

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



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCE DE LA MER  
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL**

**Diagnostic et étude de l'évolution des falaises  
de la région algéroise.**

Présenté par :

- Mohamed BENBRAHAM
- Zakaria AGABI

Soutenu le 15.07.2018 devant le jury suivant :

<i>Membre de jury</i>	<i>Grade</i>	<i>Affiliation</i>	<i>Qualité</i>
M. Mezouar K.	MCA	ENSSMAL	Président
M. Fernane L.	MAB	ENSSMAL	Examineur
M. Ait amir A.H	Ingénieur d'étude	HMI	Examineur
M. Rabehi W.	Chercheur	ASAL	Examineur
M. Otmani H.	MAA	ENSSMAL	Promoteur

## **Remerciement**

*Tout d'abord, on adresse le plus grand remerciement au Dieu (ALLAH), qui nous a guidé au chemin du savoir, donné la volonté et la force tout au long de nos études.*

*On est très heureux de pouvoir exprimer nos gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*On voudrait exprimer notre reconnaissance à notre promoteur **M. OTMANI.H** qui a encadré ce travail, et avec sa disponibilité, ses conseils et son expérience nous a aidés à avoir des connaissances, du courage et de l'efficacité dans le travail. Il nous a appris l'honnêteté, le respect et le sérieux dans tout ce qu'on fait, on souhaite que notre relation aille au-delà des études et de ce travail.*

*Nos plus sincères remerciements s'adressent aux membres du jury :*

- ***M. MEZAOUR.K**, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*
- ***M. FERNANE L**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.*
- ***M. AITAMIR A**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.*
- ***M. RABEHI W**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.*

*On remercie aussi, M. Nour Eddine ingénieur de laboratoire et a toute l'équipe de l'APPL de nous avoir formé et guider sur le terrain.*

*Un grand merci à tous les membres de nos familles pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier, nos parents.*

*On remercie tous nos amis qui nous ont soutenus, en particulier, Radhwene, Hachemi, Narimene et Romaiassa, pour leur présence, leur soutien permanent, leurs conseils et leurs encouragements.*

## **DEDICACES**

### **AGABI Zakaria**

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents, Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler avec, et aussi par leurs prières et leurs bénédictions qui ont été un grand secours pour mener à bien ma vie et mes études. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mon unique sœur Widad, et à mes frères Walid, Abd Erraouf et le petit adorable Ilyes.

A mes amis.

A Narimene.

A mon bras droit et mon frère Mohamed qui m'a accompagné durant toutes les étapes pour accomplir ce travail.

A tous ceux qui m'aiment.

### **BENBRAHAM Mohamed**

Je dédie ce mémoire à :

· Mes parents qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, leur soutien, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils,

Pour toute leur assistance et leur présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, expression de mes sentiments

et de mon éternelle gratitude.

Mon frère, mes sœurs, tous mes amis, mon meilleur Brahim men, ma meilleure Rania qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mon ombre Zatchi qui m'aidait à chaque minute pour réaliser ce travail

Mes professeurs de l'ENSSMAL qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

## Liste des figures

<b>Figure I-1.</b> Situation géographique de la zone d'étude. ....	4
<b>Figure I-2.</b> Variation des moyennes mensuelles des précipitations (période 2008-2017). ....	6
<b>Figure I-3.</b> Répartition annuelle des vents en %, (Station Alger port (2008-2017)).....	7
<b>Figure I-4.</b> Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses.....	8
<b>Figure I-5.</b> Comparaison des couches géologique entre la région Est et la région Ouest (BETROUNI, 1983. BOUHAMADOUCHE, 2012) .....	9
<b>Figure I-6.</b> Carte géologique de la zone d'étude (site A). (INCT 1964) .....	9
<b>Figure I-7.</b> Lithologie des falaises d'El Marsa jan2018 (site A).....	10
<b>Figure I-8.</b> Carte géologique de la côte Ouest Algéroise (source : INCT) .....	11
<b>Figure I-9.</b> Falaise d'El Marsa Jan 2018 (site A) A & Falaise d'El hammamat Avr 2018 (siteB) B .....	12
<b>Figure I-10.</b> Schéma représentative du cycle d'évolution des falaises. (Maquaire, 2011)....	13
<b>Figure I-11.</b> Carte de distribution des formations géomorphologiques dans la zone algéroise. ....	14
<b>Figure I-12.</b> Illustration de l'effet des habitations et des rejets sur les falaises (Rais Hamidou, mai 2018).....	15
<b>Figure I-13.</b> Réseau hydrographique de la zone Algéroise. ....	16
<b>Figure I-14.</b> : Localisation des points de données en méditerranée centrale et occidentale issues de l'atlas. ....	17
<b>Figure I-15.</b> Rose des houles annuelles au large d'Alger. (AMIS, 2008). ....	17
<b>Figure I-16.</b> Roses des houles saisonnières au large d'Alger. ....	19
<b>Figure I-17.</b> Carte de propagation et de transformation de la houle du large a la côte. ....	20
<b>Figure I-18.</b> Roses des houles aux différents points. ....	21
<b>Figure I-19.</b> Présentation de la falaise d'El Marsa (janvier 2018). ....	23
<b>Figure II-1.</b> Schéma illustratif du principe de fonctionnement du DGPS.....	26
<b>Figure II-2.</b> Carte de répartition des points géodésiques de la côte algéroise élaborés par l'APPL.....	28
<b>Figure II-3.</b> Fiche synthétique concernant le DGPS .....	28
- Repérer ensuite le point géodésique le plus proche de la partie d'étude concernée (Figure II-4) ; .....	29
<b>Figure II-5.</b> Schéma explicatif des étapes de la mise en place de la station de base. ....	29
<b>Figure II-6.</b> Fiche technique du point géodésique d'El Marsa (APPL, 2016).....	30

<b>Figure II-7.</b> Acquisition des données lors des investigations de terrain (2018).....	31
<b>Figure II-8.</b> Schéma explicatif du principe des levés de la station mobile. ....	32
<b>Figure II-9.</b> Visualisation des transects générés dans la zone de Zarzouria .....	35
<b>Figure II-10.</b> Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2014-2018. ....	36
<b>Figure II-11.</b> Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2018.....	36
<b>Figure II-12.</b> Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2014-2018. ....	37
<b>Figure II-13.</b> Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2018.....	37
<b>Figure II-14.</b> Visualisation de la tendance de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2014-2018.....	38
<b>Figure II-15.</b> Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2015-2018. ....	38
<b>Figure II-16.</b> Illustration montrant l'innascibilité des falaises du site B (avril 2014).....	39
<b>Figure II-17.</b> Schéma explicatif des étapes d'acquisition des images satellitaires. ....	40
<b>Figure II-18.</b> Acquisition des images satellitaires à partir de Google Earth Pro .....	41
<b>Figure II-19.</b> Géo-référencement des images satellitaires sur ArcGis.....	41
<b>Figure II-20.</b> Visualisation des transects générés dans la zone Est.....	42
<b>Figure II-21.</b> Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2007-2018. ....	43
<b>Figure II-22.</b> Visualisation de l'évolution corrigée du trait de côte en m entre 2007-2018. ...	44
<b>Figure II-23.</b> Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2007-2018.....	44
<b>Figure II-24.</b> Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018. ....	45
<b>Figure II-25.</b> Visualisation de la vitesse corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.....	46
<b>Figure II-26.</b> Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2007-2018.....	46
<b>Figure II-27.</b> Visualisation de la tendance de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.....	47
<b>Figure II-28.</b> Visualisation de la tendance corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.....	48
<b>Figure II-29.</b> Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2007-2018.....	48

<b>Figure II-30.</b> Visualisation des transects générés dans la zone Ouest. ....	49
<b>Figure II-31.</b> Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2001-2018. ....	49
<b>Figure II-32.</b> <i>Visualisation de l'évolution corrigée du trait de côte en m entre 2001-2018 ...</i>	50
<b>Figure II-33.</b> Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Bologhine en m entre 2001-2018. ....	50
<b>Figure II-34.</b> Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018. ....	51
<b>Figure II-35.</b> Visualisation de la vitesse corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018. ....	51
<b>Figure II-36.</b> Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Bologhine en m/an entre 2001-2018. ....	52
<b>Figure II-37.</b> Visualisation de la tendance d'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018. ....	52
<b>Figure II-38.</b> Visualisation de la tendance corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018. ....	53
<b>Figure II-39.</b> Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2001-2018. ....	53
<b>Figure III-1.</b> Acquisition des cartes marines des profondeurs (A) & Extraxion sous ArcGis (B) ....	57
<b>Figure III-2.</b> Morphologie côtière et sous-marine du littoral de zone d'étude. ....	57
<b>Figure III-3.</b> Modèle numérique de terrain de la zone Algéroise ....	58
<b>Figure III-4.</b> Morphologie côtière et sous-marine du littoral site A (Est Algérois). ....	59
<b>Figure III-5.</b> Model Numérique de Terrain du site A (Est Algérois). ....	59
<b>Figure III-6.</b> Morphologie côtière et sous-marine du littoral site B (Ouest Algérois). ....	60
<b>Figure III-7.</b> Model Numérique de Terrain du site B (Ouest Algérois). ....	60
<b>Figure III-8.</b> Carte de répartition des profils bathymétriques ....	61
<b>Figure III-9.</b> Profil bathymétrique n°1. ....	62
<b>Figure III-10.</b> Profil bathymétrique n°3. ....	62
<b>Figure III-11.</b> Profil bathymétrique n°6. ....	62
<b>Figure III-12.</b> Profil bathymétrique n°8. ....	62
<b>Figure III-13.</b> Profil bathymétrique n°8. ....	63
<b>Figure III-14.</b> Profil bathymétrique n°12. ....	63
<b>Figure III-15.</b> <i>Orientation locale du trait de côte de la zone d'étude.</i> ....	65
<b>Figure III-16.</b> <i>Les vagues sélectionnées comme entrée pour le modèle hydrodynamique.</i> ....	66

<b>Figure III-17.</b> Maillage de la zone Algéroise.....	67
<b>Figure III-18.</b> Réglage du modèle couplé « Coupled Model ».....	68
<b>Figure III-19.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise vagues du secteur NE. $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ .....	68
<b>Figure III-20.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise vagues du secteur NO. $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	69
<b>Figure III-21.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A. Vagues du secteur NE $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	71
<b>Figure III-22.</b> Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NE, $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	71
<b>Figure III-23.</b> 25Répartition du flux sédimentaire au site A.Vagues du secteur NE, $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	72
<b>Figure III-24.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A.Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	73
<b>Figure III-25.</b> Répartition du champ des courants.Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ ....	73
<b>Figure III-26.</b> Répartition du flux sédimentaire au site A.Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	74
<b>Figure III-27.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A. Vagues du secteur NE, $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	75
<b>Figure III-28.</b> Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NE, $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ ....	75
<b>Figure III-29.</b> Répartition du flux Sédimentaire au site B.Vagues du secteur NE, $H_s= 2.56\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	76
<b>Figure III-30.</b> Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site B. Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	76
<b>Figure III-31.</b> Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ ....	77
<b>Figure III-32.</b> Répartition du flux Sédimentaire au site B. Vagues du secteur NO, $H_s= 2.64\text{ m}$ . $T= 8s$ . ....	77
<b>Figure IV-1.</b> Identification des zones à forte exposition a l'énergie hydrodynamique.....	81

## Liste des tableaux

<b>Tableau I-1.</b> Sites des falaises localisées dans le site.....	14
<b>Tableau I-2.</b> Sites des falaises localisées dans le site B. ....	14
<b>Tableau I-3.</b> caractéristiques des amplitudes Hs des houles du large en fonction de la période de retour.....	18
<b>Tableau II-1.</b> Erreurs estimées du DGPS.....	27
<b>Tableau II-2.</b> Représentation de la barre d'outils DSAS.....	33
<b>Tableau III-1.</b> Données retenus de la houle au large. ....	66
<b>Tableau III-2.</b> Estimation de la puissance des vagues dans la zone de déferlement des vagues de la zone d'étude.....	70

## Liste des abréviations

**AMIS:** Algerian coast Management through Integration and Sustainability

**ANRH :** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**CTS :** Centre des travaux sur terrain

**DGPS:** Differential global positioning system

**DSAS:** Digital Shoreline Analysis System

**E:** Est

**EPR:** End Point Rate

**EPR :** End Point Rate

**GIZC :** Gestion Intégrée des Zones Côtières

**GPS:** Global positioning system

**HD:** Hydrodynamic

**Hs :** Hauteur significative de la houle

**Km :** Kilomètre

**KW/m :** Kilo Watt par mètre

**LCHF :** Laboratoire Centrale d'Hydraulique Français

**LEM :** Laboratoire d'Etudes Maritimes

**LRR :** Linear Regression Rate-of-change

**MEEDDM :** Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer

**m :** Mètre

**m/an :** Mètre par an

**m/s :** Mètre par seconde

**MICLAT :** Ministère de l'intérieur des collectivités locales et de l'aménagement du territoire

**MNT :** Model Numérique de Terrain

**N :** Nord

**NE :** Nord-Est

**NO :** Nord-Ouest

**Rp5:** Réelles prévisions

**S:** Seconde

**SSMO:** Summary of Synoptic Meteorological Observations

**ST:** Sand Transport

**SW :** Spectral Wave

# Sommaire

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>2</b>
<b>I. Généralités sur la zone d'étude .....</b>	<b>4</b>
I.1 Situation géographique .....	4
I.1.1 Site A (Est algérois) .....	5
I.1.2 Site B (Ouest algérois) .....	5
I.2 Cadre climatologique.....	5
I.2.1 La précipitation .....	5
I.2.2 Le vent.....	6
I.3 Sites d'études.....	8
I.3.1 Caractéristiques géologiques et géomorphologiques .....	8
I.3.2 Caractéristiques hydrographiques .....	15
I.3.3 Caractéristiques Océanographiques .....	16
Conclusion.....	23
<b>II. Dynamique côtière.....</b>	<b>26</b>
II.1 Erosion à l'échelle annuelle : apport et méthodes des levés DGPS à la compréhension de l'érosion des falaises du site A .....	26
II.1.1 Introduction, stratégie et problématique.....	26
II.1.2 Méthodes de détection des limites inférieures et supérieures des falaises .....	26
II.1.3 Application de la méthode sur le site A .....	29
II.1.4 Traitement des données et visualisation des résultats .....	32
II.2 Erosion à l'échelle décennale : apport de la comparaison de l'imagerie satellitaire 2007/2018 à la compréhension de l'érosion des falaises .....	39
II.2.1 Introduction, stratégie et problématique.....	39
II.2.2 Images satellitaires .....	40
II.2.3 Application de la méthode.....	40
Discussion et conclusion .....	54
<b>III. Modélisation hydro-sédimentaire .....</b>	<b>56</b>
III.1 Etude bathymétrique .....	56
III.1.1 Bathymétrie du site A.....	59
III.1.2 Bathymétrie du site B .....	60
III.2 Etude des profils bathymétriques.....	60

III.3	Etude hydro-sédimentaire .....	63
III.3.1	Description du modèle de simulation MIKE21 .....	64
III.3.2	Étapes de réglages du model pour la simulation avec le MIKE21 .....	66
III.3.3	Résultats de la simulation.....	68
	Conclusion.....	77
<b>IV.</b>	<b>Synthèse du diagnostic et de l'étude de l'évolution des falaises de la zone algéroise :</b>	<b>80</b>
IV.1	Diagnostic et identification des zones falaises.....	80
IV.1.1	Site A.....	80
IV.1.2	Site B .....	80
IV.2	Dynamique côtière .....	80
IV.3	Modélisation hydro-sédimentaire .....	81
	<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>83</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>86</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **Introduction Générale**

Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser (**Paskoff, 1993**). Le littoral est une bande à l'intérieur de laquelle les contacts terre-mer se déplacent. Les caractéristiques physiques de cet espace géographique changent sous l'influence combinée des eaux marines (niveau de la mer, houle, marées et courants), du climat global et des évolutions naturelles (structure géologique) et anthropiques. (**MEEDDM**)

Le littoral algérois présente des unités géomorphologiques hétérogènes. De nombreuses études ont portées sur la morphodynamique des côtes sableuses, par ailleurs il est à noter qu'il y a une insuffisance bibliographique concernant les côtes rocheuses, ce qui nous a donné l'idée de mener une étude dans ce sens, et sur les falaises en particulier, qui subissent continuellement une évolution morphodynamique remarquable.

L'occupation abusive du littoral, et sa fragilité les mène à se trouver face au phénomène d'érosion qui conduit au recul de la ligne de côte. (**CLAUS-AUBY, 2003**)

L'occupation ancienne et anarchique traduit une pression anthropique sur les côtes algéroises notamment les zones à falaises qui représentent plus de 50% de son linéaire. Ce travail s'inscrit donc comme étant l'un des premiers portants à faire un diagnostic, le plus complet possible de l'évolution des falaises au niveau du secteur algérois.

De nombreux facteurs sont responsables de la dynamique de ces unités géophysiques, parmi lesquelles on peut citer : la nature des fonds, la bathymétrie, l'hydrodynamisme, les conditions climatologiques ainsi que les facteurs biotiques et abiotiques.

Dans cette optique nous avons subdivisé le travail en 4 chapitres :

**Chapitre 01** : le chapitre a porté sur les caractéristiques et les conditions générales présentes dans notre zone d'étude

**Chapitre 02** : a été consacré à l'étude de la dynamique côtière des falaises, en effectuant une étude comparative entre différentes méthodes d'analyse de l'évolution du trait de côte.

**Chapitre 03** : a englobé l'étude bathymétrique et morphodynamique pour mieux expliquer l'influence de la morphologie sous-marine sur l'hydrodynamisme.

**Chapitre 04** : a pour objectif de faire un récapitulatif des résultats obtenus des différentes études.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE**

## I. Généralités sur la zone d'étude

### I.1 Situation géographique

La wilaya d'Alger est limitée par la mer Méditerranée au Nord, par la wilaya de Blida au Sud, par la wilaya de Tipaza à l'Ouest et par la wilaya de Boumerdès à l'Est. Le linéaire côtier s'étend sur une longueur d'environ 80 km, comprise entre les latitudes  $36^{\circ}38'41.604''\text{N}$  et  $36^{\circ}55'1.279''\text{N}$  et les longitudes  $2^{\circ}47'46.184''\text{E}$  et  $3^{\circ}23'59.733''\text{E}$  et se divise en trois zones distinctes :

- Le secteur est, allant du Cap Matifou à la plage Réghaïa ;
- Le secteur centre, comprenant la baie d'Alger ;
- Le secteur Ouest qui s'étend de Rais Hamidou jusqu'à l'Oued Mazafran.

La wilaya d'Alger s'étend sur une superficie de 809,22 km<sup>2</sup> et compte 13 circonscriptions administratives qui regroupent 57 communes dont 22 occupent la partie littorale de la wilaya.(MICLAT 2017).

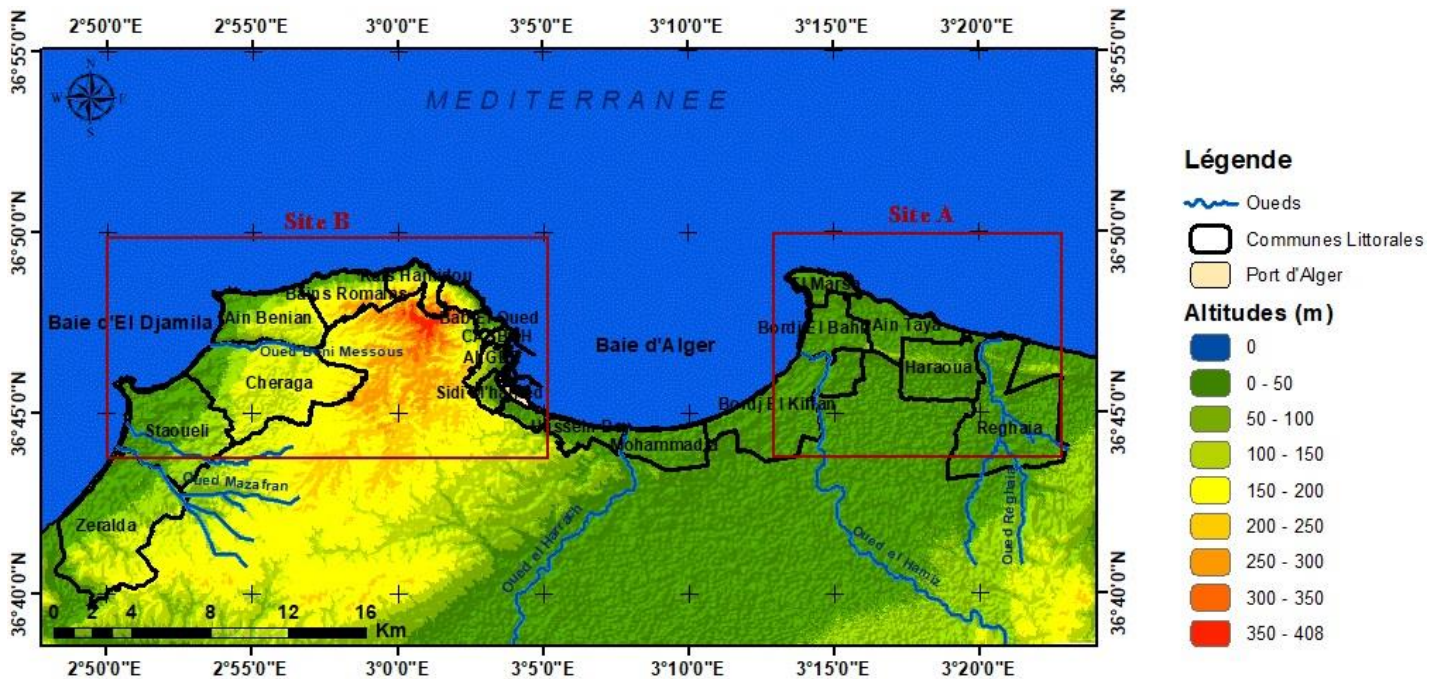
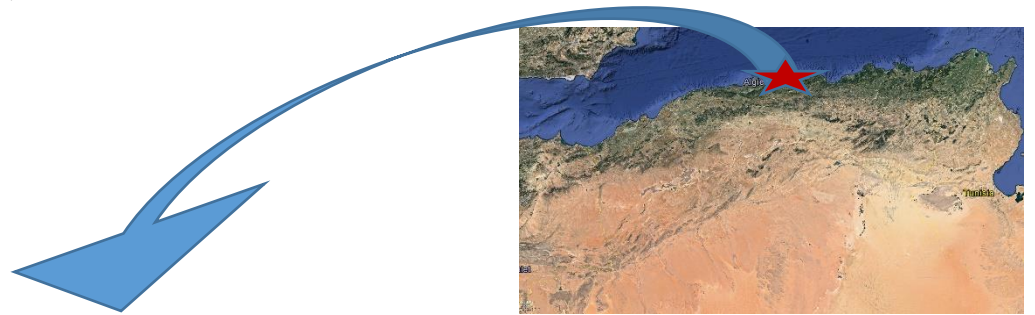


Figure I-1. Situation géographique de la zone d'étude.

Notre étude se base sur les côtes à falaises et celles-ci sont présentes dans deux sites essentiels :

### **I.1.1 Site A (Est algérois)**

Localisé entre  $36^{\circ}43'54''\text{N}$  et  $36^{\circ}50'1.5''\text{N}$  de latitudes et  $3^{\circ}12'48.149''\text{E}$  et  $3^{\circ}22'41.358''\text{E}$  de longitudes s'étendant de Réghaia jusqu'à Cap Matifou.

### **I.1.2 Site B (Ouest algérois)**

Localisé entre  $36^{\circ}43'52.326''\text{N}$  et  $36^{\circ}49'57.355''\text{N}$  de latitudes et  $2^{\circ}49'53.597''\text{E}$  et  $3^{\circ}5'0.185''\text{E}$  de longitudes s'étendant de Bab El Oued à Sidi Fredj.

## **I.2 Cadre climatologique**

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques se déployant dans notre zone d'étude et qui sont responsables de toute transformation morpho-sédimentaire (OTMANI, 2014). Les paramètres les plus déterminants sont, la précipitation et le vent.

Le climat de la région côtière du nord de l'Algérie est tempéré, avec des étés secs et chauds et des hivers doux et humides. Les précipitations moyennes annuelles dans la zone côtière sont d'environ 600 mm.

Il y a des changements temporels dans les précipitations et la température tout au long de l'année. Les mois les plus chauds de juin, juillet et août correspondent généralement à une saison sèche bien distincte.

Des données historiques infra-journalières brutes du climat local ont été obtenues du site ("Réelles prévisions", rp5.ru), les observations sont de la station «Alger (port)» Comprises dans la période allant de 2008 à 2017. Ces données ont été traitées et organisées grâce à un TCD (Tableau Croisé Dynamique) et une Macro programmés sur Excel.

**Station météo :** Alger (port), Algérie

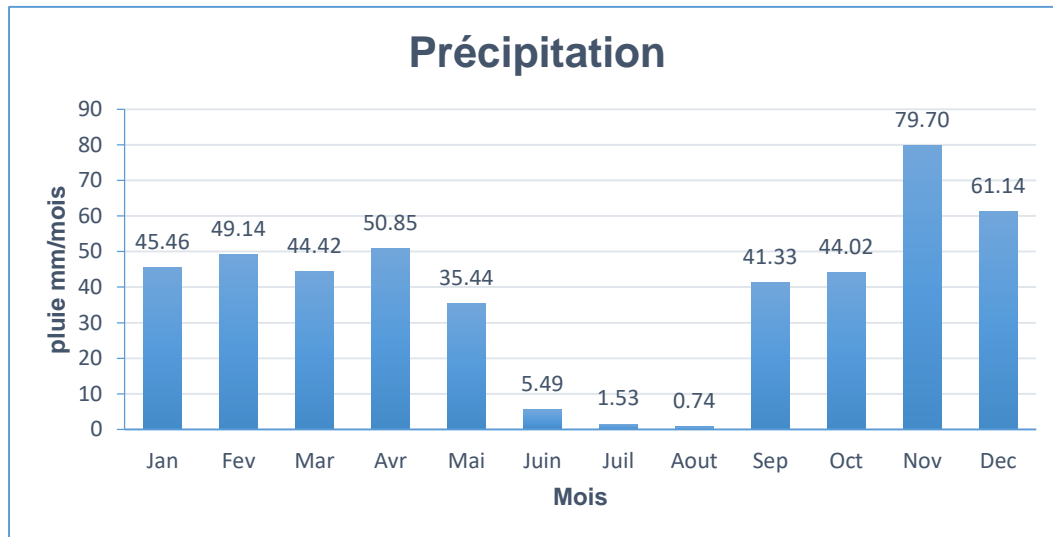
**Altitude :** 8 m

**Latitude :**  $36,77^{\circ}\text{N}$

**Longitude :**  $3,10^{\circ}\text{E}$

### **I.2.1 La précipitation**

Les précipitations provoquent l'érosion pluviale qui est caractérisée par deux mécanismes : le détachement du sol sous l'effet de l'impact des gouttes (**battance**), du **gel** et le transport par **ruissellement**.



**Figure I-2.** Variation des moyennes mensuelles des précipitations (période 2008-2017).

L'analyse des données de précipitation des 10 années (2008-2017) nous a permis de distinguer deux périodes climatologiques, une très pluvieuse s'étalant du mois de septembre jusqu'au mois de mai, où les précipitations se concentrent avec une moyenne maximale hivernale de 79.70 mm/mois en novembre, et une autre plutôt sèche allant du mois de juin au mois d'août avec une moyenne minimale de 0.74 mm/mois en août.

La moyenne annuelle des données couvrant la période étudiée est de l'ordre de 459.26 mm/ans.

### I.2.1.1 La battance

L'impact des gouttes de pluie désagrège et disperse les éléments superficiels meubles, et les éléments grossiers sont déplacés par les chocs et par les rebondissements : les déplacements peuvent atteindre plus d'un mètre. (BOURTI, HENDA 2014)

### I.2.1.2 Le ruissellement

L'écoulement de l'eau exerce un effet de cisaillement sur les particules à la surface du sol, après une forte pluie, les eaux empruntent les fissures du sol, les élargissent progressivement en chenaux parallèles qui fusionnent par l'écroulement des crêtes qui les séparent. En même temps, les têtes de chenaux reculent vers l'amont (érosion régressive). (BOURTI, HENDA 2014)

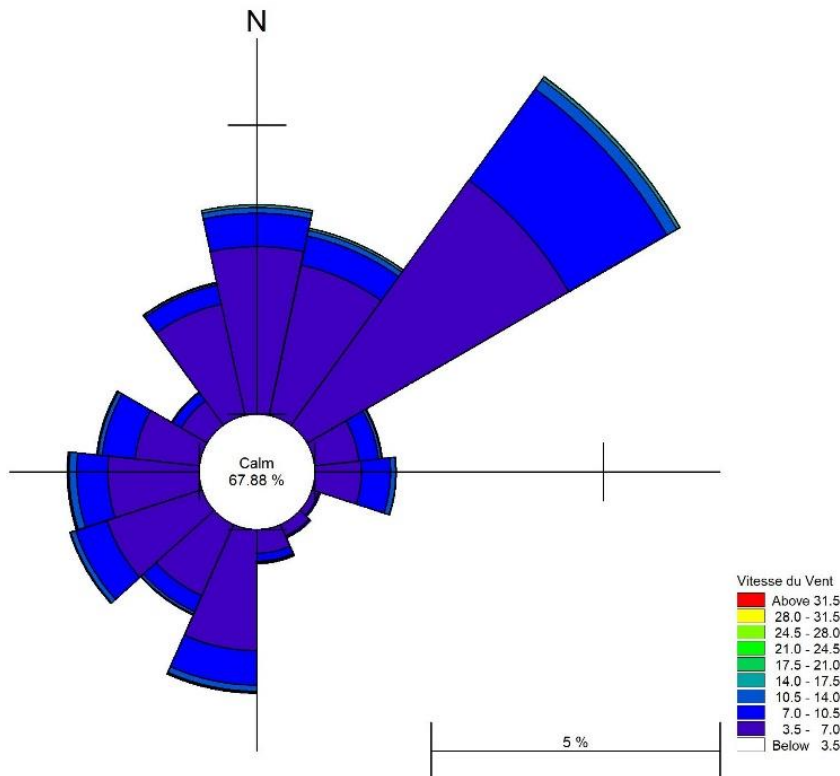
### I.2.1.3 L'effet gel-dégel

Des migrations d'eau générées par les différences de pression nées du changement de phase seraient en effet tout aussi aptes à diminuer la résistance de la matrice rocheuse ou à augmenter la contrainte générée lors du cycle que la dilatation volumique de l'eau lors de son passage de l'état liquide à l'état solide et cela après l'infiltration.

## I.2.2 Le vent

Le vent est un paramètre d'une grande importance ; c'est un générateur des agitations marines (vagues et courants superficiels). Ces derniers ainsi créés jouent un rôle dans l'évolution géomorphologique, en provoquant une érosion mécanique de la falaise.

Les données de la vitesse du vent, relatives à la station Alger (port), obtenues du site ("Réelles prévisions", rp5.ru), le site met à disposition des mesures de vitesses chaque 3 heures de 1h à 22h, cela sur une dizaine d'années de mesures (2008-2017), ces données ont été traitées et les vitesses moyennes annuelles déterminées. L'analyse de ces données a permis la détermination des fréquences d'apparition des vents par secteurs et cela à deux périodes : estivale et hivernale.



**Figure I-3.** Répartition annuelle des vents en %, (Station Alger port (2008-2017))

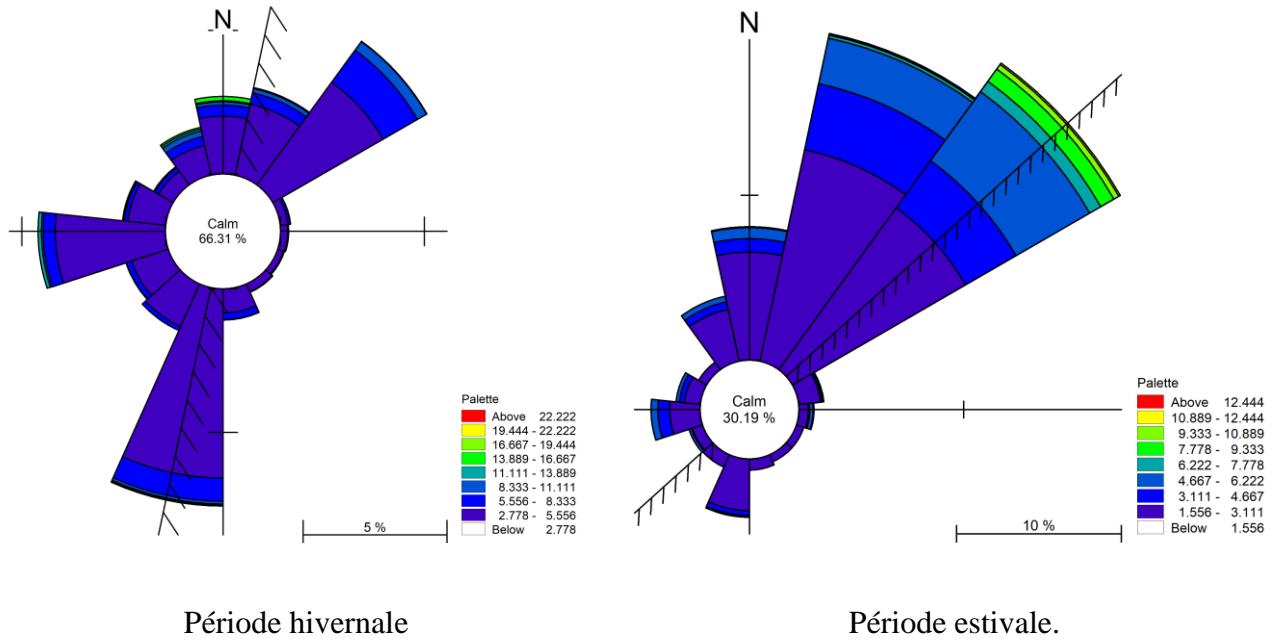
Les mesures issues de la station d'Alger (Port) indiquent que les vents soufflent environ 32.12 % du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Nord Est, ne soufflent que pendant 6.5 % du temps.

### I.2.2.1 La période hivernale

Les vents dominants dans cette période sont de secteur Sud à Sud-Sud-Ouest avec une fréquence d'apparition de 8.5 % et un champ de vitesse moyenne de 4 à 9 m/s. Elle est caractérisée par l'apparition des vents de tempêtes avec des vitesses qui peuvent dépasser les 13 m/s.

### I.2.2.2 La période estivale

Les vents les plus abondants sont de secteur Nord à Nord-est avec une fréquence d'apparition de 19.5 % et un champ de vitesse moyenne de 2.5 à 9 m/s.



