de wilaya de Tipaza (LEM)

La majeure partie du littoral de la wilaya, présente une vulnérabilité très Faible, toutefois avec 63 km de long soit 40% de la longueur totale de la côte. Ce secteur correspond aux zones avec des pentes les plus élevées, une stabilité côtière et des faibles hauteurs de la houle. Ces zones se localisent particulièrement sur la côte Est de la wilaya, les côtes adjacentes au Mont Chenoua, et au niveau des falaises des communes de Sidi Ghiles, Hadjret Ennous, Gouraya, Larhat et Damous.

---

# ***CHAPITRE III***

## *Diagnosticque de détail*

---

## 1. ETUDE TOPO BATHYMETRIQUE :

La bathymétrie est la science de mesure des profondeurs et du relief sous la surface de la mer pour déterminer la topographie des fonds marins (**Talanzar and Salhi, 2018**)

La bathymétrie est un facteur important dans l'implantation et le dimensionnement des ouvrages.

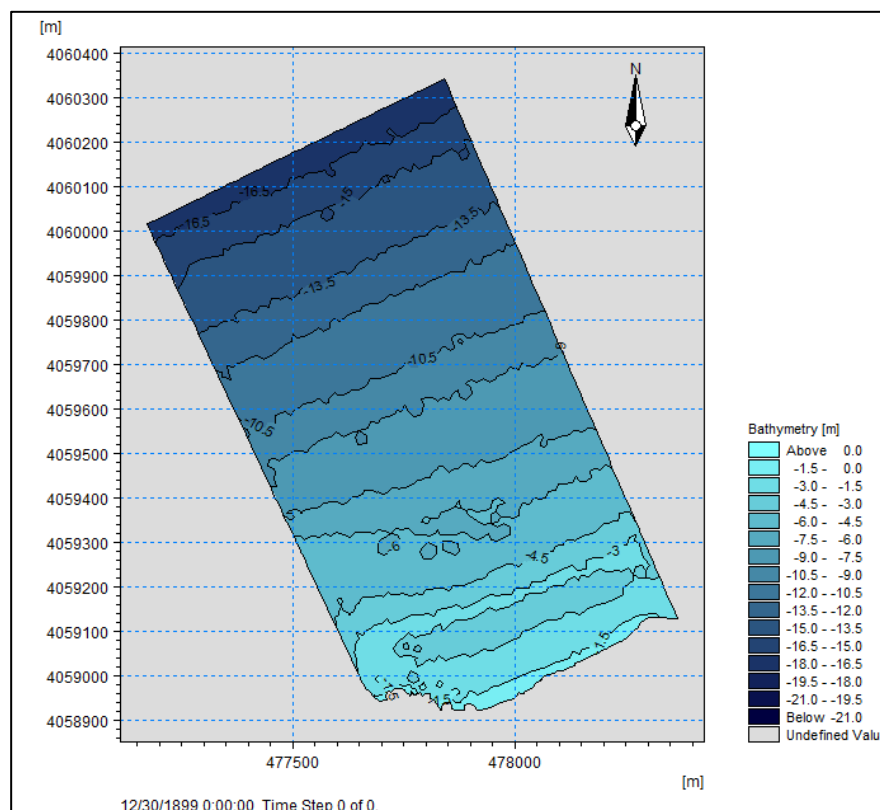
### 1.1. Source des données :

Le levé bathymétrique utilisé pour cette étude été réalisé par le LEM à l'aide d'un récepteur GPS (Global Positioning System) et d'un échosondeur. Le Levé de trait de côte est aussi réalisé par le LEM .

Les altitudes des levés sont fournies par rapport au NGA (Niveau Général Algérien)

### 1.2. Les résultats de l'étude bathymétrique :

Les résultats de traitement des données bathymétriques sont présentés dans la figure 26 (à l'aide de logiciel Mike 21)



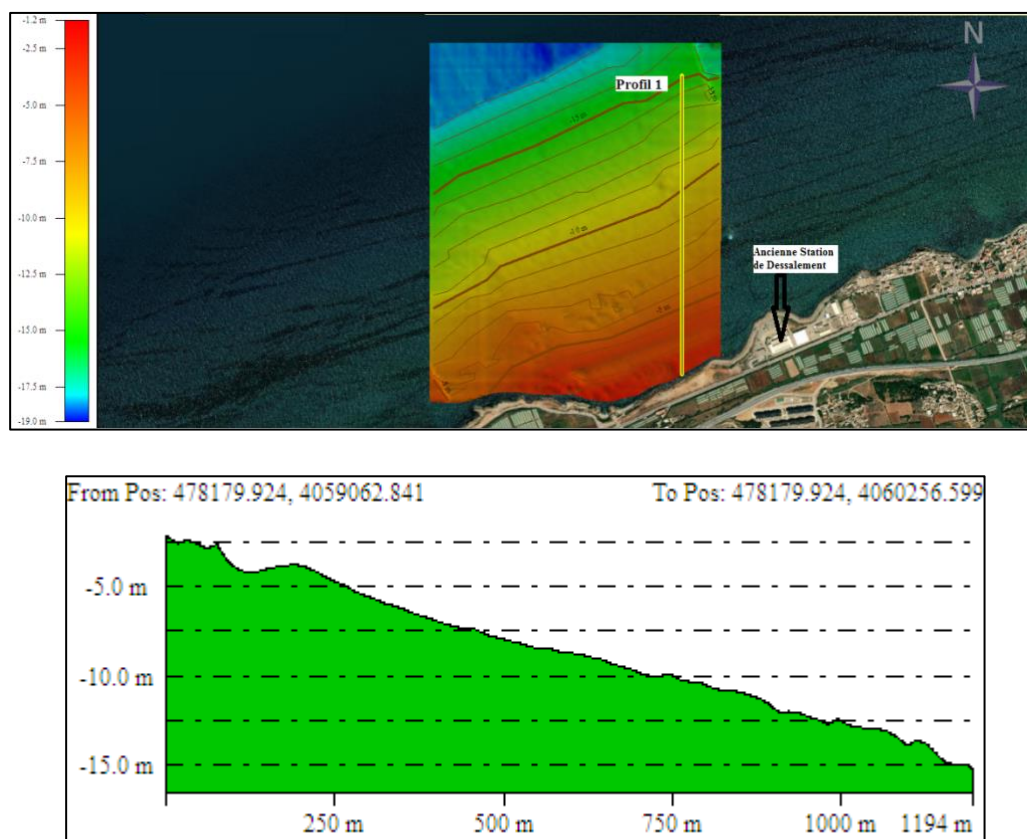
**Figure 26 :** Carte bathymétrique de Fouka marine

L'analyse du levé bathymétrique de zone d'étude, montre deux parties bien distinctes dans la plage sous-marine. La partie proche du trait de côte présente un fond marin marqué par l'existence d'un platier rocheux en continuité au Nord avec une dépression sous-marine comprise entre -1,5 et -3 m suivi d'une remontée à -3 m.

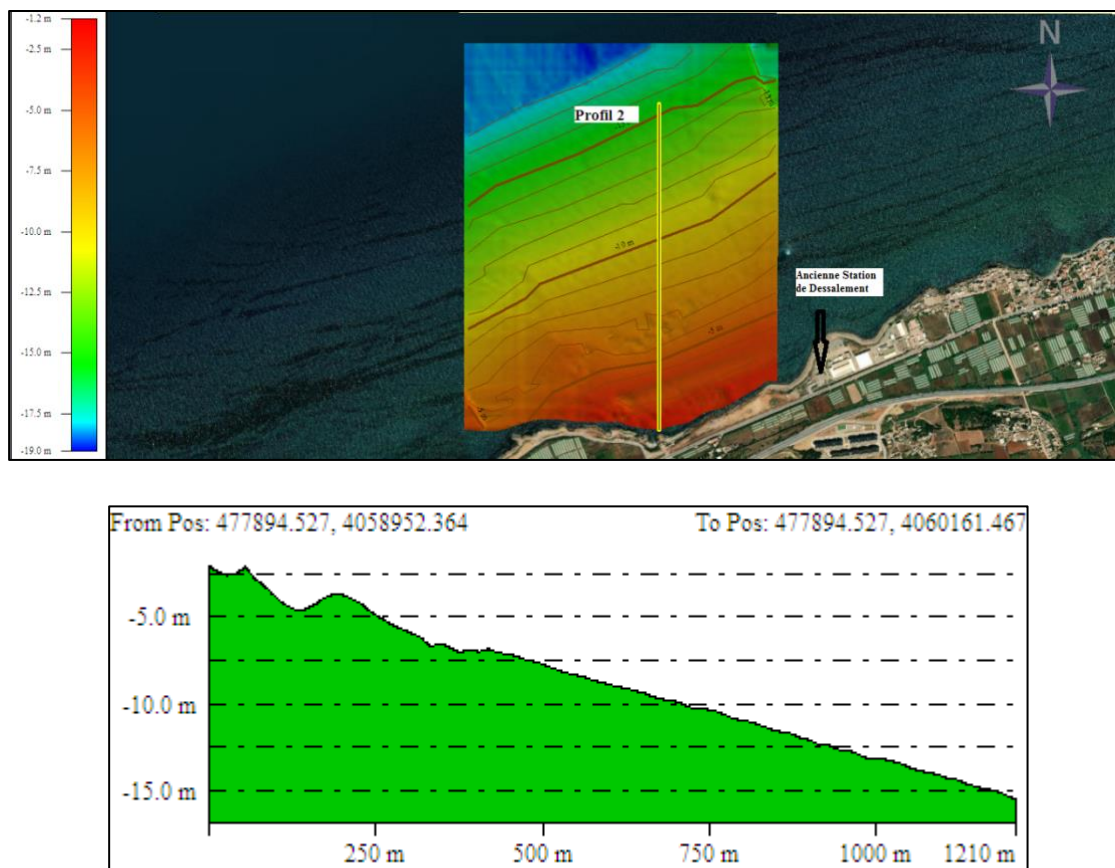
A partir de l'isobathe -5m, le fond marin est assez régulier dans l'ensemble des profondeurs de 18 m au maximum et une pente moyenne de 1.2 %.

### 1.3.Génération des profils bathymétriques avec le logiciel Global Mapper :

Le profil bathymétrique est une section par plan vertical de la surface topographique, dans ce cas deux profils bathymétriques ont été réalisés.



**Figure 27** : Illustration de la pente au niveau du site de Fouka marine Profil 1



**Figure 28** : Illustration de la pente au niveau du site de Fouka marine Profil 2

#### **Commentaire :**

Les profils transversaux ci-dessus montrent que le fonds descend avec une faible pente qui caractérise par une fosse parallèle à la cote et des gonflements, à partir de 5 m de profondeur on peut dire que la pente devient plus en plus douce jusqu'au large avec l'existence de petites irrégularité dans les deux profils en général.

L'avantage de l'élaboration de ces profils est de mieux comprendre la morphologie sous-marine de la zone d'étude et l'évolution du fond, ce qui nous aide précisément pour le dimensionnement des ouvrages de protection.

## 2. PROPAGATION DE LA HOULE ET MODELISATION HYDRO-SEDIMENTAIRE :

Les études préliminaires (l'étude de la réfraction et l'étude hydro-sédimentaire) permettent de mieux comprendre les processus côtiers tels que l'érosion côtière, le transport sédimentaire, les marées, les courants .... Cette compréhension est essentielle pour évaluer les changements à court et à long terme sur le littoral, identifier les zones à risque et concevoir des mesures de protection appropriées.

### 2.1. Logiciel utilisé

Pour simuler le processus d'accrétion et d'érosion, on doit faire appel à l'application de modèles mathématiques et numériques.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morpho dynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle, du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans Mike21 (Than, 2015)

- **Mike Zéro :**

Mike Zéro est le nom commun des implémentations Windows de DHI intégrant l'interface utilisateur graphique pour la mise en place des simulations, la pré-analyse, le post-traitement et la visualisation dans un environnement de projet orientée (DHI, 2007).

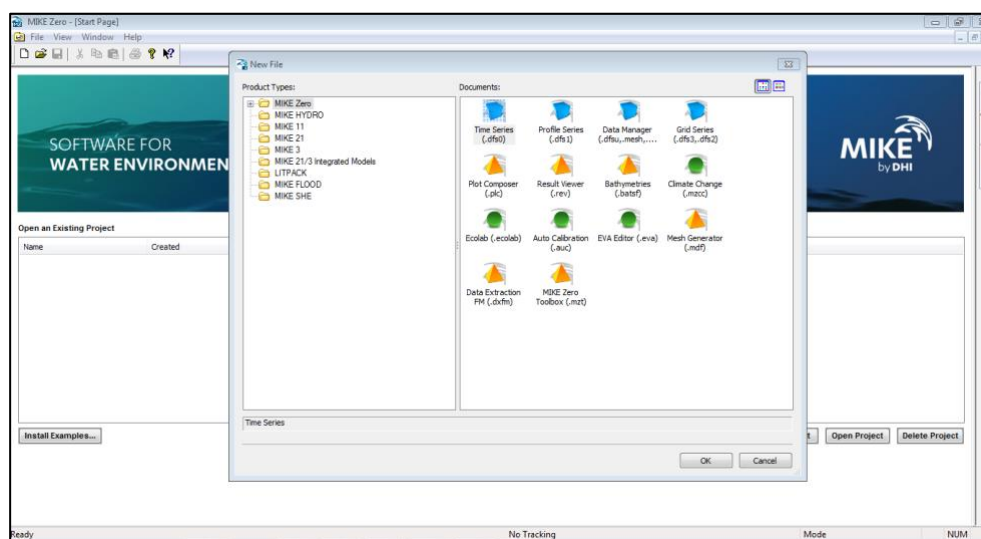


Figure 29: Interface de Mike Zéro

- **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).

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

- **MIKE21-SW (Spectral waves Flexible Mesh):**

Il s'agit d'un Modèle spectral de vague de 3<sup>ème</sup> génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par le changement de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille de maillage flexible et non imbriqué (DHI, 2014).

- **MIKE21-HD (Hydrodynamic model):**

Le modèle traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vents et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc... Il nous permet de simuler les courants côtiers dû à l'action de la houle dans la zone de déferlement. Il fournit aussi les conditions hydrodynamiques aux autres modules de ce système tel que le module MIKE 21-ST (LABDI and MANDI, 2021).

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

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right]$$

$$-\Omega q - fVv_x + \frac{h}{\rho w} \frac{\partial}{\partial x} (P\alpha) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right]$$

$$+ \Omega q - fVv_y + \frac{h}{\rho w} \frac{\partial}{\partial y} (P\alpha) = 0$$

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

$h(x, y, t)$  : Profondeur de l'eau (m).

$(x, y, t)$  : Variation temporelle de la profondeur de l'eau (m).

$Z(x, y, t)$  : L'élévation de surface (m).

$p(x, y, t)$  : Densités de flux dans les directions x et y (m<sup>3</sup>/s/m).

$(x, y)$  : variantes de Chezy.

$g$  : L'accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>).

$(V)$  : Facteur de frottement de vent.

$V, X, VY(x, y, t)$  : Vitesse et composantes du vent dans les directions x et y (m/s).

$\Omega(x, y)$  : Paramètre de Coriolis (s<sup>-1</sup>).

$P(x, y, t)$  : Pression atmosphérique (kg/m<sup>2</sup>).

$\rho w$  : Masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup>).

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  : Composantes de l'effort de cisaillement effectif.

#### - MIKE21-ST :

C'est un modèle de transport de sédiment non-cohésif (sable). Ce modèle est couplé au modèle hydrodynamique MIKE21/3-HD et au modèle de vagues MIKE21/SW.

Grace au MIKE21-SW, on obtenir des formulations pour le calcul du transport sédimentaire : la formulation de Bijker (courants seuls) et la formulation STP du DHI (courant et vagues).

Ce modèle peut être appliqué à tous les endroits où les courants et les vagues déplacent le sable.

Quelques applications du modèle MIKE21/3-ST :

- La gestion du littoral ;
- L'optimisation de l'entrée d'un port ou d'une marina ;

- La conception des ouvrages de protection côtière ;
- L'étude de la stabilité des passes d'entrée tidales ;
- L'étude de la morphologie côtière et fluviale ;
- La conception des plages artificielles ;

**L'équation de base** : l'équation de base de ce modèle est l'équation de conservation de l'action de vagues. (**Komen and Hasselmann, 1996**)

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

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial \mathbf{t}} + \nabla \cdot (\vec{\nu} \mathbf{N}) = \frac{\mathbf{S}}{\sigma}$$

Avec :

$\mathbf{N}(\vec{\mathbf{x}}, \sigma, \theta, \mathbf{t})$  : densité d'action des vagues ;

$\mathbf{t}$  : le temps ;

$\vec{\mathbf{x}} = (\mathbf{x}, \mathbf{y})$  : Les coordonnées cartésiennes ;

$\sigma$  = Pulsation ;

$\vec{\nu}(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \mathbf{c}_\sigma)$  : La vitesse de propagation d'un groupe de vagues (dans l'espace de phase à quatre dimensions ;

$\mathbf{S}$  : Source pour l'équation de l'équilibre énergétique ;

$\nabla$  : l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \sigma, \theta$ . Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y) = \frac{d\vec{\mathbf{x}}}{dt} = \vec{\mathbf{c}}_x + \vec{\mathbf{U}}$$

$$\mathbf{c}_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{\mathbf{U}} \cdot \nabla_x d \right] - \mathbf{c}_g \vec{\mathbf{k}} \cdot \frac{\partial \vec{\mathbf{U}}}{\partial \mathbf{s}}$$

$$\mathbf{c}_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{\mathbf{k}} \cdot \frac{\partial \vec{\mathbf{U}}}{\partial m} \right]$$

## 2.2. Etude de propagation de la houle :

Lorsque la houle arrive près de la cote, les crêtes des vagues ont tendance à s'aligner avec les lignes d'iso-profondeur (isobathes), ce phénomène de réfraction se généralise à toutes les ondes qui se propagent dans un milieu inhomogène lentement variable.

L'analyse de ce phénomène permet d'évaluer de manière assez précise les propriétés de la houle (hauteur, période et direction) sur le site d'étude en se basant sur les caractéristiques de la houle au large. Les résultats de cette estimation des caractéristiques de la houle à la côte seront utilisés comme données d'entrée pour le calcul et la conception des ouvrages maritimes.

### 2.2.1. Données de base :

#### A. Donnée bathymétrique :

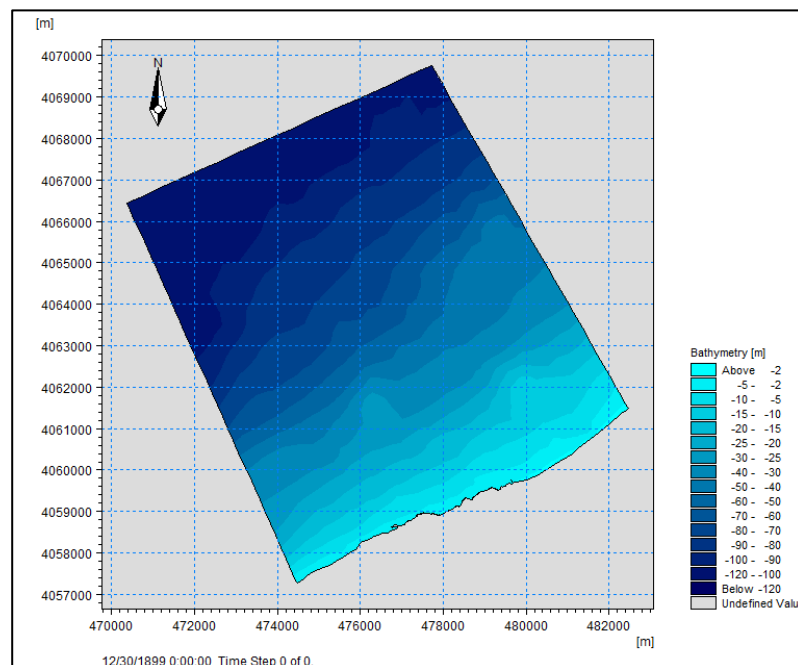


Figure 30: Bathymétrie de la zone de Fouka

#### B. Conditions de la houle aux limites du modèle

##### ▪ Houles annuelles (Régime moyen)

Elles sont prises du document de l'U.S. Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observations » (S.S.M.O tome II, Zone Algiers (1963-1970)).

Le choix de période est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée, Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude

sont : 6, 8 et 10 secondes. La période de houle considérée dans le cadre de cette étude 8 secondes pour les houles annuelles.

**Tableau 3 :** Amplitude de la houle annuelle (équivalente) au large par direction et par période

Période (s)	Direction de la houle au large			
	NE	N	NW	W
6	Hs=1,09m	Hs=1,00m	Hs=1,10m	Hs=1,19m
8	Hs=2,56m	Hs=2,67m	Hs=2,64m	Hs=2,67m
10	Hs=5,05m	Hs=4,92m	Hs=4,53m	Hs=5,54m

#### ▪ Houles extrêmes

Il existe nombreuses approches pour le calcul des houles extrêmes dans notre base de données de 28ans, il est important de noter que l'augmentation de la taille de l'échantillon est proportionnellement positive par rapport à la précision des résultats (si l'échantillon augmente, la précision augmente), il y a plusieurs méthodes d'échantillonnage tel que :

- La méthode des maximas annuels : Le principe c'est de prendre le seuil maximal pour chaque année pendant plusieurs années.
- La méthode du peak-over thrreshold (POT) : Contrairement à la méthode des maximas annuels, elle consiste à fixer un seuil H et prendre toute la valeur supérieure à ce seuil. Cette méthode est plus avantageuse car elle augmente le nombre de l'échantillon N.

#### Traitement des hauteurs significatives maximales au large :

Le traitement a été fait à partir d'une base de données de la zone contenant des séries temporaires de paramètres atmosphériques et océanographiques de 1992 jusqu'à 2022, l'intervalle horaire entre chaque enregistrement de ces paramètres est de trois heures (Waveclimate, 2023).

La série des hauteurs significatives maximales annuelles de 1992 à 2022 présente les valeurs des Hs de 30 ans :

##### i. La méthode POT (Peaks Over Threshold):

Le principe de cette méthode consiste à prendre un seuil H qui dépend du nombre d'échantillons N par rapport aux années d'observation T.

Dans notre cas, on a choisi un seuil omnidirectionnel  $H=3$  m, ce seuil correspond mieux à la distribution des valeurs en fonction des périodes de retour avec une correspondance graphique de la courbe logarithmique, au-delà de ce seuil, les pics des  $H_s$  sont considérés comme des valeurs qui caractérisent les événements extrêmes.



**Figure 31** : valeurs des hauteurs significatives maximales avec la méthode POT

#### a) La loi GPD (Generalized Pareto distribution)

Soit  $H_s$  une variable aléatoire réelle (hauteurs significative) de fonction de répartition  $F$ ,  $\hat{H}$  le seuil fixé et  $Y=H_s - \hat{H}$ . Sous condition que  $H_s > \hat{H}$  ( $Y$  représentant ici la variable aléatoire de dépassement du seuil  $\hat{H}$ ). (Pickands, 1975) a démontré que lorsque  $\hat{H}$  approche le point terminal de l'échantillon (valeur finie ou infinie dont la probabilité de dépassement est nulle).

La loi des dépassements de  $\hat{H}$  peut être approchée par la distribution généralisée de Pareto (GPD). (Hamm et al., 2010)

$$F(y) = 1 - \left(1 + k\left(\frac{y}{\alpha}\right)\right)^{-\frac{1}{k}} : 0 < y < \infty$$

Après avoir traité les données avec la méthode GPD, nous avons déterminé les résultats des calculs des différentes périodes de retour montrés dans le tableau :

**Tableau 4:** hauteurs significatives extrêmes en fonction des périodes de retour

Période de retour (ans)	Hauteur significative extrême (m)
2	4,43
10	5,47
20	5,83
50	6,25

**b) La période de pique :  $T_p$** 

C'est une relation qui relie la hauteur significative à sa période de pique :

$$\frac{2\pi}{T_p} = 0.25 + \frac{1.80}{H_s + 0.60}$$

Le tableau montre les périodes  $T_p$  trouvé pour les valeurs des  $H_s$  :

**Tableau 5:** hauteurs significatives extrêmes en fonction des périodes de retour

	Biannuelle (2 ans)	Décennale (10 ans)	Vingtennale (20 ans)	Cinquantennale (50 ans)
$H_s$ (m)	4,43	5,47	5,83	6,25
$T_p$ (s)	10,33	11,49	11,85	12,25

**C. Choix des directions de secteur angulaire :**

Les secteurs angulaires considérés dans l'étude correspondent aux limites naturelles imposées d'une part, par la configuration géographique du site, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles au large.

Pour cette étude quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N)

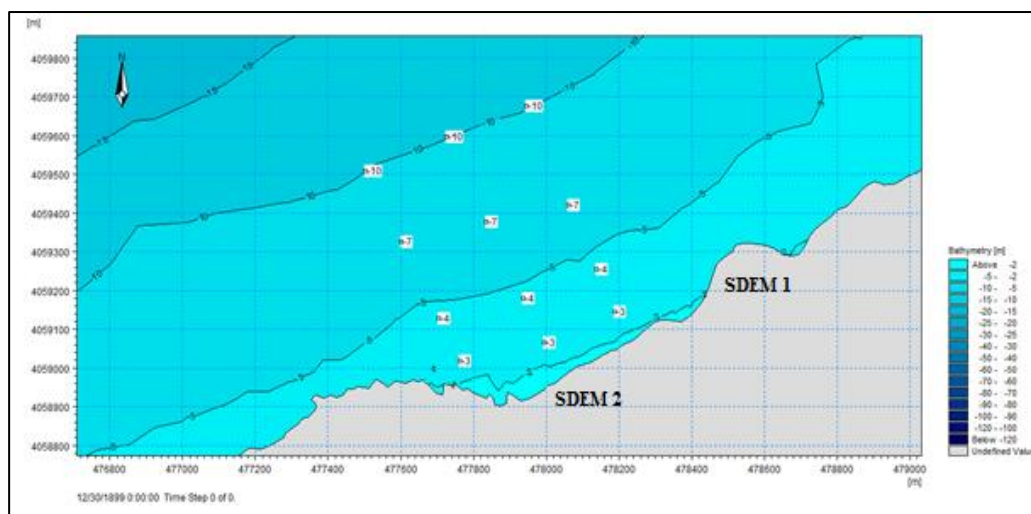
- trois directions de houle à incidence oblique (280°N, 360°N et 30°N)



**Figure 32:** secteurs de provenance des houles retenues

#### D. Points d'extraction

Afin de déterminer quantitativement les conditions de la houle, des points d'extraction ont été positionnés à des profondeurs comprises entre 3 et 10 m (figure n°33). Les coordonnées ainsi que les profondeurs des points sont données en Annexe.



**Figure 33:** Position des points d'extraction

#### E. Limite du modèle, bathymétrie et maille

Grace au module « MeshGenerator », on peut obtenir une présentation de bathymétrie numérique 2D détaillées, il fournit également les utilitaires pour importer les données du trait de côte ainsi que les points bathymétriques avec un système de coordonnées WGS84 de projection UTM zone 31, le maillage est composé d'éléments triangulaires dont la taille est

ajustée automatiquement du large vers la cote (le maillage réduit sa taille en arrivant vers le trait de côte). Un autre maillage a été fait au niveau de la zone d'étude pour avoir réduire la taille des triangulations afin d'obtenir plus d'informations sur la propagation des houles.

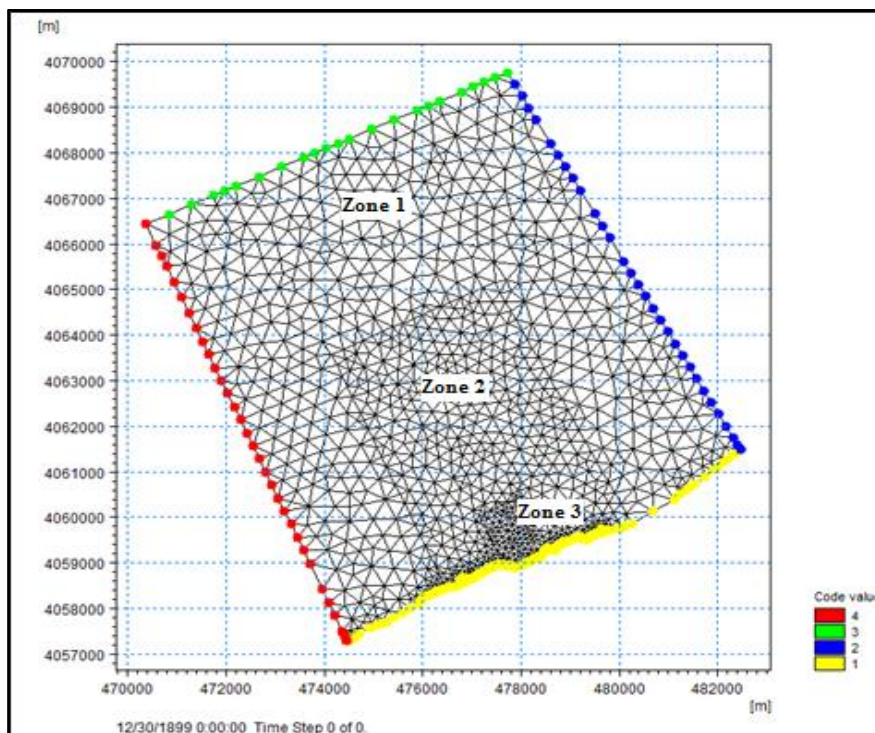


Figure 34: maillage de modèle

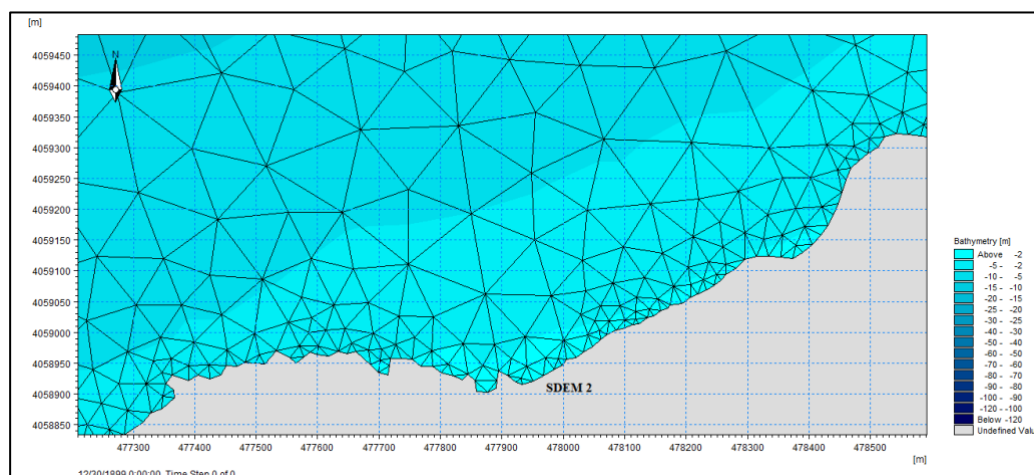


Figure 35: maillage de modèle côtier de la zone d'étude

### 2.2.2. Discussion des résultats

La propagation de la houle du large au site a été calculée utilisant le modèle numérique de houle spectrale MIKE21 SW développé par DHI.

Interprétation des résultats de simulation pour chaque période de retour en fonction des directions

- **Période de retour annuelle**

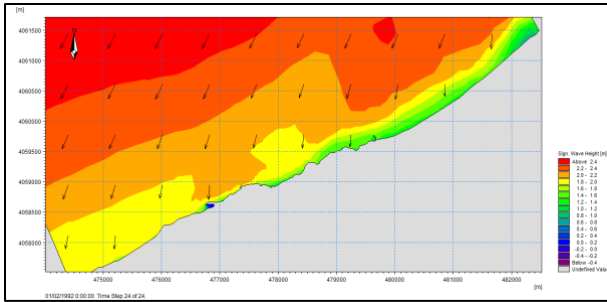
Les houles de direction Nord Est se propage du large par une hauteur de 2,4 m et elle a commencé à diminuer à mesure qu'elle s'approchait le rivage jusqu'elle atteindre 1,04 m, cette diminution du à l'effet de fond qui altère les caractéristique de cette houle venant du large.

La direction des vecteurs montre une réorientation de la houle sous l'effet de la bathymétrie au niveau du site d'étude.

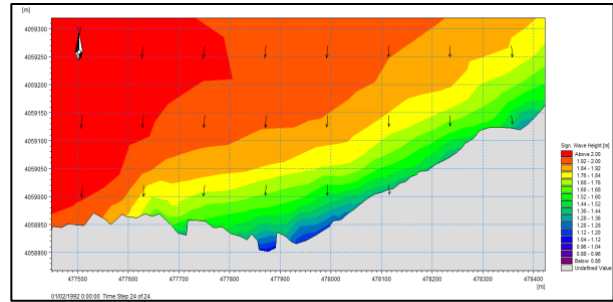
Nous remarquons que par rapport aux houles de direction N30°, les houles de secteur Nord sont presque perpendiculaire au tracé de la cote, elles perdent moins d'énergie dans leurs propagation vers le rivage (2,4m-1,6m).

Pour la direction Nord-Ouest la hauteur de la houle au niveau de la zone d'étude atteint 1,4m.

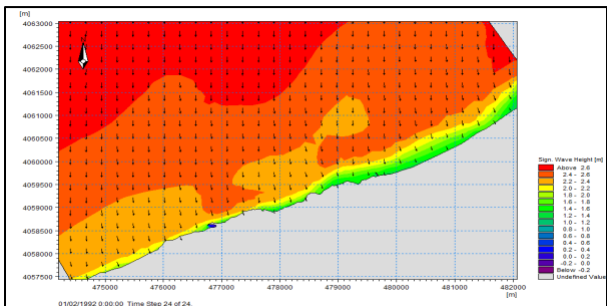
Le secteur Ouest montre des hauteurs de houles atteignant 1,3 m au niveau du rivage,



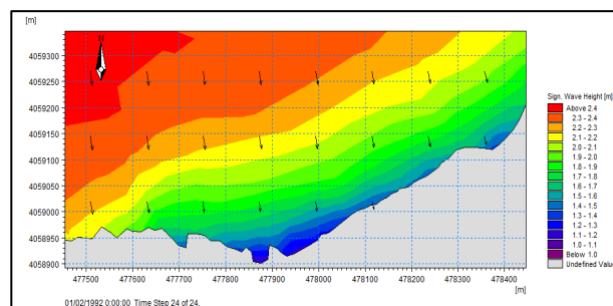
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NE 30°



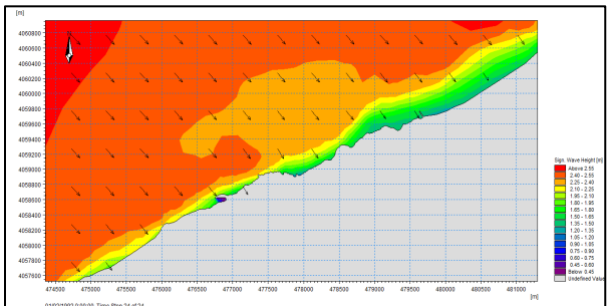
Champ des houles dans la zone d'étude NE 30°



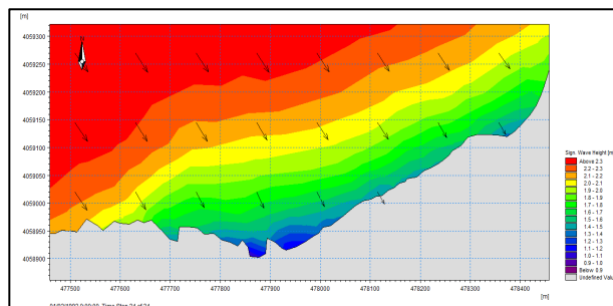
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine N 360°



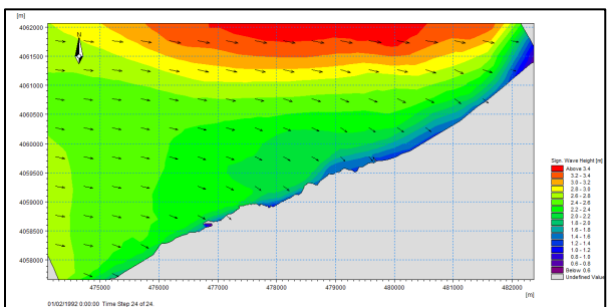
Champ des houles dans la zone d'étude N 360°



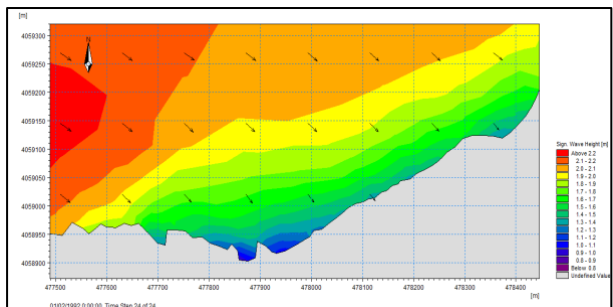
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NW 315°



Champ des houles dans la zone d'étude NW 315°



Champ des houles dans la zone de Fouka Marine W 280°



Champ des houles dans la zone d'étude W 280°

Figure 36: simulation de modèle SW pour une période de retour annuelle

- **Période de retour décennale :**

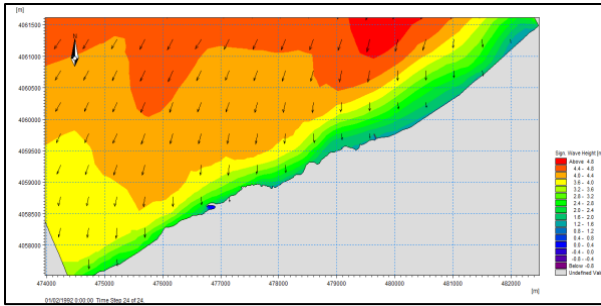
Pour une telle période, la même hauteur significative des vagues au large est considérée ( $H_s=5,47\text{m}$ ) qui se propage du large vers la cote, en arrivant vers la cote, ces houles rencontrent le fond.

Pour la direction **Nord-Est**, la hauteur significative au large est  $4,48\text{m}$ , on remarque qu'elles sont importantes par rapport à une période de retour annuelle, et commencent à diminuer jusqu'elle atteint  $1,6\text{m}$  au niveau de notre zone d'étude.

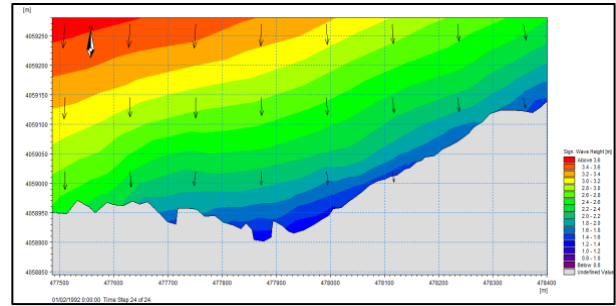
La direction **Nord** montre des valeurs plus importantes par rapport à une période de retour annuelle, les houles se propagent vers le rivage pour atteindre  $2\text{m}$ . On remarque l'effet érosif est plus accentué pour cette période de retour, vu que les houles arrivent vers la cote de manière presque perpendiculaire.

Les houles de secteur Nord-Ouest atteint  $2,6\text{ m}$  au côté ouest de notre zone d'étude.