**Figure I-4.** Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses.

### I.3 Sites d'études

#### I.3.1 Caractéristiques géologiques et géomorphologiques

La connaissance des aspects géologiques et géomorphologiques d'une zone est incontournable, afin de trouver des réponses à des phénomènes d'altération et/ou d'évolution du site, et par conséquent, définir sa sensibilité et sa résistance face aux attaques et aux agressions marines.

##### I.3.1.1 Géologie régionale

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger, est constituée d'un socle métamorphique primaire au niveau de cap Matifou et au mont Est Bouzareah, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja. (MESSAOU, 1987, in BOUKHEDDICH).

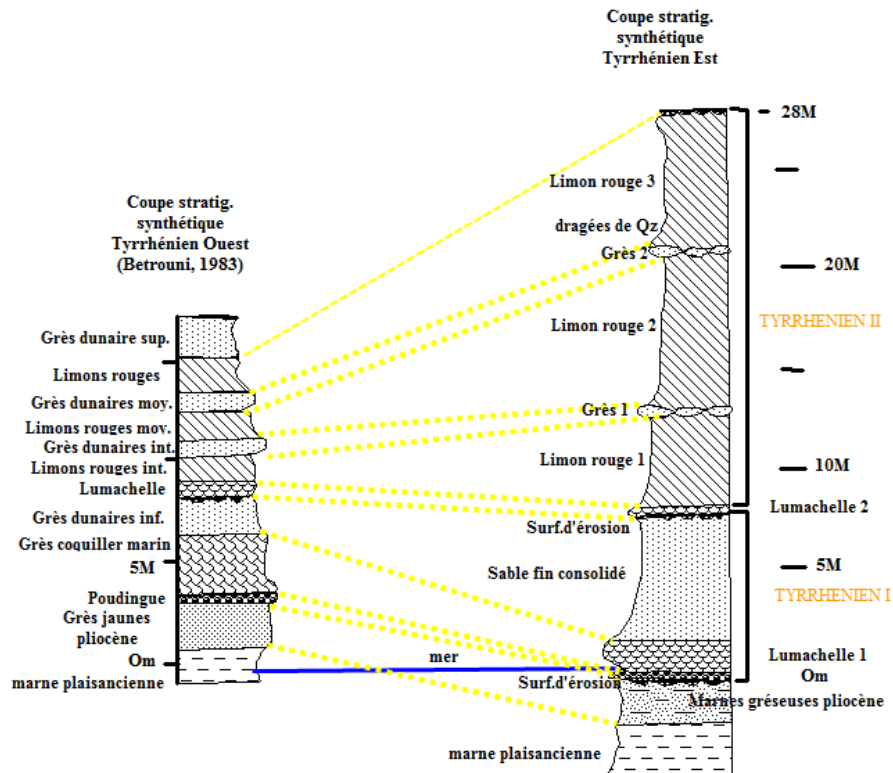


Figure I-5. Comparaison des couches géologique entre la région Est et la région Ouest (BETROUNI, 1983. BOUHAMADOUCHE, 2012)

a. Site A (Est Algérois)

Le Quaternaire est la principale formation géologique qui domine le littoral Est Algérois, cela révèle que la lithologie de cette zone est peu résistante, mis à part le massif ancien de cap Matifou qui est formé de terrains métamorphiques du socle Kabyle.

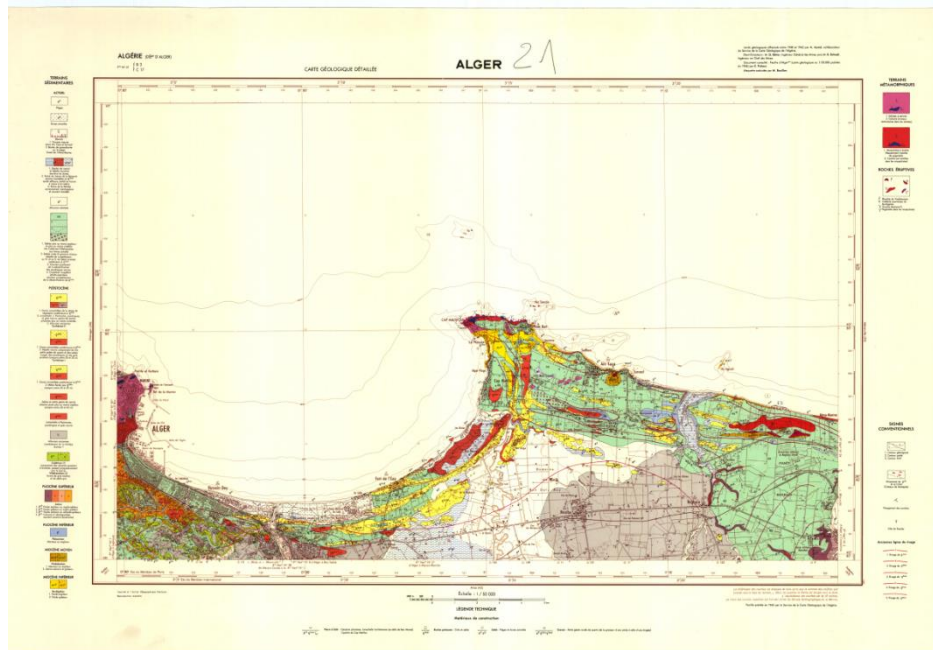


Figure I-6. Carte géologique de la zone d'étude (site A). (INCT 1964)

- **Les formations tertiaires**

Des formations du Burdigalien situées entre El Marsa et Ain Beida sont représentées par une épaisse série argilo-marneuse grise à grise bleue. A la cassure elles montrent des feuilles très minces dans un matériau friable. Des bancs de grés décimétriques à métriques s'intercalent dans les niveaux argileux marneux. Le granulo-classement décroissant de la base au sommet des couches est fréquent dans ces grés dont la couleur varie du gris au beige.

- **Les formations quaternaires**

Dans les formations quaternaires, on distingue les formations Calabriennes et villafranchiens à matériels dunaires et caillouteux des formations tyrrhéniennes réparties en terrasses marines à lithologie dominée par le quartz « pilulaire ».

Les affleurements sont concentrés essentiellement dans le bourrelet sahélien compris entre Bordj El Bahri et Boudouaou El Bahri. La puissance de ces terrasses marines est variable et peut atteindre 10m et plus, comme dans le cas d'AinTaya. Elles sont discordantes sur les formations les plus anciennes, les contacts sont soulignés par des ravinements fréquents.



**Figure I-7.** *Lithologie des falaises d'El Marsa jan2018 (site A).*

**b. Site B (Ouest Algérois)**

Le massif de Bouzareah ou le massif d'Alger, ce relief est constitué de roches cristallophylliennes, de mica et de schiste, les bords nord de ce massif sont caractérisés par des barrières de Terraces marines. Les substratums métamorphiques de la presqu'île de Sidi Fredj et d'El Marsa sont constitués de granites et de gneiss largement fissurés et diaclases. (NADIR, 2016).

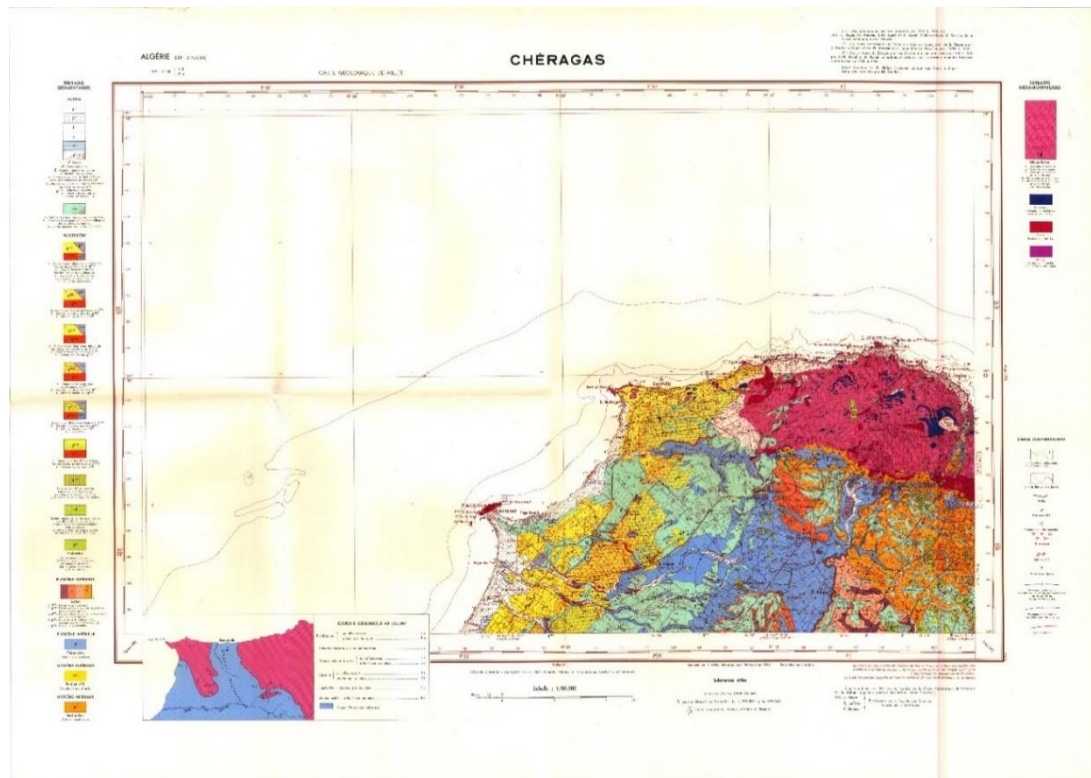


Figure I-8. Carte géologique de la côte Ouest Algéroise (source : INCT)

### I.3.1.2 Géomorphologie

Le littoral de la wilaya d'Alger montre une distribution qui peut se résumer en falaises avec ou sans plages adossées, baies rocheuses ou sableuses entre promontoires rocheux, plages, dunes et zones humides (**Projet AMIS**). Ces derniers sont le produit des interactions entre plusieurs processus (morphodynamique, géologique...).

#### a. Les plages

##### • Site A

Les plages à dominance sableuses sont presque inexistantes ; elles sont constituées d'alluvions actuelles, mélangées à des débris d'organismes marins et des sables rubéfiés provenant des reliefs environnants (les falaises et les oueds).

##### • Site B

La majorité des plages de la zone sont sableuses, qui ne diffèrent que dans la forme entre plages rectilignes, de poche ou de pied de falaise. Ce secteur est caractérisé par l'abondance des plages sableuses ouvertes le long de la baie d'El Djamilia jusqu'à l'oued Mazafran (tableau 1), et la présence des plages de poche et de pied de falaise au niveau du linéaire rocheux à l'est.

## b. Les falaises

### • Formation et évolution

Les caractéristiques des falaises (hauteur, profil, vitesse de recul) dépendent des conditions topographiques et structurales d'une part, des processus morphogéniques en jeu d'autre part.

### • Conditions topographiques et structurales

Une falaise apparaît lorsque la mer entaille, par enlèvement d'un prisme de matériaux rocheux, un versant continental créé, suivant les cas, par l'érosion subaérienne, par l'activité éruptive ou par des mouvements tectoniques.

La hauteur de la falaise dépend évidemment du volume du relief ainsi, attaqué. Plus il est important, plus la dénivellation est forte, mais, toutes choses étant égales par ailleurs, plus le recul est lent.

La nature des roches (résistance et disposition des roches) joue un rôle primordial dans la forme des falaises : les formations peuvent être meubles et donc fragiles (sables, limon argiles, marnes, craie) laissant des formes «adoucies» ou elles peuvent être dures (calcaires, grès, roches volcaniques, granitiques, métamorphiques) donc moins érodables, donnant généralement des formes plus proches de la verticale. Dans les formations meubles, on retrouve généralement des glissements (ou coulées boueuses) (voir figure 09), alors que dans les formations dures, les éboulements et chutes de blocs sont majoritaires, (voir figure 10). (Mallet, et al., 2012).



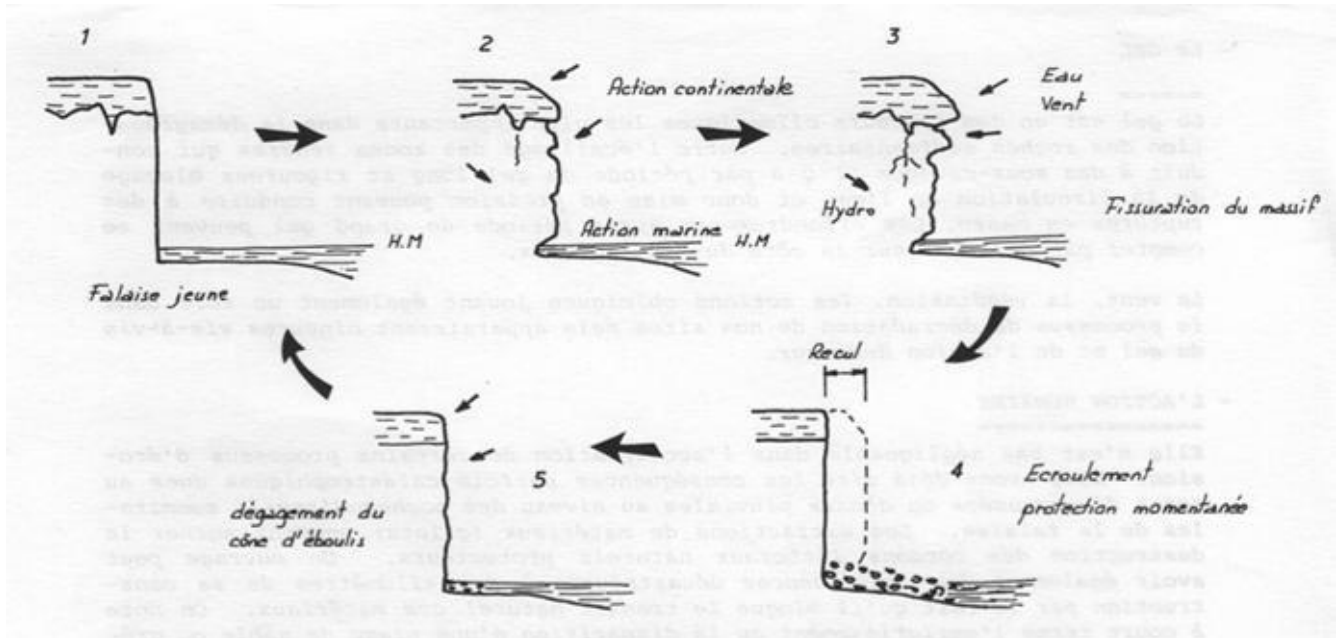
**Figure I-9.** Falaise d'El Marsa Jan 2018 (site A) A & Falaise d'El hammamat Avr 2018 (siteB) B

### • Les processus en jeu

Les processus marins jouent un triple rôle :

- Attaque basale qui contribue à faire effondrer la falaise par pans ;
- Enlèvement des débris à son pied, d'où maintien d'une forte pente propice à l'instabilité de l'escarpement ;
- Abaissement de la Plate-forme d'abrasion à mesure qu'elle s'élargit par recul de la falaise, ce qui permet à la mer de continuer à agir au pied de l'escarpement.

L'action mécanique des vagues est importante. Les lames qui déferlent contre les parois exercent des pressions considérables. La multiplication des chocs ébranle les roches et finit par les fissurer. Les cassures sont agrandies et élargies par l'air qui s'y comprime. Au moment du retrait de l'eau, un phénomène inverse d'aspiration se produit. Des blocs peuvent alors être déplacés. La fracturation favorise ce délogement.



**Figure I-10.** Schéma représentative du cycle d'évolution des falaises. (Maquaire, 2011)

Lorsque les vagues ont à leur disposition du matériel, leur puissance d'attaque est fortement accrue. Le bombardement à l'aide de galets du pied d'une falaise permet le creusement d'une encoche qui peut se transformer, si les conditions structurales l'autorisent (banc tendre, zone de broyage), en une grotte. Il se crée ainsi un surplomb qui met la falaise en porte-à-faux, Celle-ci, ébranlée par l'impact des vagues, se fissure et bientôt s'écroule, en pans plus ou moins grands, La falaise de sables argileux faiblement cimentés recule rapidement, à une Vitesse moyenne de l'ordre de 2 In par an, par éboulements successifs. (Pascoff, 2014)

- **Site A**

Le long du littoral Est algérois, les traits géologiques et géomorphologiques laissent apparaître deux types de falaises qui se succèdent :

- Les falaises entaillées en formation tendre.
- Les falaises édifiées en roches.

**Les falaises entaillées en formation tendre :** les falaises de la côte Est algéroise, entre Jean Bart et Réghaia plage, se caractérisent par des hauteurs atteignant en moyenne 10 à 35 m, entaillées dans des roches tendres qui s'altèrent aisément par l'interaction des roche tendres par l'interaction des processus marins et continentaux.

**Les falaises entaillées dans des roches dures :** elles se situent au niveau du Cap Matifou tout au long de la côte d'El Marsa, elles s'interrompent vers le port de Jean Bart ; ce sont des falaises

atteignant en moyenne 20 à 40m. Elles sont en contact direct avec les agitations marines, par endroits, elles laissent devant elles de petites criques sableuses. (BOUAKLINE, 2009).

Tableau I-1. Sites des falaises localisées dans le site

Nom de la commune	Extension de la falaise
Falaise d'El Marsa	Tout le littoral de la commune
Falaise d'AinTaya	Tout le littoral de la commune
Falaise de Heuraoua	Ouest de l'oued Reghaia
Falaise de Reghaia	Reghaia

• Site B

Tableau I-2. Sites des falaises localisées dans le site B.

Nom de la commune	Extension de la falaise
Falaise de Staoueli	Pointe de Sidi Fredj
Falaise d'Ain Benain	Est du port d'El Djamila
Falaise de Hammamet	Tout le littoral de la commune
Falaise de Rais Hamidou	Tout le littoral de la commune
Falaise de Bologhine	Tout le littoral de la commune
Falaise de Bab el Oued	El Kattani et Kaa Essour

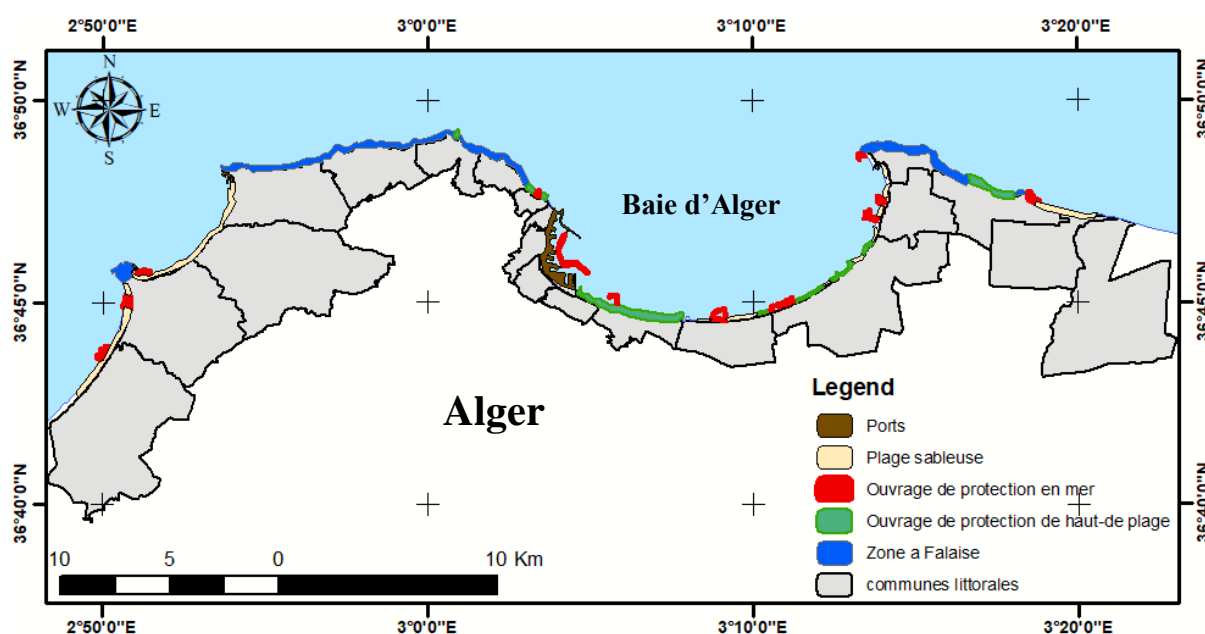


Figure I-11. Carte de distribution des formations géomorphologiques dans la zone algéroise.

En récapitulant, la récolte des données géologiques, géomorphologiques et l'étude climatologique nous ont permis de faire un constat global en matière de fragilité et de vulnérabilité. Ces dernières révèlent principalement que les falaises du site A, vu leurs composition géologique et configuration géomorphologique, peu résistantes et exposées à l'effet des différents facteurs météorologiques et océanographiques.

Contrairement aux falaises du site B, qui sont plus résistantes et consistantes mais cela n'indique pas qu'elles ne sont pas vulnérables vis-à-vis d'autres facteurs, par exemple la pression urbaine et rejets domestiques intenses présentes au sommet des falaises du site.



**Figure I-12.** *Illustration de l'effet des habitations et des rejets sur les falaises (Rais Hamidou, mai 2018).*

### **I.3.2 Caractéristiques hydrographiques**

#### **I.3.2.1 Site A**

La zone reçoit les eaux de ruissèlement provenant de l'atlas blidéen auxquelles s'ajoutent les eaux de pluie. La plaine présente deux sous-bassins versants :

- Le sous-bassin versant de l'oued Réghaia
- Le sous-bassin versant de l'oued d'El Hamiz

Le réseau hydrographique n'a pas d'effets directs sur notre zone d'étude, le premier oued est celui d'El Hamiz avec un bassin versant de 160 km<sup>2</sup>, son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 2006).

En revanche le cours d'eau le plus important dans notre zone est oued Réghaia, il parcourt la partie orientale de la plaine de la Mitidja, traverse la ride sahélienne au nord, au contact de laquelle se forme le marais de Réghaia, ce dernier s'heurte en aval à un cordon dunaire qui modifie son trajet vers l'Est pour enfin se jeter à la mer. (BENGOUFFA, 2016).

### I.3.2.2 Site B

Le Réseau hydrographique de la côte ouest algéroise est constitué essentiellement de deux cours d'eaux importants, ces derniers affectent bien le morpho-dynamisme côtier, l'oued Mazafran représente la limite ouest de la côte et oued Beni Messous.

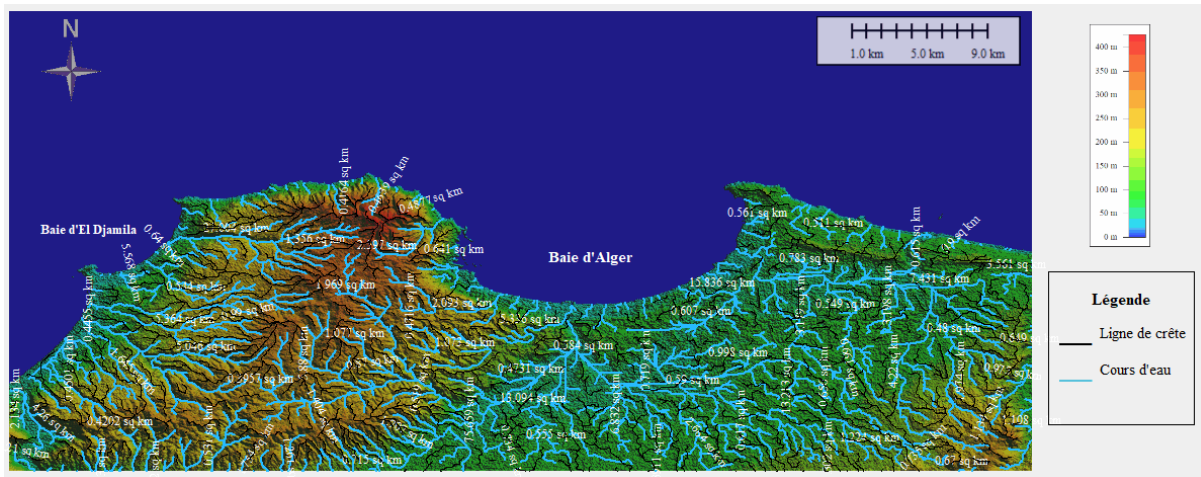


Figure I-13. Réseau hydrographique de la zone Algéroise.

### I.3.3 Caractéristiques Océanographiques

#### I.3.3.1 La houle

La houle est un paramètre hydrodynamique qui dépend directement du vent, et cela tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Elle joue un rôle important sur la dynamique sédimentaire et sur son impact sur la côte.

Les données de houle ci-après sont reprises du volume « Coastal charactérisation of the Wilaya d'Alger – Volume IV (AMIS – Vol/IV-2008) » réalisé par le groupe AMIS.

Les données de houle du large ont été extraites de l'atlas « wind and waves Atlas of the Méditerranéen Sea » d'avril 2004. Ces données sont issues d'une analyse statistique réalisée sur 10 ans de série de vents et de houles.

Un point de données existe au large d'Alger dans les fonds de -2500m aux coordonnées 37°N et 3°E (cf. figure ci-après. Le point correspondant à Alger apparait grossi sur la figure).

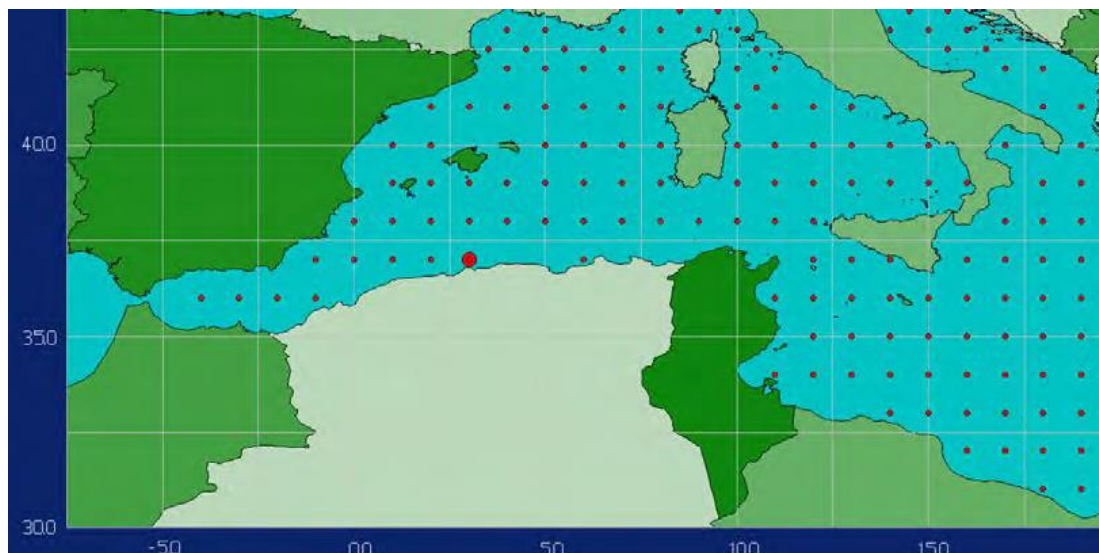


Figure I-14. : Localisation des points de données en méditerranée centrale et occidentale issues du MedAtlas.

A partir des données, des tableaux de fréquence de la hauteur de la houle significative par rapport à la direction de la houle, des roses des houles annuelles et saisonnières ont été dressées (figures ci-après).

a. Houles annuelles :

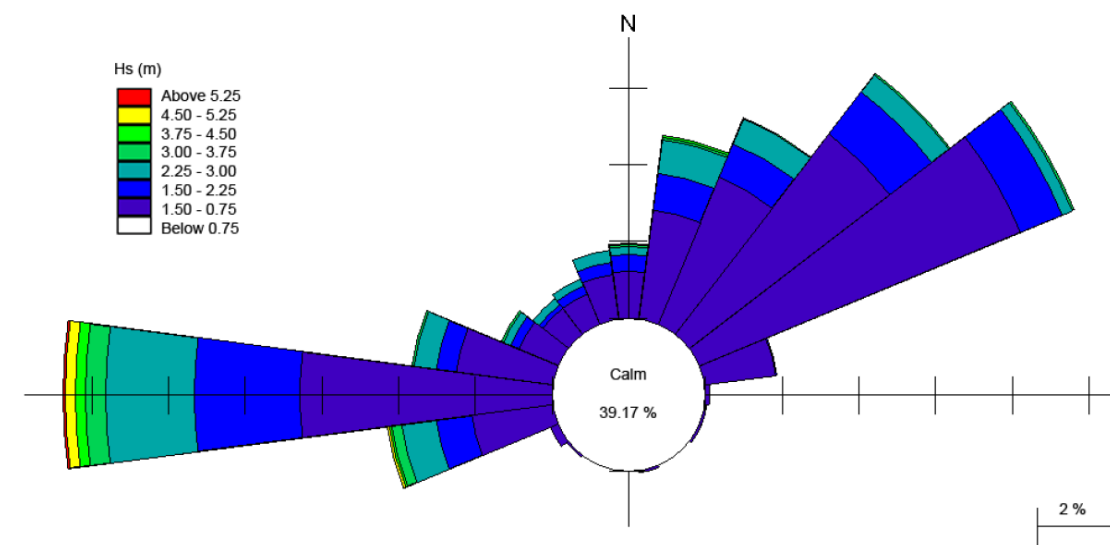


Figure I-15. Rose des houles annuelles au large d'Alger. (AMIS, 2008).

La rose des houles annuelles montre au large d'Alger deux secteurs principaux de houle :

- Le secteur ouest (255°-285°) qui représente 27.41% des observations,
- Le secteur nord-est (45°-60°) qui représente 34.42% des observations.

Les houles significatives les plus fortes (5.00 -6.00m) proviennent de l'ouest (270°) et représentent 0.1% des observations alors que les houles de 4.00 – 5.00 m représentent 0.4% des observations du secteur ouest (255°-285°).

Les houles significatives les plus élevées du secteur nord-est ( $45^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ) représentent 0.2% des observations et se situent entre 3.00 et 3.50m.

L'analyse des houles du large menée dans le cadre de cette étude a conduit aux données reportées dans le tableau ci-après :

**Tableau I-3.** caractéristiques des amplitudes  $H_s$  des houles du large en fonction de la période de retour.

Période de retour	Houle significative $H_s$ en mètre
2 ans	5.80
5 ans	6.90
10 ans	7.60
20 ans	8.25
50 ans	9.00

#### **b. Houles saisonnières**

Les roses saisonnières montrent que :

- Durant l'hiver et l'automne, le maximum de fréquence provient des houles du secteur ouest avec respectivement des fréquences de 18,86% et 17.58% et une houle significative maximale comprise entre 6.50 et 7.00m en hiver et, 5.00 et 6.00m en automne,

- Durant le printemps et l'été ce sont les houles du secteur nord est qui sont les plus fréquentes, elles représentent respectivement 36,16% et 58.18 % des observations. Les houles significatives maximales sont comprises au printemps entre 3.00 et 3,50 m alors qu'en été elles se situent entre 2,50 et 3.00m. La houle significative la plus forte provient au printemps du secteur ouest (entre 5.00 et 6.00m). En été des houles du secteur ouest comprises entre 3.00 -3,50m peuvent également s'observer au large.

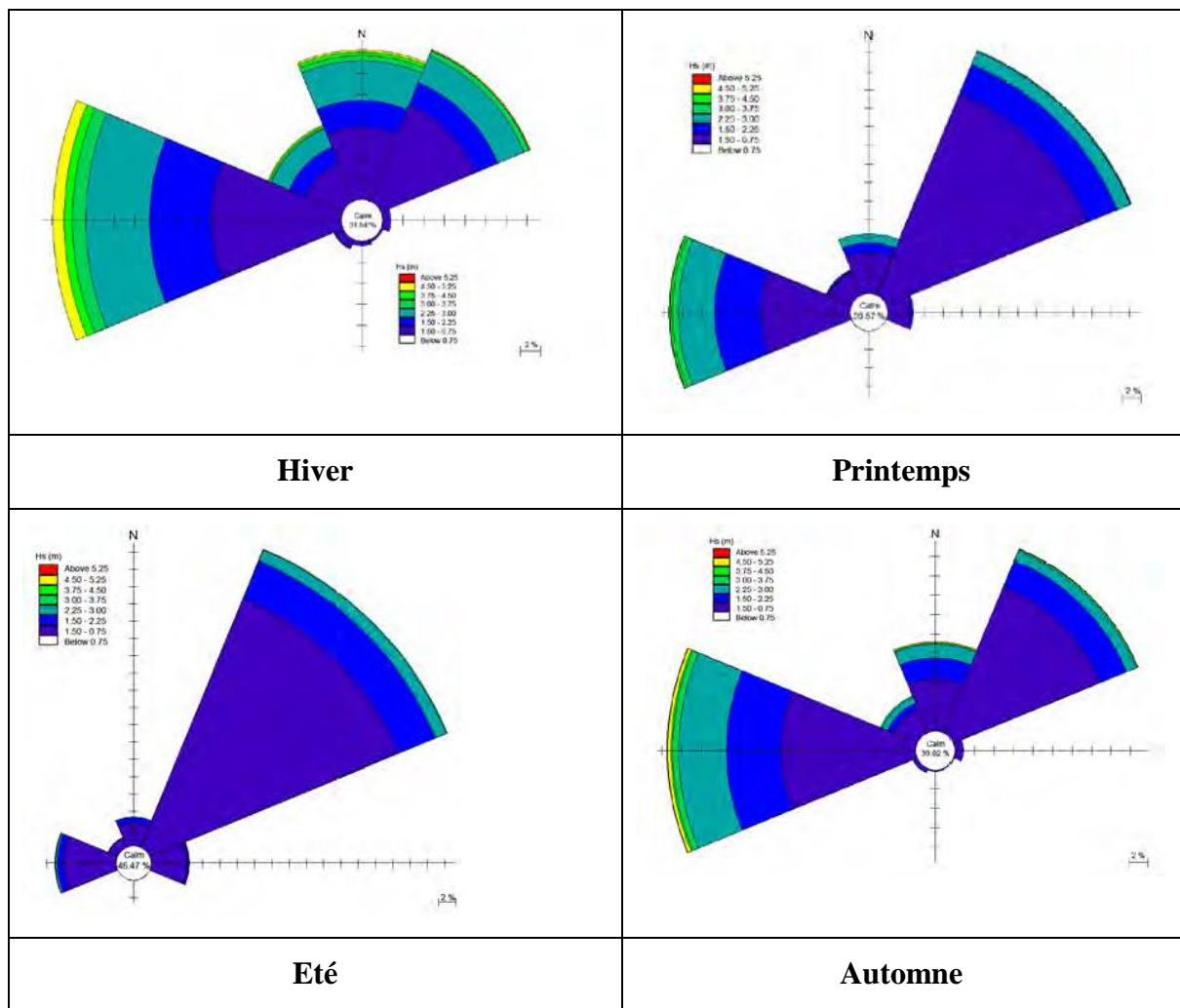


Figure I-16. Roses des houles saisonnières au large d'Alger.

- Propagation et transformation de la houle du large à la côte

Lors de la propagation de la houle du large à la côte ses caractéristiques (amplitude, direction) changent du fait de la variation de la profondeur.

Le groupe AMIS a étudié au moyen du modèle Mike 21-NSW les modifications à atteindre compte tenu de la morphologie des fonds entre le large et la côte.

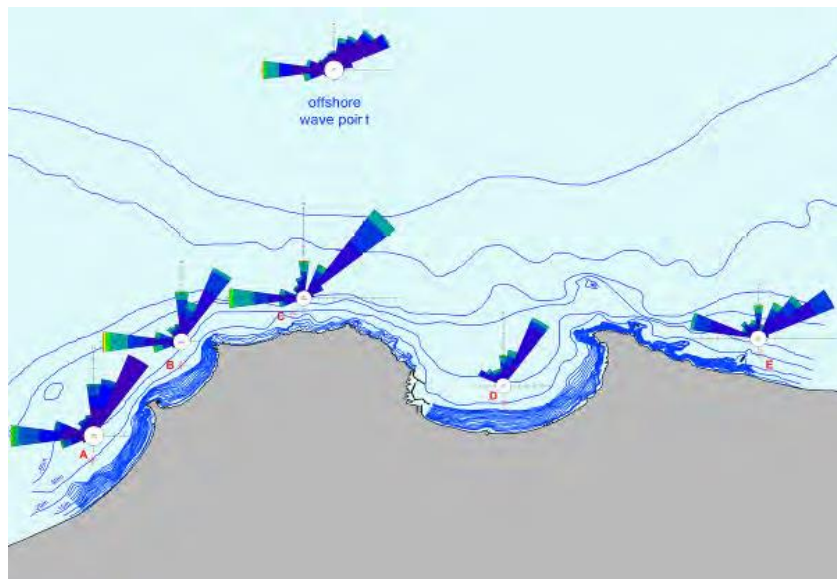
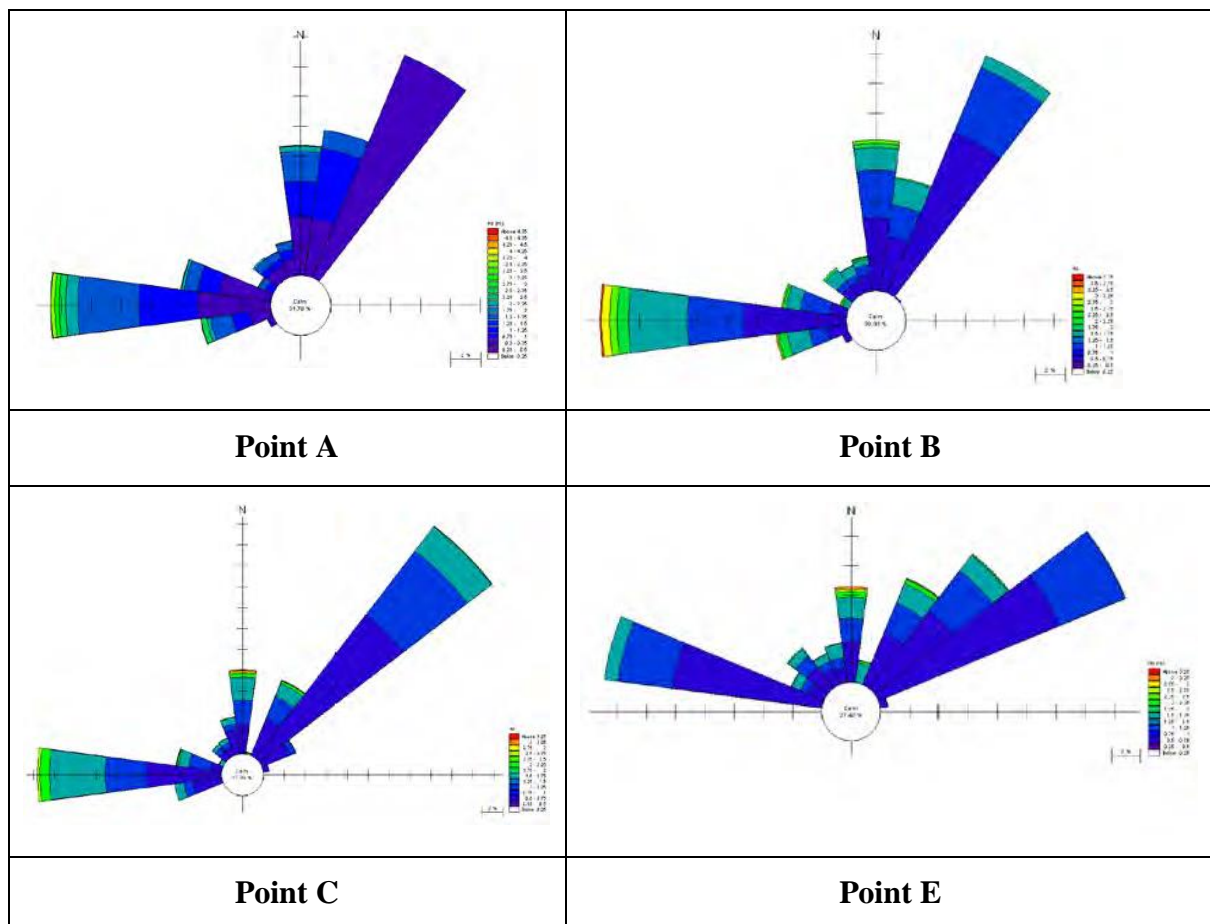


Figure I-17. Carte de propagation et de transformation de la houle du large a la côte.

Pour mettre en évidence l'évolution des houles entre le large et la côte, cinq points, dans les fonds de -30m, ont été choisis pour l'extraction des résultats.

Les figures ci-après illustrent les résultats obtenus en termes de direction et d'amplitude des houles.



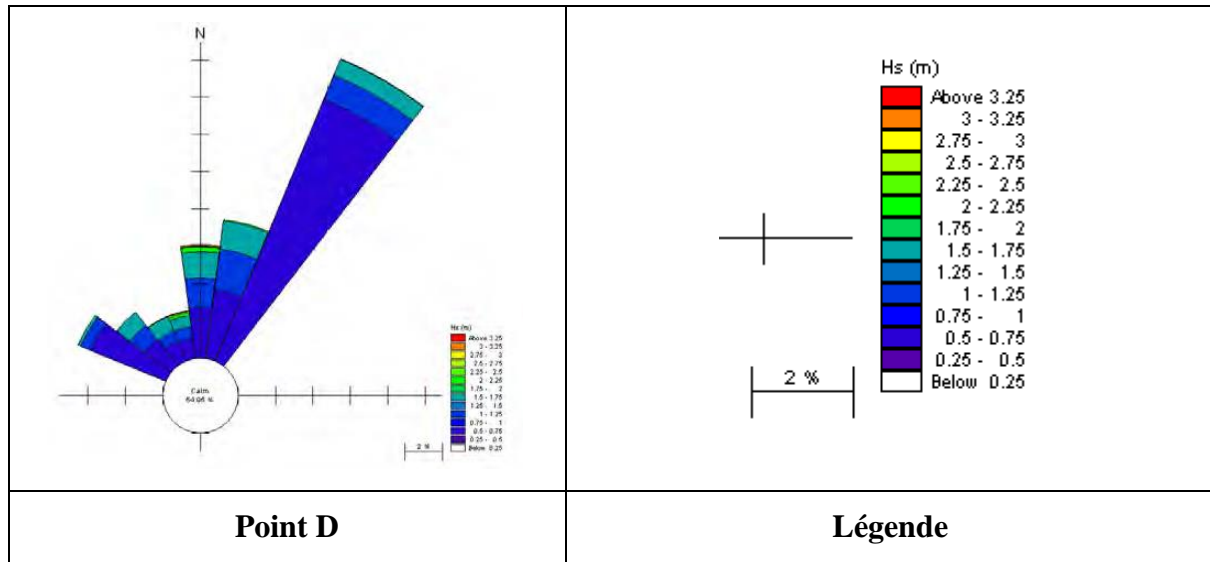


Figure I-18. Roses des houles aux différents points.

Il apparait en général, en direction, deux secteurs principaux de houle :

- Le long de la côte ouest, les deux composantes proviennent de l'ouest et du nord-est,
- Le long de la côte est, les houles venant de l'ouest tourne vers l'est à cause de l'orientation de la côte et de la bathymétrie. A l'approche de la côte cette rotation se poursuit, les houles prenant alors une direction plus perpendiculaire à la bathymétrie. Mais on retrouve les deux secteurs principaux de direction,
- Dans la baie d'Alger, les secteurs de direction sont plus étroits. La composante ouest est presque absente, la composante principale provenant du nord-est.

Avec l'étude et l'analyse de la rose des houles et la comparaison avec les données du vent on peut déduire que la répartition des vagues et de la houle est globalement concordante avec le régime des vents, cela confirme que ce dernier est le générateur principal de ces houles.

Les secteurs les plus dominants sont l'Ouest et le Nord-Est.

### I.3.3.2 Les courants (LEM, 2009)

Les courants océaniques sont des déplacements d'eau dans le sens horizontal et vertical. Ces déplacements sont beaucoup plus lents et réguliers que ceux des courants aériens. Ils sont néanmoins régis par les mêmes phénomènes. Ils résultent de :

- L'inégalité de répartition de l'énergie solaire entre l'équateur et les pôles ;
- La rotation de la Terre (la force de Coriolis dévie les courants marins vers la droite dans l'hémisphère Nord).

Ils sont à l'origine de l'état dynamique sédimentaire, (érosion, transport et accumulation). Par ailleurs un manque de données courantologies s'impose, ce qui complique l'étude de ces derniers.

Il existe différents types de courant, en fonction de leur source de génération :

**c. Les courants liés aux vents**

L'intensité des courants ainsi que la fréquence et les directions des houles et des vents évaluent dans un même sens ; ces courants sont les facteurs essentiels qui entrent dans la dispersion et la remise en suspension des sédiments qui seront disposés au transport.

**d. Les courants liés à la marée**

Les marées atmosphériques étant faible en Méditerranée ne peuvent pas créer des courants de marée capable de jouer un rôle sur la distribution sédimentaire.

**e. Les courants liés à la houle**

Contrairement aux courants généraux et les courants liés à la marée qui n'ont aucune influence sur la distribution sédimentaire infralittorale, les courants induits par la houle sont seuls à agir sur le transit sédimentaire. Ce sont des courants qui prennent généralement naissance à partir d'une houle oblique. On citera également deux types de courants liés à la houle :

- **Les courants de retour (courant perpendiculaire à la côte)**

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du déferlement de la houle contre la ligne du rivage. Les eaux superficielles poussées vers la côte s'écoulent par le fond en créant le courant de retour ; ce dernier peut atteindre des vitesses suffisantes pour éroder le fond et transporter vers le large les particules mise en suspension par déferlement.

- **Les courants de dérive littorale (courant parallèle à la côte)**

Les courants parallèles à la côte créent de dérives littorales qui provoquent le transit le long du rivage. Ces courants n'apparaissent que lorsque la houle atteint la côte avec une certaine obliquité par rapport au rivage.

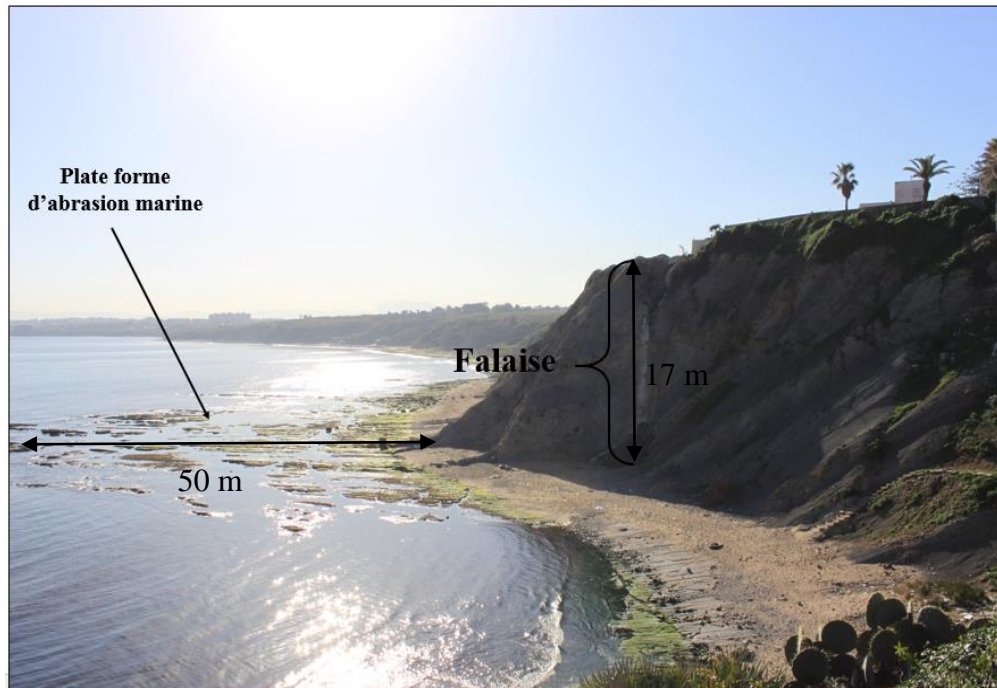
La vitesse de ce type de courant dépend des paramètres de la houle, de l'obliquité de celle-ci et de la pente de la plage, elle peut atteindre plusieurs nœuds.

**I.3.3.3 Erosion mécanique**

Les vagues agissent par leur propre choc, mais aussi par la mitraille de graviers, sables ou silex provenant des démolitions antérieures et repris sur la plage. Ce mitraillage est le responsable du polissage des roches, caractéristiques de l'érosion marine.

Ce faisant elles creusent une encoche de sapement (destruction de la falaise par la base) qui court dans le bas de la falaise. Cette action de choc est d'autant plus forte que l'obstacle est raide et doté d'une telle encoche. Celle-ci favorise les coups de piston.

Il s'agit d'un effet pneumatique qui joue chaque fois que la vague comprime l'air et l'eau dans ces poches rocheuses. Les coups de piston exercent des pressions considérables Jusqu'à  $30 \text{ t/m}^2$  qui se transmettent à l'intérieure de la roche provoquant des dégâts. Puis avec le retrait de la vague il se produit une véritable succion qui peut arracher des particules à la roche. Les faiblesses de la roche peuvent être les fractures, les zones de broyage, les plans de stratification, et les différences de résistances. (BOURTI,HENDA 2014).



**Figure I-19.** Présentation de la falaise d'El Marsa (janvier 2018).

## Conclusion

Nous retiendrons de ce chapitre, réservé aux généralités et à la présentation de quelques caractères particuliers du littoral algérois, des zones à falaises plus précisément.

Le diagnostic morphologique des falaises de la zone algéroise, a montré que celle-ci sont présentes dans deux zones différentes. A l'Est entre Reghaïa et Cap Matifou, et entre Bab El Oued et Ain Benian à l'Ouest.

Le climat de la région est soumis à l'influence du climat méditerranéen de type subhumide, caractérisé par deux saisons bien distinctes : une humide et froide en hiver et une autre sèche et chaude en été.

Sur le plan géologique, les falaises de l'Est (site A), sont peu résistantes vu leurs composition géologique, contrairement aux falaises du site B, qui sont plus résistantes et consistante.

Le réseau hydrographique se caractérise par la présence de deux oueds importants à l'Est qui sont oued Reghaïa et oued El Hamiz, et de deux autres à l'Ouest : oued Beni Messous et oued Mazafran.

Dans le cadre océanographique, Il apparait en général, en direction, deux secteurs principaux de houle sont l'Ouest et le Nord-Est. Et avec la comparaison de ces données avec celles du vent il est apparu que la répartition des vagues et de la houle est globalement concordante avec le régime des vents, cela confirme que ce dernier est le générateur principal de ces houles.

**CHAPITRE II**  
**DYNAMIQUE COTIERE**

## II. Dynamique côtière

### II.1 Erosion à l'échelle annuelle : apport et méthodes des levés DGPS à la compréhension de l'érosion des falaises du site A

#### II.1.1 Introduction, stratégie et problématique

De manière générale, on définit le trait de côte sur les falaises comme étant la séparation entre la falaise et l'estran, ce qui correspond selon la configuration géomorphologique à l'un et/ou l'autre des indicateurs suivants

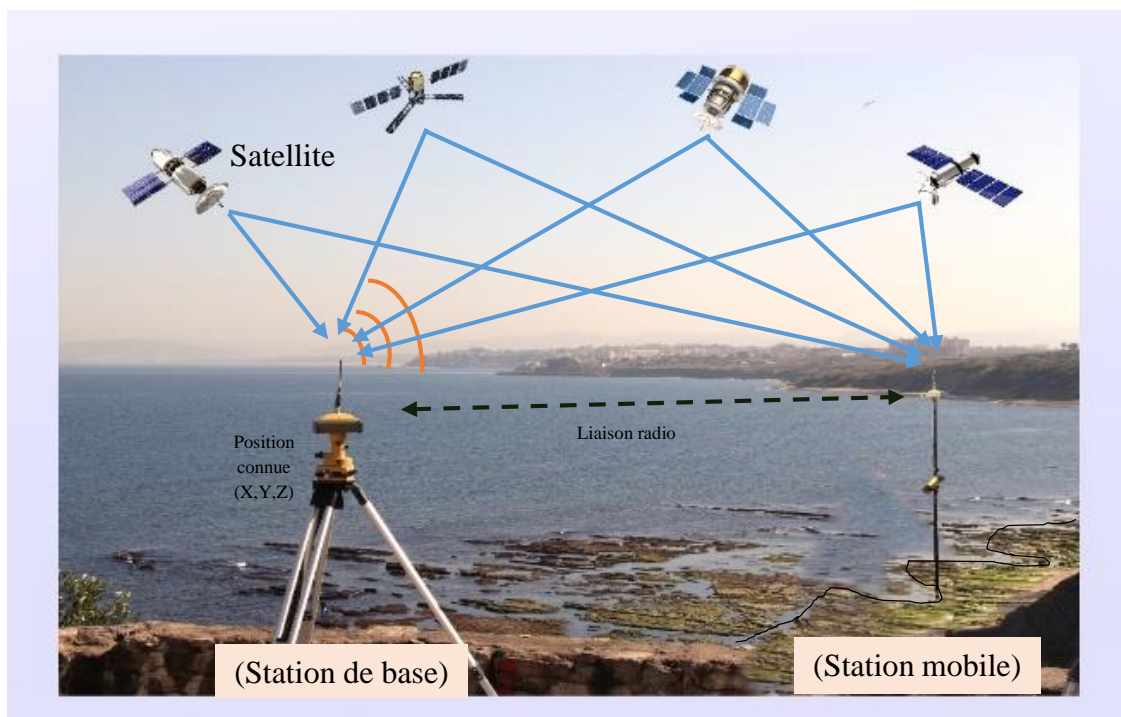
- le sommet de falaise rocheuse ;
- le pied de falaise rocheuse ;
- la rupture de pente ;
- l'encoche basale ;
- la limite inférieure de végétation terrestre. (Aubié & Al, 2011).

#### II.1.2 Méthodes de détection des limites inférieures et supérieures des falaises

Les méthodes de détection du trait de côte sont multiples et selon notre cas et notre but d'étude, la méthode du DGPS est la plus adéquate, vu sa précision élevée (centimétrique) et la rapidité d'acquisition des données.

##### II.1.2.1 Principe du DGPS

Le principe du GPS Différentiel (DGPS, Différentiel GPS) consiste à utiliser deux récepteurs, un fixe et un mobile. Le récepteur fixe sert de référence au mobile. Il est basé sur le fait que ces deux récepteurs GPS, situés à proximité l'un de l'autre, observent un satellite avec les mêmes erreurs.



On considère en effet que la distance entre les deux récepteurs est négligeable par rapport à la distance qui les sépare des satellites. On peut donc dire que les signaux qui arrivent sur les deux appareils ont traversé les mêmes couches d'atmosphère. Le récepteur fixe est localisé sur un site, dont les coordonnées sont connues avec une grande précision.

Il calcule les distances qui le séparent des satellites en vue. Il soustrait à chaque distance calculée, la pseudo-distance correspondante mesurée pour obtenir une information de correction. (Kara, 2009).

Le système complet se compose d'une base (possibilité d'un répéteur radio), d'un mobile (Comprenant le «Controller» ou «Carnet de terrain ») et d'un système radio reliant ces deux récepteurs. Chaque levé génère un fichier de données dans la mémoire du DGPS et/ou du carnet de terrain. Ces fichiers sont sauvegardés sur un ordinateur portable après mesures.

### II.1.2.2 Performance du DGPS

Il existe deux types de levé pour mesurer des coordonnées de points à partir d'un DGPS.

-Levé RTK (Real Time Kinematic), la mesure (dite cinématique) se fait selon une précision centimétrique en temps réel (instantanée) :

-Levé PPK (Post Processing Kinematic), la mesure (cinématique) est faite en temps différé, c'est-à-dire, qu'elle nécessite un post-traitement pour atteindre une précision centimétrique. Aussi, pour ce type de levé, il est nécessaire d'utiliser les stations du Réseau Géodésique Permanent (RGP).

**Tableau II-1.** Erreurs estimées du DGPS

Source d'erreur	Erreur estimée
Système GPS	+/- 3 cm
Inclinaison de la station mobile	+/- 2 cm
Tracé du trait de côte	+/- 25 cm
Erreur Totale	+/- 30 cm

En Algérie ce réseau est instauré par l'Agence de Protection et de Promotion de Littoral (APPL), pour la surveillance du trait de côte Algérois, il comprend 15 points géodésiques au niveau desquels les stations de base peuvent être installées (figure II.2).

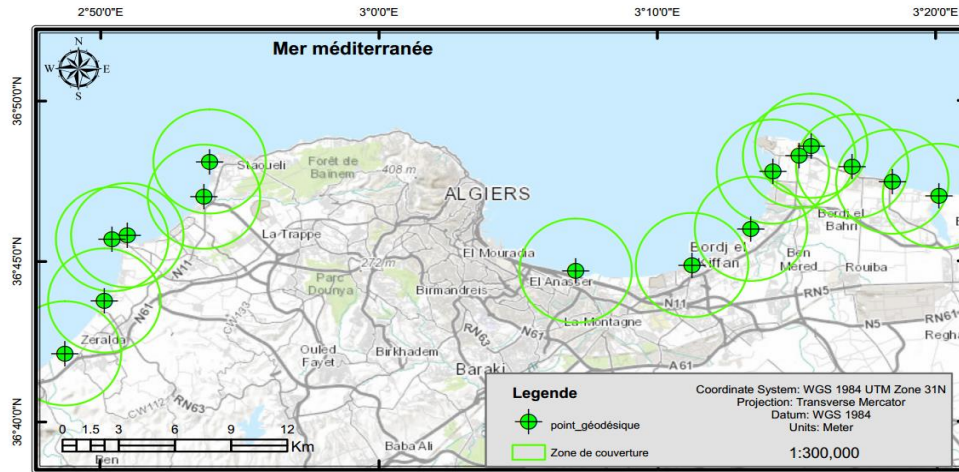


Figure II-2. Carte de répartition des points géodésiques de la côte algéroise élaborés par l'APPL

Ces points servent de référence invariants lors d'un levé topographique. A ce titre, ils sont fortement préconisés quelque soit le mode de levé choisi (MELLETT, et al., 2012).

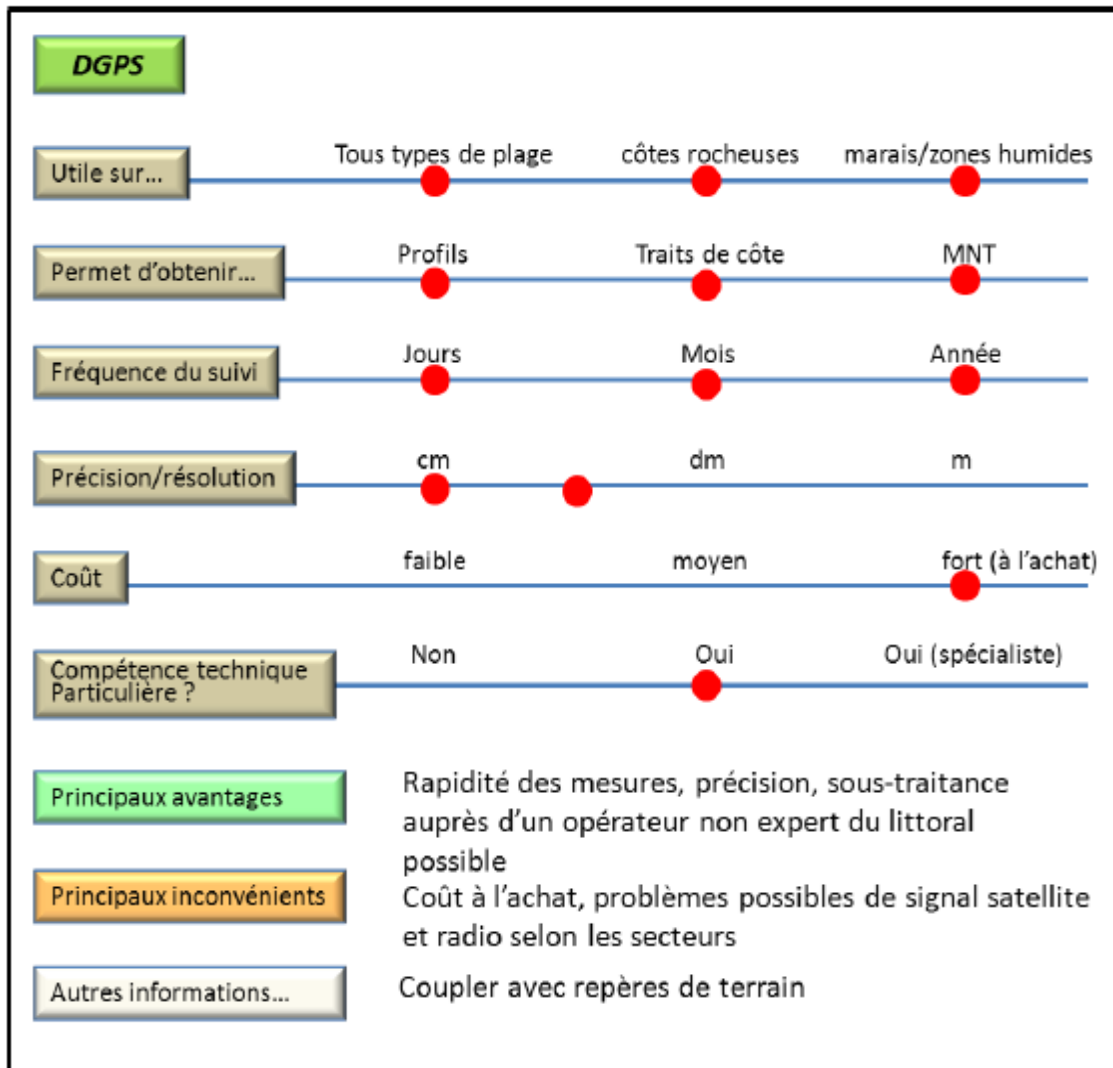


Figure II-3. Fiche synthétique concernant le DGPS

### II.1.3 Application de la méthode sur le site A

Pour mener à bien cette partie de l'étude, des investigations sur terrain en collaboration avec l'Agence pour la Promotion et la Protection du Littoral (APPL) de la wilaya d'Alger ont été tenues et fixées selon la météo marine de la région (s'assurer que la mer est calme pour acquérir des points de la réelle position du trait de côte), et pour cela on a suivi un plan de mission :

#### II.1.3.1 Plan de mission

##### a. Première phase (préparation du matériel)

- S'assurer tout d'abord de la charge des batteries ;
- Repérer ensuite le point géodésique le plus proche de la partie d'étude concernée (*Figure II-4*) ;
- Installer le trépied sur le point géodésique et puis fixer l'embase universelle au trépied et sur laquelle placer son adaptateur ;
- Placer l'adaptateur de l'embase sur l'embase universel ;
- Nivelier soigneusement le trépied à l'aide du niveau à bulle à travers les vis calantes ;
- Fixer l'entretoise horizontale et placer le récepteur HyperPro, puis l'antenne radio.

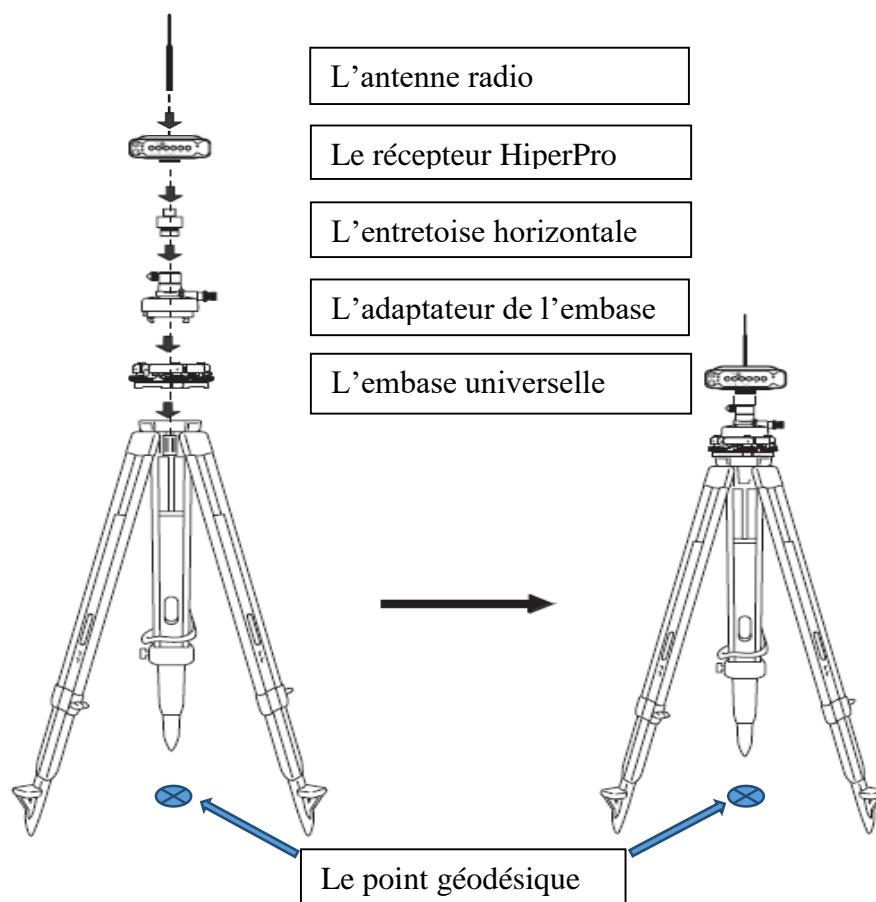


Figure II-5. Schéma explicatif des étapes de la mise en place de la station de base.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE ولاية الجزائر و ح ت س	
<b>Wilaya d'Alger</b> <b>APPL</b>	
<b>POINTS DE REPERES TOPOGRAPHIQUES CRES ET MESURES LE LONG DU LITTORAL DE LA WILAYA D'ALGER</b>	
<b>Nom du point :</b> El Marsa <b>Créé par :</b> APPL	<b>Acronyme :</b> B10 <b>Année :</b> 2016
<b>Localisation :</b> Au tournant de l'accès menant au petit port de pêche. <b>Commune :</b> El Marsa	
<b>Cordonnées :</b> UTM- WGS-84 <b>Nord (Y) :</b> 4073828,3 <b>Est (X) :</b> 523073,033 <b>Précision :</b> ±1.521 cm	
<b>Description :</b> Clou enfoncé sur la chaussée (Au tournant de l'accès menant au petit port de pêche). <b>Type de repère :</b> Clou Topographique	
	
<b>Altitude :</b> Date de mesure : 18. 05. 2016 Elévation (au dessus du niveau de la mer) : 18,3716 m Précision : ± 3.018 cm	

Figure II-6. Fiche technique du point géodésique d'El Marsa (APPL, 2016)

**b. Deuxième phase (création du projet)**

La création du projet se résume dans les étapes suivantes :

- Allumer le récepteur HyperPro de la station de base ainsi que le micro-ordinateur ;
- Ouvrir un nouveau projet ;
- Nommer le projet selon la norme de l'équipe de terrain ;
- Connecter le Bluetooth entre la station de base et le micro-ordinateur ;
- Configurer le GPS :
  - Entrer les coordonnées du point géodésique ;
  - Entrer la hauteur inclinée (mesurer entre le clou topographique et le récepteur de la station de base) ;
  - Démarrer base ;
- Allumer le récepteur HyperPro de la station mobile ;
- Connecter le Bluetooth entre la station mobile et le micro-ordinateur ;
- Aller à l'icône lever pour choisir la méthode d'acquisition de données.

**c. Troisième phase (acquisition des données)**

En RTK, il existe deux méthodes d'acquisition de points :

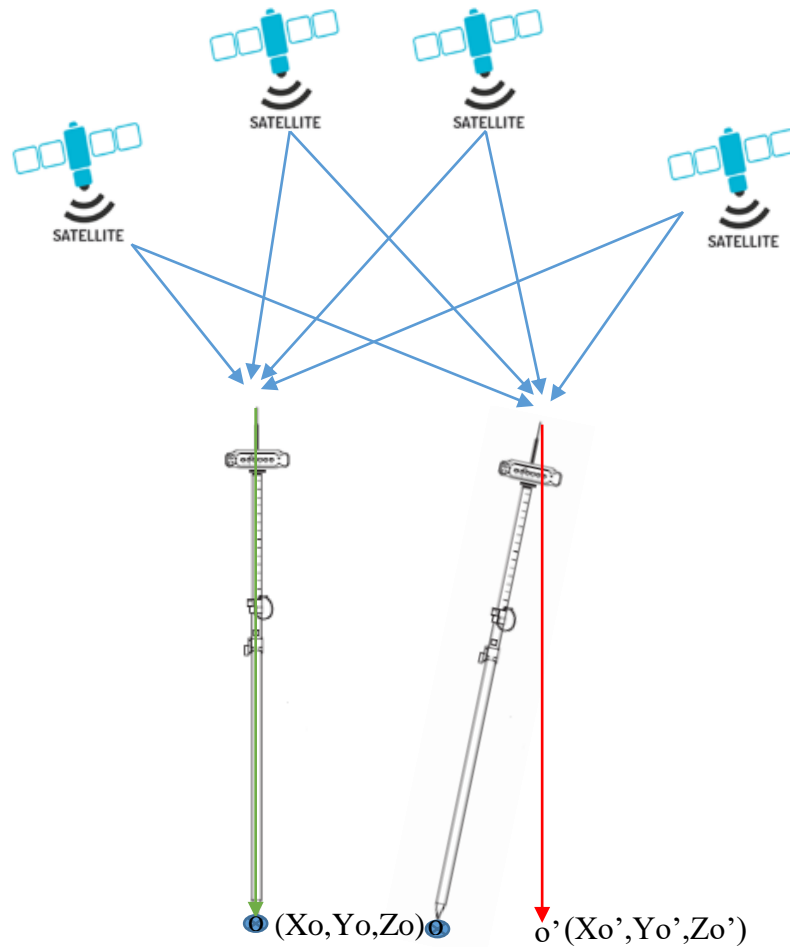
- **Auto topo** : c'est une acquisition régulière en fonction du temps ou en fonction de la distance, cette méthode est beaucoup plus utilisée pour les levés des traits de côtes, des limites inférieures ou supérieures des falaises.
- **Point détail** : cette méthode est utilisée lors de l'acquisition des points dans les zones accidentées ou des points remarquables.