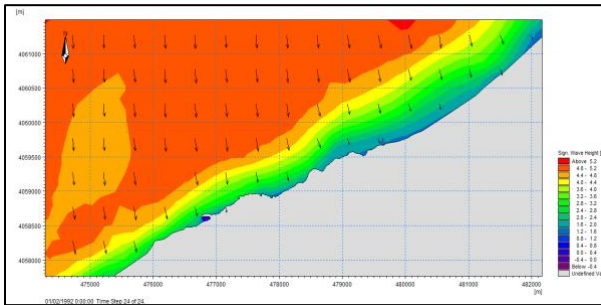
La direction **Ouest** à un angle d'incidence plus important par rapport au secteur Nord-Ouest, la hauteur significative de la houle est de  $2\text{m}$  au niveau de la zone d'étude.



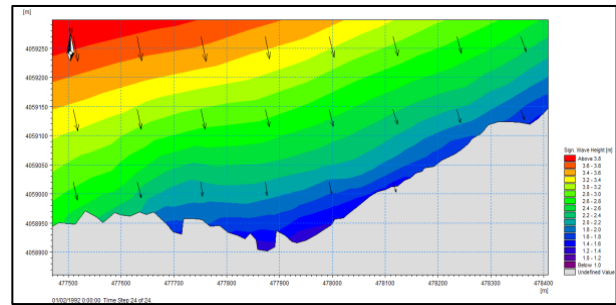
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NE 30°



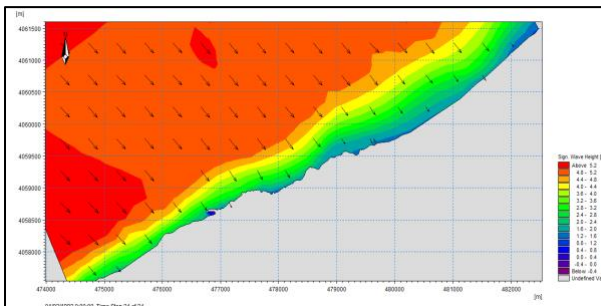
Champ des houles dans la zone d'étude NE 30°



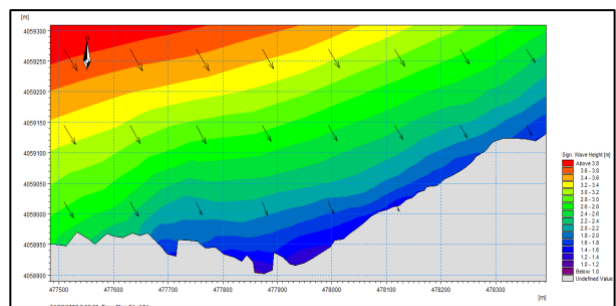
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine N 360°



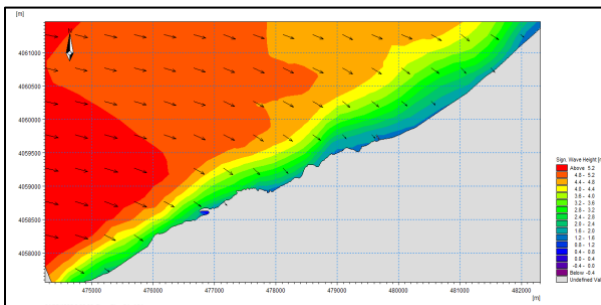
Champ des houles dans la zone d'étude N 360°



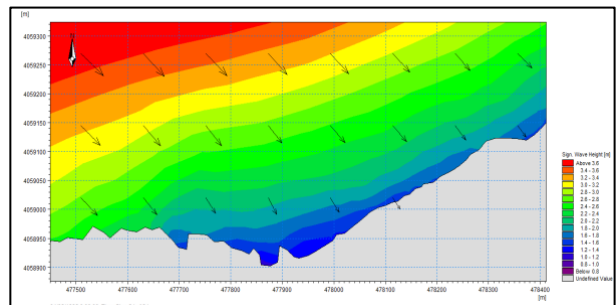
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NW 315°



Champ des houles dans la zone d'étude NW 315°



Champ des houles dans la zone de Fouka Marine W 280°



Champ des houles dans la zone d'étude W 280°

Figure 37: Simulation de modèle SW pour une période de retour décennale

- **Période de retour Cinquantennale**

Cette période est caractérisée par une hauteur significative élevée ( $H_s=6,25m$ ) au large.

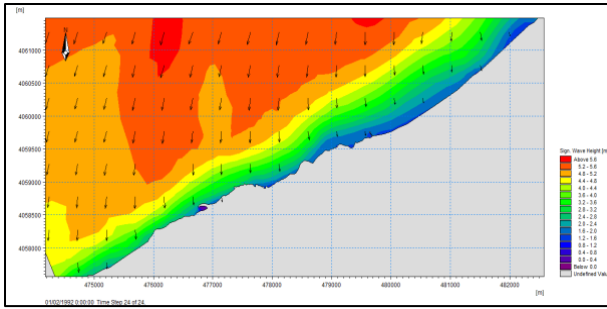
La propagation des houles de direction Nord Est venant du large, semblent subir des modifications dans leurs caractéristiques lorsqu'elles se rapprochent de la zone littorale due à l'effet du fond. La hauteur des houles semble diminuer jusqu'à une hauteur moyenne de l'ordre de 2m.

La propagation des houles de direction Nord, semble indiquer que La hauteur significative a diminué en perdant une partie de son énergie venant du large (5,6m-2m), qui serait dû à l'effet du fond marin et qui se fait ressentir à l'approche de la côte (phénomène de réfraction).

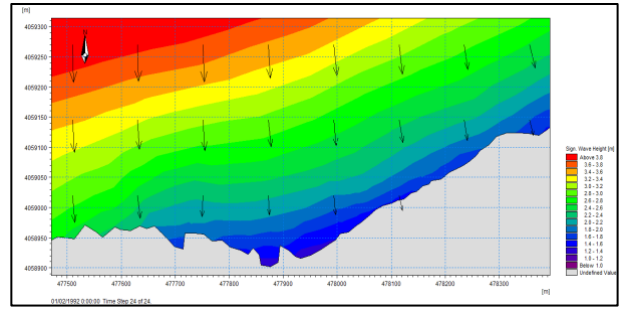
Pour les houles de secteur Nord-Ouest arrivent vers la zone d'étude avec une valeur de 2m.

La direction Ouest montre aussi que des hauteurs significatives près de du site d'étude atteignant 2m.

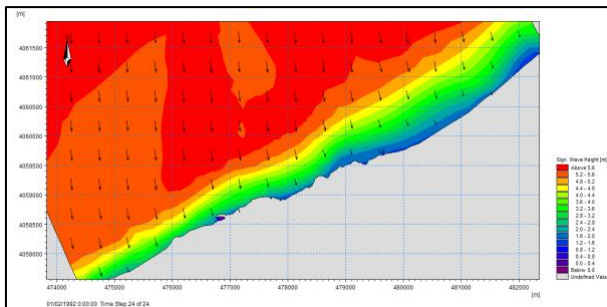
Nous remarquons que la houle à presque le même ordre pour toutes les directions de cette période.



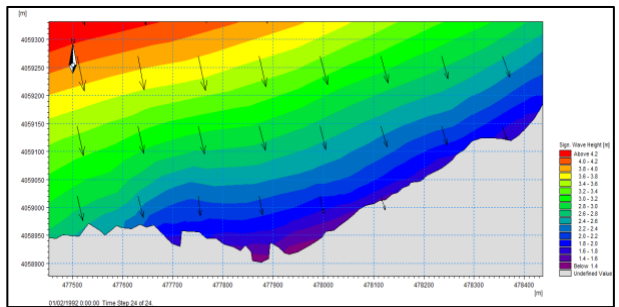
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NE 30°



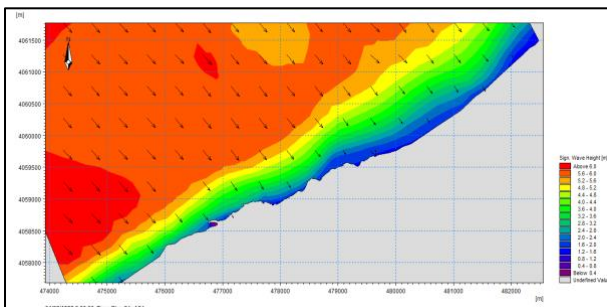
Champ des houles dans la zone d'étude NE 30°



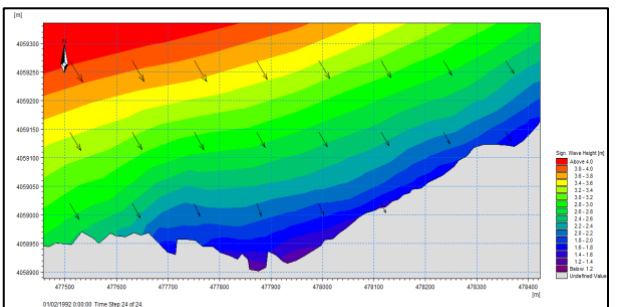
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine N 360°



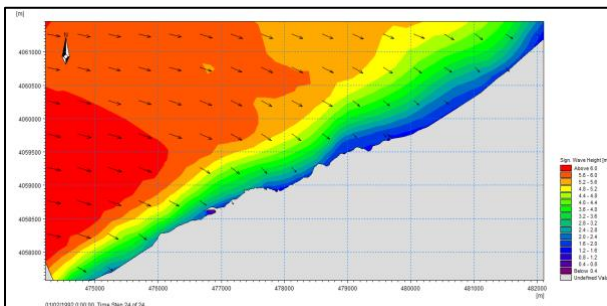
Champ des houles dans la zone d'étude N 360°



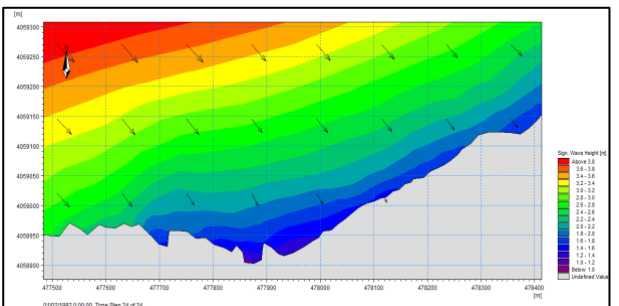
Champ des houles dans la zone de Fouka Marine NW 315°



Champ des houles dans la zone d'étude NW 315°



Champ des houles dans la zone de Fouka Marine W 280°



Champ des houles dans la zone d'étude W 280°

Figure 38: Simulation de modèle SW pour une période de retour Cinquantennale

○ **Conditions de la houle à la cote**

Les conditions de la houle à la cote (-10m) pour les houles annuelles de période moyenne (8s) ainsi que les résultats pour les houles extrêmes de période de retour (50ans) sont données respectivement dans le tableau 7.et le tableau 8.

**Tableau 6:** Moyennes des amplitudes annuelles obtenues

Direction (degré)	Hs au large (m)	Hs à -10m (m)	Coefficient de réfraction Kr	Angle d'arrivée (degré)
N30°	2,56	1,96	0,77	10,96
N360°	2,67	2,35	0,88	352,93
N315°	2,64	2,39	0,91	319,37
N280°	2,67	2,18	0,82	296,86

**Tableau 7:** Moyenne des amplitudes obtenues pour la houle Cinquantennale (50 ans)

Direction (degré)	Hs au large (m)	-3m			-4m		
		Hs (m)	Kr	Angle d'arrivée (degré)	Hs (m)	Kr	Angle d'arrivée (degré)
N30°	6,25	2,35	0,38	352,06	3,02	0,48	357,47
N360°	<b>6,25</b>	<b>2,36</b>	<b>0,38</b>	<b>343,95</b>	<b>3,04</b>	<b>0,49</b>	<b>344,74</b>
N315°	6,25	2,34	0,37	330,21	3,03	0,48	326,97
N280°	6,25	2,30	0,37	319,40	2,96	0,47	316,43

➤ Houles annuelles :

Les résultats du calcul de la propagation de la houle annuelle présentés au niveau du tableau n°7 montrent qu'à la profondeur de 10m que :

- Les houles appartenant au secteur Nord - Est de direction N30° présentent un coefficient de réfraction (0.77) ; Ces houles perdent environ 23% de leurs énergies à l'approche de la côte.
- Les houles appartenant au secteur Nord de direction N360° et Nord-Ouest de direction N315° présentent respectivement un coefficient de réfraction élevé (0.88) et (0,91) ; ces houles gardent le maximum de leur énergie du large à la cote.

- Les houles appartenant au secteur Ouest de direction N280° présentent un coefficient de réfraction moins élevé par rapport au deux secteur précédent (0,82)

➤ Houles extrêmes :

Les résultats du calcul de la propagation de la houle Cinquantennale présentés au niveau du tableau n°8 montrent qu'aux profondeurs -3m et -4m ; on peut déduire ce qui suit :

- Les houles appartenant au secteur Nord de direction N360° et au secteur Nord-Est (N30°) présentent un coefficient de réfraction le plus élevé (0.38) ; Ces houles perdent environs 52% de leurs énergies à l'approche de la côte.
- Pour le dimensionnement des ouvrages de protection, nous allons choisir la direction N360°, vu son incidence frontale sur la zone d'étude.

### 2.3. Etude Hydro-sédimentaire

La modélisation numérique hydro-sédimentaire permet d'évaluer l'impact des ouvrages sur les paramètres physiques régnants (houle, trajectoire des courants et transport sédimentaire) d'une zone d'étude. Pour une configuration d'aménagement donnée.

Les courants qui sont intéressants pour la compréhension de l'évolution des littoraux sont les courants engendrés par les vagues, à l'exclusion des grands courants liés à la circulation générale dans les océans et les mers auxquels il arrive de longer des côtes mais qui n'ont pas sur elles de répercussions morpho-sédimentaires en raison de leurs très faibles vitesses. **(Paskoff, 1998)**

Le paramètre le plus important dans le modèle ST est celui du diamètre des grains ainsi que sa gradation, la bathymétrie joue aussi un rôle pour le calcul des taux de transport, avant la simulation du transport sédimentaire, une table de sédiment doit être générée avec le module MIKE21-ST.

Le diamètre médian du sable pour notre zone d'étude est de 0.156 mm avec une gradation de 1.27 obtenus à partir des données fournis par le LEM.

Le modèle ST dépendra des sortants du module SW (Hs, Tp, Dir) et HD (Vitesse du courant), ainsi que ce modèle sera simulé juste pour la période de retour annuelle.

### 2.3.1. Discussion des résultats :

Les vecteurs dans la représentation graphique des résultats de champ de courant servent à représenter à la fois la direction des courants par leur orientation et le gradient de vitesse par leur longueur.

Sur le plan sédimentologie, le passage du marron au blanc dans le gradient de couleur ainsi que les vecteurs de vitesse illustrent les variations de transport solide, allant du plus important au moins important. Le transit sédimentaire dans la zone d'étude est directement lié à l'activité hydrodynamique observée dans les champs de courants. Nous constatons une similitude entre la carte des champs de courants et le schéma de transport, que ce soit en termes de direction du transport ou de gradient de quantité/vitesse de transport par  $m^3/s/m$ .

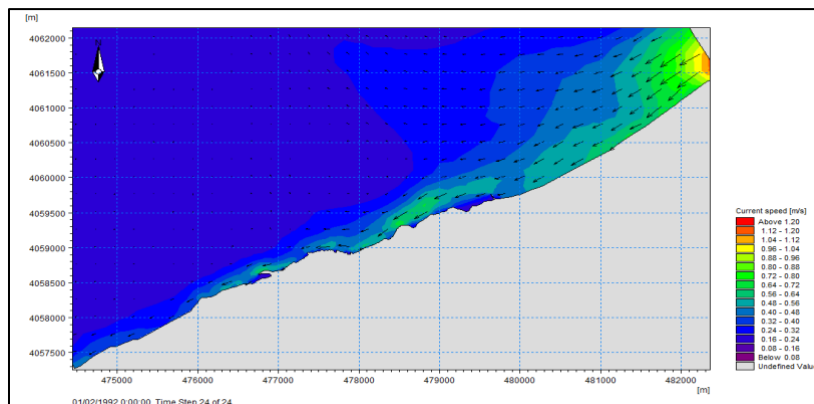
Les courants littoraux induits par la houle de direction  $N30^\circ$ , sont de direction Est vers l'Ouest. Les vecteurs nous ont permis d'observer que les courants littoraux venant de l'Est sont les plus rapides atteignant  $1m/s$ . La diminution de leur vitesse due à l'obstacle naturel que représente le plateau rocheux devant la zone d'étude, qui ralentit presque la moitié de leur vitesse. Le transport sédimentaire moyen de cette direction est de  $3311,28 m^3/an/m$ .

Les courants littoraux induits par la houle de direction  $N360^\circ$ , sont de direction Est vers l'Ouest avec une vitesse de  $0,3m/s$  ce qui engendre un transport sédimentaire de  $2995,92 m^3/an/m$  et atteignant  $9460,8 m^3/an/m$  au niveau de l'ancienne station dessalement.

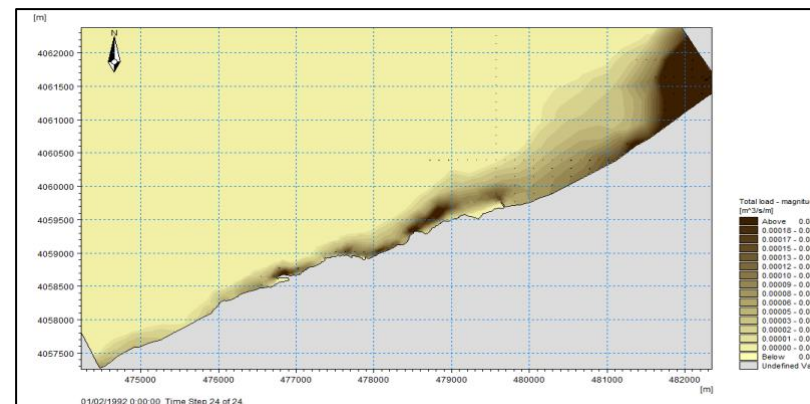
Les courants littoraux induits par la direction  $N315^\circ$ , sont de direction Ouest vers l'Est avec une vitesse moyenne de  $0,4m/s$ . On note que la capacité maximale de transport des sédiments de cette direction est de l'ordre  $2522,88 m^3/an/m$ .

Les courants littoraux induits par la direction  $N280^\circ$ , semblent indiquer l'existence de plusieurs dont le plus dominant est celui de direction Est-Nord avec une vitesse maximale de  $1,3m/s$ .

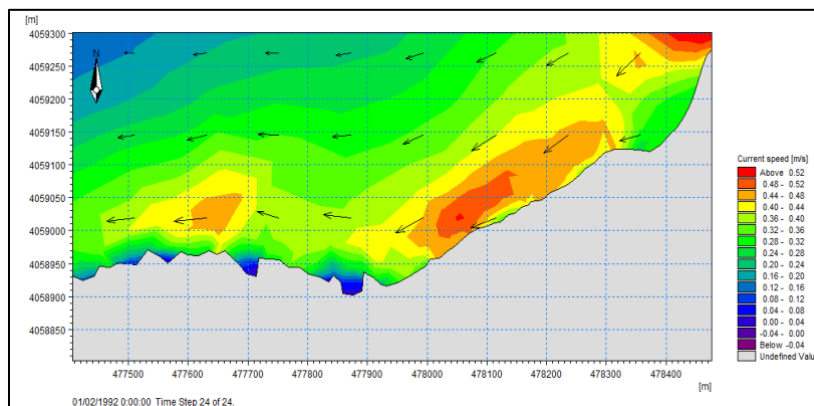
Le transport sédimentaire longitudinal de direction  $N280^\circ$  est de  $6307,2 m^3/an/m$ .



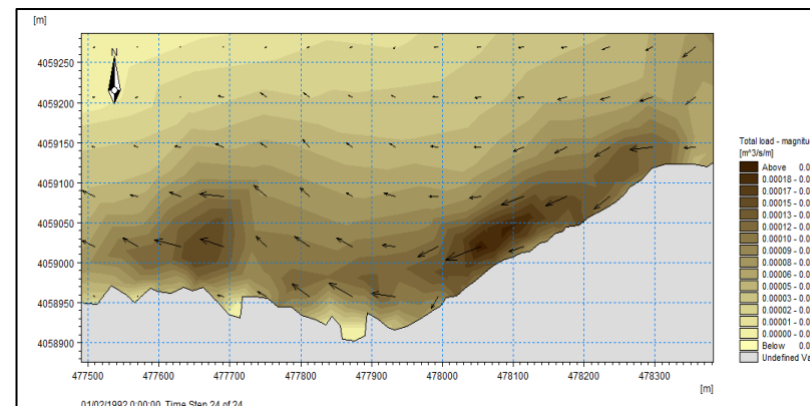
Champ des courants dans la zone de Fouka Marine NE 30°



Dynamique sédimentaire dans la zone de Fouka Marine NE 30°

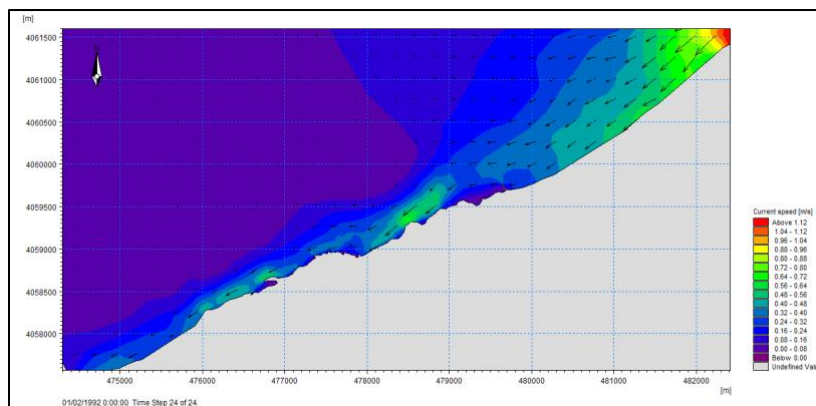


Champ des courants dans la zone d'étude NE 30°

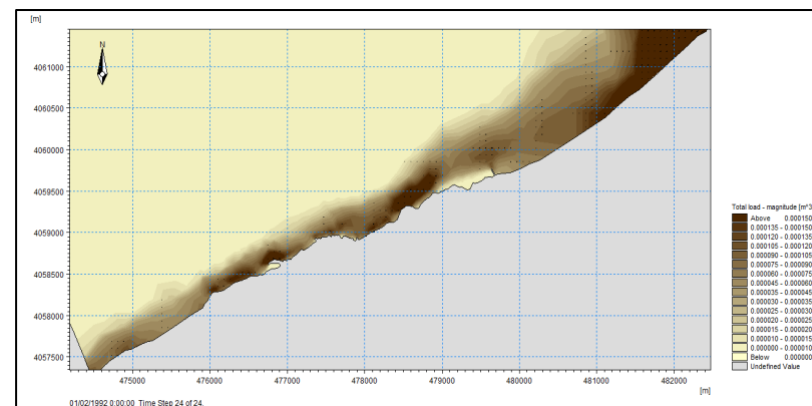


Dynamique sédimentaire dans la zone d'étude NE 30°

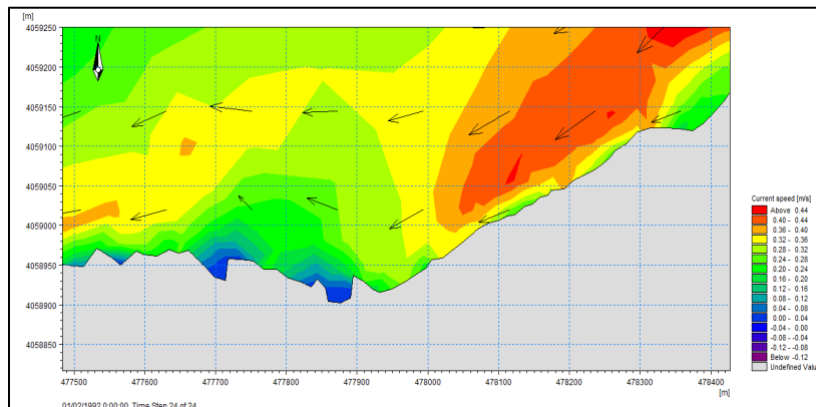
**Figure 39:** simulation des modèles direction NE30° pour une période de retour annuelle



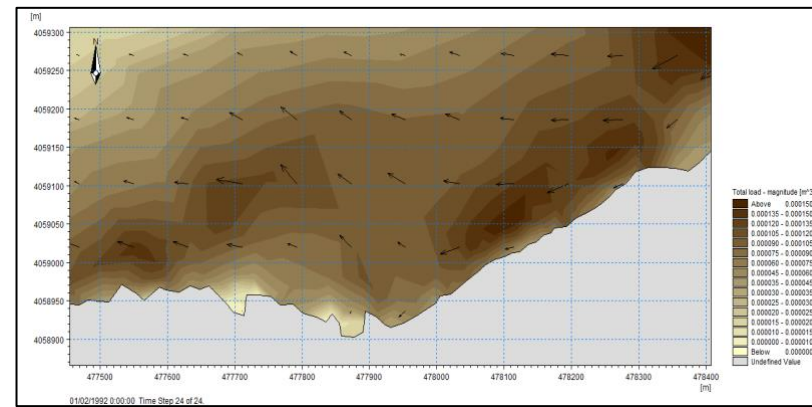
Champ des courants dans la zone de Fouka Marine N 360°



Dynamique sédimentaire dans la zone de Fouka Marine N 360°

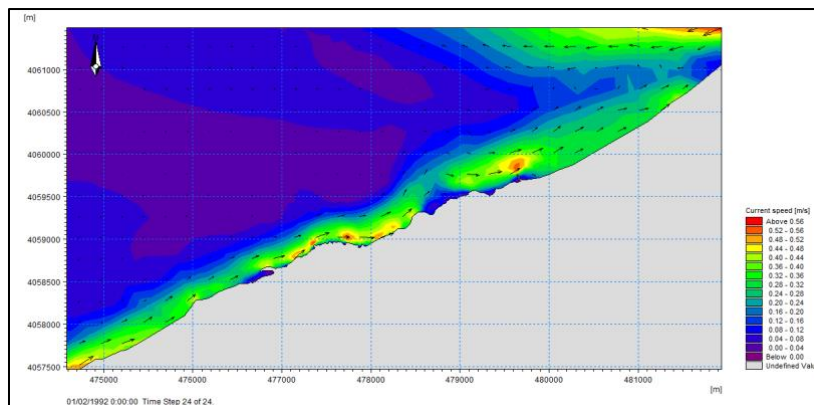


Champ des courants dans la zone d'étude N 360°

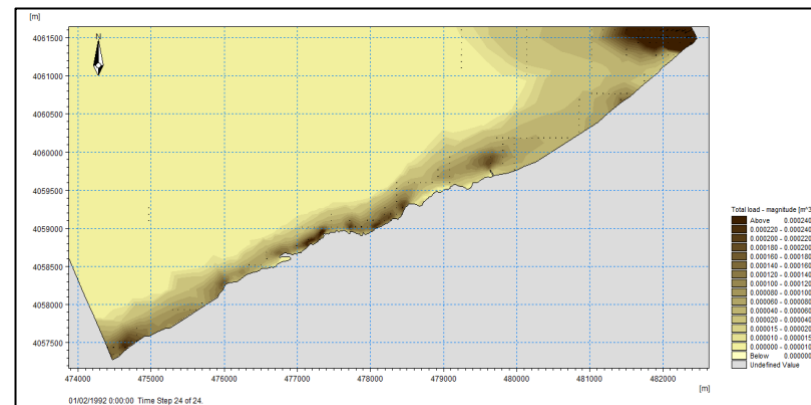


Dynamique sédimentaire dans la zone d'étude N 360°

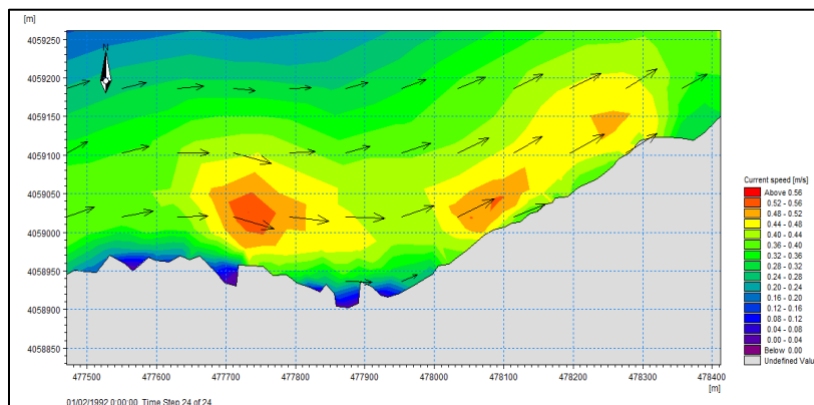
**Figure 40:** Simulation des modèles direction N 360° pour une période de retour annuelle



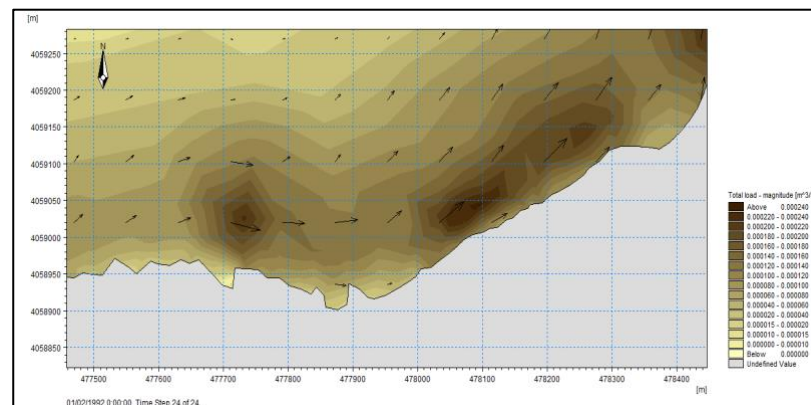
Champ des courants dans la zone de Fouka Marine NW 315°



Dynamique sédimentaire dans la zone de Fouka Marine NW 315°

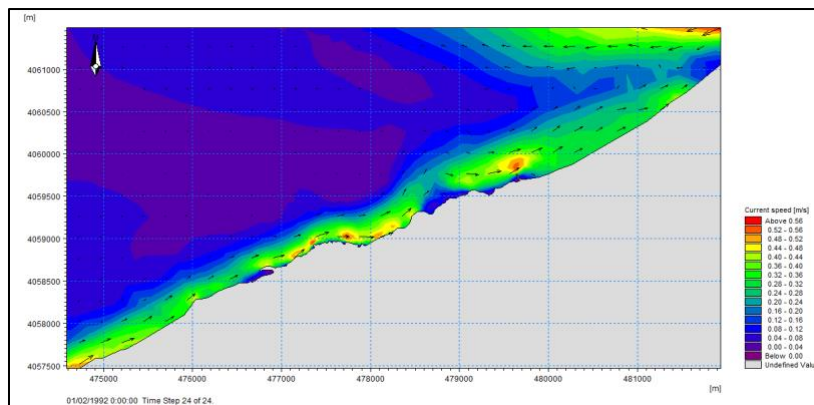


Champ des courants dans la zone d'étude NW 315°

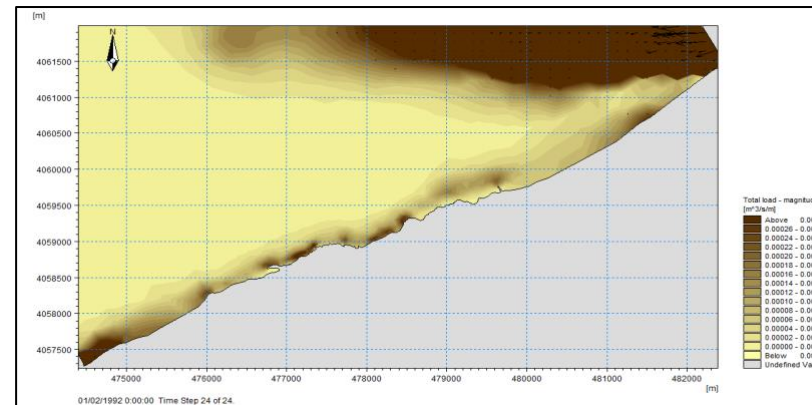


Dynamique sédimentaire dans la zone d'étude NW 315°

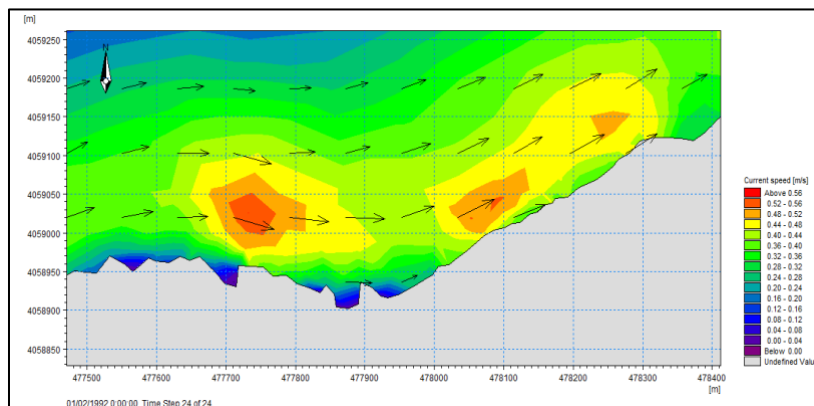
**Figure 41:** Simulation des modèles direction NW 315° pour une période de retour annuelle



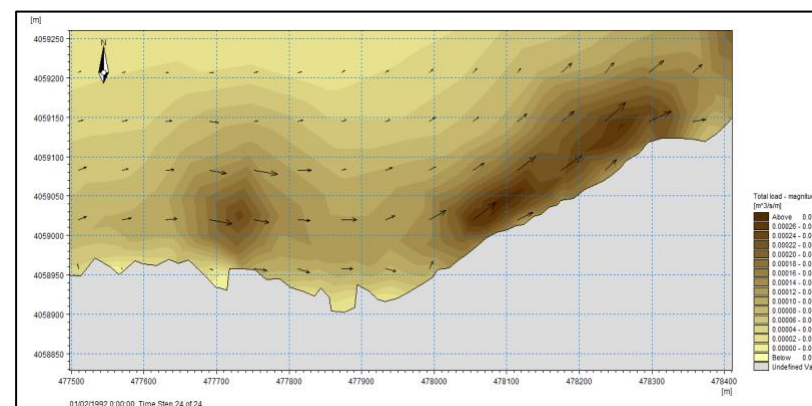
Champ des courants dans la zone de Fouka Marine W 280°



Dynamique sédimentaire dans la zone de Fouka Marine W 280°



Champ des courants dans la zone d'étude W 280°



Dynamique sédimentaire dans la zone d'étude W 280°

Figure 42: simulation des modèles direction W 280° pour une période de retour annuelle

### 3. ETUDE DE L'EVOLUTION DE TRAIT DE COTE :

#### 3.1 Les logiciels utilisés :

L'étude de l'évolution du trait de côte nécessite une analyse numérique en utilisant des programmes pour traiter les données récoltées et faciliter l'étude.

##### 3.1.1 Arc gis 10.4 :

Est une suite de logiciels d'information géographique, ou logiciels SIG (Système d'information géographique) développés par la société américaine ESRI (Environmental System Research Institute, Inc). Un système d'information géographique est un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de la gestion. **(Teffahi, 2018)**

##### 3.1.2 L'extension DSAS :

DSAS (Digital Shore line Analysis System) est un plugin développé par l'USGS (United States Geological Survey) disponible gratuitement qui fonctionne au sein du logiciel de Système d'information géographique Arc GIS d'ESRI (Environmental Systems Research Institute). Il calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique de données vectorielles de trait de côte. Cet outil a été utilisé dans différentes études de mesure et suivi de la dynamique du trait de côte à travers le monde. **(Thieler and Danforth, 1994)**

Pour quantifier les changements de position des différents traits de côtes ainsi obtenus, nous préconisons l'utilisation d'un module dénommé The Digital Shoreline Analysis System **(DSAS 5.0) (Thieler et al., 2009).**

Barre d'outils :

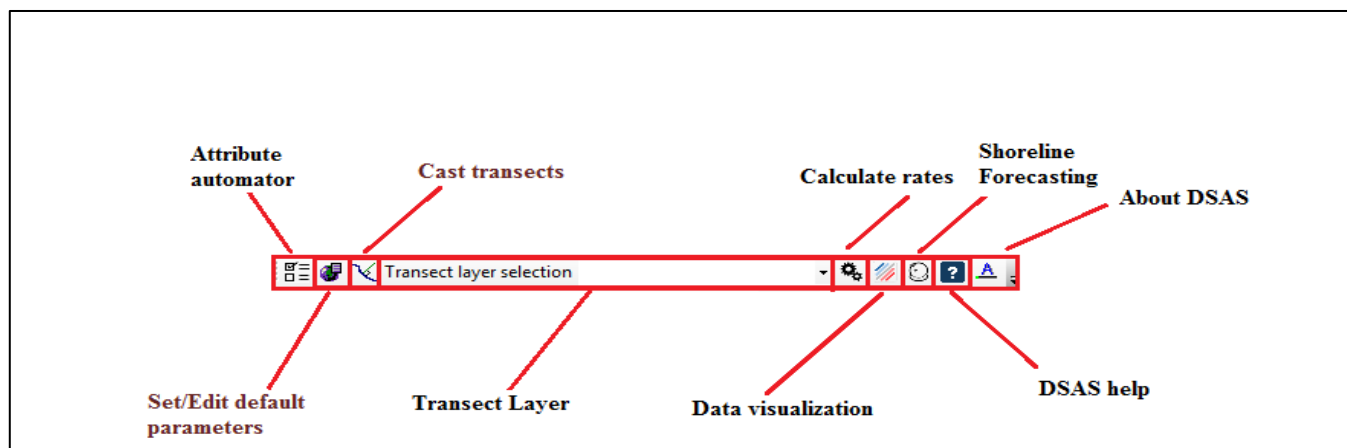


Figure 43 : Barre outil de DSAS.

Principe de fonctionnement du DSAS :

- L'utilisateur trace une ligne de base qui va servir de référence pour mesurer les distances
- DSAS génère des transects perpendiculaires à la ligne de base
- Les changements du trait de côte sont calculés en utilisant les distances entre la ligne de base (baseline) et chaque intersection de trait de côte sur un transect.

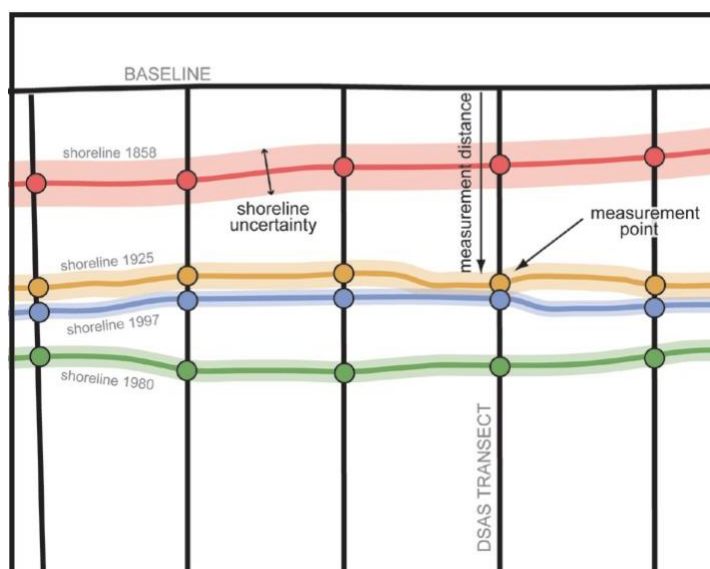


Figure 44 : Illustration du calcul du module DSAS, (Himmelstoss, 2009).