Après avoir choisi la méthode adéquate au cas d'études (dans notre cas c'est auto topo),

- Démarrer la prise des points ;
- Parcourir tout le long du trait de côte et des limites inférieures et supérieures de la falaise en gardant la position de la station mobile à la **verticale** (figure II.6).
- Stopper la prise de points ;
- Enregistrer le projet ;
- Exporter le fichier des points.



**Figure II-7.** Acquisition des données lors des investigations de terrain (2018).



**Figure II-8.** Schéma explicatif du principe des levés de la station mobile.

## II.1.4 Traitement des données et visualisation des résultats

### II.1.4.1 Traitement des données

Après avoir terminé les sorties sur terrain, et afin de traiter les levés obtenus du trait de côte, l'évaluation de sa cinématique a été faite par l'application de l'extension DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sur l'environnement ArcGIS 10.2. Cet outil permet de réaliser un calcul statistique des taux d'évolution à partir de différents traits de côte. (THIELER, et al., 2009).(MELLETT, et al., 2012).

#### a. DSAS (Digital Shoreline Analysis System)

Le système d'analyse de la ligne de bord numérique (DSAS) 4.3 est une extension de logiciel pour ESRI Arc GIS v.10.2, qui permet à un utilisateur de calculer les statistiques du taux de changement du trait de côte à partir de plusieurs positions historiques de rivage. Une interface conviviale de boutons et de menus simples, guide l'utilisateur à travers les étapes principales de l'analyse des changements de rivage.

**b. Les composants de l'extension et du guide de l'utilisateur**

- Des instructions sur la manière appropriée de définir une ligne de référence pour les mesures ;
- La génération automatisée et manuelle des transects et des métadonnées de mesure en fonction des paramètres spécifiés par l'utilisateur ;
- La sortie du calcul des taux de changement de littoral et d'autres informations statistiques.

**c. Les méthodes de calculs du taux de changement**

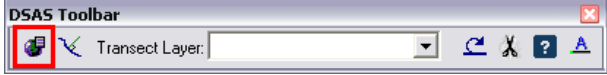
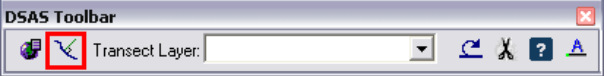
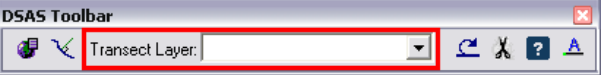
- Taux d'extrémité ;
- Régression linéaire simple ;
- Régression linéaire pondérée ;
- Moins médiane des carrés ;
- L'erreur standard, le coefficient de corrélation et l'intervalle de confiance.

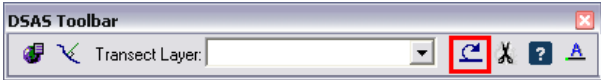
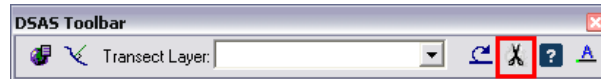
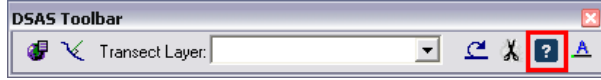

Les résultats de tous les calculs de débit sont affichés dans une table qui peut être liée au fichier transect par un champ d'attribut commun.

**d. Barre d'outils DSAS**

Cette section fournit une référence rapide et une explication pour chaque bouton de l'interface de la barre d'outils DSAS.

**Tableau II-2. Représentation de la barre d'outils DSAS**

	<p><b>Définir / Modifier les paramètres par défaut</b> spécifie les noms de fichier pour les entrées de ligne de base et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des transects.</p>
	<p><b>Créer les transects</b> génère une nouvelle classe d'entités de transect (ou écrase une existante) en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.</p>
	<p>Le menu déroulant répertorie tous les fichiers de transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.</p>

	<p><b>Calculer les statistiques</b> lance une boîte de dialogue remplie d'une liste de statistiques de taux de change sélectionnables à calculer.</p>
	<p><b>Couper les transects vers SCE</b> lancent une boîte de dialogue permettant aux utilisateurs de générer une copie du fichier de transect spécifié qui est découpé dans l'enveloppe de modification de la ligne de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.</p>
	<p>Lancer la fonction <b>d'aide DSAS</b>.</p>
	<p><b>À propos de DSAS</b> fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.</p>

**e. Statistiques calculées par le DSAS**

DSAS calcule les statistiques de taux de variation pour une série chronologique du trait de côte. Les méthodes utilisées peuvent être décrites comme suit :

- **Net Shore Mouvement (NSM)**

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

- **End Point Rate (EPR)**

Le taux des points extrêmes (EPR) est la distance sur le transect entre deux traits de côtes, le plus récent et le plus ancien divisé par le nombre d'années séparant ces traits de côtes. (Himmelstoss, 2009 ; Jamont, 2014). Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement de dates de littoral (Faye, 2012).

- **Linear Regression Rate-of-change (LRR)**

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

### II.1.4.2 Visualisation des résultats

L'évolution et la visualisation des résultats a été sur l'intégralité des trois traits de côte du site d'étude (Zarzouria) issus à partir des levés DGPS.

Afin d'avoir ces résultats, une ligne de base qui suit l'orientation générale de la cote a été créée, ensuite dans le cadre de ce travail il a été choisi de générer des transects perpendiculaires a cette ligne de base tous les 5 mètres, l'ensemble de la cote de Zarzouria est donc couverte par 160 transects avec une longueur de 300 mètres pour chacun.

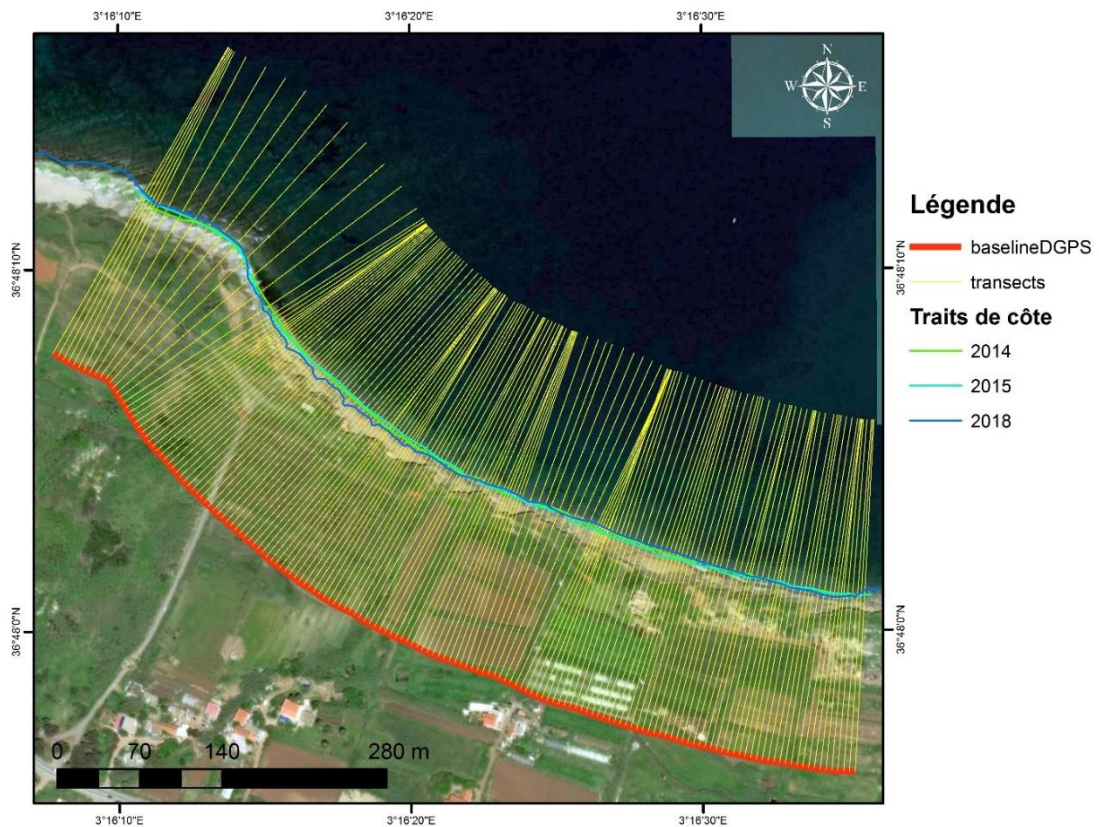


Figure II-9. Visualisation des transects générés dans la zone de Zarzouria

a. Net Shore Movement (NSM)

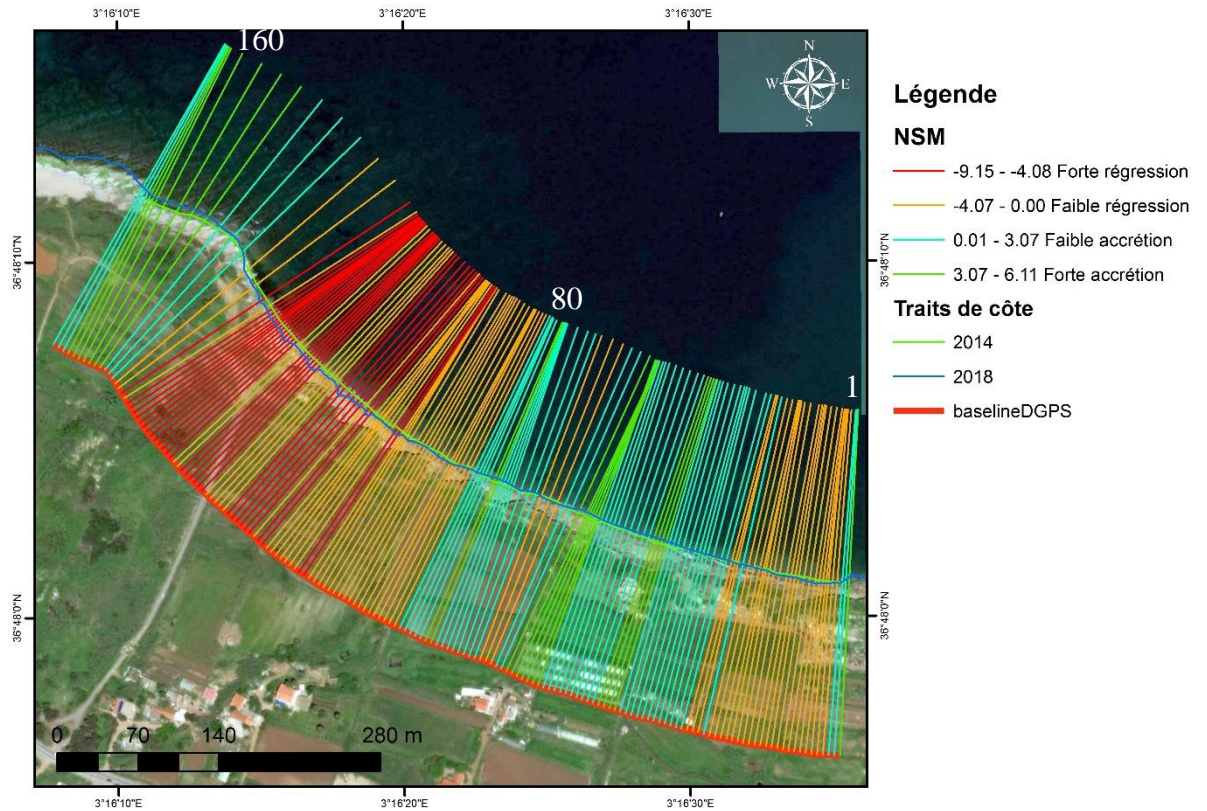


Figure II-10. Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2014-2018.

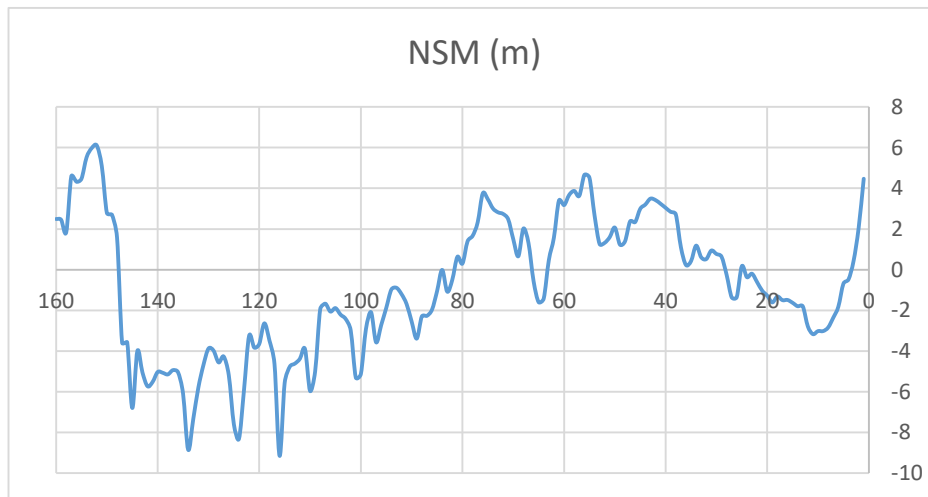


Figure II-11. Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2018.

• **Commentaire**

La figure II.10 représente les résultats du NSM obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indique une forte accumulation qui varie entre 3.07 et 6.11 m, et les bleus pour une accumulation entre 0 et 3.07 m, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une régression respective qui varie entre (0 et -4.07 m) et (-4.07 et -9.15 m).

On remarque que le recul du trait de côte domine dans la partie Est de la zone, avec 66 transects de régression ainsi qu'une partie du côté Ouest de la zone avec 21 transects, tandis qu'une accrétion remarquable se manifeste dans 57 transects de la partie Est de la zone et cela peut indiquer que le courant qui dérive les sédiment va d'Ouest en Est.

**b. End Point Rate (EPR)**

Pour bien comprendre l'évolution du trait de côte, on a projeté les résultats des statistiques des taux des points extrêmes sur la carte suivante.

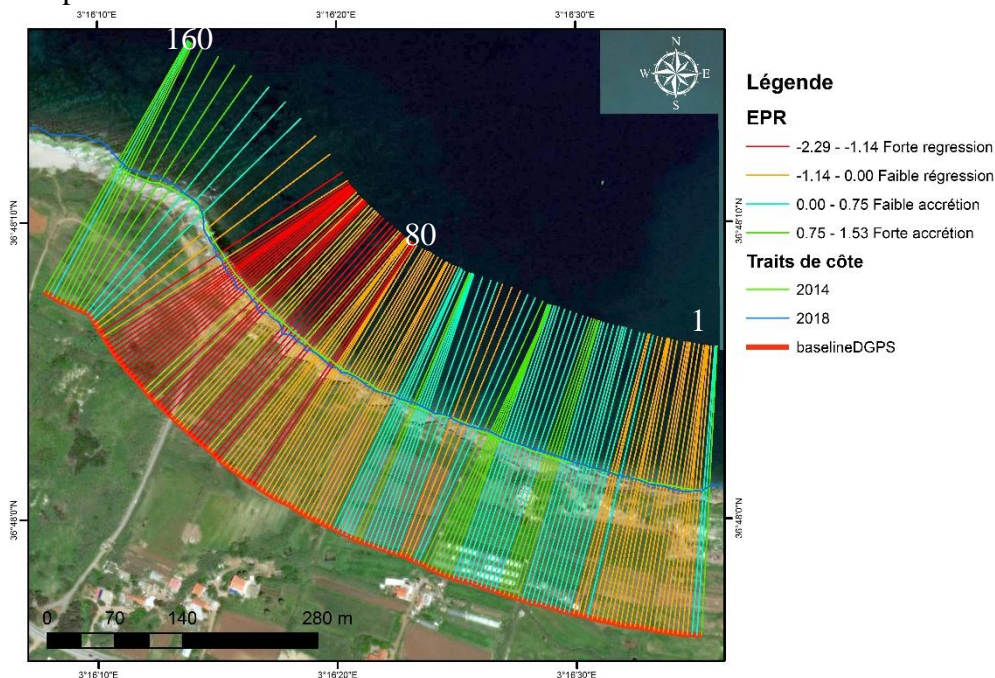


Figure II-12. Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2014-2018.

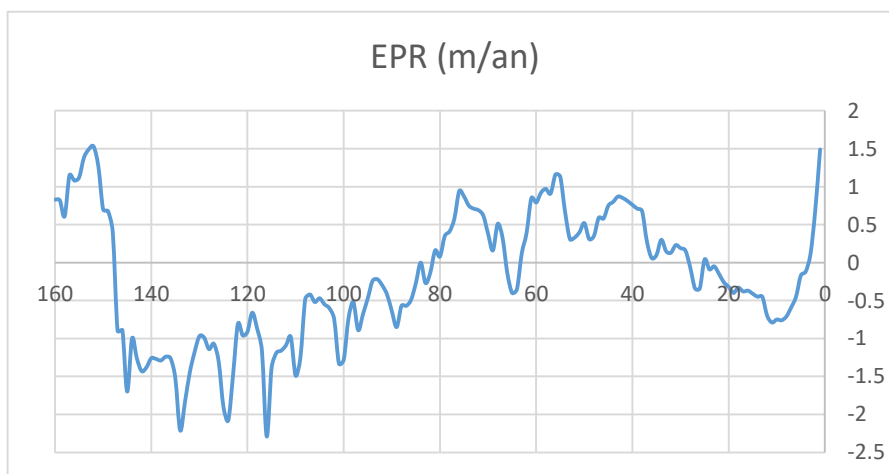


Figure II-13. Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2018.

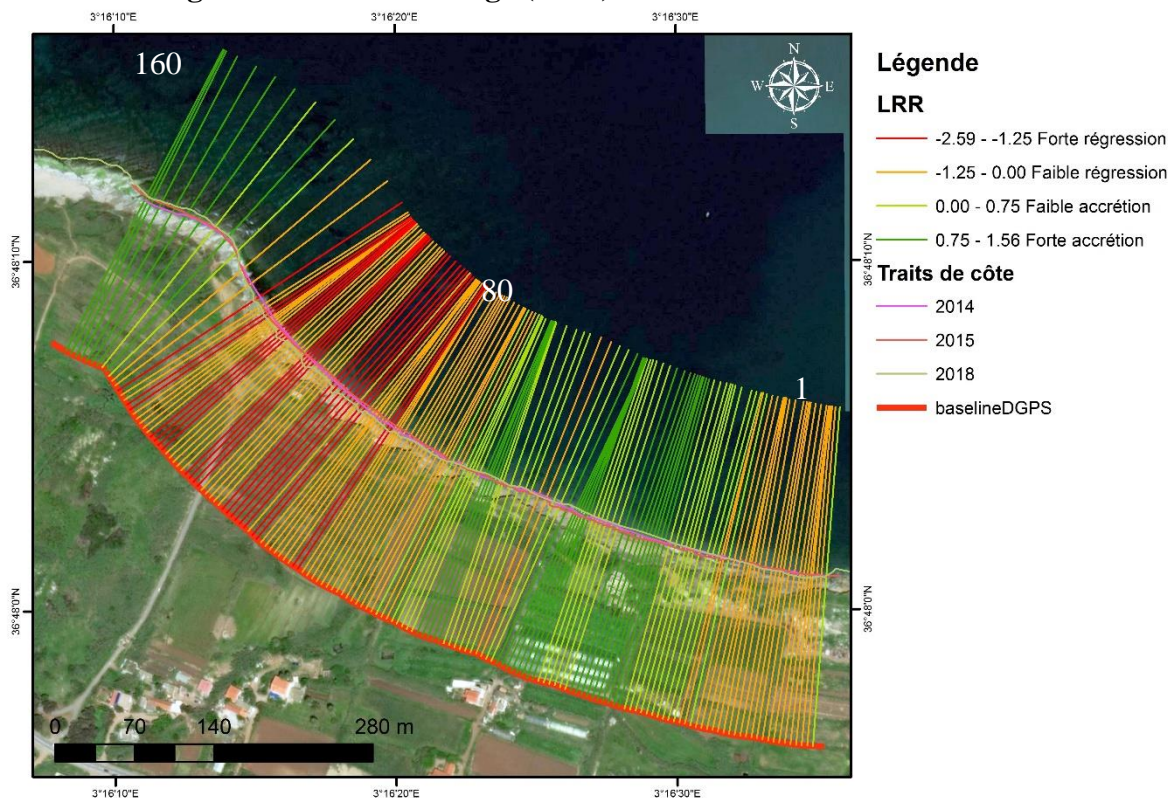
• **Commentaire**

La figure II.12 représente les résultats de l'EPR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indiquent une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 0.75 et 1.53 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 0.75 m/an, tandis que les

transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -1.14 m/an) et (-1.14 et -2.29 m/an).

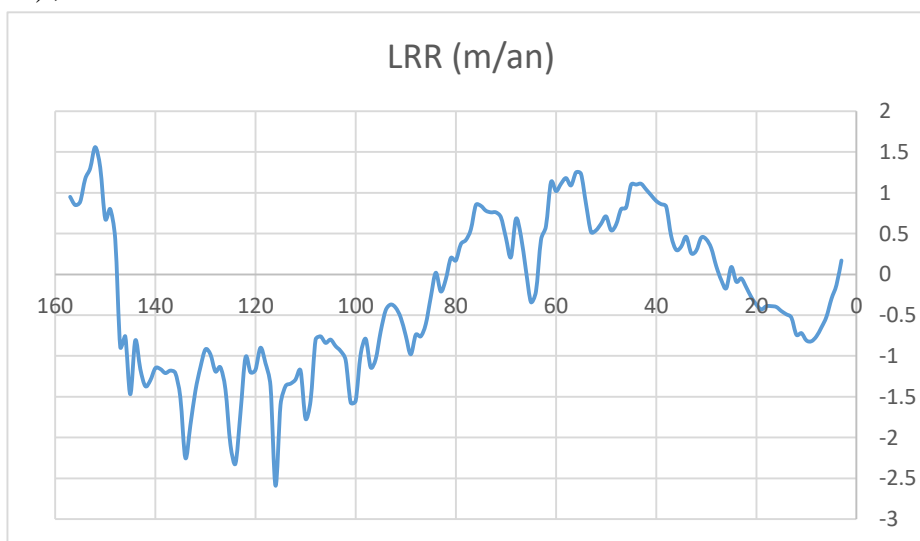
L'évolution de ligne de rivage s'est caractérisée par une régression dominante dans 58.13% de la totalité des transects (figure II.11).

**c. Linear Regression Rate-of-change (LRR)**



**Figure II-14.** Visualisation de la tendance de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2014-2018.

Le taux de changement de la régression linéaire prend en compte tous les traits de côte (2014, 2015 et 2018) ;



**Figure II-15.** Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2014-2015-2018.

- **Commentaire**

La figure II.14 représente les résultats du LRR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indique une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 0.75 et 1.56 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 0.75 m/an, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -1.25 m/an) et (-1.25 et -2.59 m/an).

On voit nettement que la zone subit une tendance régressive dans la partie Ouest de la zone et un engraissement dans la partie Est de la zone (figure II.13).

## **II.2 Erosion à l'échelle décennale : apport de la comparaison de l'imagerie satellitaire 2007/2018 à la compréhension de l'érosion des falaises**

### **II.2.1 Introduction, stratégie et problématique**

Bien que les forçages météo-marins agissent périodiquement selon les saisons, leur intensité varie d'une année à une autre sur des périodes temporelles plus longues (ex. décennales ou séculaires). C'est d'ailleurs l'accumulation de ces phases qui est susceptible d'engendrer une érosion plus intense, déterminant les tendances évolutives de la côte à l'échelle séculaire. (Giuliano, 2015).

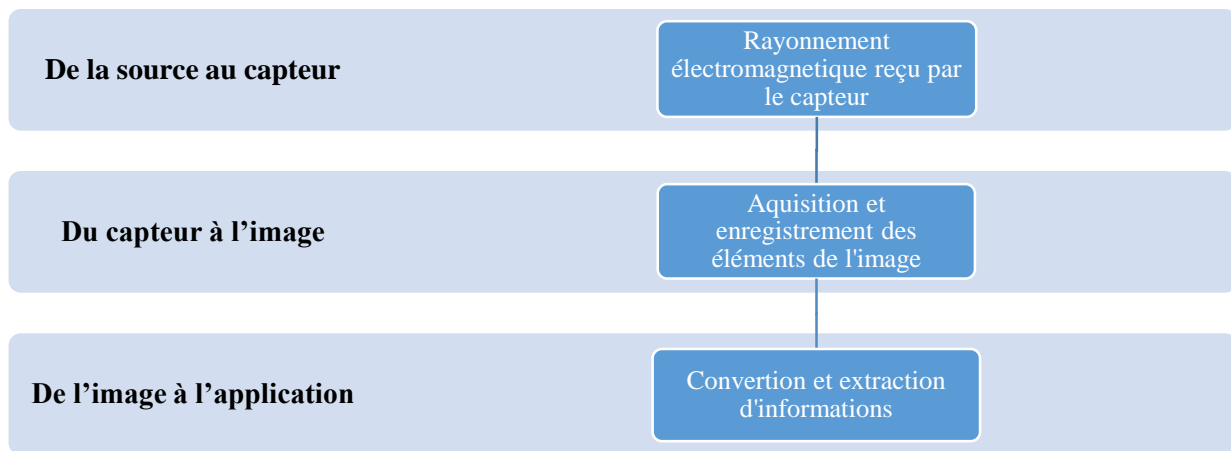
Notre problématique se situe dans le manque de données archives générées par le DGPS et l'incapacité de leurs création, qui est causée par l'inaccessibilité des zones à falaises dans le site B (habitations au bord des falaises).



**Figure II-16.** Illustration montrant l'innascibilité des falaises du site B (avril 2014).

Pour remédier à cela, on a utilisé la méthode de comparaison des ortho-photographies aériennes et des images satellitaires, les observations et les mesures au cours des dernières années serviront à l'évaluation de la situation actuelle, permettant de reconstruire les caractéristiques géomorphologiques du système côtier et le suivi des aménagements successifs, (El Abdellaoui & Ozer, 2007).

## II.2.2 Images satellitaires



**Figure II-17.** Schéma explicatif des étapes d'acquisition des images satellitaires.

## II.2.3 Application de la méthode

Les données images utilisées dans le cadre de ce travail correspondent à un extrait d'images acquis gratuitement depuis la plateforme Google Earth Pro®. La démarche pour l'acquisition de ces images est donnée dans le paragraphe suivant.

GoogleEarth Pro nous a fourni, non seulement, des images à hautes résolutions, mais aussi des archives à des échelles de temps antécédentes, ce qui nous a permis de réaliser une étude de la dynamique et de l'évolution du trait de côte. Mais les difficultés rencontrées lors de ce processus, qu'on peut considérer comme des limites de cette méthode sont :

- la perte de la résolution lors du téléchargement des images à petite échelle et c'est le cas pour nos sites d'études ;
- les images téléchargées sont en format (**JPG**), c'est à dire non géoréférencées ;
- Dans Google Earth Pro, deux images de la même parcelle avec le même zoom et la même position, se décalent l'une de l'autre si on change la période ou l'année de l'image.
- l'angle de prise de vue du satellite qui diffère d'une zone à une autre et d'une période à une autre, ce qui provoque des déformations dans l'image.

Ceci induit la considération d'une marge d'erreur lors du traitement de ces données qui est de +/- 5 mètres. (**Kermani, 2016**)

Une autre considération des représentations graphiques des statistiques calculées concernent la présence de plages en poche qui définissent par moments des zones d'accrétions considérées lors de l'étude de l'évolution du trait de côte.

Plusieurs étapes ont été suivies pour la réalisation de cette méthode de travail :

II.2.3.1 Téléchargement des images satellitaires

- Nous avons découpé nos sites d'étude en plusieurs parcelles, (07 pour le site A et 12 pour le site B) ;
- Ensuite et avec le même zoom, nous avons fixé 04 repères dans chaque parcelle ;
- Nous avons téléchargé avec la résolution maximale offerte par Google Earth Pro les images correspondantes aux différentes années qu'on a opté (selon la disponibilité des images sur Google Earth Pro et selon leurs qualités), qui sont respectivement, « 2007-2009-2011-2013-2017-2018 » pour le site A et « 2002-2007-2009-2011-2015-2018 » pour le site B ;

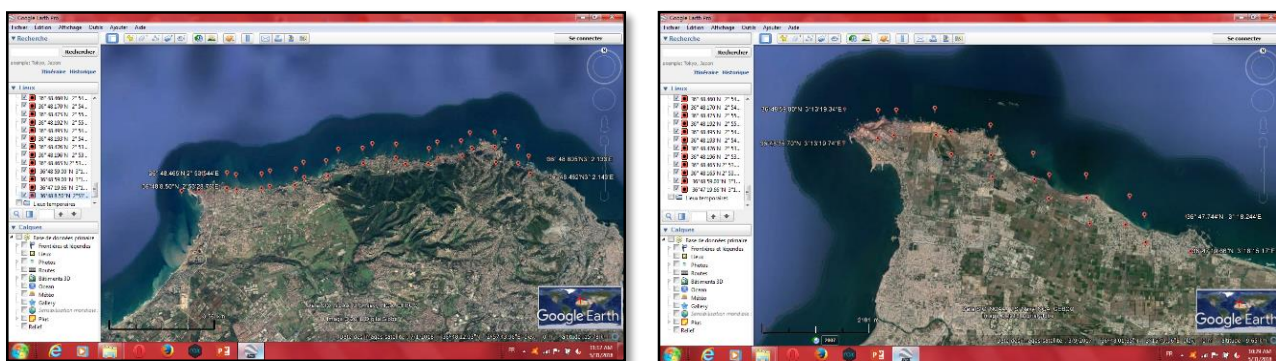


Figure II-18. Acquisition des images satellitaires à partir de Google Earth Pro

II.2.3.2 Géoréférencement des images satellitaires

La réalisation de cette partie a été réalisée, à l'aide d'un SIG (ArcGis v.10.2) :

- Nous avons pris l'image de 2007, puis la géoréférencé en entrant les coordonnées de chaque repère ;
- Ensuite et pour résoudre le problème du décalage, on a géoréférencé les images correspondantes à la suite des années de la même parcelle par calage, c'est-à-dire choisir des points « repères » fixes (milieu d'un rondpoint, coin d'une piscine ou d'une maison,...) dans les autres images et les rattacher aux mêmes repères fixes de l'image de 2007 qui est déjà géoréférencée.
- Appliquer la même méthode pour tout le reste des parcelles.

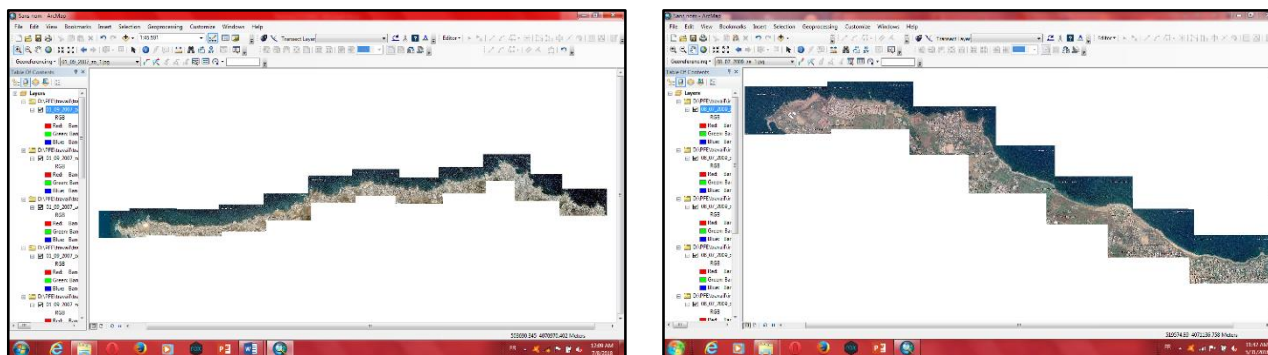


Figure II-19. Géo-référencement des images satellitaires sur ArcGis.

II.2.3.3 Traitement des données et visualisation des résultats

L'évolution et la visualisation des résultats ont été faites sur l'intégralité des traits de côte des deux sites d'étude, mais la zone de falaise d'El Marsa et de Zarzouria pour le site A et Bologhine pour le site B, ont été prises comme exemple pour l'interprétation des résultats.

Les résultats statistiques obtenus sont visualisés sur ArcGis comme suit :

a. Site A

Afin d'avoir ces résultats, une ligne de base qui suit l'orientation générale de la côte a été créée, ensuite dans le cadre de ce travail, on a choisi de générer des transects perpendiculaires a cette ligne de base tous les 25 mètres, l'ensemble de la côte algéroise Est est donc couvert par 335 transects avec une longueur de 300 mètres pour chacun.