## 3.2 La méthodologie suivie :

### 3.2.1 Les données disponibles :

Les traits de côtes avec lesquelles nous avons travaillé sont de 2009 et 2017.

### 3.2.2 Préparation et lancement au calcul :

L'outil DSAS nécessite la réalisation manuelle d'une ligne de base se trouvant soit en mer, soit en terre. L'utilisation de cet outil nécessite également, de définir une longueur pour les transects, un pas de mesure et de disposer de trait de côte projetés dans un même système géographique.

#### A. Création de la couche « Baseline » :

La ligne de base considérée comment étant une ligne de référence pour DSAS et elle est très nécessaire dans le but de la génération des transects, ainsi que pour le calcul statistique de l'évolution des traits de côte. Elle représente une classe d'entité sous Arc Gis qui elle a le système de coordonnées projeté (WGS84\_UTM) et le type de géométrie (une ligne).

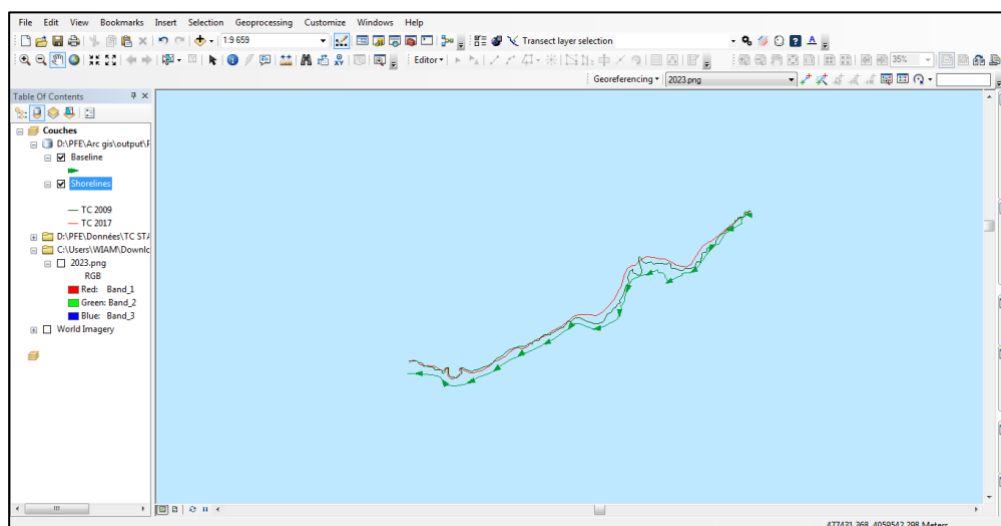


Figure 45 : L'ajout de la ligne de base dans la zone d'étude.

#### B. Création des transects :

Ces transects ont été réalisés grâce à la fenêtre de dialogue DSAS. Pour cette étude l'espacement de entre les transects est de 10m pour obtenir 154 transects le long de la zone d'étude.

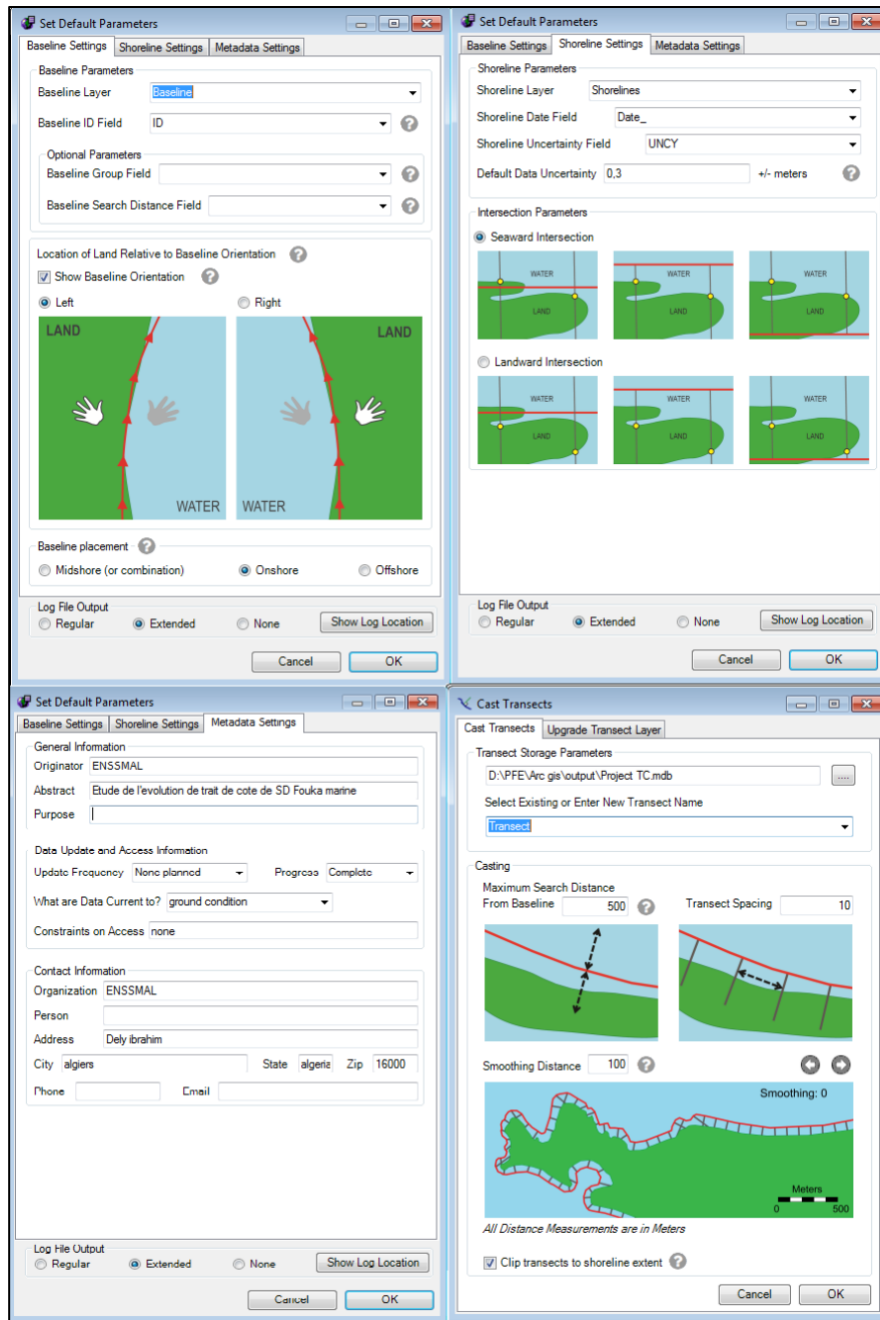


Figure 46 : Fenêtre de dialogue de la création des transects sur logiciel Arc

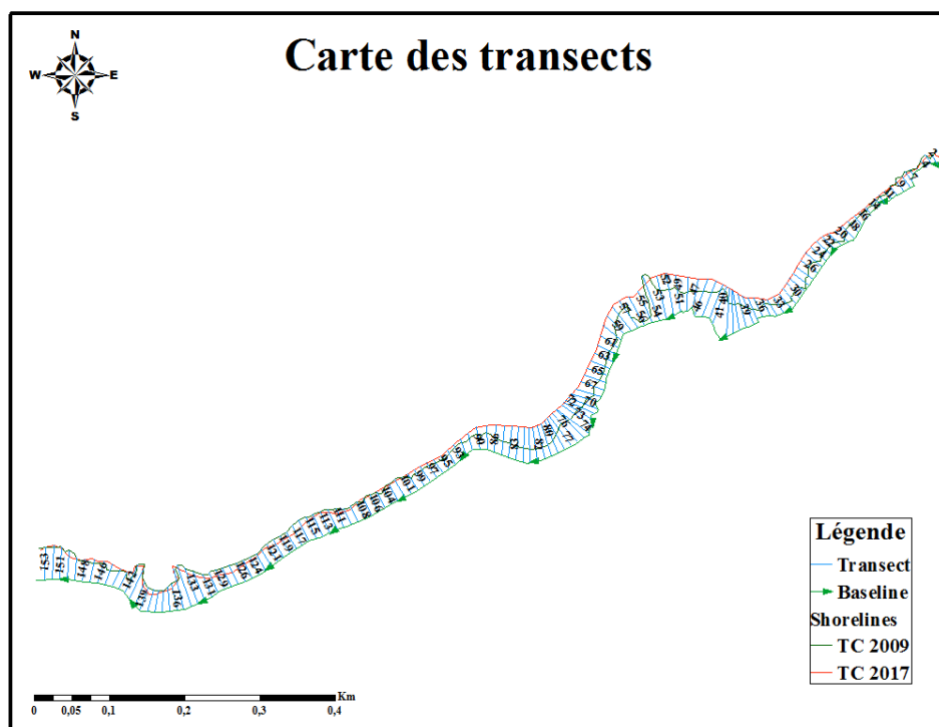


Figure 47 : Carte des transects.

### C. Lancement de calcul :

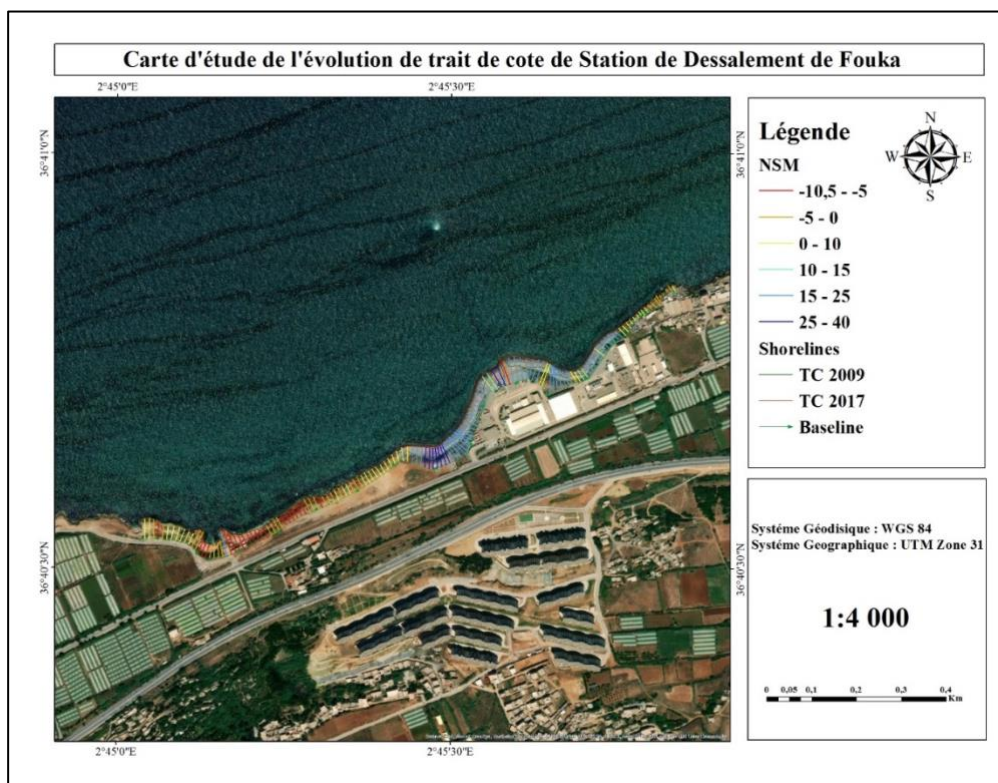
Les taux de changements de rivages sont calculés en utilisant des méthodes NSM et EPR ;

**NSM Net Shoreline Movement** : le mouvement du littoral net indique une distance et non un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement de deux rivages.

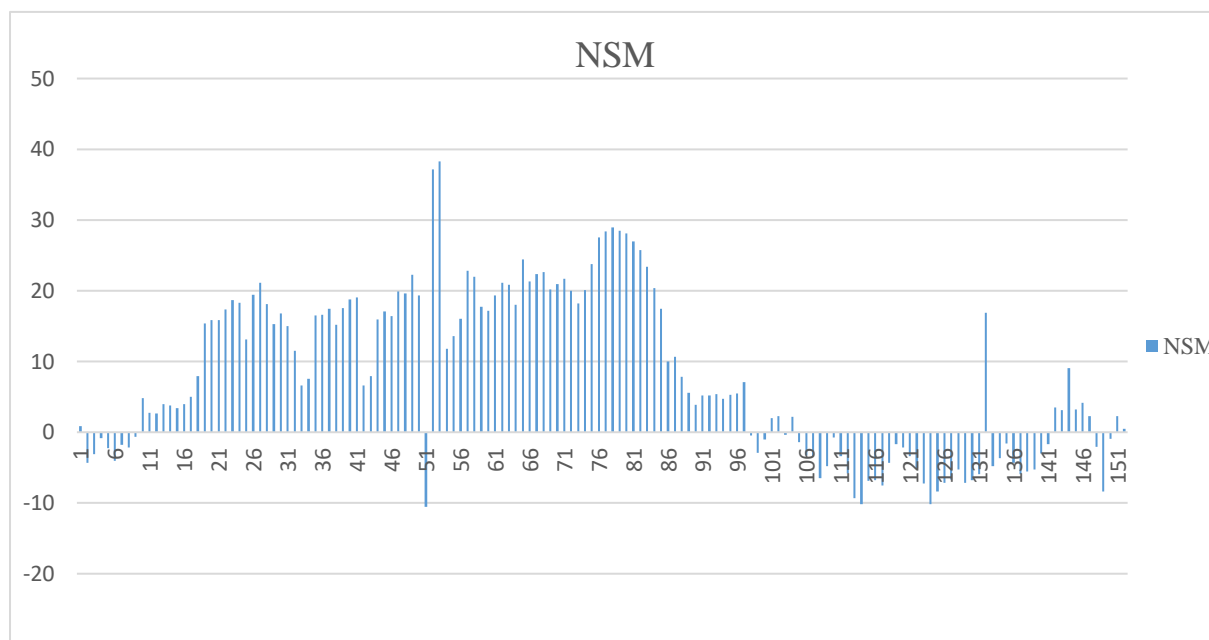
**EPR End Point Rate** : Est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates.

Les valeurs négatives représentées en rouges indiquent un recul du trait de côte et les valeurs positives en bleu indiquent une avancée du trait de côte.

❖ Net Shoreline Movement (NSM) :



**Figure 48** : Résultat cartographique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode NSM en (m) entre 2009 et 2017.



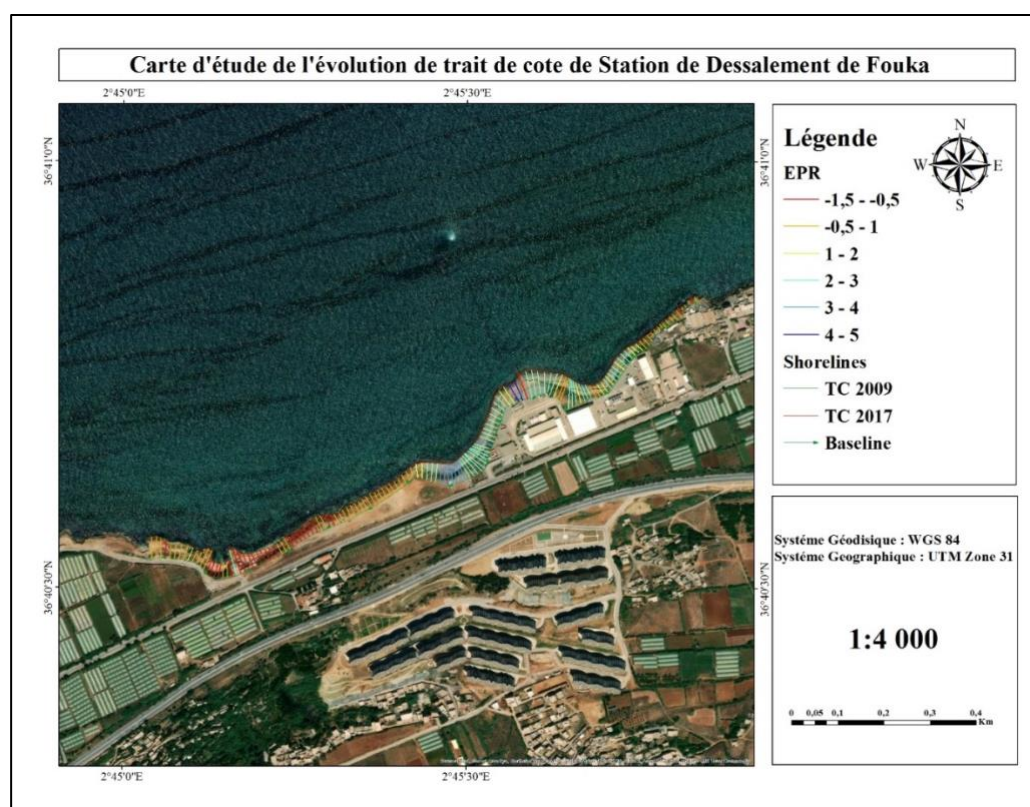
**Figure 49** : Résultat graphique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode NSM en (m) entre 2009 et 2017.

### Commentaire :

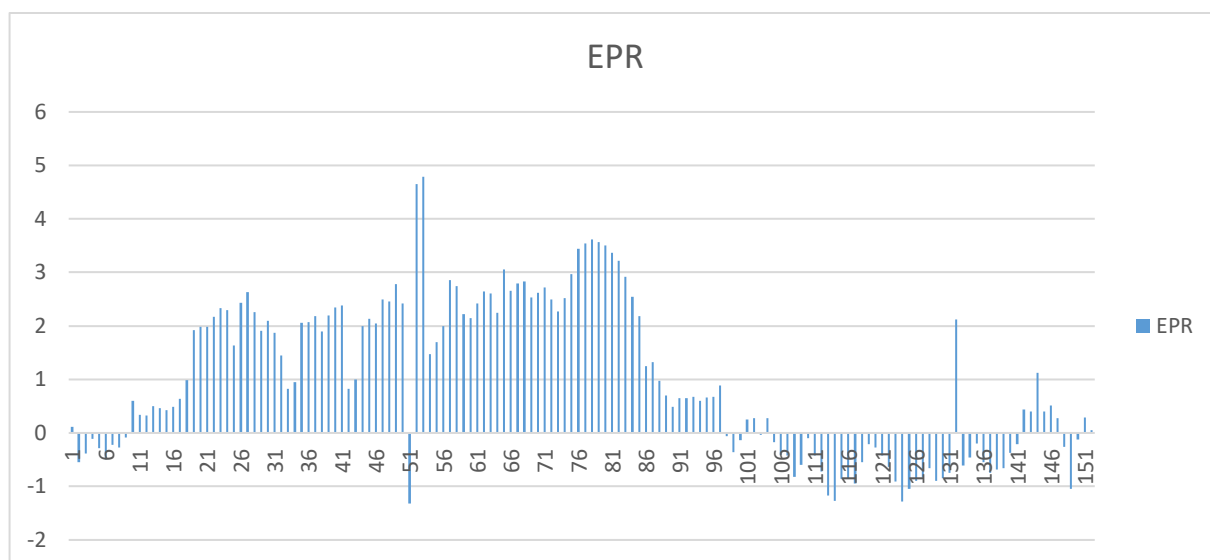
Les deux figures 48 et 49 ; montrent les variations de la distance en mètre entre le trait de côte de l'année 2009 et celui de l'année 2017.

Cette zone d'étude fait apparaître une accumulation d'une fois (de transect n° 18 à transect n° 91) et une érosion de l'autre fois (de transect n° 115 à transect n° 135) dans une durée de 8 ans. On observe, généralement une accumulation sédimentaire très importante que l'érosion surtout au niveau de l'ancienne station dessalement ceci est causé probablement par l'ouvrage de protection de cette station, tandis que on distingue moyennement une érosion au côté Ouest de site de la nouvelle station de dessalement.

### ❖ End Point Rate (EPR) :



**Figure 50 :** Résultat cartographique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode EPR en (m/an) entre 2009 et 2017.



**Figure 51** : Résultat graphique de l'état d'érosion et de l'accumulation en utilisant la méthode EPR en (m/an) entre 2009 et 2017.

**Commentaire :**

Les deux figures 50 et 51 ; montrent les vitesses en m/an de variation entre le trait de côte de l'année 2009 et l'autre de l'année 2017.

Le taux moyen général de vitesse de l'accumulation de cette zone d'étude est très important et présente la valeur 1,7m /an, la zone d'étude est caractérisée aussi par une vitesse moyenne d'érosion qui représente -0,56 m/an.

#### 4. ETUDE ANTHROPIQUE :

Relatif à l'activité humaine, qualifie tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme, Du grec anthropos (homme).

##### 4.1.L'évolution chronologique de la population du littoral :

Le tableau suivant présente l'évolution de la population des communes côtières de l'Est de Tipasa à travers les différents Recensements généraux de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1987 à 2020. Ce tableau indique qu'il y a une augmentation progressive à élever dans la période 1987-2008. Ensuite, à partir de 2008 la population a augmenté de façon rapide surtout dans les communes : Fouka et Bousmail.

**Tableau 8** : Evolution de la population des communes côtières de l'Est de Tipasa à travers les différents RGPH [Source DPSB in (CNL-Tipasa)]

Nom de commune	RGPH_1987/Pop	RGPH_1998/Pop	RGPH_2008/Pop	Estimati_2020/Pop
Douaouda	12815	17283	22408	31724
Fouka	26766	39549	48959	71000
Bousmail	27075	27075	41684	66000
Khemisti	9127	12622	15128	23000
Bouharoun	6107	8613	9922	15159
Ain tagourait	6693	9075	10411	13767
Tipasa	15795	21915	25225	33000

##### 4.2.Extraction et quantification du tissu urbain :

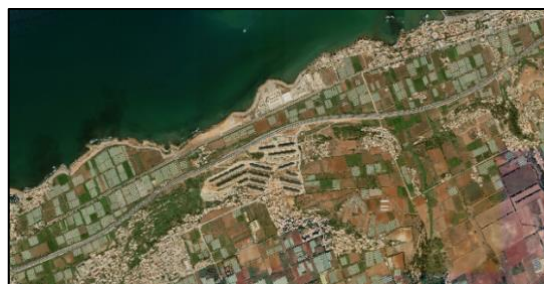
###### 4.2.1. Méthodologie suivie

###### A. Les données disponibles :

- des images satellitaires extraites de Google Earth pro ; 2014 et 2023.
- Le géo référencement et la digitalisation ont été faits à l'aide du logiciel Arc Gis 10.4



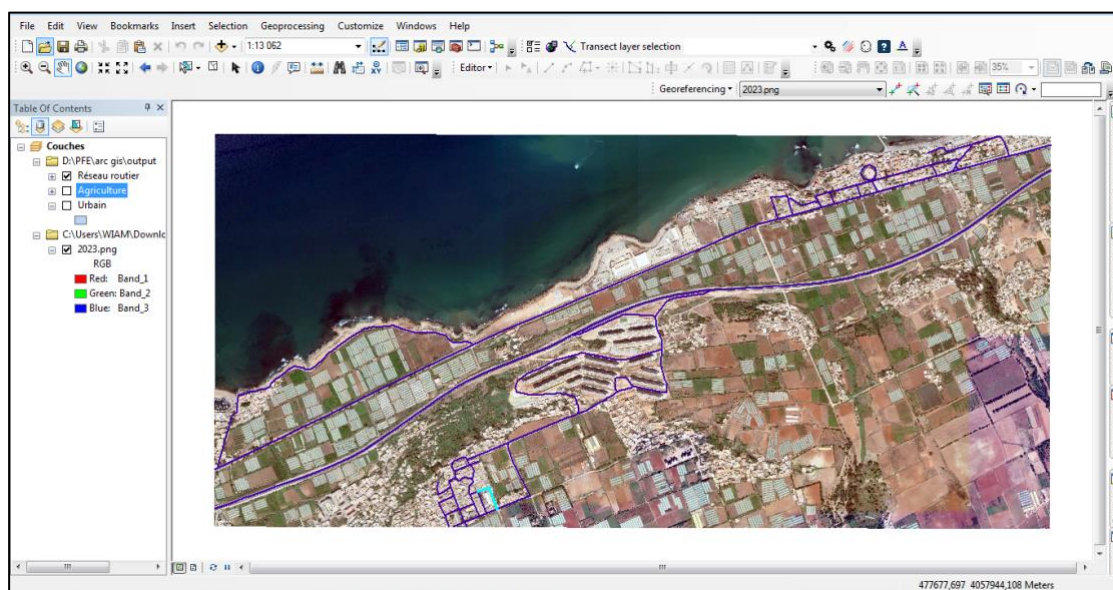
**Figure 52** :Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2014 (Google Earth pro)



**Figure 53** : Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2023 (Google Earth pro)

## B. La digitalisation

La digitalisation dans ce cas est de tracer des lignes et des polygones qui définissent les routes, les terres agricoles et les urbains, la digitalisation se fait grâce l'aide de l'outil « Editor » du logiciel « ArcGIS ».



**Figure 54**: La digitalisation du réseau routier de la zone d'étude

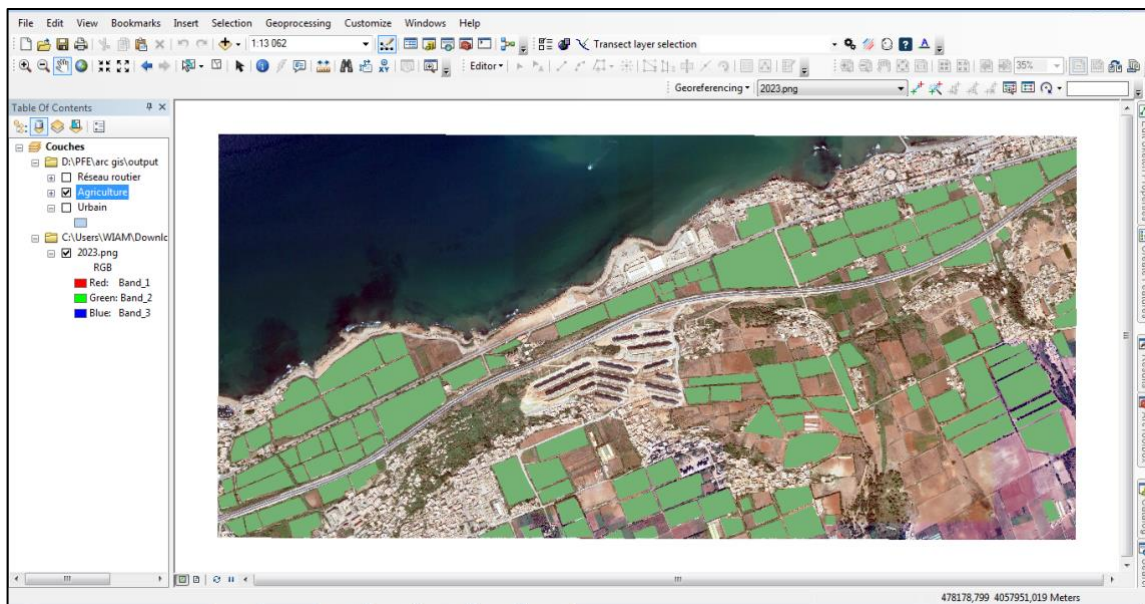


Figure 55 : La digitalisation des terrains agricoles de la zone d'étude

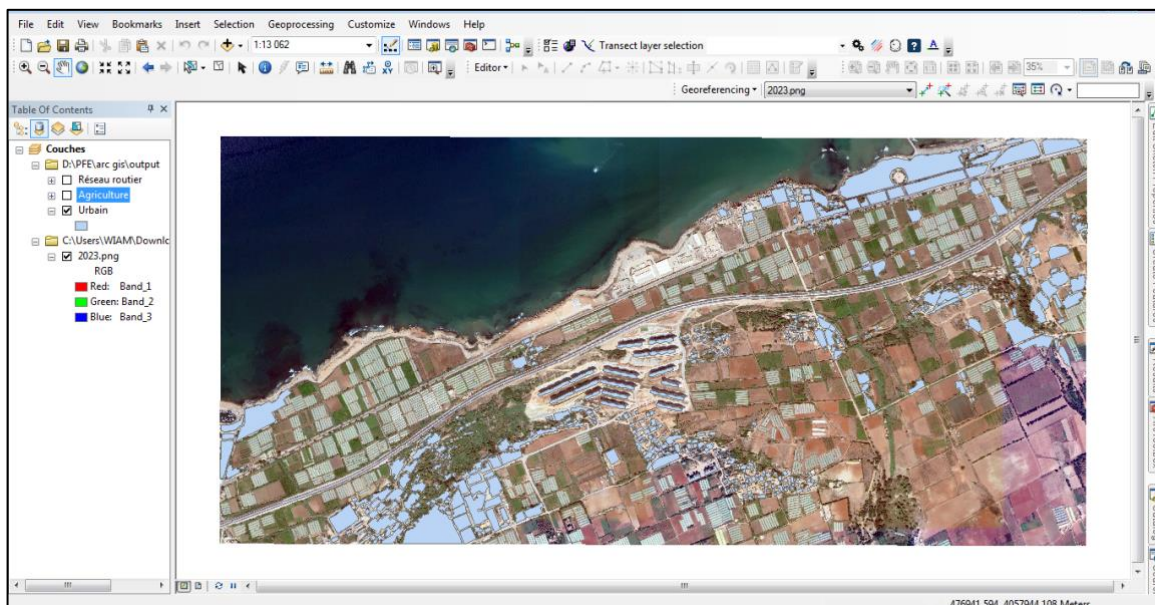
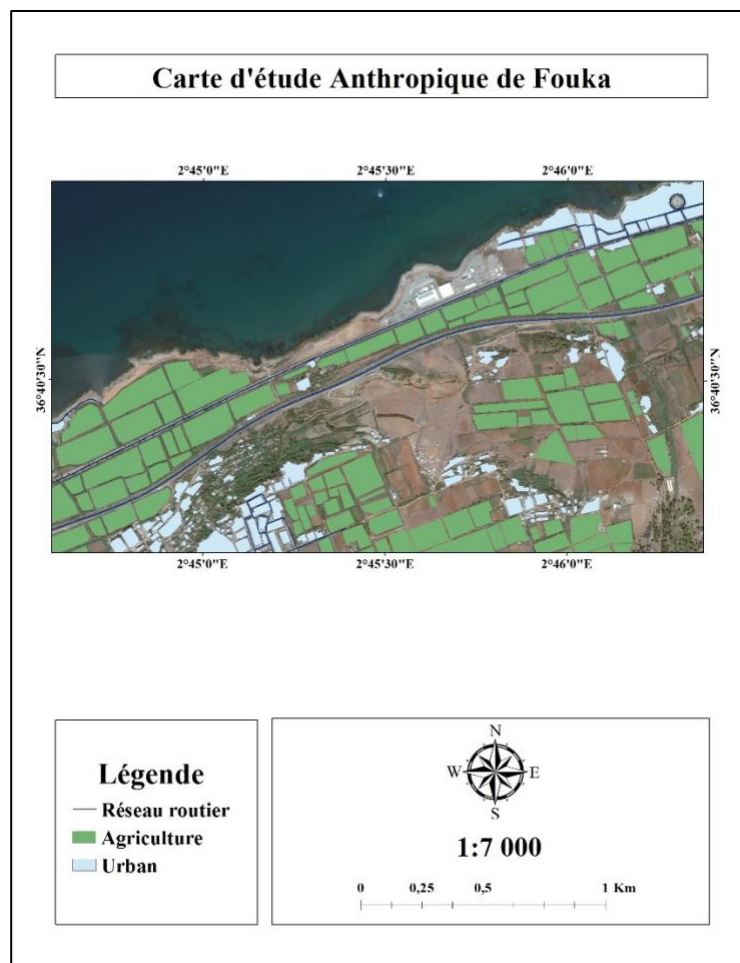


Figure 56 : La digitalisation des urbain de la zone d'étude

#### 4.2.2. Résultats :

Deux cartes ont été réalisées dans cette partie :



**Figure 57** : Carte d'étude anthropique de Fouka 2014



**Figure 58 :** Carte d'étude anthropique de Fouka 2023

**Commentaire :**

Les figures 58 et 59 montrent que la commune de Fouka est caractérisée par son potentiel agricole et que les terres agricoles occupent une large surface. La comparaison entre les deux cartes nous a permis de constater un accroissement important de l'urbanisation pendant cette période.

L'accroissement du tissu urbain traduit l'augmentation de population locale et adjacente et par conséquent l'augmentation en besoins, notamment le stress hydrique, l'installation d'infrastructures tel que les stations de dessalement devient donc une nécessité à échelles régionales.

---

# **Chapitre IV**

## **Solution de protection et d'aménagement**

---

Avant d'entreprendre un projet de stabilisation et /ou de protection ; il convient de déterminer la cause des problèmes relevés au niveau du front de mer, pour savoir établir le niveau de protection requis et savoir utiliser la technique appropriée. Dans notre cas L'objectif principal est d'assurer la protection efficace de la station de dessalement car il s'agit d'une structure de base. Pour cela, nous avons opté pour une protection côtière frontale le long de l'emprise de la station.

### 1. LA PROTECTION COTIERE FRONTALE :

La protection côtière frontale est une approche de gestion du littoral qui vise à réduire les effets néfastes des vagues et des courants sur le trait de côte. Elle implique la construction d'infrastructures et de structures spécifiques pour absorber et dissiper l'énergie des vagues, protégeant ainsi les zones côtières vulnérables. Plusieurs techniques sont utilisées pour assurer une protection côtière frontale efficace. Parmi les plus courantes, on retrouve les brise-lames, les épis et les digues. Chacune de ces techniques présentes des avantages spécifiques en fonction des conditions côtières et des objectifs de protection.

#### a. Brise lames :

Les brise-lames sont souvent émergents à la surface (au moins pendant la majeure partie du cycle de marée) et ils sont disposés approximativement parallèlement à la côte. Leur fonction est de réduire l'action de la houle et d'encourager la déposition de sédiments à l'arrière de l'ouvrage.

#### b. Epis :

Un épi est un ouvrage en enrochement relativement court qui avance dans la mer depuis la plage et dont la fonction principale est d'interrompre le transit littoral de sédiments afin de constituer ou de retenir des plages à un niveau plus élevé (et souvent, par-là même, de protéger un ouvrage de défense contre la mer existant).

#### c. Dignes :

En général, les digues sont classées, suivant leur géométrie comme : digues a talus, digues verticales, digue mixtes, digues spéciales comme les digues flottantes, les digues pneumatiques, etc.

Les principaux facteurs qui influent sur le choix du type de structure prennent en compte :

- les conditions hydrauliques ;
- les conditions géotechniques ;
- les conditions d'exploitation du port ;
- les conditions de constructions.

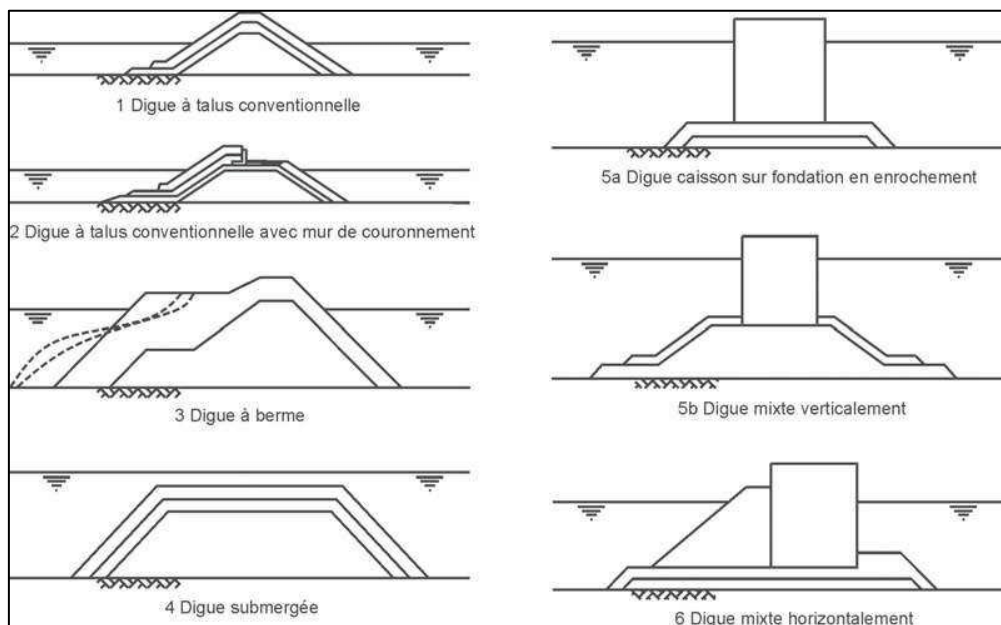


Figure 59 : Coupes-types de différents types de digues (CETMEF (2007))

## 2. CHOIX DES SCENARIOS D'INTERVENTION :

Avec un seul type d'ouvrage de protection, Deux différents scénarios d'intervention sont analysés :

- A. Digue à berme :
- B. Digue à berme avec avancement de trait de côte

Digue à berme reprofilée statiquement stable : lors de violentes tempêtes, la répartition de l'enrochement est modifiée par la houle pour former un profil naturellement stable dans lequel chaque bloc d'enrochement est stable.

## 3. DIMENSIONNEMENT :

### 3.1 Carapace :

$$W_{carapace} = \frac{\gamma_s * H_s^3}{K_d \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$$

**W** : Poids de blocs en béton ou d'encrochement en tonne (t).

**K<sub>d</sub>** : Coefficient du dommage (pour un dommage entre 0-5% et pour une forme de blocs rugueuse et angulaire et pour un emplacement aléatoire  $K_d = 3,5$ ).

**γ<sub>w</sub>** : La masse volumique de l'eau de mer (1,028t/m<sup>3</sup>).

**γ<sub>r</sub>** : La masse volumique des blocs utilisés (encrochement 2,65t/m<sup>3</sup>).

**H<sub>s</sub>** : Hauteur de la houle de dimensionnement (ici,  $H_s = 2,36\text{m}$ ).

### 3.2 Epaisseur :

Pour le calcul de l'épaisseur E de la carapace, on utilise la formule extraite du « Shore Manuel Protection, Coastal Engineering Research Center » C.E.R.C- US Army, suivante avec :

$$e = nk_{\Delta} \left( \frac{M_{moy}}{\rho_r} \right)^{1/3}$$

**K<sub>Δ</sub>** : coefficient de couche (1,1 pour le biton et 1,15 pour l'encrochement)

**n** : nombre de couche

### 3.3 Sous Couche filtre :

La sous couche assure la transition entre le noyau et la carapace et empêche l'entraînement par l'eau des particules fines du noyau.

$$W_{filtre} = \frac{1}{10} * W_{carapace}$$

### 3.4 La largeur de la berme :

La largeur de la berme doit être déterminée en équilibrant le coût de la digue avec la probabilité qu'elle subisse un dommage, la largeur minimale doit correspondre à la régression causée par la houle de projet maximale. Il est préférable que la berme soit aussi large que possible, elle est estimée par la relation suivante : **L ≥ 5m**.