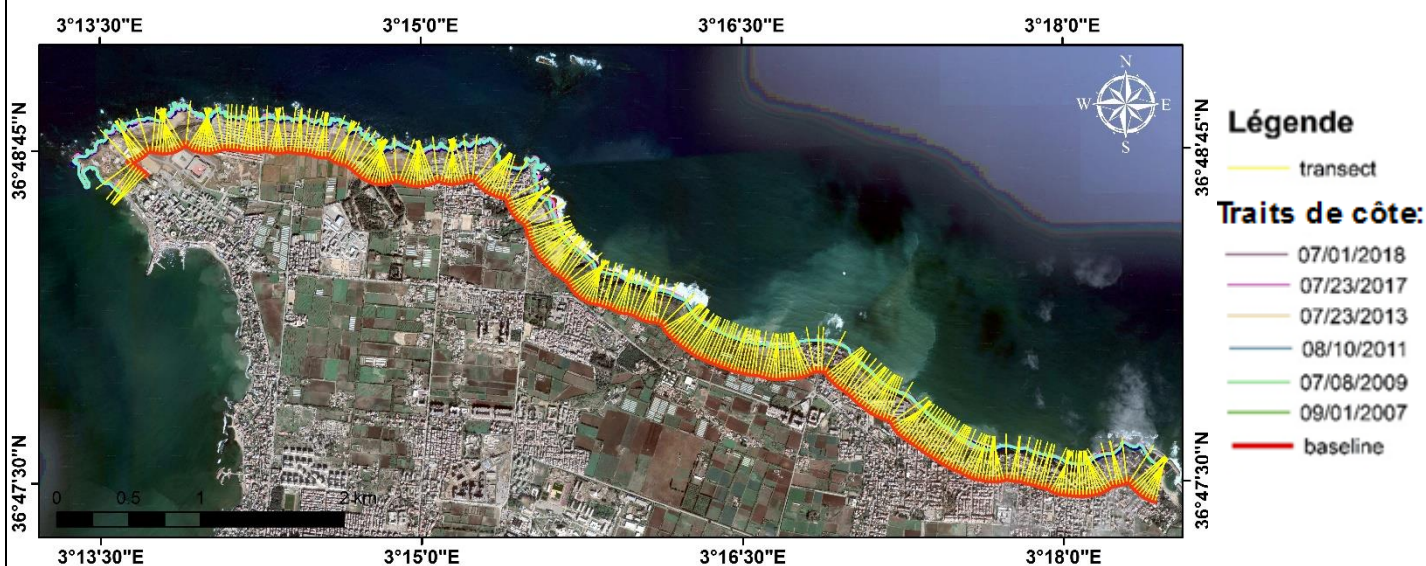


Figure II-20. Visualisation des transects générés dans la zone Est.

• Net Shore Mouvement (NSM)

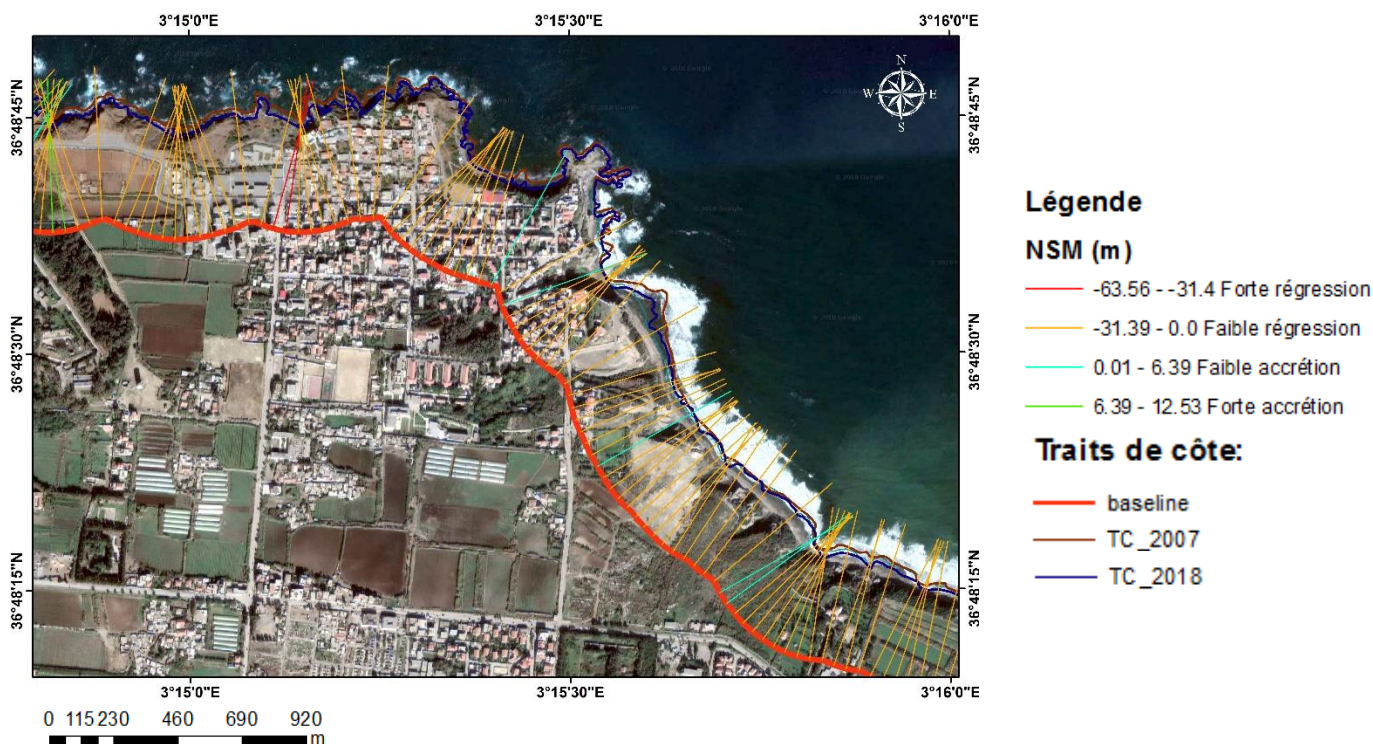


Figure II-21. Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2007-2018.

- Commentaire

La figure II.21 représente les résultats du NSM obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indique une forte accumulation qui varie entre 6 et 12 m, et les bleus pour une accumulation entre 0 et 6 m, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une régression respective qui varie entre (0 et -31 m) et (-31 et -63 m).

On remarque que le recul du trait de côte couvre presque la totalité de la zone et cela indique que la région subit une érosion qui est dû au fait que la zone est directement exposée au fort hydrodynamisme. Alors que dans certaines des autres zone (photos en annexes) on trouve des région ou il y a une évolution positive du trait de côte et cela est dû, parfois à l'accumulation des matériaux transportés dans les plages au pieds des falaises par les courants ou par les vents et parfois à l'inclinaison différente du satellite lors de la prise de vue d'une image a une autre.

• NSM corrigé

La correction des tableaux issue de l'extension DSAS est nécessaire pour avoir des résultats plus réalistes. En effet les valeurs critiques qui atteignent les -63 m sont dues aux erreurs des images qui sont décalées à cause de la différence d'inclinaison du satellite malgré le géo-référencement correcte.

L'élimination des valeurs critiques du NSM, par l'écartement des valeurs d'érosion qui dépassent les 30 m (couleur des transects rouge) du tableau des statistiques obtenue par l'extension DSAS, et qui a donné des résultats comme suit :

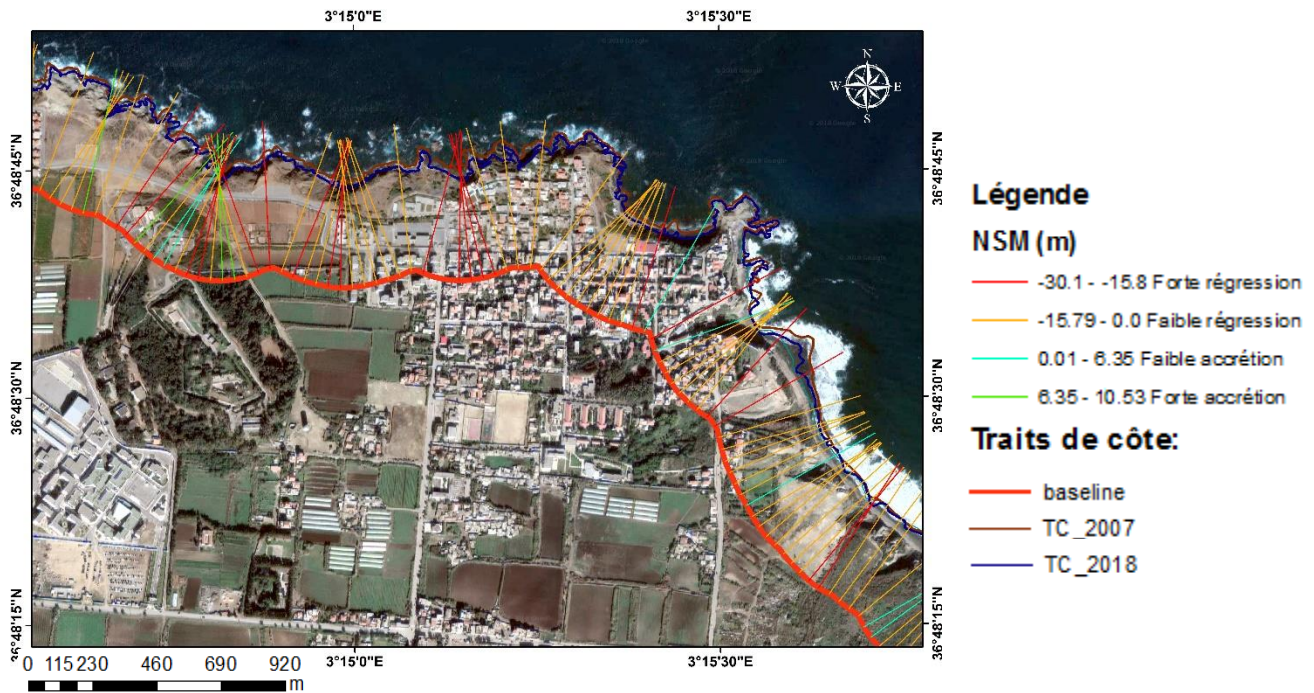


Figure II-22. Visualisation de l'évolution corrigée du trait de côte en m entre 2007-2018.

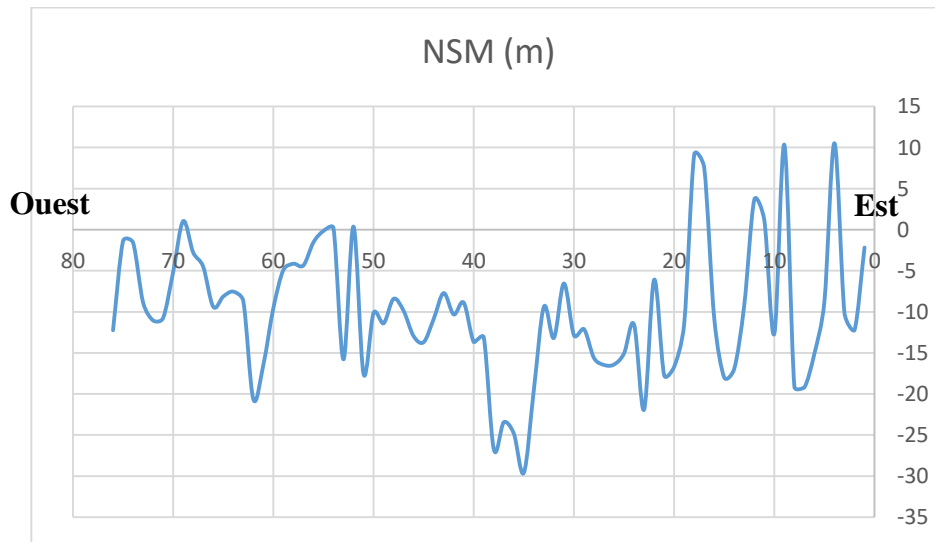


Figure II-23. Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m entre 2007-2018.

- **Commentaire**

Après correction, le nombre de transects devient 331 et on remarque que la valeur de régression maximale devient -30.1 m.

• End Point Rate (EPR)

Pour bien comprendre l'évolution du trait de côte, on a projeté les résultats des statistiques des taux des points extrêmes sur la carte suivante.

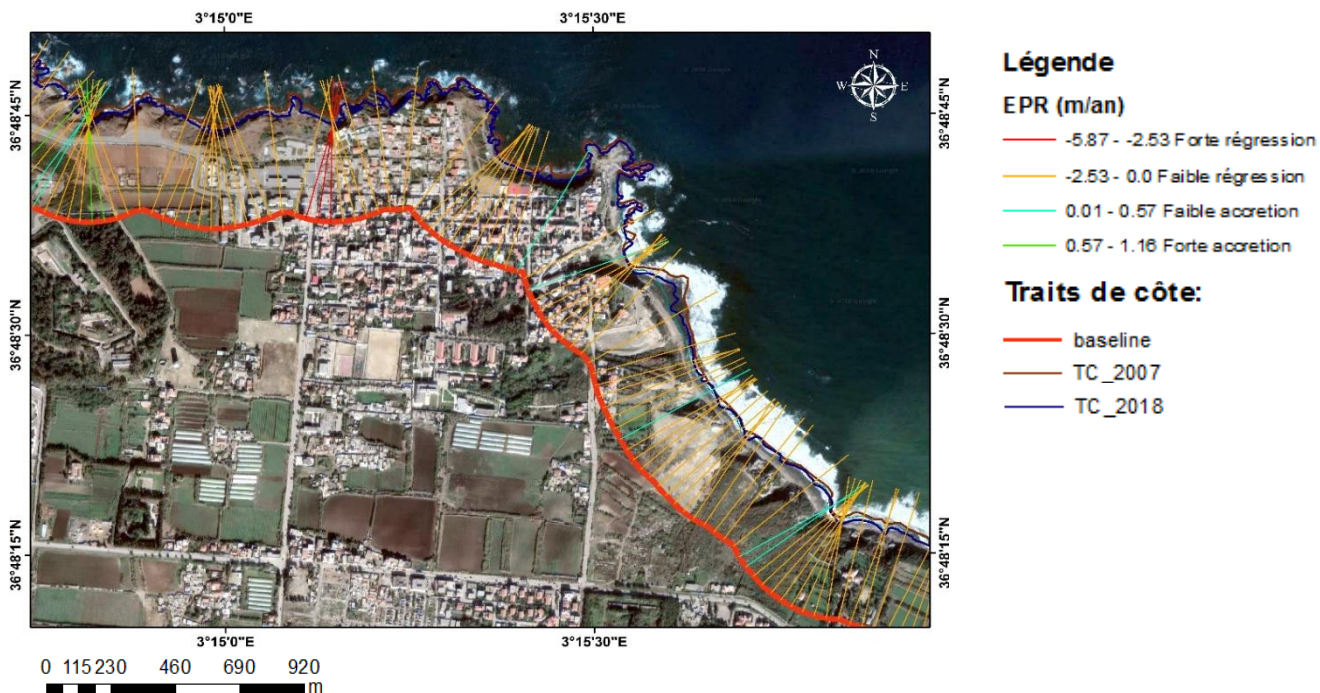


Figure II-24. Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.

- **Commentaire**

La figure II.24 représente les résultats de l'EPR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indique une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 0.57 et 1.16 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 0.57 m/an, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -2.53 m/an) et (-2.53 et -5.87 m/an).

- EPR corrigé

La correction de l'EPR donne un résultat comme suit :

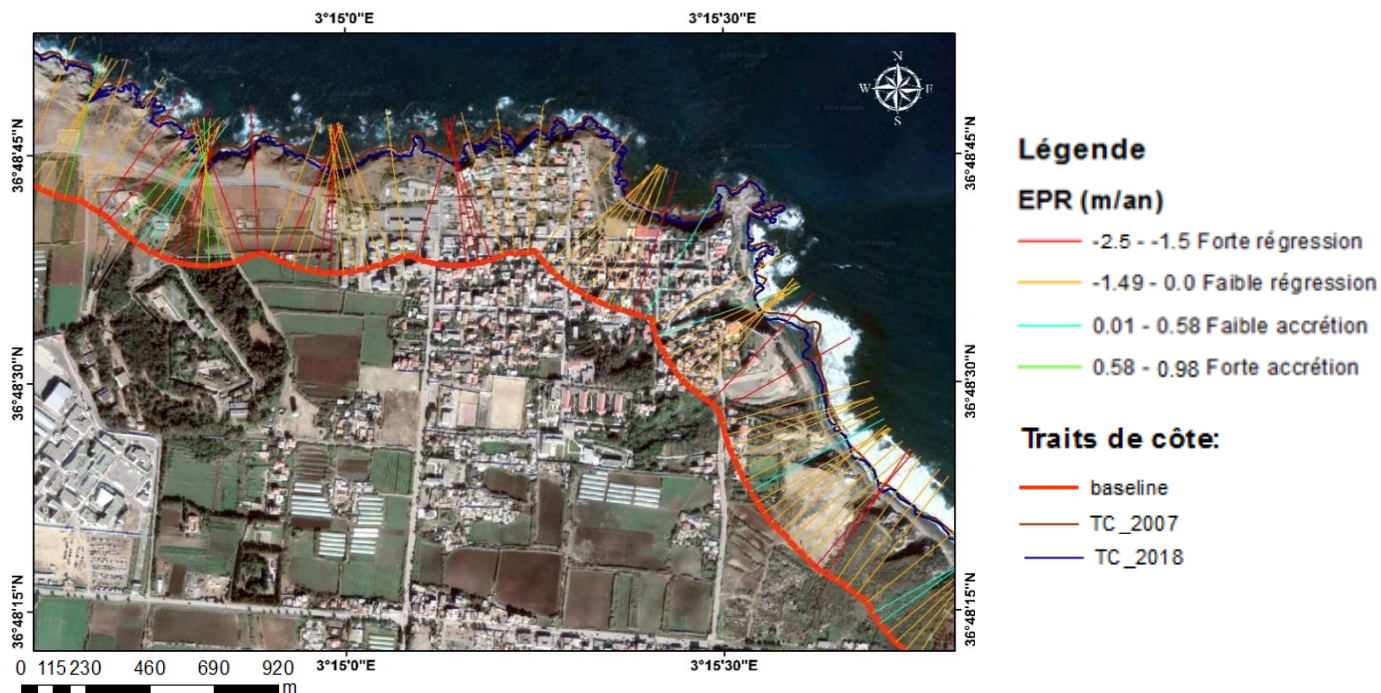


Figure II-25. Visualisation de la vitesse corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.

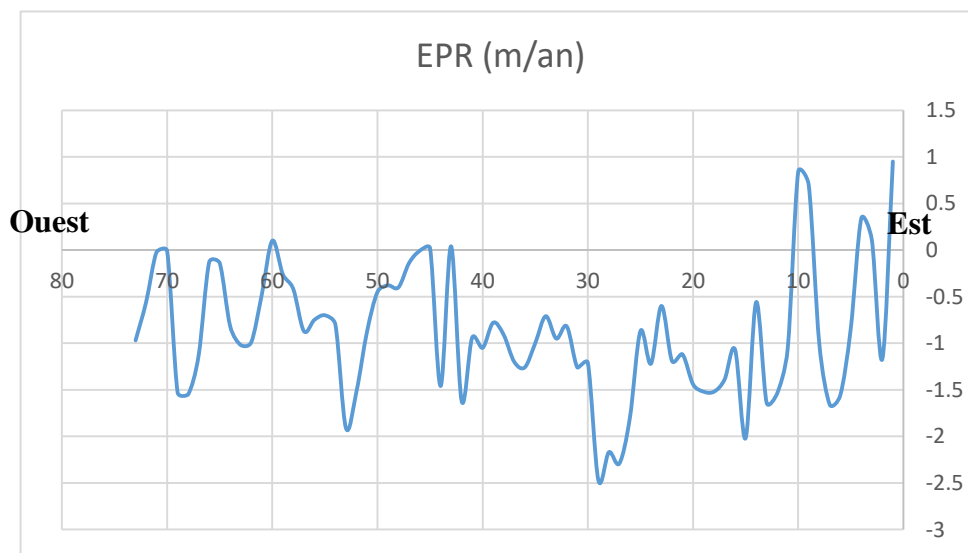


Figure II-26. Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2007-2018.

- **Commentaire**

On remarque que le résultat après l'élimination des valeurs critiques change et la vitesse de régression maximale devient -2.5 m/an.

• Linear Regression Rate-of-change (LRR)

Le taux de changement de la régression linéaire prend en compte tous les traits de côte (2007-2009-2011-2015 et 2018)

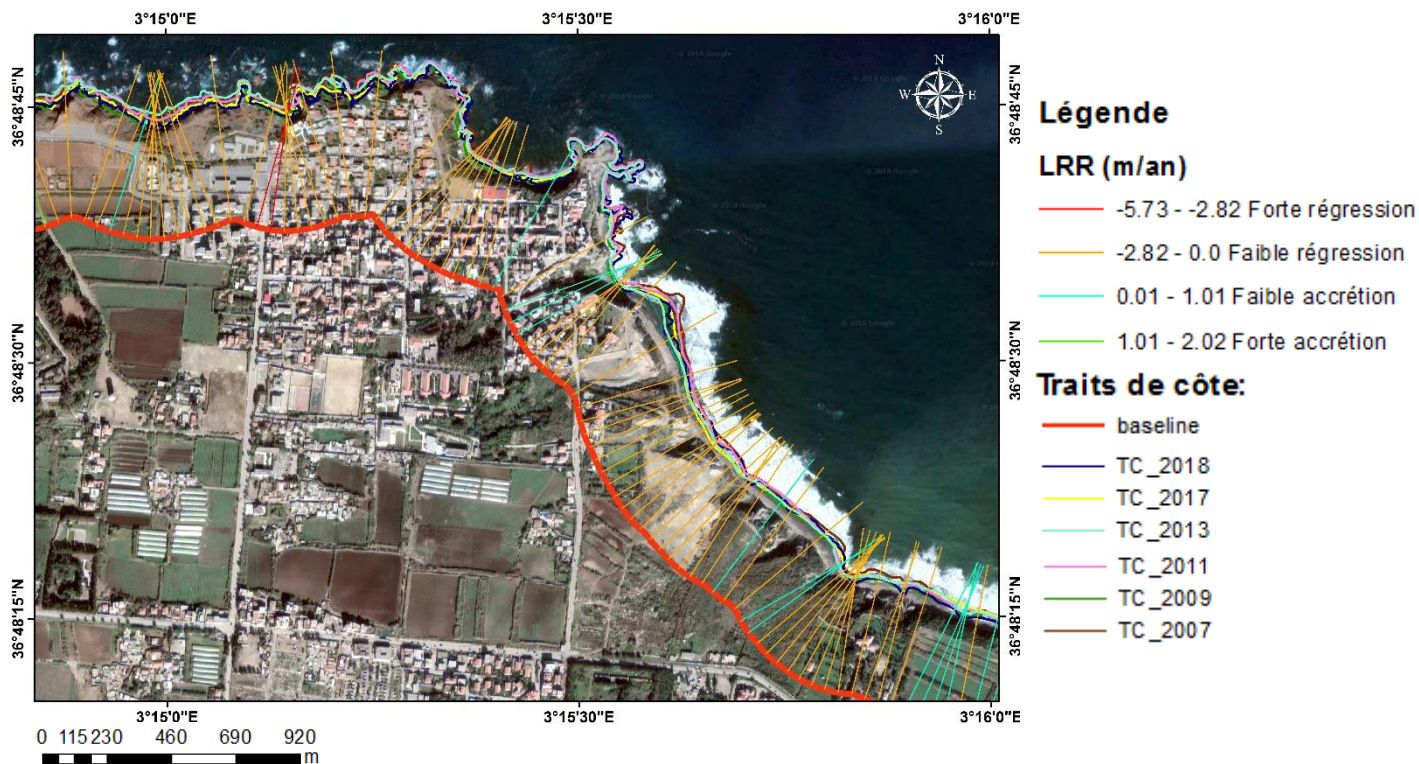


Figure II-27. Visualisation de la tendance de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.

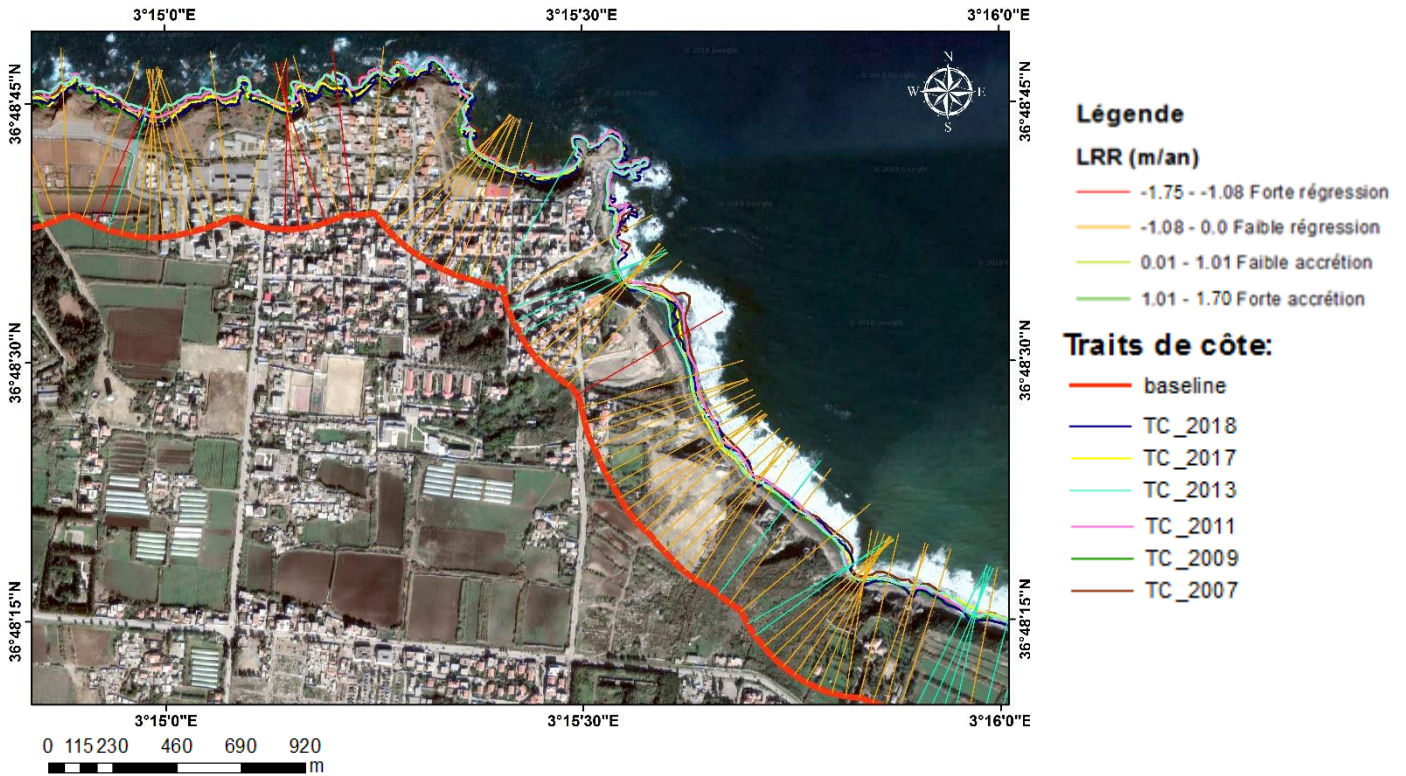
- Commentaire

La figure II.25 représente les résultats du LRR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Zarzouria, les transects en vert indique une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 1.01 et 2.02 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 1.01 m/an, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -2.82 m/an) et (-2.82 et -5.73 m/an).

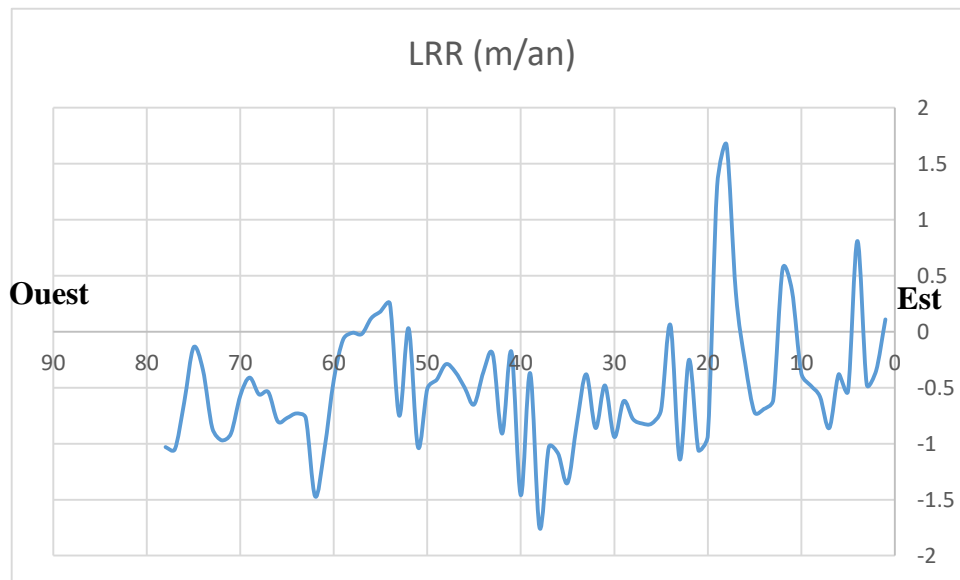
On voit nettement qu'une tendance régressive est dominante dans cette zone.

- **LRR corrigé**

La correction de l’LRR donne un résultat comme suit :



**Figure II-28.** Visualisation de la tendance corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2007-2018.



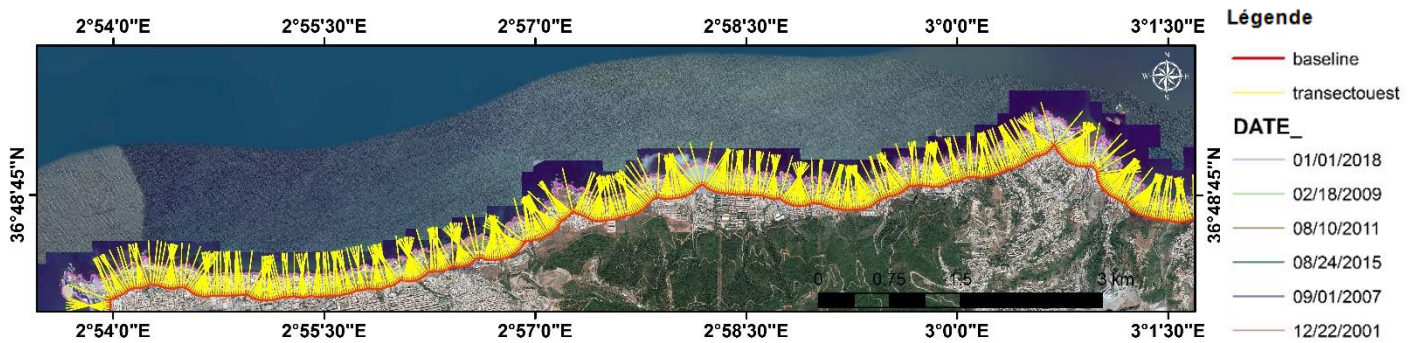
**Figure II-29.** Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2007-2018.

- **Commentaire**

On remarque que le résultat après l'élimination des valeurs critiques change et la tendance de régression persiste avec une vitesse maximale de recul qui atteint -1.75 m/an.

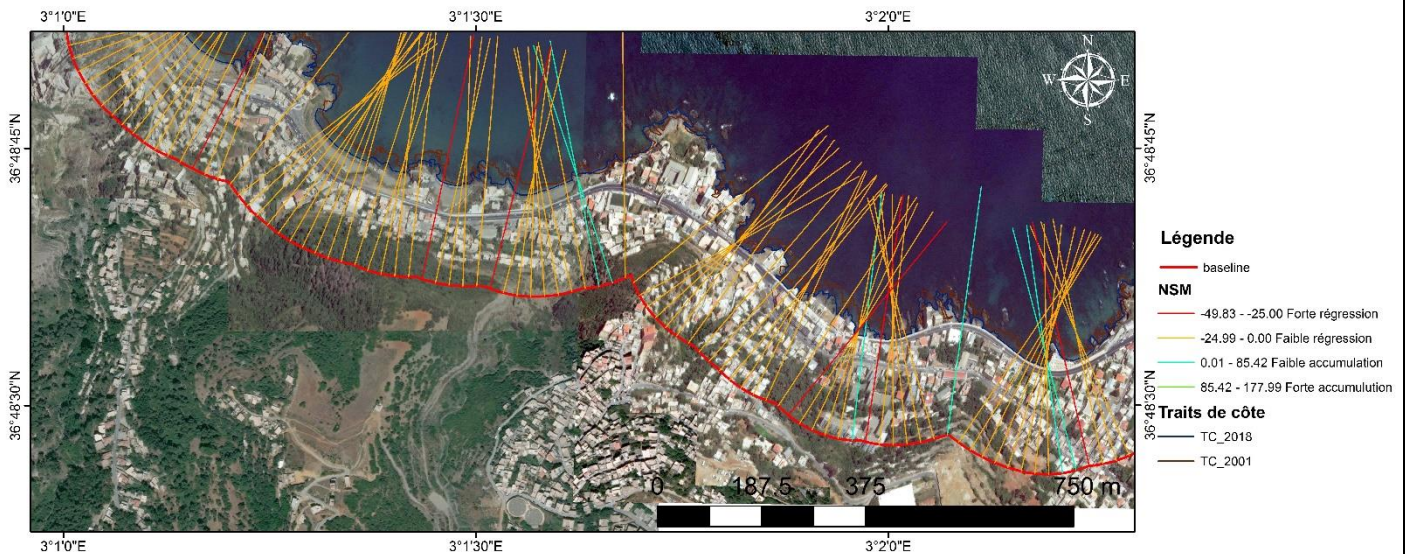
**b. Site B**

Afin d'avoir ces statistiques, une ligne de base qui suit l'orientation générale de la côte a été créée, ensuite dans le cadre de ce travail il a été choisi de générer des transects perpendiculaires a cette ligne de base tous les 25 mètres, l'ensemble de la cote du site B est donc couverte par 567 transects avec une longueur de 450 mètres pour chacun.



**Figure II-30.** Visualisation des transects générés dans la zone Ouest.

• **Net Shore Movement (NSM)**



**Figure II-31.** Visualisation de l'évolution du trait de côte en m entre 2001-2018.

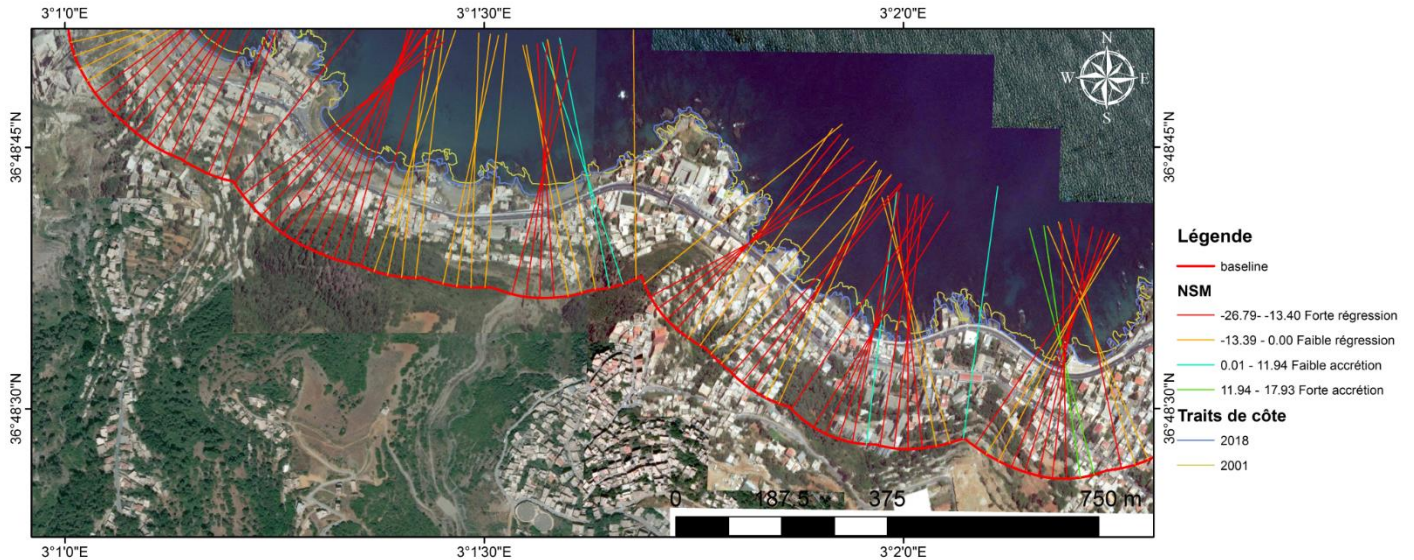
- **Commentaire**

La figure II.19 représente les résultats du NSM obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Bologhine, les transects en vert indique une forte accumulation qui varie entre 85.42 et 177.99 m, et les bleus pour une accumulation entre 0 et 85.42 m, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une régression respective qui varie entre (0 et -24.99 m) et (-25 et -49.83 m).