### 3.5 Run up :

Le run-up de la houle est défini comme le niveau maximal que l'eau atteint sur le talus d'un ouvrage du fait de l'action de la houle.

La plupart des concepts actuels de run-up consistent en une formule de base qui est une fonction linéaire plutôt simple du paramètre de déferlement,  $\xi$  (-), défini par l'Équation qui exprime la relation générale qui existe entre le run-up dépassé par 2 % des vagues,  $R_{u2\%}(m)$ , la pente du talus, la hauteur et la période de la houle (à travers  $\xi$ ).

$$\xi_{op} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s_0}} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{2\pi \cdot H_p}{g(T_p^2)}}}$$

$\xi_{op}$  : paramètre de déferlement.

$T_p$  : la période de la houle.

$H_p$  : la hauteur de la houle au pied de l'ouvrage.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_p} = A\xi_{op} + B$$

$R_{u2\%}$  : Run up en mètre.

**A et B** : sont des coefficients d'ajustement

### 3.6 Application numérique :

On a les valeurs suivantes :

$$\rho_r = 2,65 \quad ; \quad H_s = 2,36m \quad ; \quad \gamma_w = 1.028 \quad ; \quad Cota = 1,5 \quad ; \quad K_d = 3,5$$

$$\text{Poids de la carapace :} \quad W = 1,69 \text{ t} \rightarrow \rightarrow \rightarrow [1 - 3t]$$

Son épaisseur :  $e = 2,1 \text{ m}$

**Poids de la sous-couche filtre :  $W_{\text{filtre}} = 0,17 \text{ t}$**

Il appartient déjà à la catégorie du tonnage traditionnel du noyau  $W_{\text{filtre}} < 500 \text{ kg}$  il est inclus dans le noyau.

Le noyau est constitué généralement de sédiments du Tous venant Carrière (TVC) de diamètre moyen compris entre [1 – 500 kg]

**Run up:  $\xi_{op} = 8.06 \rightarrow A = -0,2 ; B = 4,5$**

**$R_{up\ 2\%} = 4,61\ m$**

#### **4. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :**

Il s'agit d'une protection frontale de type digue à berme en enrochements sur un linéaire de côte de 800 mètres pour protéger la station

Cette protection est constituée par un noyau en tout venant de carrière de (0-500Kg), arasé à la cote +10 m, surmonté par une carapace en enrochement de (1-3 tonnes) qui présente une pente du côté extérieure de 3/2 et 2,1 m d'épaisseur ; cette couche est arasée à la cote de +11,10 m. Le pied de l'ouvrage est protégé par une souille en enrochements de catégorie (1-3 tonnes) de 1 mètre d'épaisseur.

La deuxième variante est mise sur une avancée en remblai renforcé ayant une largeur de 10m.

Des conduites d'aspiration et de refoulement s'étaleront depuis la station jusqu'à la mer, elles traverseront l'ouvrage de protection dans une galerie prévue ayant 2 à 3 m de largeur

#### **5. ESTIMATION DES COUTS CONSTRUCTIONS :**

Estimation des couts constructions des variantes est basée sur des prix unitaires récents pratiques par des entreprises des réalisations nationales. Ces couts détaillent dans les devis présentés ci-après, sont les suivants :

- **La variante 1 : 404099600,00 DA -TTC**
- **La variante 2 : 512601680,00 DA -TTC**



Figure 60 : Plan de masse de la variante 01

Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 01  
(Côté Ouest)

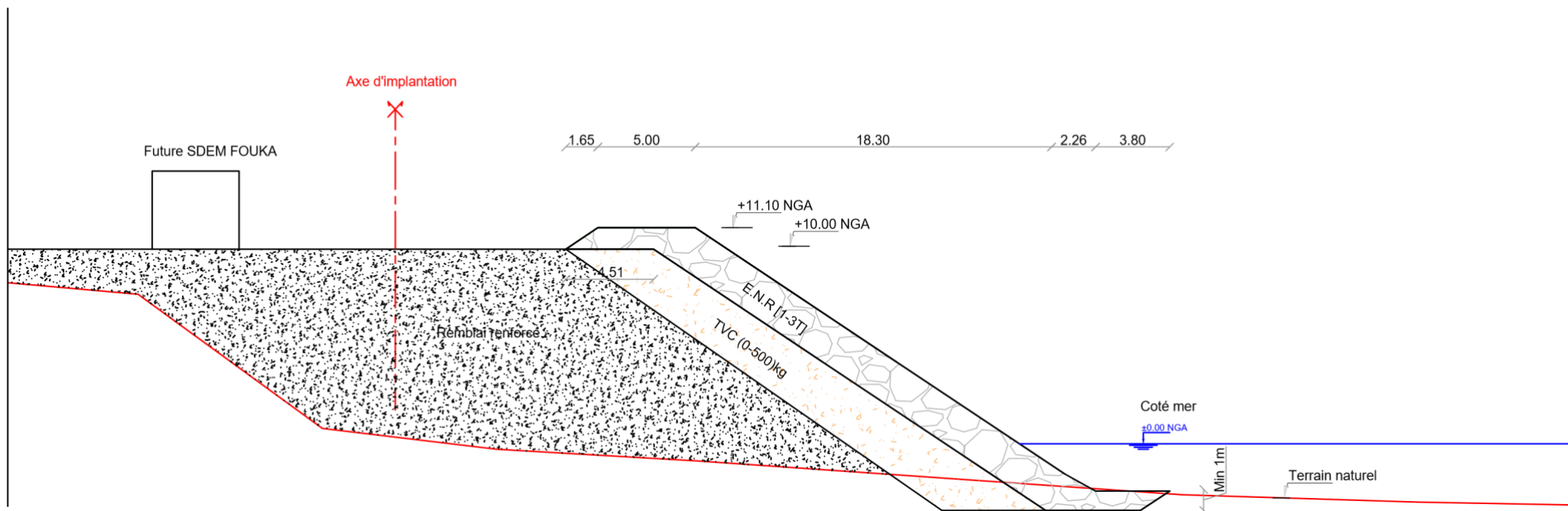


Figure 61 : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 01

Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 02  
(Côté Est)

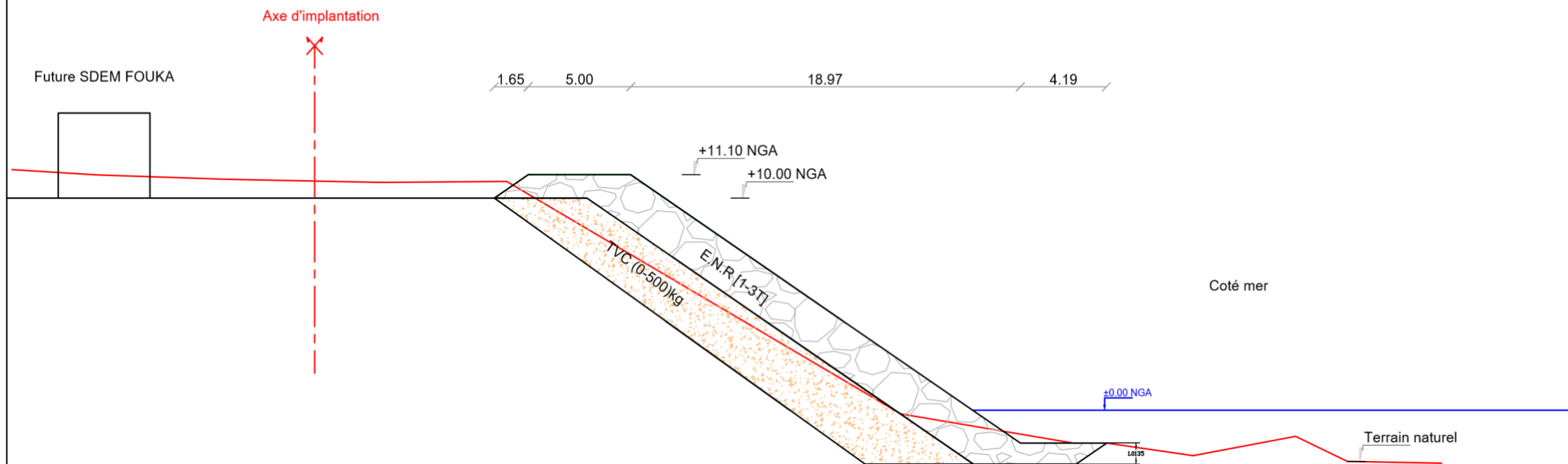


Figure 62: Protection frontale de la station de dessalement - Variante 01 Coupe- type 02



Figure 63 : Plan de masse de la variante 02

Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 01  
(Côté Ouest)

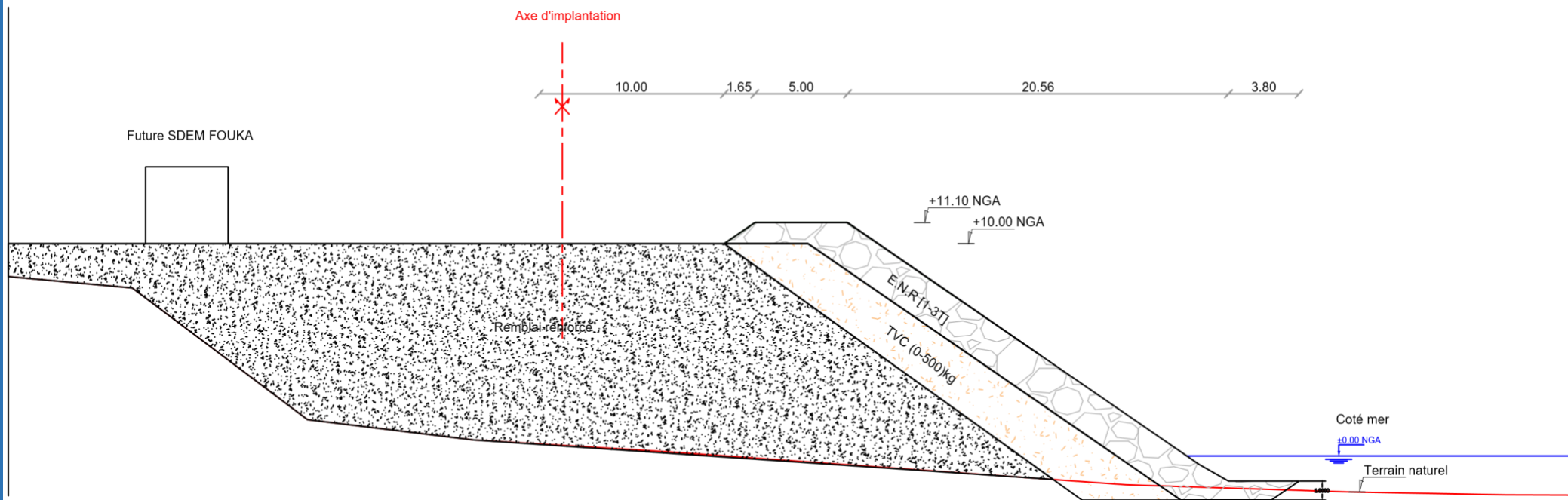
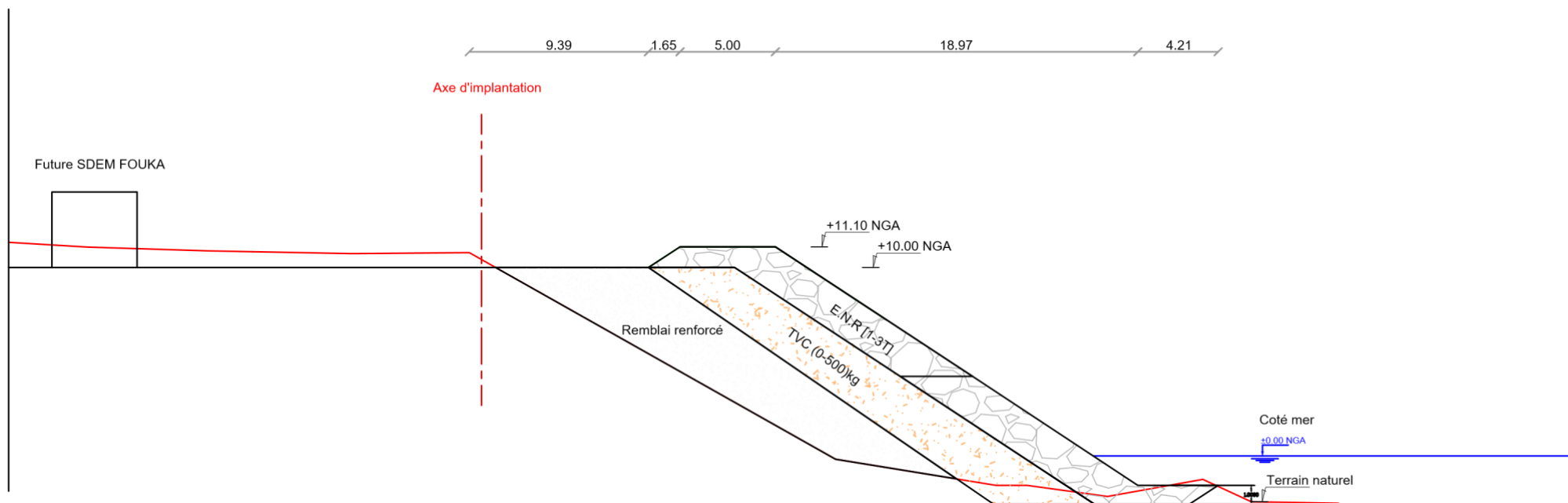


Figure 64 : Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 01

Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 02  
(Côté Est)



**Figure 65 :** Protection frontale de la station de dessalement - Variante 02 Coupe- type 02

### 7. COMPARAISON ENTRE LES VARIANTES :

Il est important de rappeler que les deux variantes diffèrent uniquement par l'avancement de trait de cote

La comparaison des variantes 1 et 2 se fait en se basant sur les critères de comparaison ci-après :

- Coût de construction ;
- Délai de réalisation ;
- Réalisation, mise en œuvre et entretien ;
- Insertion dans l'environnement.

**Tableau 9 :** Comparaison des variantes

	<b>Variante 01</b>	<b>Variante 02</b>
<b>Coût de réalisation</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
<b>Délai de réalisation</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Réalisation, mise en œuvre et entretien</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>Insertion dans l'environnement</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>Notation reçue</b>	<b>2A+2B</b>	<b>2B+2C</b>

#### **Commentaire :**

L'analyse des deux variantes proposées nous amène aux conclusions suivantes :

- Cout de réalisation

Le coût de réalisation de la deuxième variante est plus important que la première.

- Délai de réalisation

Le délai de réalisation des deux variantes semble de même importance, mais reste en faveur de la première variante.

- Réalisation, mise en œuvre et entretien

La réalisation de telles variantes nécessite une équipe assez qualifiée et une main d'œuvre expérimenté pour obtenir le résultat final voulu.

- Insertion dans l'environnement

Le caractère balnéaire du site, nous impose d'opter pour les ouvrages ayant un aspect esthétique certain. A cet effet, l'analyse des deux variantes nous a amené à choisir la variante 1 qui semble donner une priorité absolue au respect de la nature et à l'aspect environnemental.

### **Conclusion**

Sur la base des critères de comparaison présentés ci-dessus, et compte tenu de l'évaluation assignée, nous recommandons la variante 1.

---

***CONCLUSION***

***GENERALE***

---

## CONCLUSION GENERALE

---

Dans le cadre de cette étude visant à assurer la protection de la frange littorale de la station de dessalement de Fouka marine, la problématique de l'érosion côtière se présente comme un défi majeur à relever. En effet, l'érosion côtière représente une menace directe pour la durabilité et l'efficacité optimale de la station.

L'objectif principal de l'étude est de mettre en place des mesures de protection adéquates pour prévenir l'érosion côtière et ses conséquences néfastes. En assurant une protection efficace de la frange littorale, on peut minimiser le recul de la ligne de côte et préserver l'intégrité des infrastructures de la station de dessalement.

L'utilisation du DSAS donc nous a permis de faire une étude diachronique de 8 ans pour essayer de prédire les phénomènes d'érosion et d'accumulation dans notre site d'étude

L'objectif de la modélisation numérique était d'analyser le comportement hydrodynamique et hydro-sédimentaire dans la zone d'étude en utilisant des périodes de retour pic annuelles, décennales et Cinquantennale. Ces données ont été traitées statistiquement comme données entrantes à l'aide du logiciel DHI MIKE21.

L'analyse de tous ces résultats et sur la base des éléments de comparaison (Coût de construction, Délai de réalisation, mise en œuvre et entretien et l'Insertion dans l'environnement) et Suite à l'appréciation attribuée, nous recommandons vivement l'adoption de la variante 1, qui se distingue de manière favorable par rapport à notre problématique.

### **Perspectives d'avenir :**

Pour garantir une étude rigoureuse, il est essentiel d'entreprendre une modélisation physique approfondie. Cette approche permettra de prendre en compte de manière complète et détaillée les phénomènes physiques et les variables pertinentes liées à notre problématique. En utilisant une modélisation physique, nous pourrions obtenir des résultats plus précis et réalistes, ce qui renforcera la validité de notre étude et de ses conclusions.

# **Bibliographie**

- BELLABAD, F., 2020.** Etude de l'évolution surfacique et volumétrique du cordon dunaire d'El Kadous (commune de Heraoua) [WWW Document]. URL <https://virtuallibrary.enssmal.edu.dz> (accessed 5.17.23).
- Carter, B. (R W.G.), 1988.** Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines. Academic Press, London ; New York.
- Certain, R., 2002.** Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon) (These de doctorat). Perpignan.
- Côte, M., 1994.** L'urbanisation en Algérie : idées reçues et réalités. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims 85, 59–72. <https://doi.org/10.3406/tigr.1994.1304>
- Ghodbani, T., Berrahi-Midoun, F., 2013.** La littoralisation dans l'Ouest algérien : analyse multiscalair des interactions hommes-espaces-écosystèmes. Espace populations sociétés 231–243. <https://doi.org/10.4000/eps.5488>
- Guebbabi, I., Salem, W., 2012.** Etude de protection du rivage de Fouka marine.
- Guilcher, A., 1979.** Précis d'hydrologie marine et continentale, 2 éd... refondue. ed. Masson, Paris New York Barcelone.
- Hamm, L., Mazas, F., Garcia, N., Bailly, B., 2010.** Réconcilier théorie et pratique dans la détermination des houles extrêmes.
- Komen, G.J., Hasselmann, K. (Eds.), 1996.** Dynamics and modelling of ocean waves, 1. paperback ed. (with corrections). ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- LABDI, A., MANDI, K., 2021.** Quantification de transit sédimentaire longitudinal de la région Est de la Baie d'Alger [WWW Document]. URL <https://www.virtuallibrary.enssmal.edu.dz> (accessed 7.2.23).
- Leclaire, L., 1972.** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (précontinent algérien). Éditions du Muséum.
- MATE, 2006.** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Rapport d'activité. Document publié. Alger : MATE.
- Mérenne, É., 2008.** Géographie des transports: contraintes et enjeux, Nouvelle éd. revue et corrigée. ed, Didact. Presses universitaires de Rennes, Rennes.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie., 2010.** Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. France: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, p. 68-103.
- Oluwatayo, A., Opoko, A., 2014.** Trends in Urbanisation: Implication for Planning and Low-Income Housing Delivery in Lagos, Nigeria. Architecture Research 4, 15–26. <https://doi.org/10.5923/s.arch.201401.03>
- Paskoff, R., 2001.** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers: le mythe et la réalité. Collection Propos.
- Paskoff, R., 1998.** Les littoraux: impact des aménagements sur leur évolution, 3. éd. rev. et corr. ed. A. Colin, Paris.
- Paskoff, R., 1993.** Côtes en danger, Pratiques de la géographie. Masson, Paris Milan Barcelone.
- Pickands, J., 1975.** Statistical Inference Using Extreme Order Statistics. Ann. Statist. 3. <https://doi.org/10.1214/aos/1176343003>
- Pilkey, O.H., Hume, T., 2001.** The shoreline erosion problem: lessons from the past.

- Rabehi, W., Guerfi, M., Mahi, H., 2019.** La baie d'Alger, un espace côtier prisé, entre pressions d'urbanisation et gouvernance territoriale. *Geo-Eco-Marina* 25, 113–130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3609744>
- Ramade, F., 1984.** *Éléments d'écologie. Écologie fondamentale.* Dunod.
- Stépanian, A., 2002.** Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie).
- Stone, G.W., Orford, J.D., 2004.** Storms and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics. *Marine Geology* 210, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.05.003>
- Talanzar, E., Salhi, S., 2018.** Hydrologie, modélisation hydro-sédimentaire et conception des ouvrages de protection : cas de la baie de Béjaia.
- Teffahi, N., 2018.** Cours de cartographie 4eme année, ENSSMAL.
- Thieler, E.R., Danforth, W.W., 1994.** Historical shoreline mapping (II): Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2009.** The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change. US Geological Survey.

# **Annexe**

## Annexe 01 : La rose des courants

### WRPLOT View :

WRPLOT View est un logiciel développé par Wiley pour la visualisation de données et le tracé de graphiques. Il est largement utilisé dans les domaines scientifiques et techniques. Le logiciel propose une interface conviviale et de nombreuses fonctionnalités avancées pour la création et la personnalisation de graphiques en 2D et 3D. Vous pouvez importer des données à partir de fichiers texte, Excel et d'autres formats, et les manipuler, les filtrer et les analyser avant de les tracer.

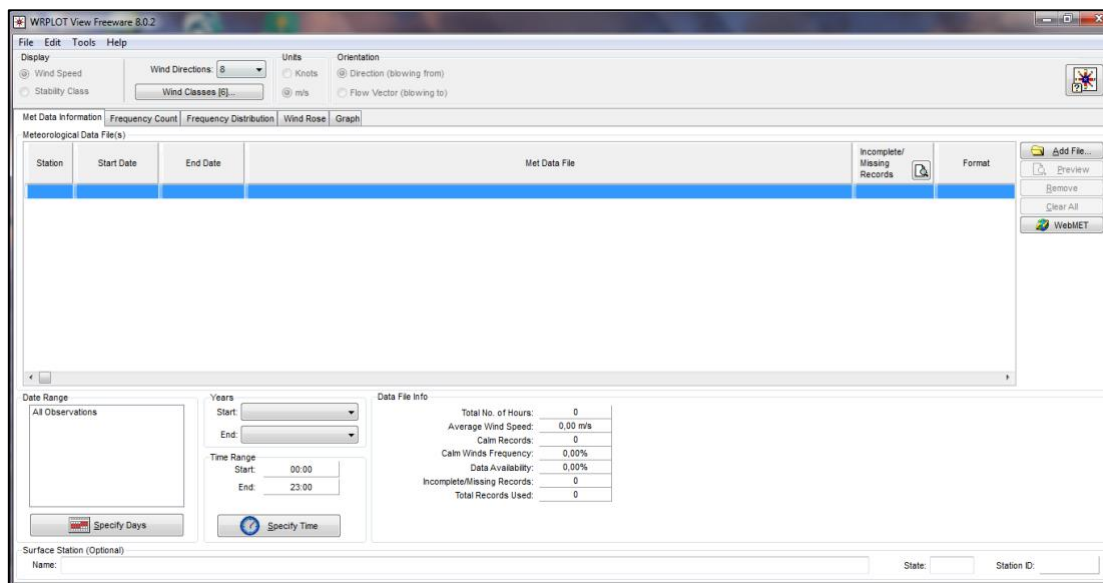
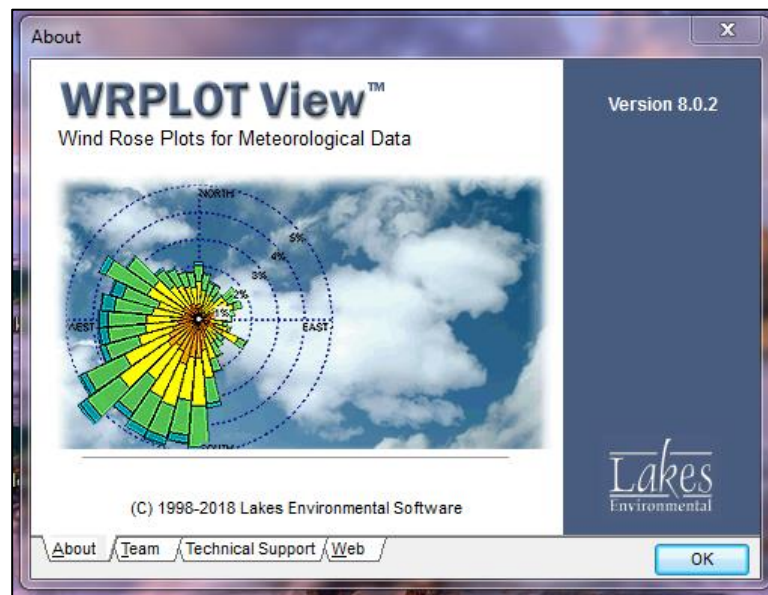


Figure 66 : interface de WRPLOT View

## Annexe 02 : Résultats de simulations des points d'extractions

Annuelle											
30° NE			360° N			315° NW			280° W		
Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
1.76795	8	7.08466	1.85882	8	355.007	1.83449	8	332.043	1.75848	8	317.114
1.94783	8	5.58775	2.22169	8	352.085	2.23212	8	327.044	2.10431	8	309.932
1.96863	8	8.31589	2.37437	8	352.288	2.39559	8	322.586	2.16123	8	302.472
1.95619	8	10.9567	2.34394	8	352.928	2.3922	8	319.373	2.1758	8	296.657
1.79545	8	359.47	1.92664	8	347.817	1.91165	8	327.772	1.80063	8	314.763
1.92264	8	2.78103	2.21697	8	349.224	2.227	8	325.053	2.03739	8	309.137
1.93571	8	7.43198	2.3472	8	351.367	2.39414	8	321.895	2.12662	8	302.699
1.94794	8	10.8601	2.32985	8	352.888	2.37999	8	319.363	2.17986	8	296.866
1.39669	8	353.543	1.43728	8	343.726	1.44998	8	326.237	1.4242	8	315.831
1.7751	8	358.225	1.90511	8	346.502	1.91321	8	325.806	1.82644	8	312.313
1.89449	8	1.45906	2.18268	8	347.972	2.22824	8	324.035	2.04074	8	308.545
1.91282	8	6.02876	2.31337	8	350.109	2.3923	8	321.63	2.1222	8	303.359
1.92383	8	10.4646	2.30246	8	352.32	2.36638	8	319.305	2.16888	8	296.764

Bi Annuelle											
30° NE			360° N			315° NW			280° W		
Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2.11293	10.33	3.01659	2.11662	10.33	353.015	2.08249	10.33	334.655	2.02726	10.33	323.52
2.73732	10.33	0.87873	2.79751	10.33	349.747	2.77464	10.33	329.821	2.68394	10.33	317.011
3.43217	10.33	2.80794	3.66109	10.33	349.21	3.68361	10.33	324.761	3.46451	10.33	308.673
3.56298	10.33	5.03896	3.97027	10.33	349.578	4.13283	10.33	320.965	3.84191	10.33	301.653
2.18685	10.33	354.979	2.21671	10.33	345.537	2.19463	10.33	329.54	2.12365	10.33	319.868
2.73417	10.33	357.683	2.80648	10.33	346.592	2.78791	10.33	327.196	2.68428	10.33	315.045
3.395	10.33	1.74063	3.63263	10.33	348.217	3.67564	10.33	323.916	3.46501	10.33	308.233
3.54693	10.33	4.94476	3.93213	10.33	349.556	4.0693	10.33	321.061	3.81459	10.33	301.67
1.5804	10.33	349.78	1.59916	10.33	341.404	1.61197	10.33	327.481	1.59718	10.33	319.323
2.15849	10.33	353.234	2.19464	10.33	343.827	2.19294	10.33	327.517	2.14574	10.33	317.016
2.68243	10.33	355.849	2.77717	10.33	344.949	2.7965	10.33	325.951	2.70585	10.33	313.632
3.29374	10.33	0.00233208	3.52083	10.33	346.776	3.57693	10.33	323.664	3.39236	10.33	308.458
3.50141	10.33	4.37845	3.90362	10.33	348.881	4.0525	10.33	321.006	3.78962	10.33	301.496

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
décimale															
			30° NE			360° N			315° NW			280° W			
x	y	z	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	
A1	477762.8412	4059019.290	-3	2.20696	11.49	1.16406	2.20355	11.49	352.025	2.16919	11.49	335.173	2.11889	11.49	325.31
A2	477704.188	4059129.253	-4	2.92617	11.49	358.745	2.95732	11.49	348.653	2.92626	11.49	330.443	2.84485	11.49	319.119
A3	477600.1158	4059325.118	-7	3.92942	11.49	0.17228	4.06371	11.49	347.829	4.05307	11.49	325.477	3.87124	11.49	311.043
A4	477502.4695	4059508.864	-10	4.43534	11.49	2.33436	4.75932	11.49	348.12	4.88258	11.49	321.637	4.64162	11.49	303.878
B1	477993.6866	4059065.854	-3	2.28974	11.49	353.135	2.31008	11.49	344.559	2.28776	11.49	329.984	2.22164	11.49	321.327
B2	477936.5684	4059179.496	-4	2.92119	11.49	355.492	2.96245	11.49	345.451	2.93734	11.49	327.799	2.84648	11.49	316.874
B3	477836.4687	4059377.529	-7	3.87717	11.49	359.04	4.01498	11.49	346.848	4.0244	11.49	324.721	3.85806	11.49	310.443
B4	477725.5129	4059597.086	-10	4.39369	11.49	2.15653	4.70045	11.49	348.107	4.79743	11.49	321.862	4.58283	11.49	303.892
C1	478221.9308	4059070.353	-2	1.64777	11.49	348.154	1.66381	11.49	340.451	1.67677	11.49	327.873	1.66336	11.49	320.478
C2	478187.6698	4059145.383	-3	2.26215	11.49	351.249	2.28934	11.49	342.778	2.28641	11.49	328.06	2.24327	11.49	318.54
C3	478137.8151	4059254.039	-4	2.87174	11.49	353.49	2.93708	11.49	343.741	2.94903	11.49	326.613	2.87283	11.49	315.41
C4	478062.1875	4059419.876	-7	3.71772	11.49	357.108	3.85678	11.49	345.327	3.88169	11.49	324.503	3.73605	11.49	310.671
C5	477945.3831	4059676.021	-10	4.34391	11.49	1.36678	4.67857	11.49	347.35	4.78226	11.49	321.821	4.56001	11.49	303.776

20											
45° NE			360° N			315° NW			280° W		
Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2.23263	11.85	0.622995	2.22794	11.85	351.72	2.19377	11.85	335.287	2.14462	11.85	325.759
2.9735	11.85	358.126	2.99923	11.85	348.32	2.96684	11.85	330.585	2.88712	11.85	319.65
4.04793	11.85	359.391	4.16088	11.85	347.414	4.14287	11.85	325.661	3.96761	11.85	311.676
4.68046	11.85	1.49926	4.96522	11.85	347.672	5.06982	11.85	321.849	4.84082	11.85	304.566
2.31761	11.85	354.866	358.256	1.303	344.269	2.31383	11.85	330.094	2.24881	11.85	325.759
2.96738	11.85	354.866	3.003	11.85	345.113	2.977	11.85	327.952	2.88841	11.85	319.65
3.98898	11.85	358.256	4.10551	11.85	346.44	4.10814	11.85	324.943	3.94912	11.85	311.676
4.63191	11.85	1.303	4.90336	11.85	347.658	4.98325	11.85	322.117	4.77618	11.85	304.566
1.66716	11.85	347.687	1.68269	11.85	340.174	1.69566	11.85	327.975	1.68256	11.85	320.796
2.29034	11.85	350.697	2.31576	11.85	342.475	2.31267	11.85	328.2	2.27039	11.85	318.961
2.91878	11.85	352.834	2.97859	11.85	343.392	2.98932	11.85	326.787	2.91577	11.85	315.906
3.81506	11.85	356.285	3.93609	11.85	344.904	3.95531	11.85	324.729	3.81639	11.85	311.301
4.58023	11.85	0.448477	4.87884	11.85	346.879	4.9643	11.85	322.081	4.75098	11.85	304.54

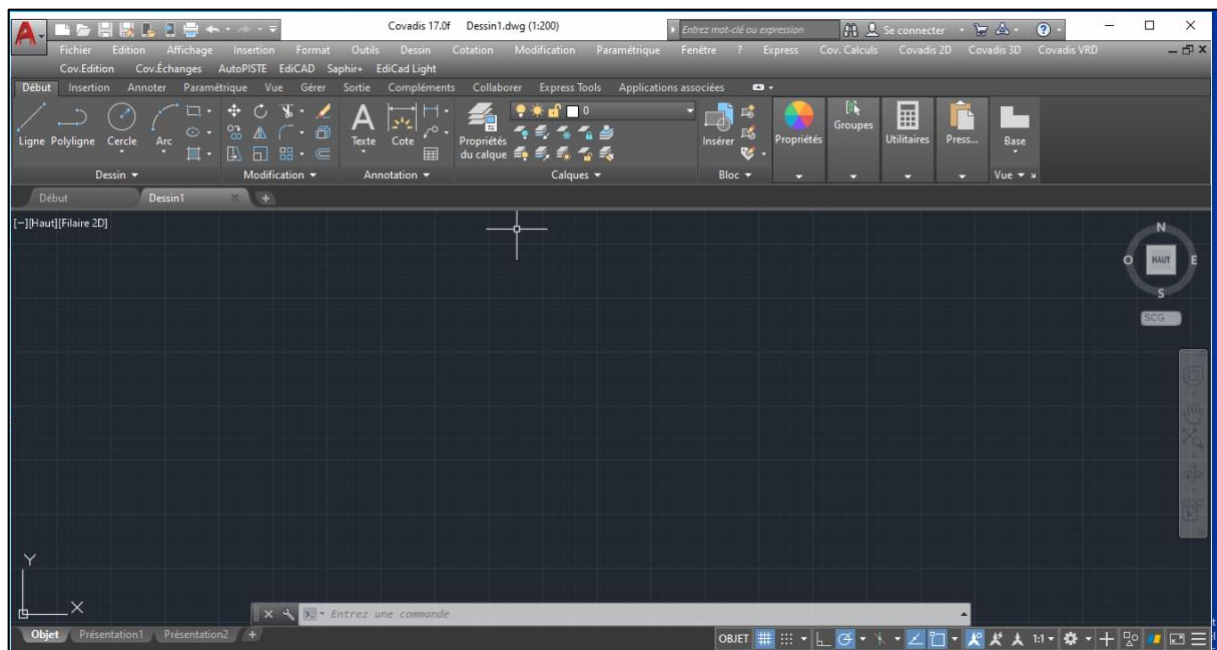
50											
30° NE			360° N			315° NW			280° W		
Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2.25973	12.25	0.0459956	2.25392	12.25	351.383	2.22005	12.25	335.398	2.17207	12.25	326.217
3.02161	12.25	357.467	3.0426	12.25	347.955	3.00925	12.25	330.728	2.93109	12.25	320.193
4.16233	12.25	358.558	4.25637	12.25	346.962	4.23218	12.25	325.851	4.06242	12.25	312.333
4.92338	12.25	0.587659	5.16628	12.25	347.177	5.2516	12.25	322.086	5.03228	12.25	305.319
2.34691	12.25	352.057	2.36357	12.25	343.952	2.34154	12.25	330.207	2.27766	12.25	322.112
3.01415	12.25	354.206	3.04492	12.25	344.743	3.01833	12.25	328.108	2.93186	12.25	317.873
4.09609	12.25	357.427	4.19422	12.25	345.994	4.1913	12.25	325.174	4.03862	12.25	311.738
4.86993	12.25	0.376613	5.10293	12.25	347.159	5.16513	12.25	322.398	4.96356	12.25	305.432
1.688	12.25	347.188	1.70313	12.25	339.874	1.71608	12.25	328.079	1.7033	12.25	321.132
2.32001	12.25	350.12	2.34387	12.25	342.148	2.34064	12.25	328.345	2.29923	12.25	319.404
2.96643	12.25	352.149	3.02152	12.25	343.017	3.03126	12.25	326.966	2.9602	12.25	316.43
3.90863	12.25	355.425	4.0143	12.25	344.446	4.02894	12.25	324.961	3.89605	12.25	311.967
4.81456	12.25	359.46	5.07336	12.25	346.358	5.14056	12.25	322.367	4.93443	12.25	305.397

**Figure 67:** Résultats de simulation des points d'extractions

### Annexe 03 : Dessin des variantes

#### Autocad

Autocad est un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO), il permet la création et la gestion d'architectures (des ouvrages dans notre cas) de manière poussée, à l'aide d'imagerie en 2D ou en 3D. Ces performances permettent de développer et d'appréhender la gestion de projets industriels.



**Figure 68 :** Interface d'Autocad

## Résumé

La nouvelle station de dessalement de Fouka Marine est un projet d'envergure visant à répondre aux besoins croissants en eau potable de la région. Cependant, sa proximité avec la zone côtière pose des défis spécifiques liés à la fragilité de la frange littorale et aux risques d'érosion côtière.

Pour assurer la durabilité et la protection de cette infrastructure cruciale, notre travail consiste à réaliser une étude approfondie, analyser les problèmes liés à la fragilité côtière et proposer des solutions de protection adaptées. Notre objectif est de garantir le bon fonctionnement et la pérennité de la station de dessalement afin de répondre efficacement aux besoins en eau potable de la région, tout en préservant l'environnement côtier.

**Mots clés :** Station de dessalement, Trait de côte, Bathymétrie, Modélisation, Mike 21.

## Abstract

The new Fouka Marine desalination plant is a major project to meet the region's growing drinking water needs. However, its proximity to the coastal zone poses specific challenges related to the fragility of the coastal fringe and the risks of coastal erosion.

To ensure the sustainability and protection of this critical infrastructure, our job is to conduct an in-depth study, analyze issues related to coastal fragility and propose appropriate protection solutions. Our goal is to ensure the proper functioning and sustainability of the desalination plant in order to effectively meet the region's drinking water needs, while preserving the coastal environment.

**Keywords:** Desalination station, Coastline, Bathymetry, Modelling, Mike 21.

## ملخص

محطة تحلية المياه البحرية الجديدة في فوكا هي مشروع كبير لتلبية احتياجات مياه الشرب المتزايدة في المنطقة. ومع ذلك، فإن قربها من المنطقة الساحلية يطرح تحديات محددة تتعلق بهشاشة الأطراف الساحلية ومخاطر تآكل السواحل.

لضمان استدامة وحماية هذه البنية التحتية الحيوية، تتمثل مهمتنا في إجراء دراسة معمقة وتحليل المشاكل المتعلقة بهشاشة السواحل واقتراح حلول الحماية المناسبة. هدفنا هو ضمان الأداء السليم والاستدامة لمحطة تحلية المياه من أجل تلبية احتياجات المنطقة من مياه الشرب بشكل فعال، مع الحفاظ على البيئة الساحلية.

**الكلمات المفتاحية :** محطة تحلية المياه، خط الساحل، عمق البحر، النمذجة، مايك 21