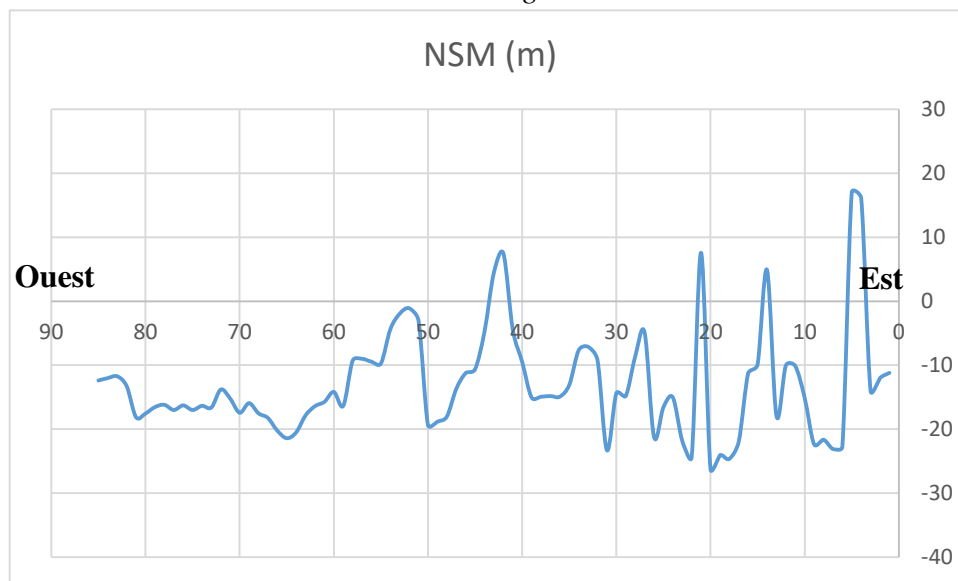
On remarque que le recul du trait de côte couvre presque la totalité de la zone et cela est dû au fait que la zone est directement exposée au fort hydrodynamisme de la région.

- **NSM corrigé**

Pour cette zone, l'élimination des valeurs critiques du NSM donne un résultat comme suit :



**Figure II-32.** Visualisation de l'évolution corrigée du trait de côte en m entre 2001-2018



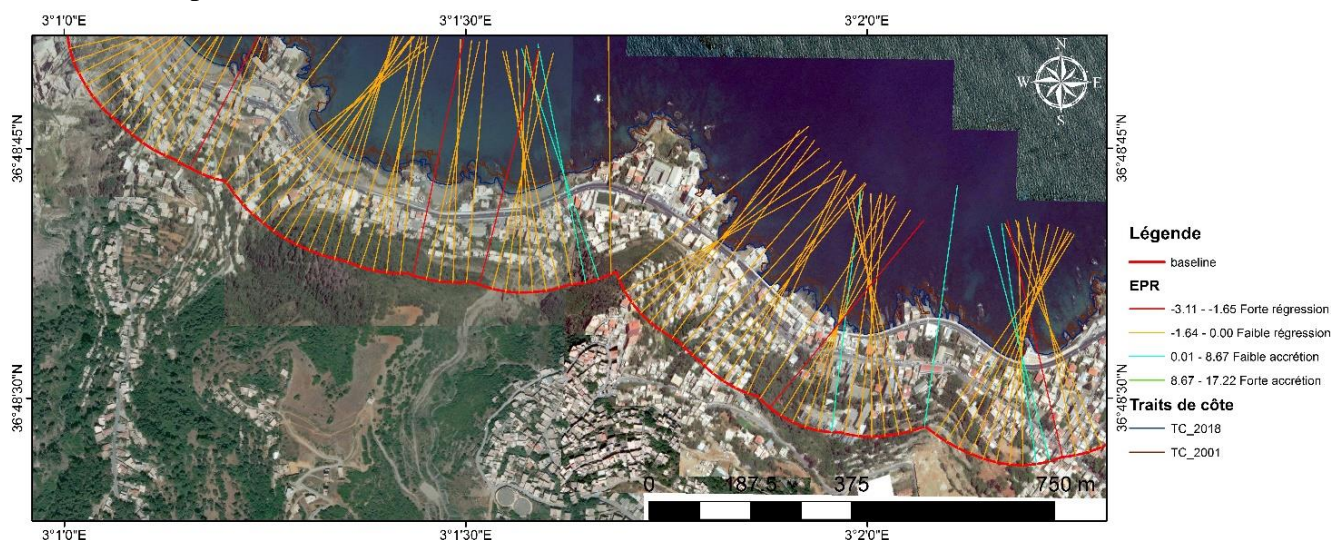
**Figure II-33.** Evolution du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Bologhine en m entre 2001-2018.

- **Commentaire**

Après correction, le nombre de transects devient 539 et on remarque dans la figure II.21 que la valeur de régression maximale devient -26.79 m et la valeur maximale de l'accumulation devient 23.93 m.

- **End Point Rate (EPR)**

Pour bien comprendre l'évolution du trait de côte, on a projeté les résultats des statistiques des taux des points extrêmes sur la carte suivante.



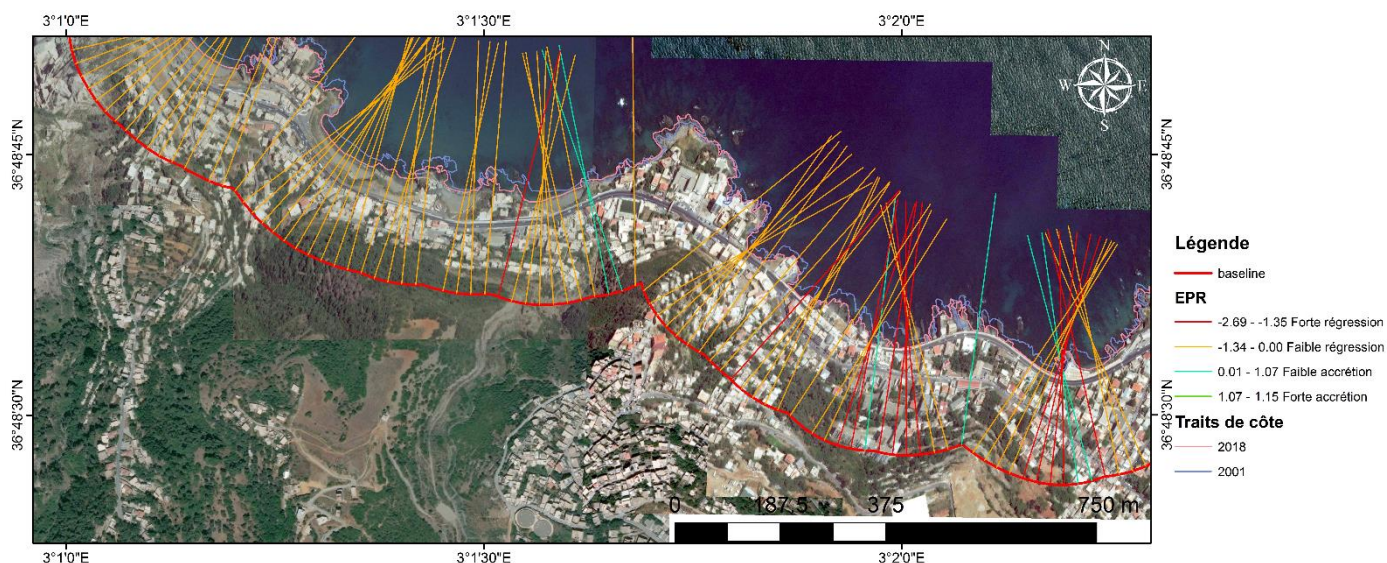
**Figure II-34.** Visualisation de la vitesse d'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018.

- **Commentaire**

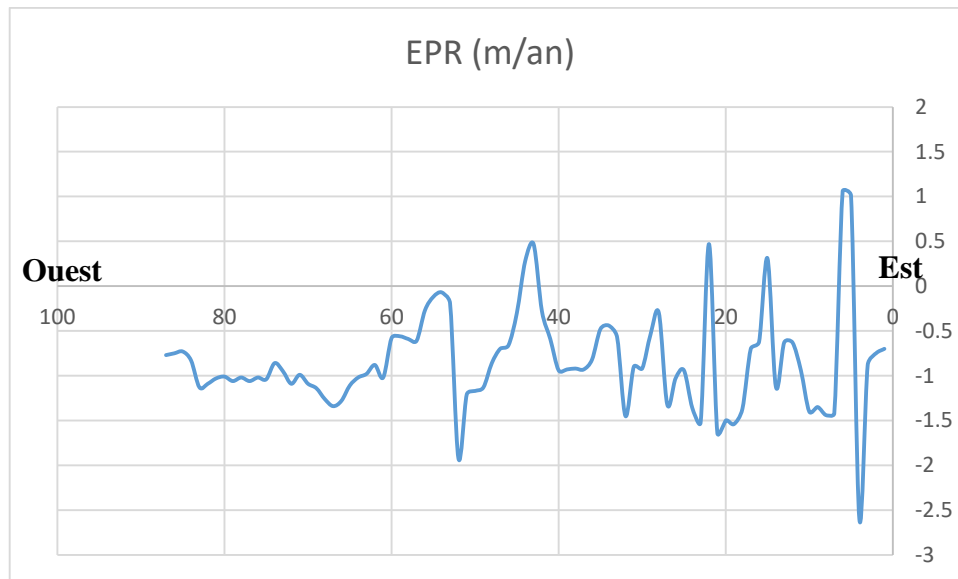
La figure II.21 représente les résultats de l'EPR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Bologhine, les transects en vert indique une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 8.67 et 17.22 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 8.67 m/an, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -1.64 m/an) et (-1.65 et -3.11 m/an).

- **EPR corrigé**

La correction de l'EPR donne un résultat comme suit :



**Figure II-35.** Visualisation de la vitesse corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018.



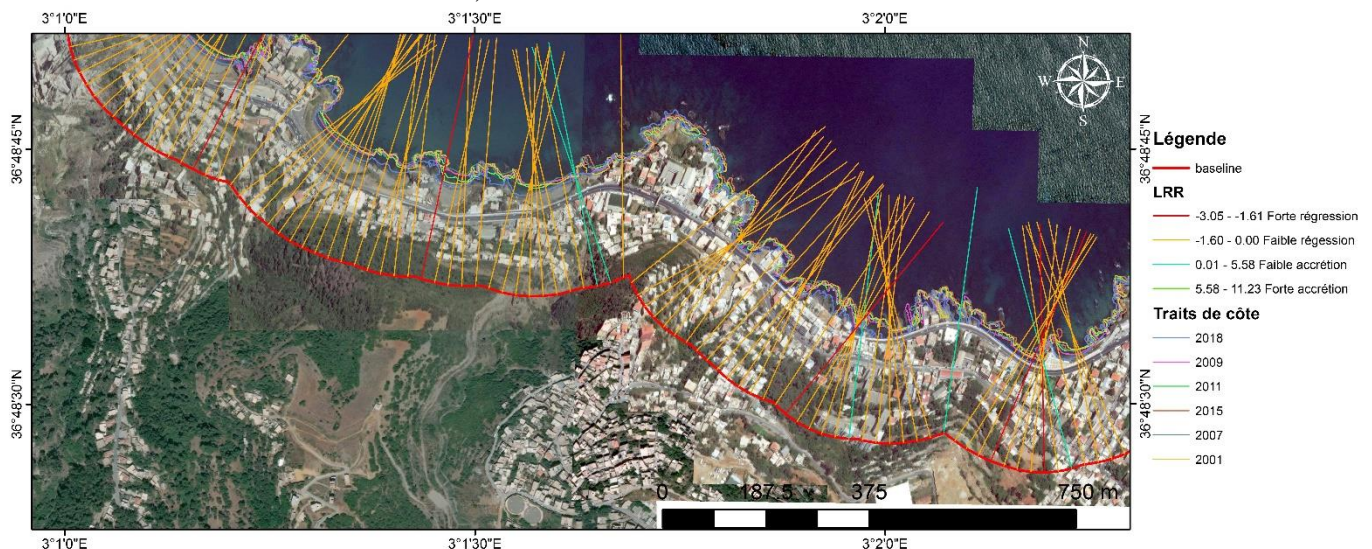
**Figure II-36.** Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Bologhine en m/an entre 2001-2018.

- **Commentaire**

On remarque sur la figure II.22 que le résultat après l'élimination des valeurs critiques change et la vitesse maximale d'accrétion devient 2.15 m/an et la valeur maximale de la vitesse de régression est devenue -2.69 m/an.

• **Linear Regression Rate-of-change (LRR)**

Le taux de changement de la régression linéaire prend en compte tous les traits de côte (2001-2007-2009-2011-2015 et 2018)



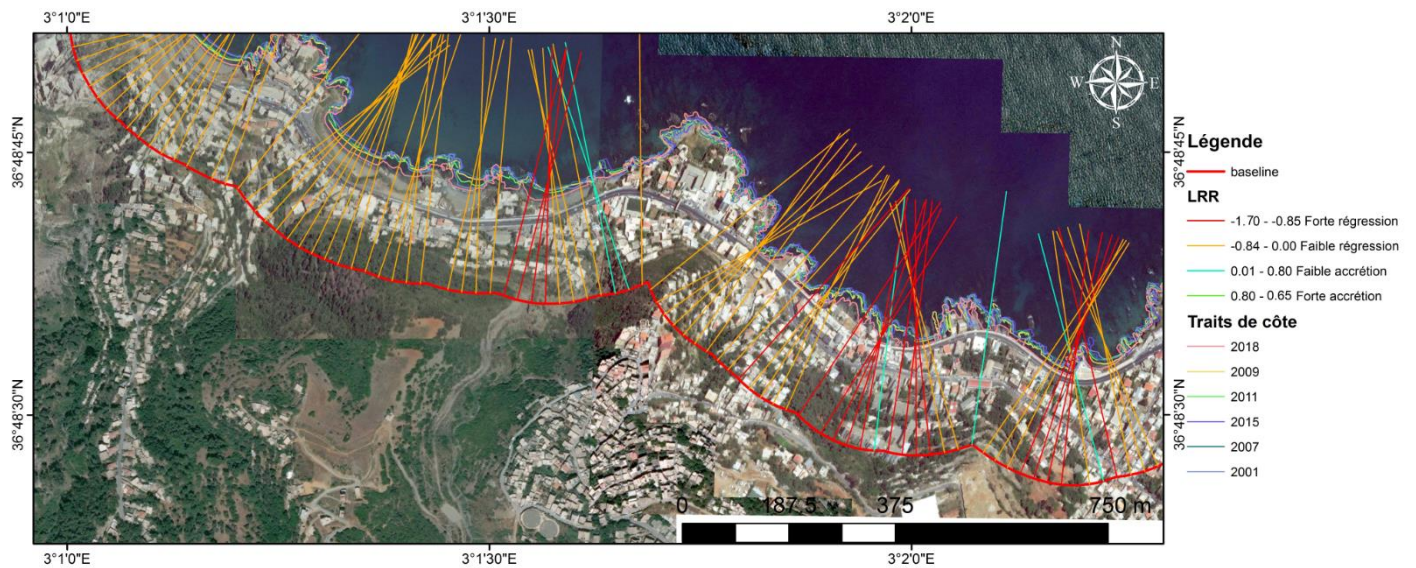
**Figure II-37.** Visualisation de la tendance d'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018.

- **Commentaire**

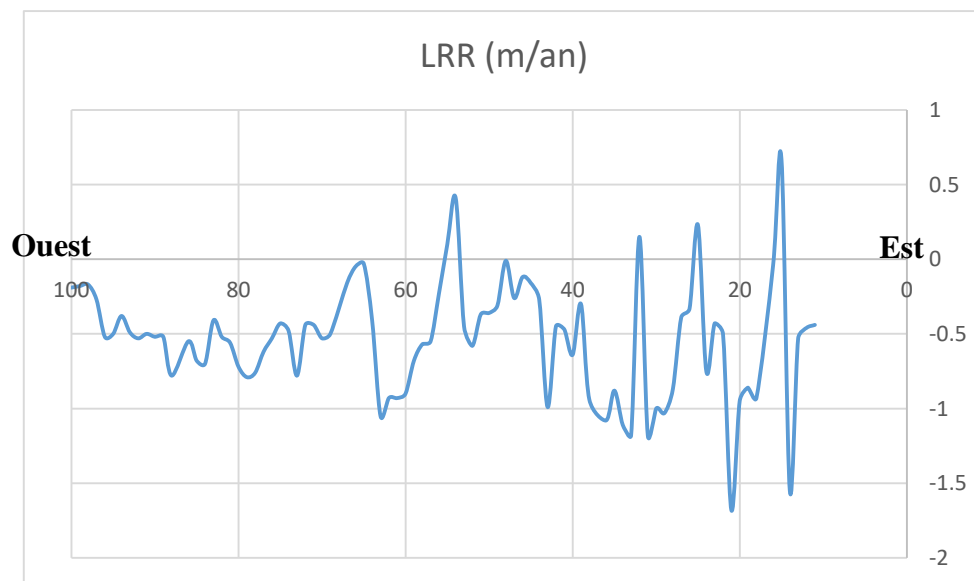
La figure II.37 représente les résultats du LRR obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Bologhine, les transects en vert indique une forte vitesse d'accumulation qui varie entre 5.58 et 11.23 m/an, et les bleus pour une vitesse d'accumulation entre 0 et 5.58 m/an, tandis que les transects en orange et en rouge indiquent une vitesse de régression respective qui varie entre (0 et -1.60 m/an) et (-1.61 et -3.05 m/an). Une tendance régressive se perçoit dans cette zone exposée.

• **LRR corrigé**

La correction de l'LRR donne un résultat comme suit :



**Figure II-38.** Visualisation de la tendance corrigée de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2001-2018.



**Figure II-39.** Variation de la corrélation des vitesses de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone de Zarzouria en m/an entre 2001-2018.

- **Commentaire**

On remarque que le résultat après l'élimination des valeurs critiques change mais la tendance régressive reste dominante avec une vitesse maximale de régression qui atteint -1.68 m/an et la valeur maximale d'accrétion devient 1.61 m/an.

**Discussion et conclusion**

Cette partie d'étude est basée sur une importante campagne de terrain (sorties d'investigations, recherches et plusieurs consultations) nous a permis d'identifier et de caractériser les différents types d'évolution dans notre zone d'intérêt, en effet, on déduit que la majeure partie des deux sites d'études ont une tendance régressive vue les pressions non seulement météorologiques et hydrodynamiques mais aussi des pressions anthropiques qui jouent un rôle déterminant dans l'évolution des traits de côte. On déduit aussi après le traitement des différents résultats, que la méthode des levés DGPS nous a fournis des données directement exploitables, fiables et surtout avec une très grande précision, alors que l'acquisition des données exploitables issues à partir de la comparaison des imageries satellitaires nécessite plusieurs prétraitements et rectifications, mais cela avec une précision plus ou moins réduite.

**CHAPITRE III**  
**MODELISATION HYDRO-SEDIMENTAIRE**

### III. Modélisation hydro-sédimentaire

La méthodologie appliquée dans ce chapitre concerne deux volets, le premier traite la morphologie sous-marine de la zone Algéroise, le second concerne la modélisation du forçage induit par les vagues et les houles sur le littoral de la zone d'étude. En effet, une fois digitalisées, les données (numériques) de la carte bathymétrique sont utilisées dans la modélisation hydro-sédimentaire.

#### III.1 Etude bathymétrique

Les fonds marins constituent généralement le prolongement naturel des structures terrestres, il y a souvent donc une relation étroite entre la géomorphologie du littoral et la topographie générale des fonds.

La profondeur des fonds marins est une donnée essentielle pour un grand nombre de domaines d'activité : scientifique, économique et politique ; La bathymétrie est la science de la mesure des profondeurs de l'océan. (Tassan & Sturm, 1986 ; David, 1988 ; Grid-Geneva, 2000).

L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans l'étude des falaises. Son objectif est de cartographier les fonds marins. Des informations si importantes, à l'échelle spatiotemporelle, peuvent être extraites à partir d'une carte bathymétrique et d'un suivi diachronique de la morphologie sous-marine.

En plus de ces études, la carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières. L'étude topo-bathymétrique peut être aussi utile dans la sélection de l'emplacement et du type de la structure pour se protéger contre la dérive littorale.

Par ailleurs, l'établissement des relevés bathymétriques dans les zones côtières pose de nombreux problèmes matériels. Les méthodes traditionnelles utilisent des moyens, tels que les sondes multifaisceaux sur les navires, qui nécessitent de longues campagnes, s'avérant onéreuses. Ces méthodes restent bien sûres, irremplaçables pour ce qui concerne la bathymétrie des zones profondes et pour les relevés ponctuels, mais il n'est pas toujours possible d'utiliser ces moyens classiques de sondage, soit en raison des difficultés d'accès et de navigation, soit à cause des limites d'utilisation des échosondeurs (moyens limités).

Dans notre cas, les données bathymétriques de la zone algéroise ont été obtenues à partir des cartes marines, Navionics Sonar Chart (TM), téléchargées grâce à l'application **SASplanet**, en format **GeoTiff** (georéférencées), et importées sous un SIG (ArcGis). Après avoir créé un shapefile "point" et digitalisé le maximum de points (environ 24 000 points), les profondeurs sont, ensuite, extraites à partir des isobathes. La bathymétrie obtenue présente des valeurs comprises entre -0.5 jusqu'à 1000m de profondeur.

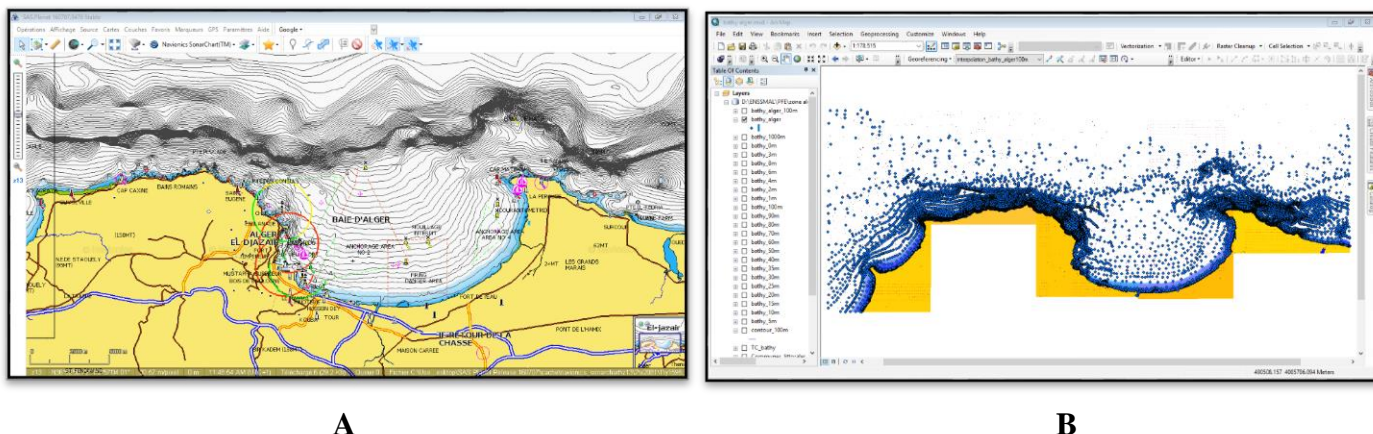


Figure III-1. Acquisition des cartes marines des profondeurs (A) & Extraxion sous ArcGis (B)

Après l’acquisition des données bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées, on a pu passer au traitement numérique de ces données à l’aide du logiciel **ArcGis**, qui utilise des approches numériques pour traiter et gérer ces données, dont l’interpolation.

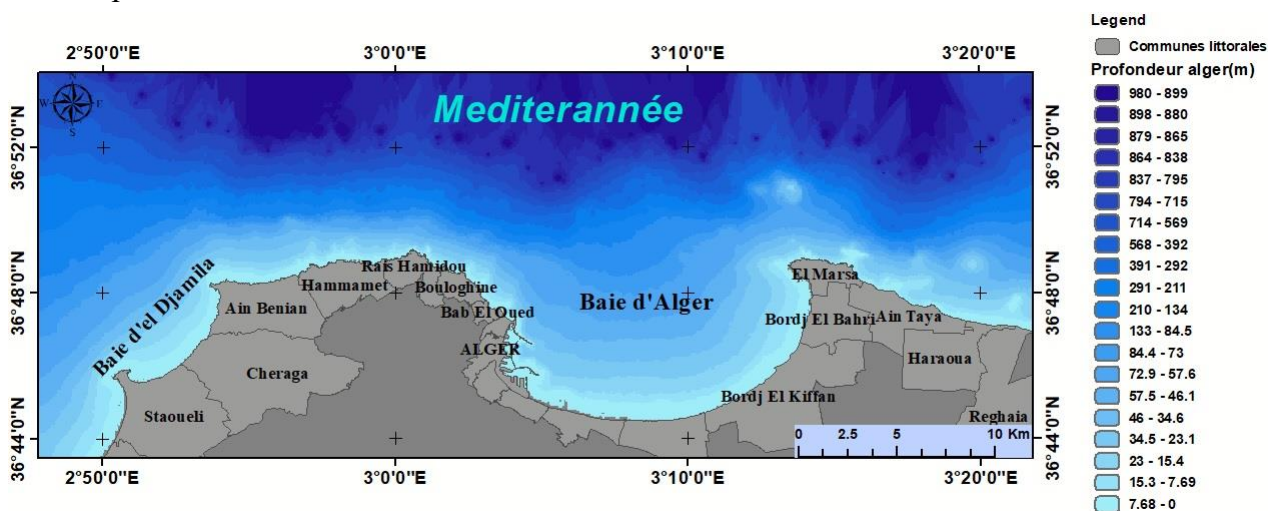


Figure III-2. Morphologie côtière et sous-marine du littoral de zone d'étude.

L’observation des résultats de la morphologie côtière et sous-marine montre l’existence de deux types de fonds :

- Au niveau des côtes rocheuses (zones à falaises) : le fond est irrégulier et les isobathes sont très proches, où on remarque que la pente est abrupte, ce qui est dû à la déformation du fond.
- Aux zones côtières, dites d’accumulation : le fond est plus au moins régulier, la pente évolue sans irrégularités particulières, ce qui correspond au schéma standard des côtes d’accumulations.

Le modèle numérique de terrain (MNT) permet une meilleure observation de cette morphologie, il est projeté à l’aide du logiciel Arc-Scène. (Voir figure III.3).

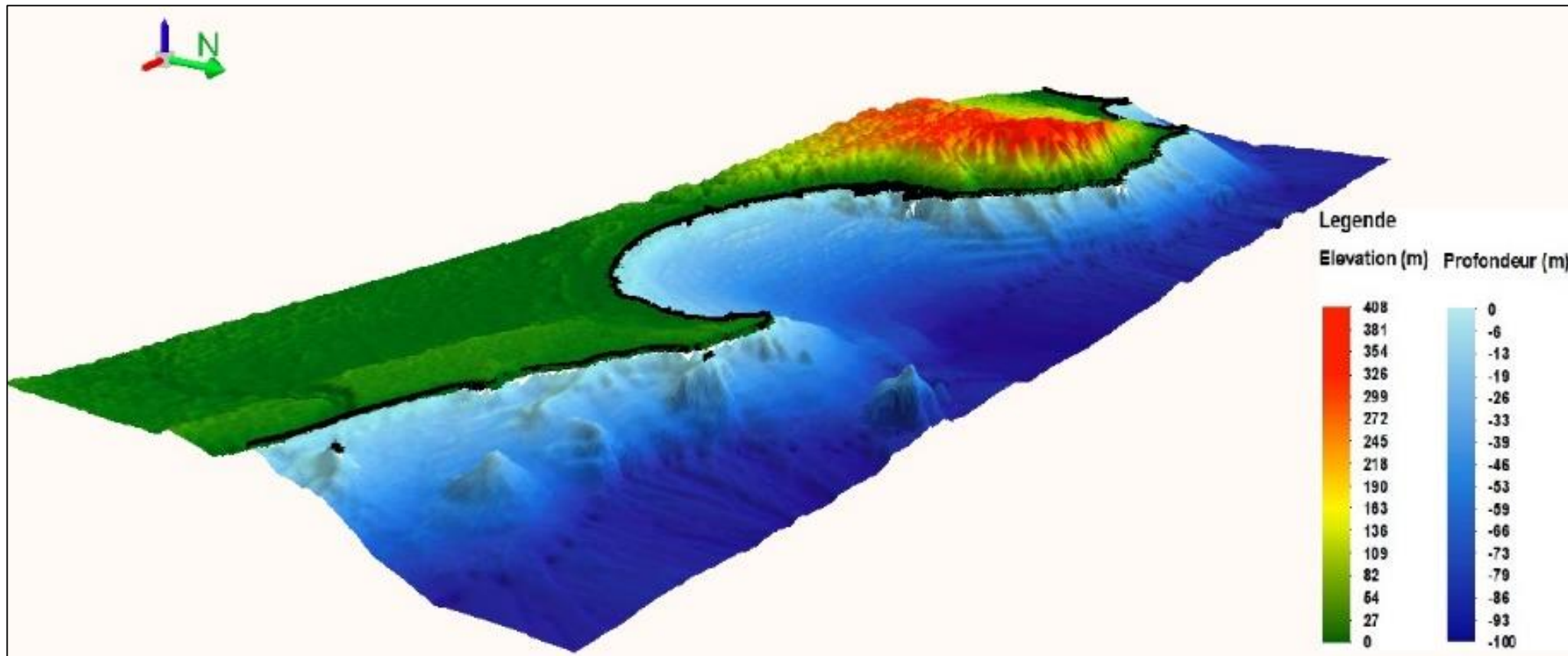


Figure III-3. Modèle numérique de terrain de la zone Algéroise

III.1.1 Bathymétrie du site A

La bathymétrie du site A présente une irrégularité du côté d’El Marsa-Ain Taya, avec une pente abrupte et une morphologie déformée, tandis qu’une pente plus ou moins douce et une morphologie légèrement régulière s’étend du côté Est d’Ain Taya jusqu’à Réghaia.

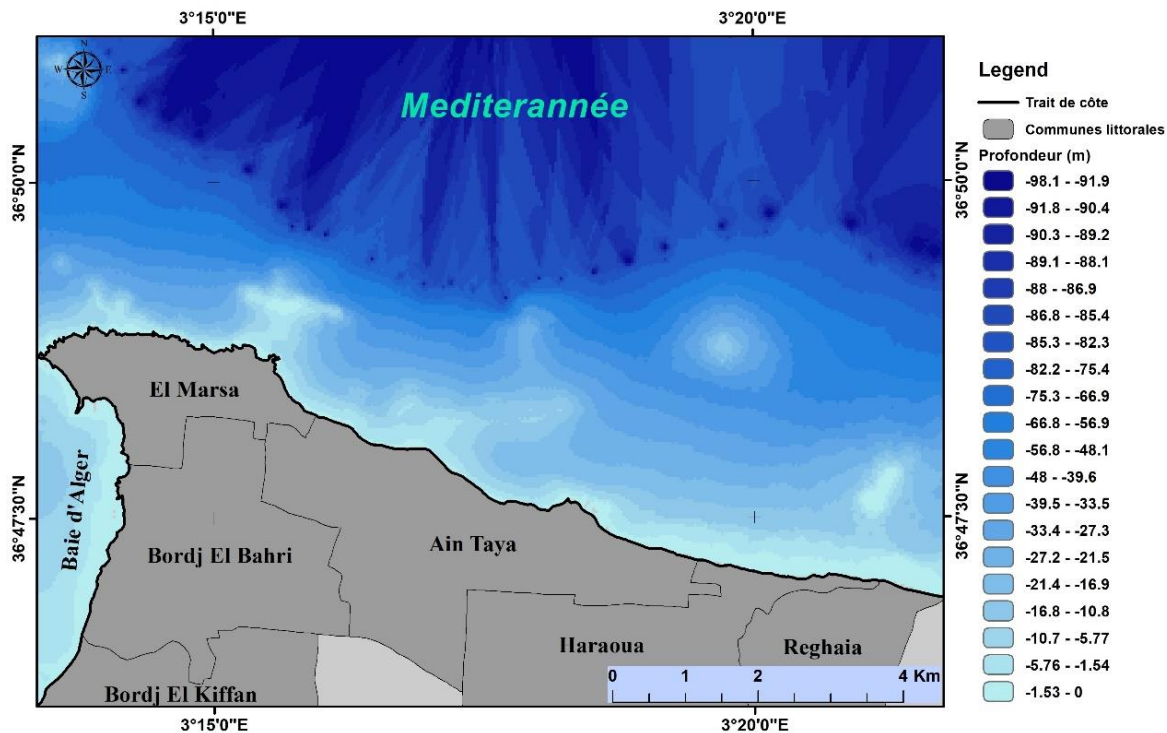


Figure III-4. Morphologie côtière et sous-marine du littoral site A (Est Algérois).

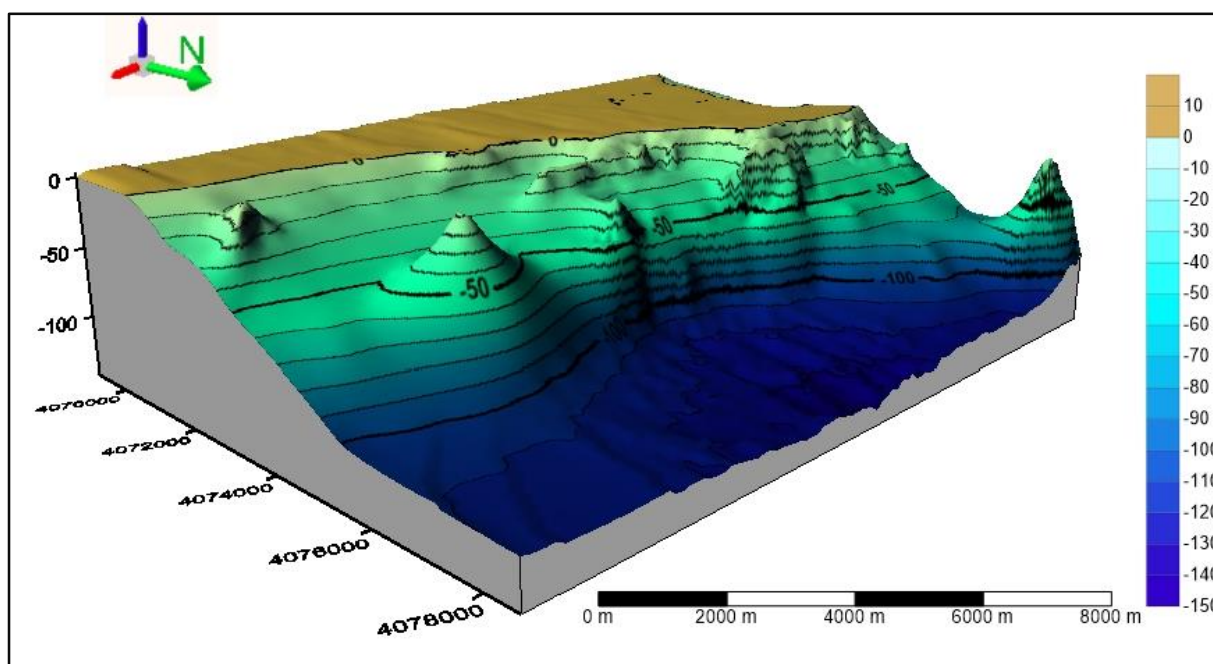


Figure III-5. Model Numérique de Terrain du site A (Est Algérois).

III.1.2 Bathymétrie du site B

La bathymétrie du site B est caractérisé par une irrégularité, observée à l’Est du site de Bab el oued, allant jusqu’à Hammamet, avec une morphologie sous-marine très accidentée et une pente abrupte, tandis qu’une pente plus ou moins douce et une morphologie régulière du côté de Ain Benian.

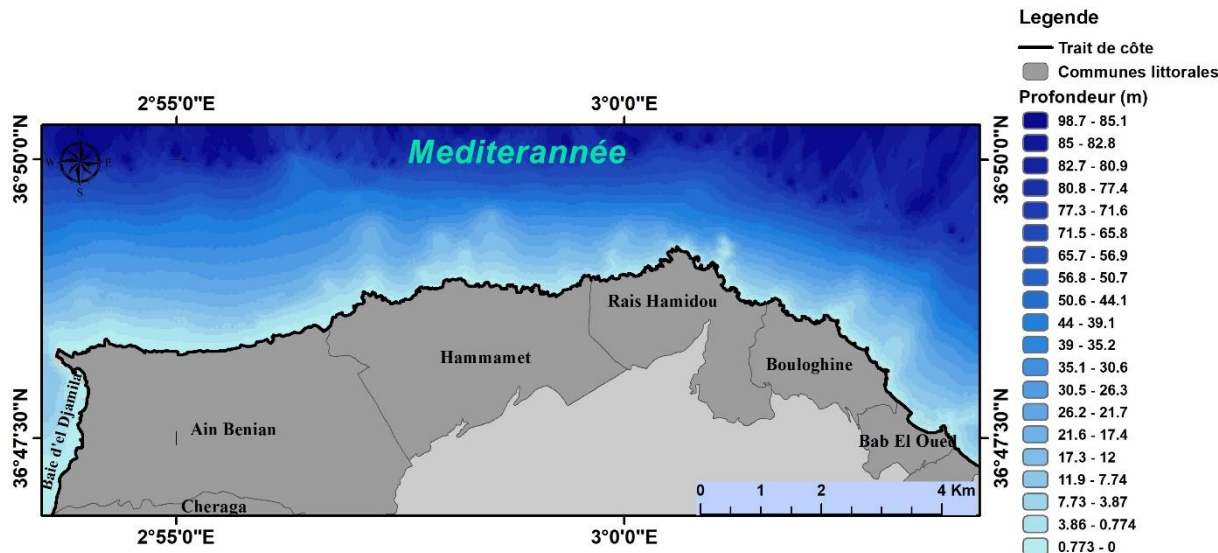


Figure III-6. Morphologie côtière et sous-marine du littoral site B (Ouest Algérois).

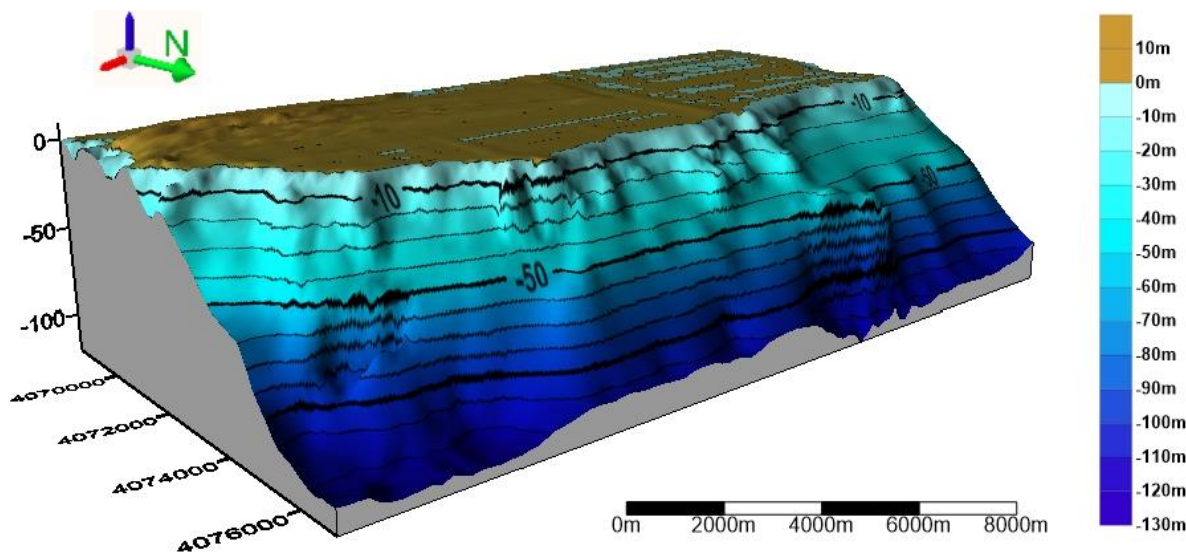


Figure III-7. Model Numérique de Terrain du site B (Ouest Algérois).

III.2 Etude des profils bathymétriques

L’étude des profils bathymétriques consiste à mieux observer et étudier la morphologie sous-marine, et cela va nous confirmer l’étude précédemment réalisée sur les cartes bathymétriques et les MNT. 12 profils ont été établis (Figure II.16), couvrant la globalité la zone d’étude, dans le but de connaître les différentes formes du relief des différents sites d’études.

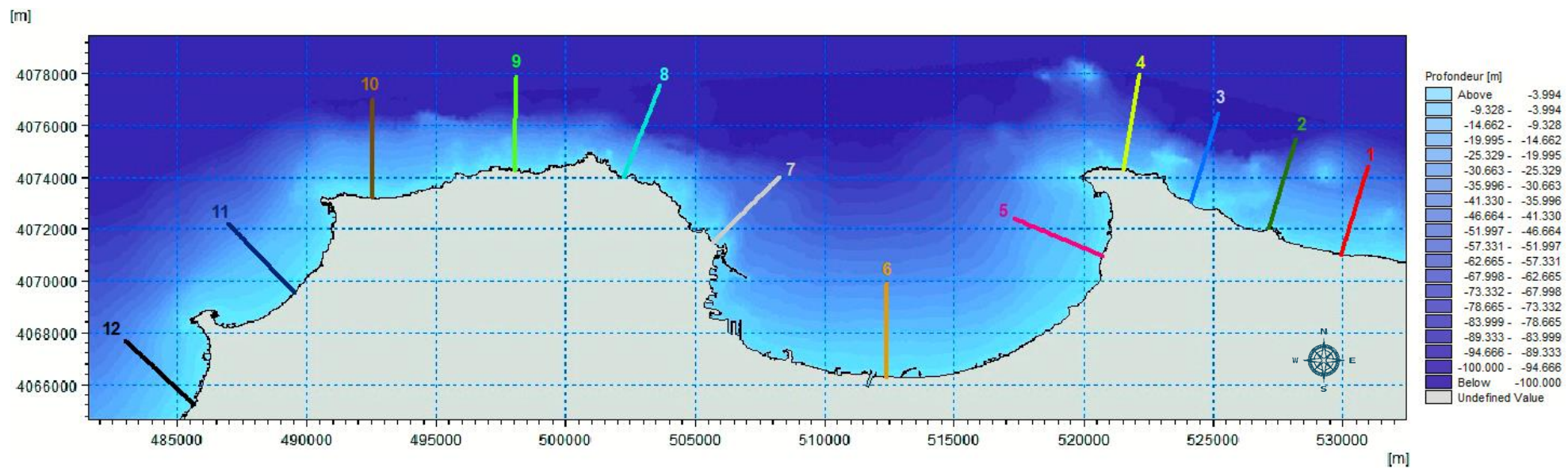


Figure III-8. Carte de répartition des profils bathymétriques

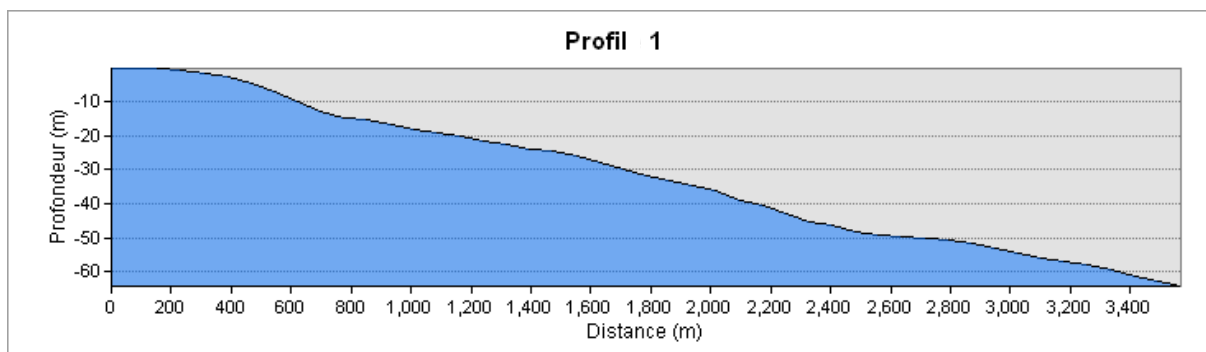


Figure III-9. Profil bathymétrique n°1.

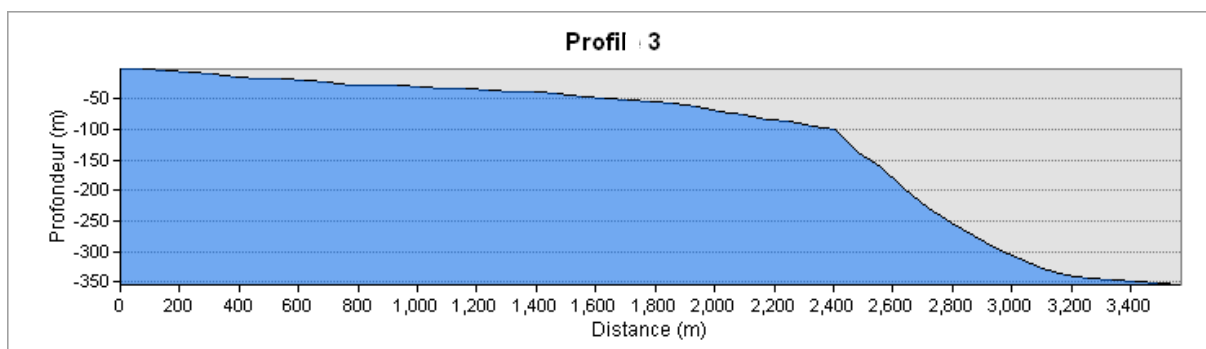


Figure III-10. Profil bathymétrique n°3.

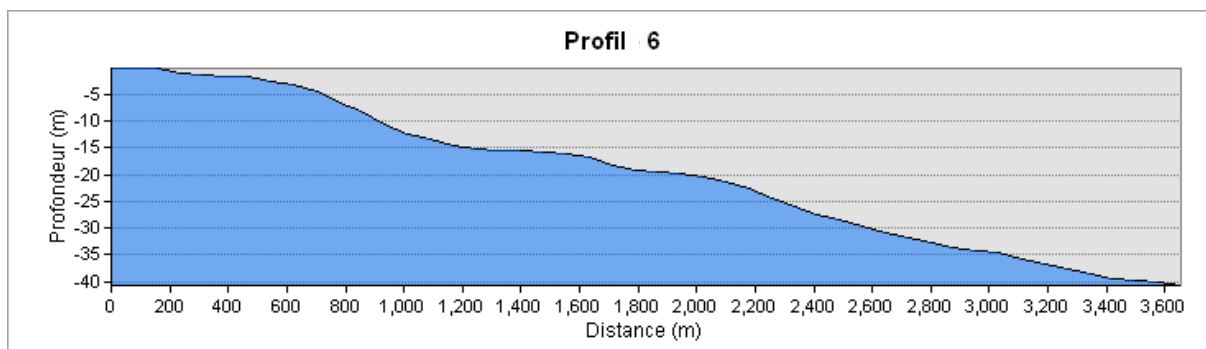


Figure III-11. Profil bathymétrique n°6.

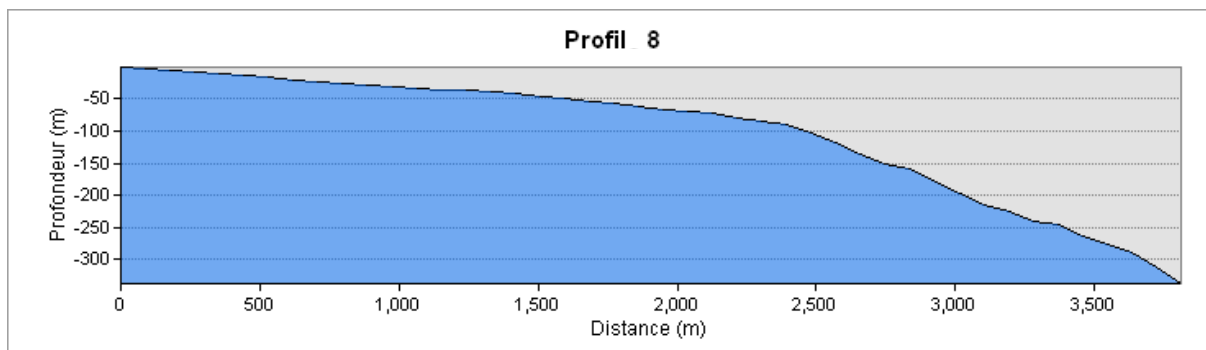
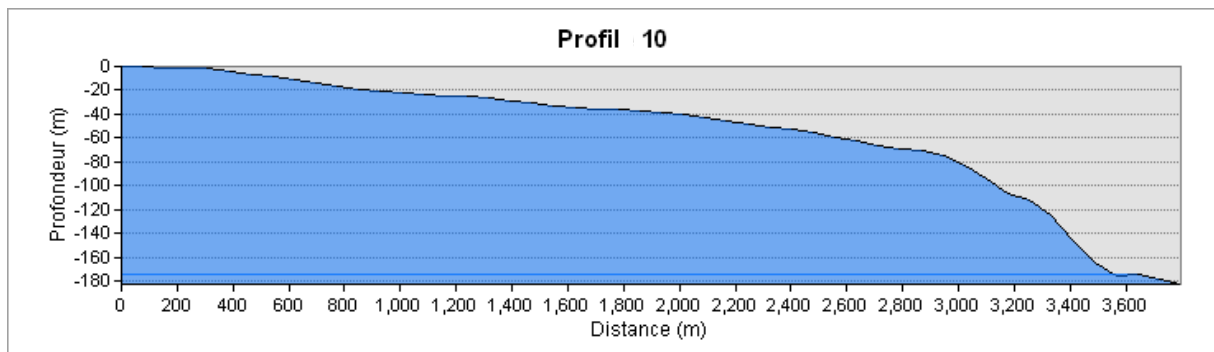
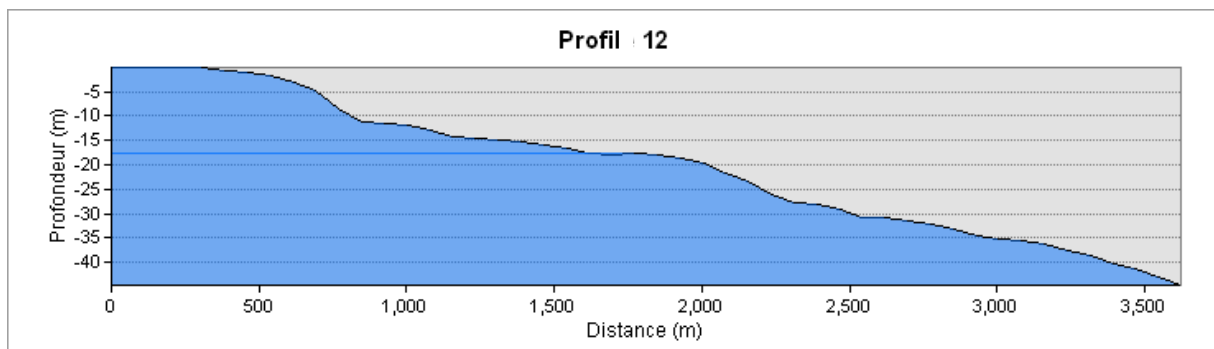


Figure III-12. Profil bathymétrique n°8.



**Figure III-13.** Profil bathymétrique n°8.



**Figure III-14.** Profil bathymétrique n°12.

#### - Commentaire

Les profils précédents représentent la variation de la profondeur en fonction de la distance, ces derniers présentent une pente relativement douce du côté des zones peu profondes du site A (du côté de Reghaia et l'Est de Ain taya), de la baie d'Alger et l'Ouest du site B, avec des irrégularités de la pente au tour de ~5m, 15m et 20m de profondeur.

Contrairement aux zones Ouest de Ain taya, El Marsa, et presque tout le long du site B, qu'on peut considérer comme zone profondes par rapport aux précédentes, et qui présentent une pente douce jusqu'à 100m de profondeur, pour entamer une rupture de pente brusque mais cela n'est que sur une distance de ~2400m.

L'étude des profils nous a non seulement confirmé les études précédemment réalisées sur les cartes bathymétriques et les MNT, mais aussi nous a montré que les zones d'intérêt (zones à falaises) sont des zones profondes avec des irrégularités remarquables sur la pente.

L'étude hydro sédimentaire va apporter des résultats approfondis confirmant les données et les études réalisées précédemment.

### III.3 Etude hydro-sédimentaire

Cette étude a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique littoral. Son intérêt est fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation de ces phénomènes ; dans notre étude, cela sera principalement dans les zones à falaises.

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le « MIKE21 » qui est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI), et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré (grille triangulaire).

### III.3.1 Description du modèle de simulation MIKE21

Le MIKE21 est un progiciel destiné aux professionnels du génie côtier, il comporte plusieurs codes de calculs et de modélisation numérique en 2D.

La modélisation de la dynamique sédimentaire en milieu côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles. Il s'ensuit que l'approche modélisatrice doit faire appel à un système de modélisation intégré il s'agit du model « MIKE 21/3 Coupled Model FM », comprenant un couplage de 3 modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de houle et un modèle de transport sédimentaire de particules non-cohésifs, sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants. (LARBI, 2017)

Dans ce contexte, le module MIKE21/3, comprend les calculs suivants :

- MIKE 21-SW (Spectral Waves Flexible Mesh).
- MIKE 21-HD (Hydrodynamic model).
- MIKE 21-ST (Non-Cohesive sediment transport).

#### III.3.1.1 Modèle numérique spectral Wave (MIKE 21-SW)

Modèle spectral de vague de 3ème génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague-vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle MIKE21-NSW.

#### III.3.1.2 Modèle numérique hydrodynamique (MIK 21-HD)

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.

#### III.3.1.3 Modèle numérique de transport de sable (MIKE 21-ST)

Le modèle MIKE 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiment non cohésifs (Sable) sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues.

Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houle et des courants combinés. Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport.

Ces tableaux doivent être générés au préalable par « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Generation of Q3D Sediment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré. (DHI, 2014)

Pour analyser plus dans le détail la dynamique littorale de deux zones d'intérêt (zone à falaise), deux domaines détaillés ont été mis en place. Les domaines couvrent la zone côtière du Site A (Est) et du site B (Ouest), et cela avec le domaine global couvrant toute la zone algéroise, et des données de bases bien précises et indispensables qui sont : les données bathymétriques, les données du vent (données de 1 an, 2017), données de houle au large et les secteurs d'incidences.

#### a. Données bathymétriques

Les données bathymétriques sont obtenues lors de l'étude bathymétrique précédemment réalisée, qui seront présentés sous forme d'un maillage avec l'extension « .mesh »

#### b. Le choix des secteurs

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposées, d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large. L'orientation du trait de côte a permis de déterminer les secteurs favorables à la zone d'étude (figure III.15).

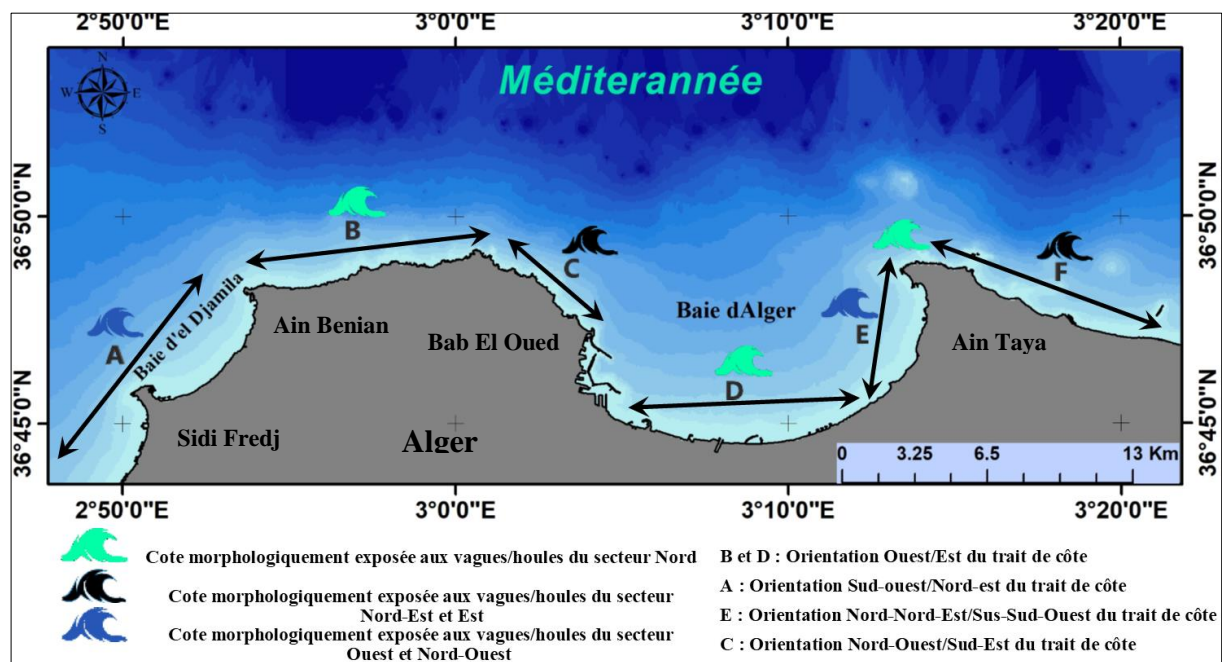


Figure III-15. Orientation locale du trait de côte de la zone d'étude.

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

Les secteurs de vague privilégiés sont comme suit :

- Domaine global : E (90°), NE (45°), N (360°), NO (315°), O (270°).
- Domaine des sites A et B : NE (45°), N (360°), NO (315°).

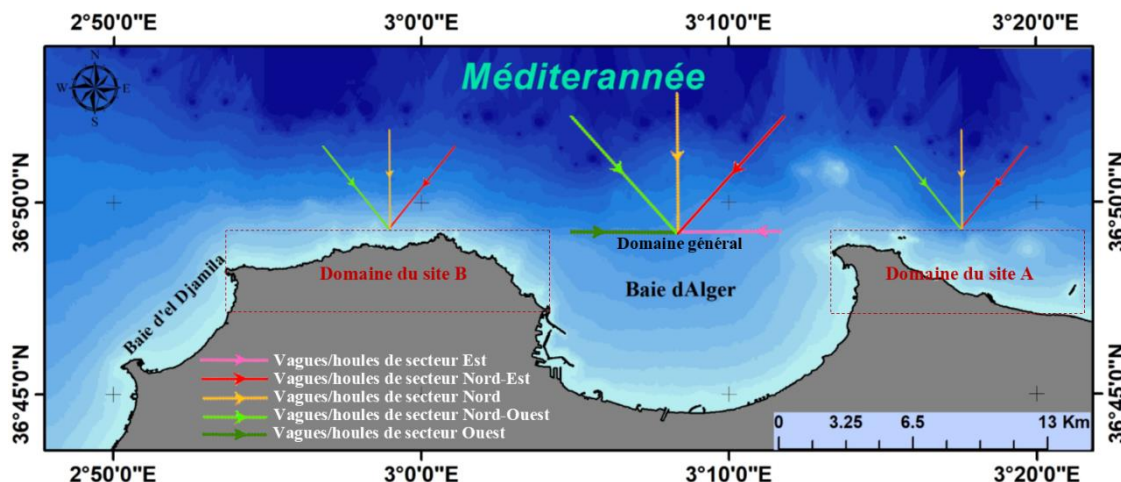


Figure III-16. Les vagues sélectionnées comme entrée pour le modèle hydrodynamique.

**c. Données de houle au large de la baie d’Alger**

Les données de la houle se caractérisent par la hauteur significative, période et direction. Pour notre étude nous avons utilisé celles de la période de 8s car elles sont les plus fréquentes.

Tableau III-1. Données retenus de la houle au large.

Secteurs	E (90°)	NE (45°)	N (360°)	NO (315°)	O (270°)
Hauteur significative (m)	2.53	2.56	2.67	2.64	2.67

**III.3.2 Etapes de réglages du model pour la simulation avec le MIKE21**

En premier lieu il est important de créer un Mesh File Avant d’entamer la simulation, ce dernier relie la profondeur des eaux, extraite de données bathymétriques avec le système de référence ZH, à chaque point du domaine. Il contient donc les informations concernant la profondeur, les limites du mesh file (Boundary) et les éléments du maillage qui sont de type triangulaire plus serrés à la côte. (LARBI, 2017)

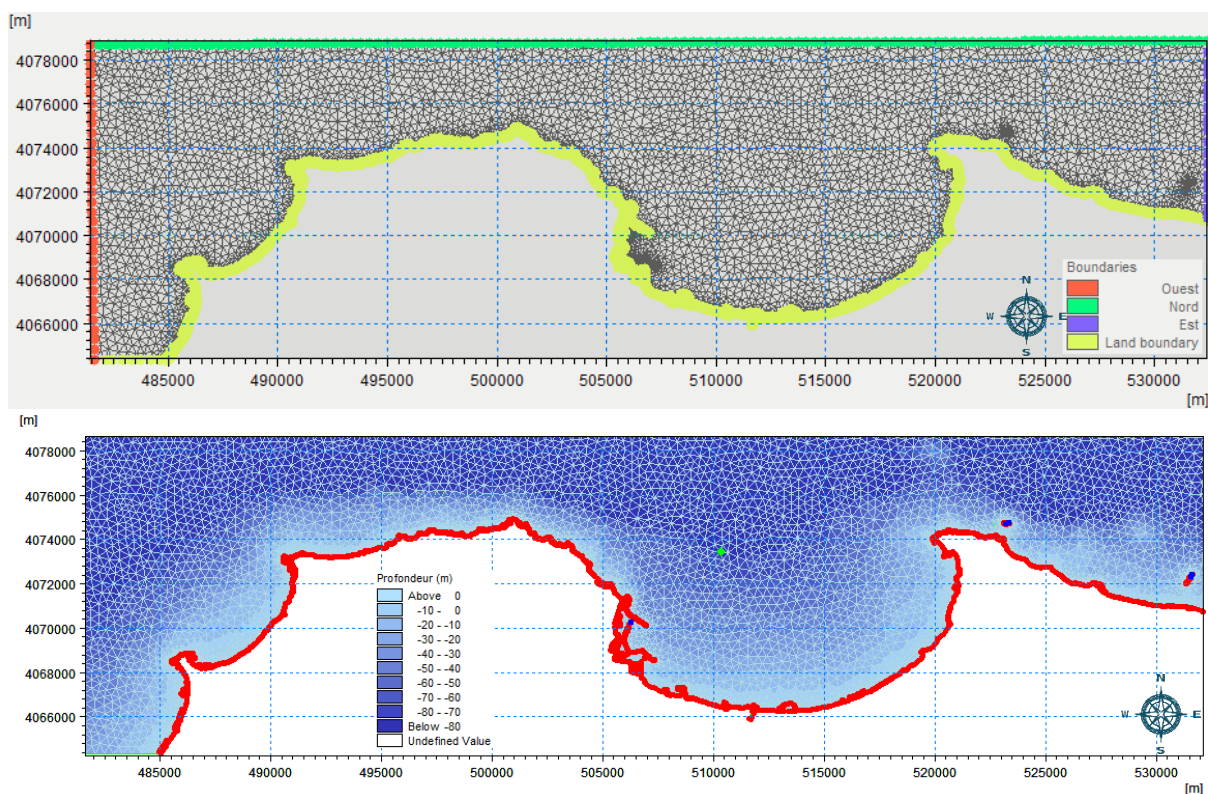


Figure III-17. Maillage de la zone Algéroise.

Après la création du Mesh file, l'étape qui suit est les réglages du SETUP qui contient les données de base pour la simulation :

- En premier lieu, introduire le domaine d'étude (mesh file), puis on précise la durée de simulation qui est de 1 ans (8760 h) avec un intervalle de 3 heures ou de 24h un intervalle d'une heure, c'est-à-dire que chaque une heure on aura un résultat (Output), (dans notre cas cela dépend de l'intervalle de prise des données du vent).
- Puis on génère la table sédimentaire (Q3D Sédiment Transport Table) qui permet de calculer les taux de transport des sédiments non cohésifs ( $m^3/s/m$ ) en utilisant l'effet combiné des vagues et du courant, ceci pour le modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST.
- Enfin on termine la préparation des données de simulation en rentrant la hauteur, la direction et la période des différentes houles au niveau du modèle numérique Spectral Waves (MIKE 21-SW).

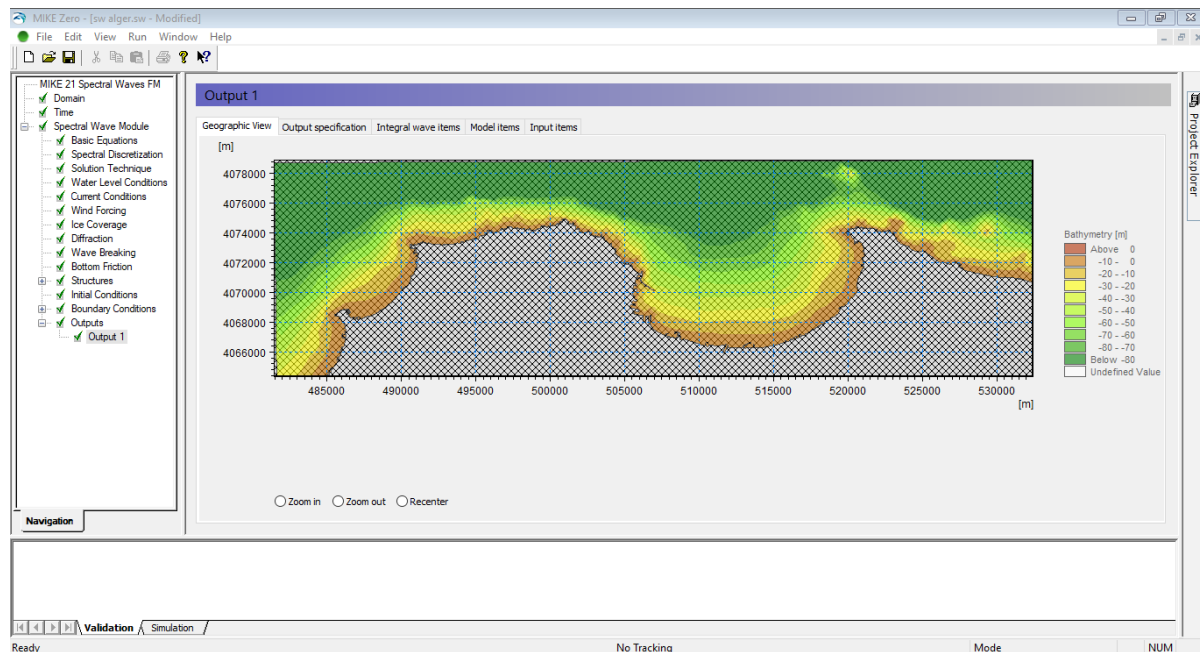


Figure III-18. Réglage du modèle couplé « Coupled Model ».

### III.3.3 Résultats de la simulation

Les résultats de simulation sont présentés ci-après, les directions considérées sont Nord-Est et Nord-Ouest, les autres directions sont en Annexes.

#### III.3.3.1 Domaine global

##### a. Réfraction de la houle

L’observation des résultats de la modélisation des vagues du secteur NE (figure III.19) montre que les vagues sont moins amorties au niveau d’El Marsa, zone côtière comprise entre le Port d’Alger et Ain Benian et à moindre degré sur le littoral de la Baie d’Alger et d’El Djamila. Et les zones côtières les plus exposées aux vagues du secteur NE sont situées au niveau des littoraux rocheux et les zones à falaises où les vagues déferlantes se dissipent modérément.

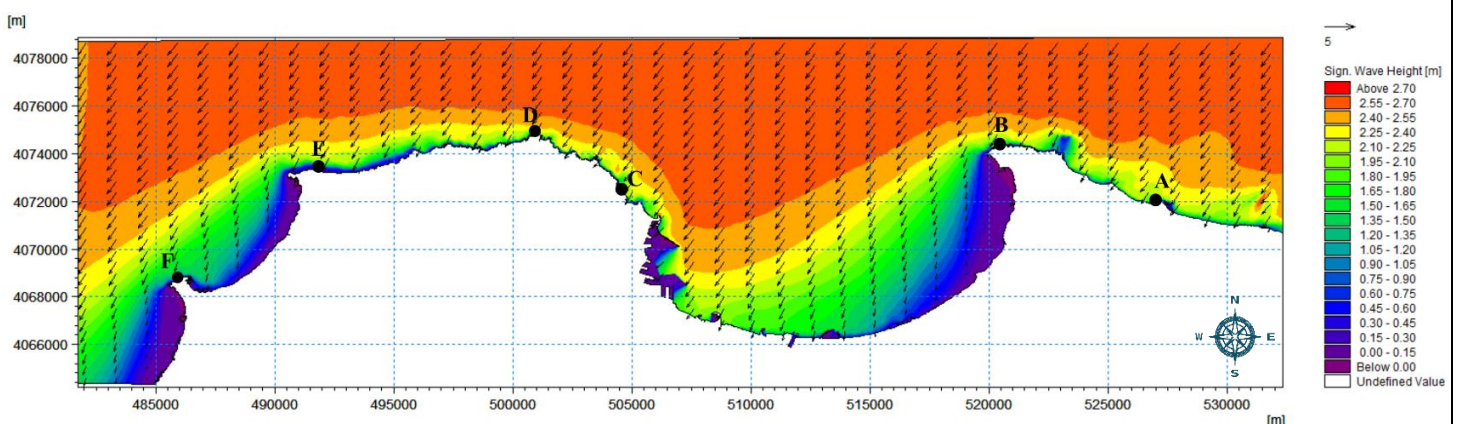
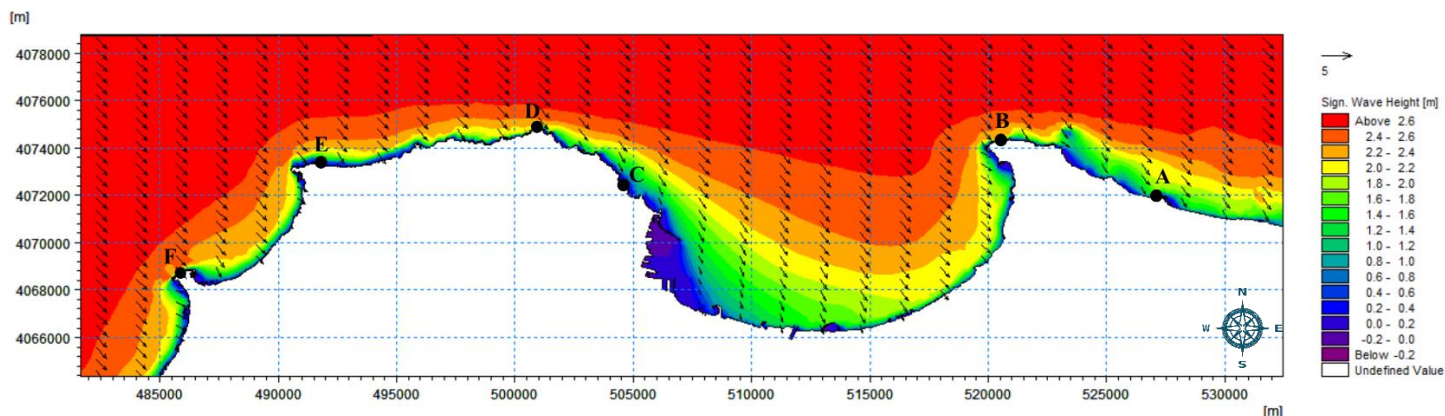


Figure III-19. Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise Vagues du secteur NE.  $H_s = 2.56 \text{ m}$ .  $T = 8 \text{ s}$

En ce qui concerne les vagues du secteur NO (figure III.20), le modèle montre que celles-ci atteignent la région Ouest, comprenant Sidi fredj, Ain Benian et Rais Hamidou avec moins de dissipation. Sauf le Cap de Tamentfouset, ces mêmes vagues (NO) sont toutefois moins énergiques au niveau de la partie est et centrale de la zone d'étude, ceci s'interpréterait facilement du fait que la pente devient relativement douce ce qui provoque la perte de cette énergie.



**Figure III-20.** Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise vagues du secteur NO.  $H_s = 2.64$  m.  $T = 8$  s.

L'observation combinée du forçage induit par les vagues des secteurs NE et NO montre que les zones côtières à forts potentiels énergétiques sont essentiellement causés par :

- Leur degré d'exposition aux vagues provenant du large ;
- Des positions par rapport aux caps et promontoires voisins ;
- Des pentes sous-marines proches côtières.

En ce qui concerne la puissance des vagues transportée par front d'onde, elle est proportionnelle notamment à la hauteur significative des vagues. Elle s'exprime par l'équation suivante :

$$P = 0.4 H_s^2 T \text{ (kW/m)}$$

Avec  $H_s$ , hauteurs significatives des vagues (m) et  $T$ , période de pic du spectre (s). (Y. Hemdane,, M. Bouhmadouche, & F. Atroune, 2016).

**Tableau III-2.** Estimation de la puissance des vagues dans la zone de déferlement des vagues de la zone d'étude.

Puissances potentielles des vagues (P) en kW/m, dans la zone de déferlement des vagues de la zone d'étude.						
Vagues du secteur NO						
	A	B	C	D	E	F
Hs (m)	0.55	1.05	0.09	0.55	0.40	0.98
T(s)	8	8	8	8	8	8
P (kW/m)	0.968	3.528	0.0259	0.968	0.512	3.073
Vagues du secteur NE						
Hs (m)	0.57	0.95	2.02	1.84	0.39	0.52
T(s)	8	8	8	8	8	8
P (kW/m)	1.040	2.888	13.057	10.834	0.487	0.865

Le Tableau illustre les résultats de l'estimation de la puissance des vagues (P) en (kW/m) représentées par des points situés dans la zone de déferlement des vagues de la zone d'étude (profondeurs inférieures à 10 m) (figure III.21). Ces résultats font état de niveau de puissance atteignant  $\approx 3$  kW/m et 13 kW/m, respectivement pour les vagues des secteurs NO et NE.

Il est à noter que ces estimations sont relatives aux vagues fréquentes régulant la zone côtière de la zone d'étude. En effet, ces estimations peuvent facilement dépasser 20 kW/m et 100 kW/m respectivement lors des périodes de tempêtes modérées et de fortes tempêtes. (Y. Hemdane,, M. Bouhmadouche, & F. Atroune, 2016).

### III.3.3.2 Domaine Est (site A)

#### a. Action des houles de secteur Nord-Est (45°)

- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)

L'observation des résultats de la simulation de la réfraction de la houle (de secteur NE) sur le domaine du site A révèle que l'effet principal observé dans le champ de vague est la réfraction autour de deux petites îles du côté Est (Bounettah) et Ouest de la zone modélisée du site A. Leur présence génère une zone abritée qui se montre d'autant plus grande que la vague est haute.

Les régions Est (El Marsa) et centrale (Ain Taya) sans les moins abritées sous l'effet des vagues du secteur NE.

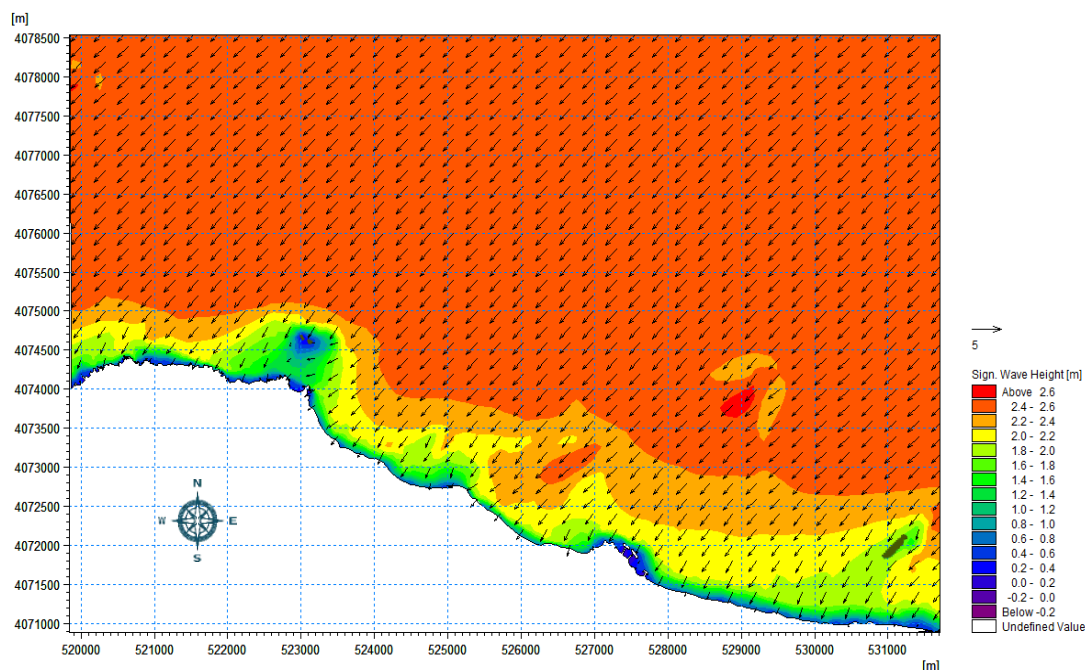


Figure III-21. Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A. Vagues du secteur NE  $H_s = 2.56$  m.  $T = 8$  s.

- Courantologie (Hydrodynamic, HD)

La figures suivantes montrent les résultats hydrodynamiques obtenus avec les vagues du secteur NE. Elles génèrent un courant le long de la côte dirigé essentiellement vers l'Ouest qui s'écoule près de la côte. Les déviations de ce dernier sont dues à la présence des petits îlots et rochets qui donnent un effet de réfraction, et ensuite une zone plus abritée, qui force la déviation dans le chemin des courants, ou les vitesses sont plus grandes du côté Est (Réghaïa). L'îlot présent à l'Ouest du site (large d'El Marsa) provoque la diversion du courant, vers l'ouest et un autre vers l'est qui se retrouvera ensuite face au courant venant de l'est, cela provoque un champ de courant local de forme tourbillonnaire suivant le sens des aiguilles d'une montre.

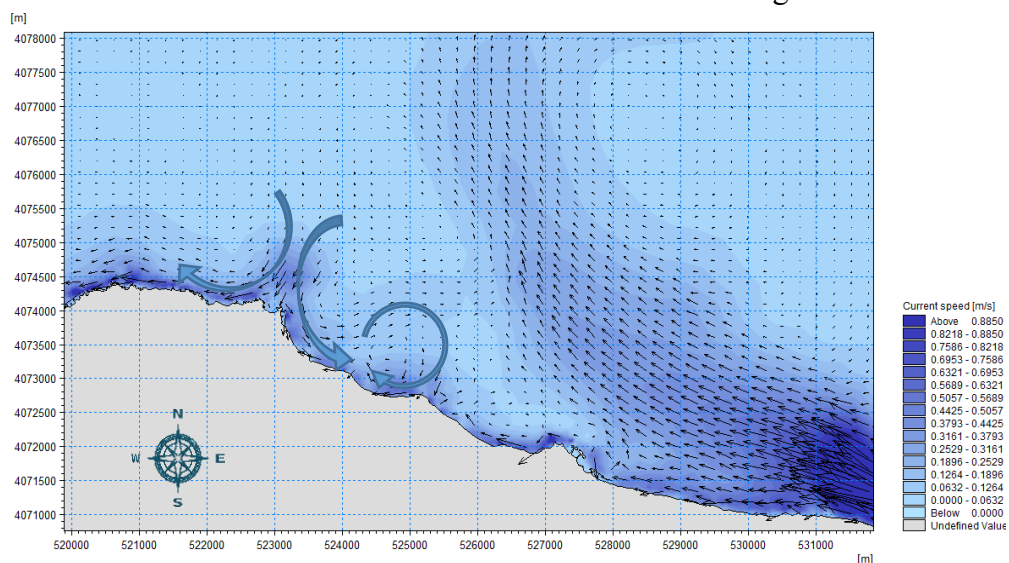
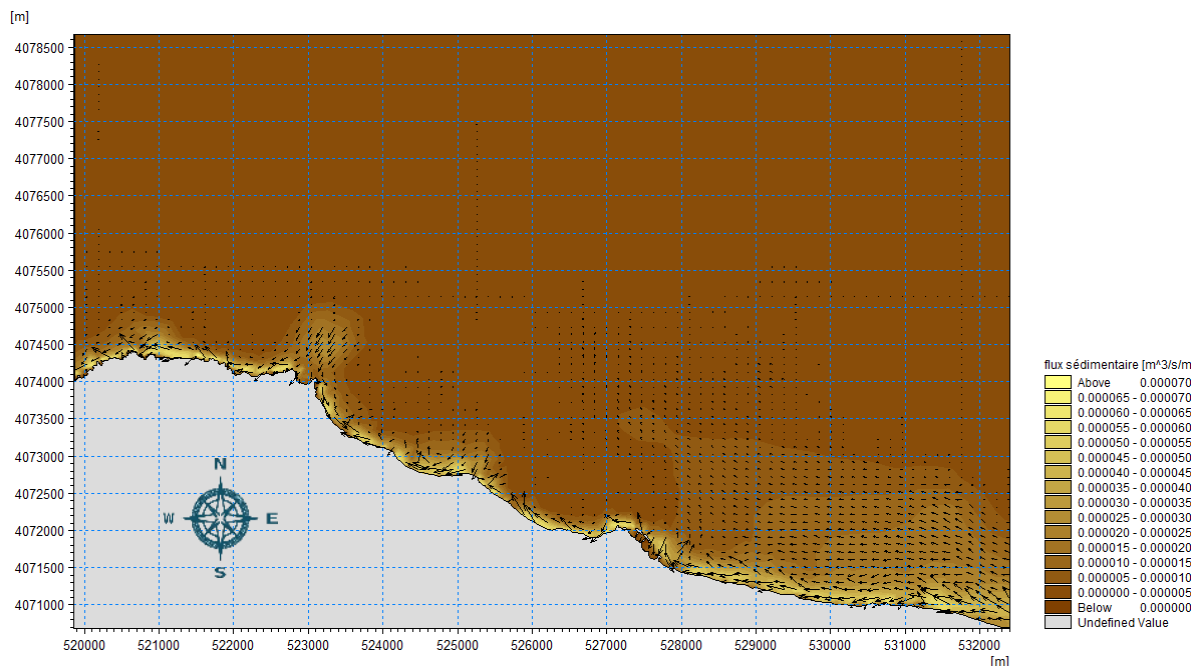


Figure III-22. Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NE,  $H_s = 2.56$  m.  $T = 8$  s.

- **Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)**

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude (site A) suit relativement l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologie, le gradient de couleur du jaune jusqu'au marron ainsi que les vecteurs vitesses, traduisant des capacités de transport solide du plus important vers le moins important.

Le transport total de sédiments, montré dans la figure II.25, est généralement orienté vers l'Ouest, ou le mouvement des particules solide suivant la dynamique des champs de courant donne un mouvement de divergence à l'Est avec la présence du mouvement tourbillonnaire.



**Figure III-23.** 25 Répartition du flux sédimentaire au site A. Vagues du secteur NE,  $H_s = 2.56$  m.  $T = 8s$ .

**b. Action des houles de secteur Nord-Ouest (315°)**

- **Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)**

L'observation des résultats de la simulation de la réfraction de la houle (de secteur NO) sur le domaine du site A révèle que l'effet principal observé dans le champ de vague comme celui du secteur précédent (NE), et qui se traduit par la réfraction autour de deux petites îles du côté Est (Bounettah) et Ouest de la zone modélisée du site A. Leur présence génère une zone abritée qui se montre d'autant plus grande que la vague est haute.

La région Ouest comprenant Tamenfouset et El Marsa, est la moins abritée sous l'effet des vagues du secteur NO.

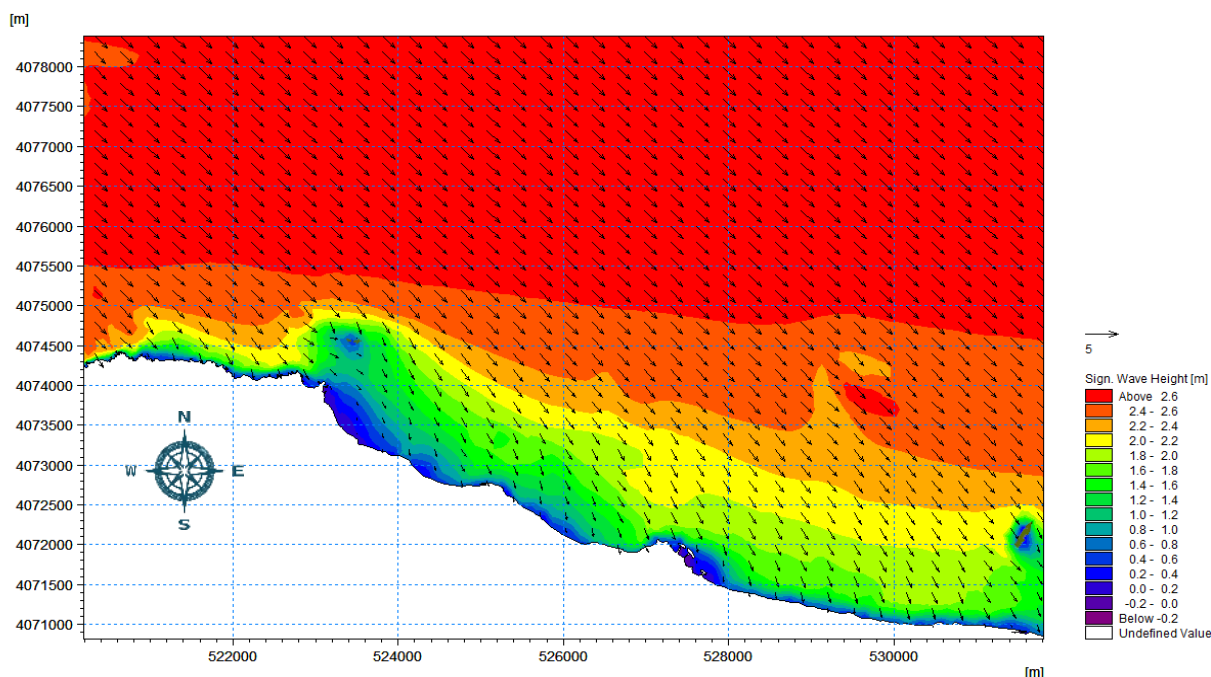


Figure III-24. Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A. Vagues du secteur NO,  $H_s = 2.64$  m.  $T = 8s$ .

- Courantologie (Hydrodynamic, HD)

Les courants littoraux induits par la houle sont de direction Ouest-Est et évoluent près de la côte. Les vitesses du courant varient au voisinage du rivage d’une manière relativement régulière, qui sont plus grandes du côté Ouest du site avec la naissance d’un champ de turbulence (au contact avec la partie rocheuse de Tamenfouset), et provoque deux champs rotationnels au sens des aiguille de la montre, près de la côte d’El Marsa, qui sont due à une diffraction du champ principal au passage de l’ilot.

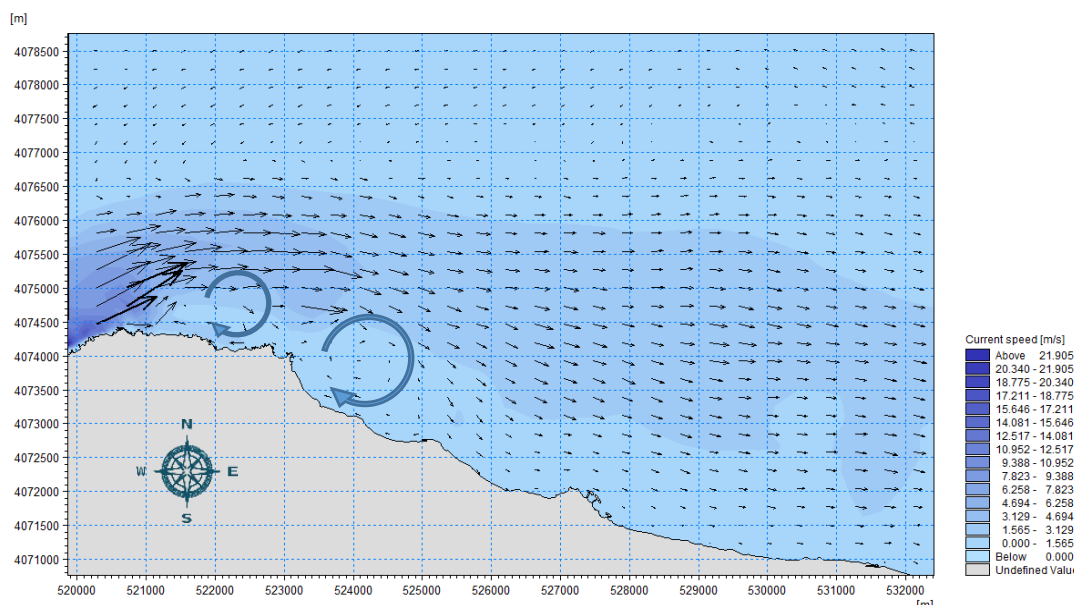
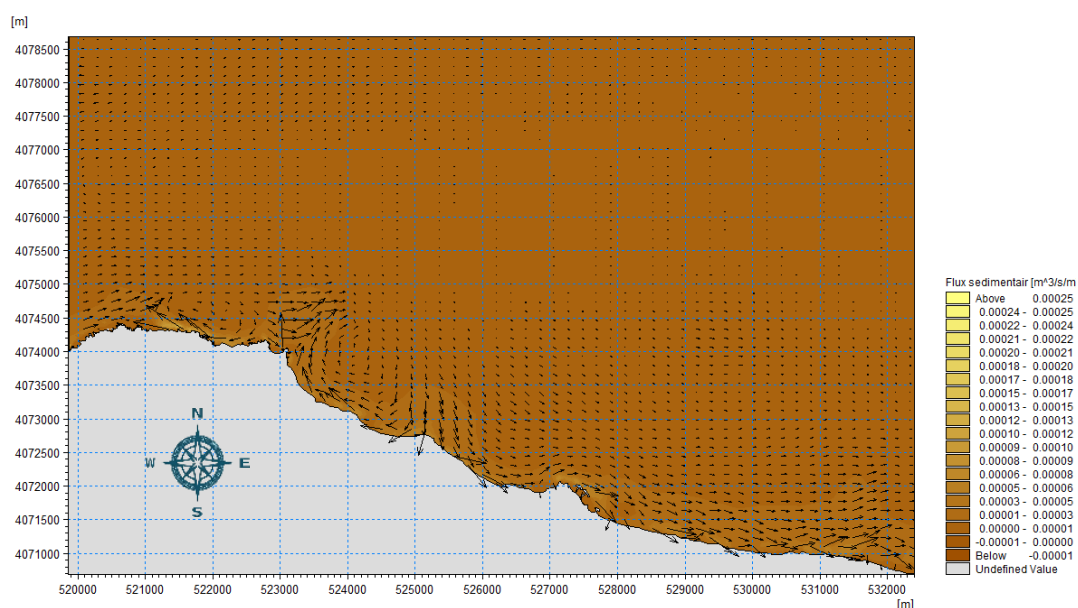


Figure III-25. Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NO,  $H_s = 2.64$  m.  $T = 8s$

- **Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)**

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude (site A) reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologie, le gradient de couleur du jaune jusqu'au marron ainsi que les vecteurs vitesses, traduisant des capacités de transport solide du plus important vers le moins important.

Le transport total de sédiments, projeté dans la figure, est généralement orienté vers l'Est, ou le mouvement des particules solide suivant la dynamique des champs des courants donne un mouvement de convergence à l'Est avec la présence des mouvements tourbillonnaires au sens des aiguilles d'une montre sur la côte d'El Marsa.



**Figure III-26.** Répartition du flux sédimentaire au site A. Vagues du secteur NO,  $H_s = 2.64$  m.  
 $T = 8$  s.

### III.3.3.3 Domaine Ouest (site B)

#### a. Action des houles de secteur Nord-Est ( $45^\circ$ )

- **Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)**

Les résultats de la simulation de la réfraction de la houle (de secteur NE) sur le domaine du site B ont montrés que cette région est ouverte à l'effet de ces dernières, ou elles ont un effet remarquable surtout sur les falaises de Rais Hamidou avec des hauteurs qui peuvent atteindre 0.95m.

La région Est comprenant Bab El Oued, Bouloghine et Rais Hamidou est la moins abritée sous l'effet des vagues du secteur NE.

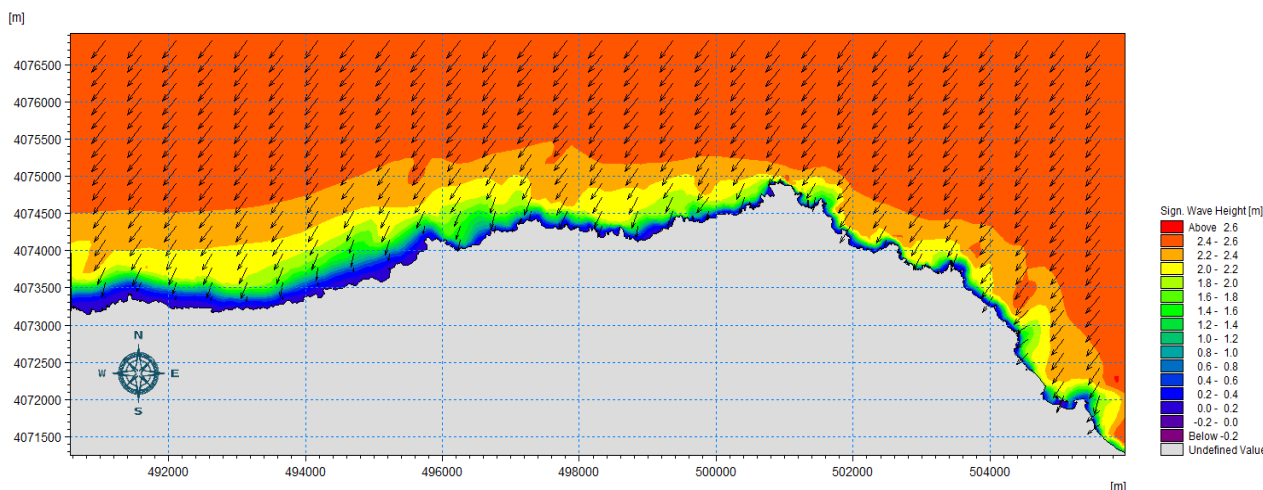


Figure III-27. Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A. Vagues du secteur NE,  $H_s = 2.56$  m.  $T = 8$  s.

- Courantologie (Hydrodynamic, HD)

Les courants littoraux induits par la houle sont de direction Est-Ouest et évoluent près de la côte. Les vitesses du courant varient au voisinage du rivage d'une manière turbulente à l'Est au environ de Rais Hamidou et relativement régulière et assez intense sur tout le littoral de Hammamet et Ain Benian, avec un maximum de 1.54 m/s.

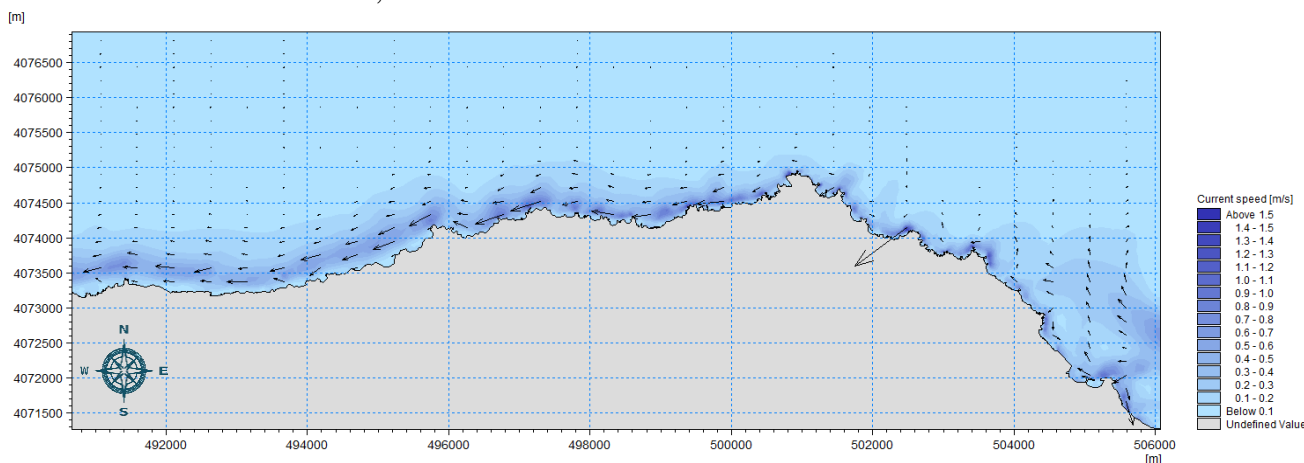
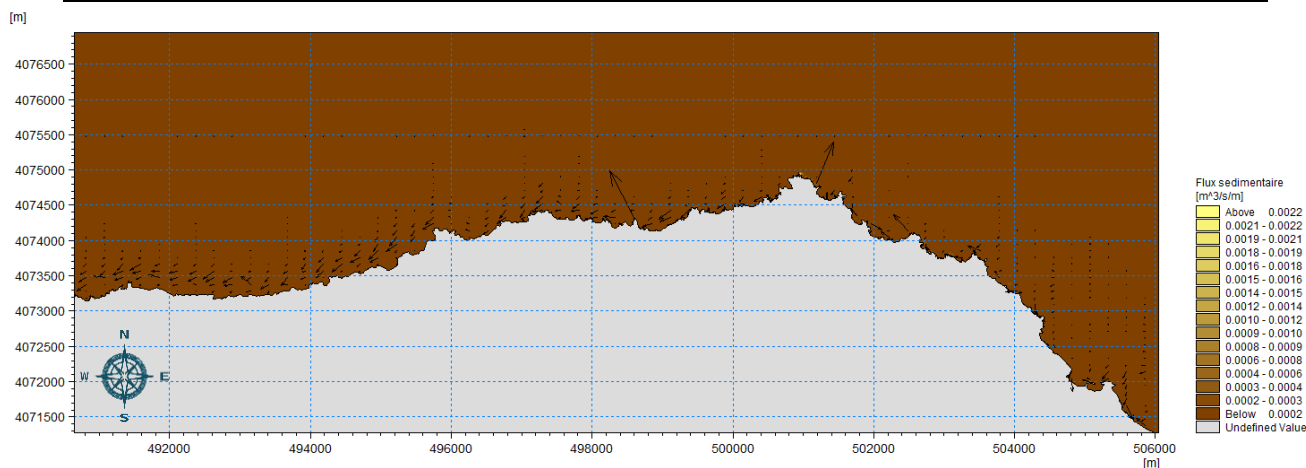


Figure III-28. Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NE,  $H_s = 2.56$  m.  $T = 8$  s

- Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

Le transit sédimentaire dans cette zone (site B) suit l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants qui est généralement orienté vers l'Ouest. Sur le plan Sédimentologie, le transit n'est pas très remarqué, et cela est dû au fait que la zone est rocheuse et très accidentée, par contre il est plus remarquable à l'ouest où la bathymétrie est plus régulière et moins accidentée.



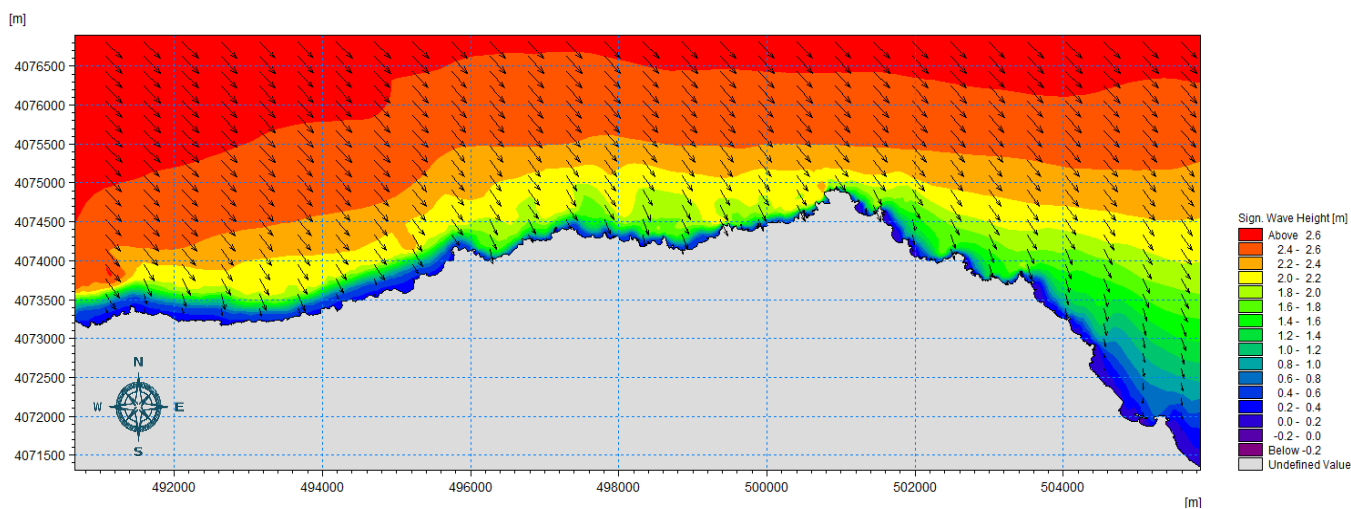
**Figure III-29.** Répartition du flux Sédimentaire au site B. Vagues du secteur NE,  $H_s= 2.56\text{ m}$ ,  $T= 8s$ .

**b. Action des houles de secteur Nord-Ouest (315°)**

- **Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)**

L’observation des résultats de la simulation de la réfraction de la houle (de secteur NO) sur le domaine du site B, révèle que l’effet principal observé dans le champ de vague est concentré à l’Ouest, contrairement au reste des zones du site où l’énergie est dissipée.

La région Ouest de Ain Benian est la moins abritée sous l’effet des vagues du secteur NO.



**Figure III-30.** Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site B. Vagues du secteur NO,  $H_s= 2.64\text{ m}$ ,  $T= 8s$ .

- **Courantologie (Hydrodynamic, HD)**

Les courants littoraux induits par la houle sont de direction orientés vers l’Est et évoluent près de la côte. Les vitesses du courant varient au voisinage du rivage d’une manière régulière sur tout le site, ou les vitesses à l’ouest sont les plus importantes avec un maximum de 1.17 m/s.

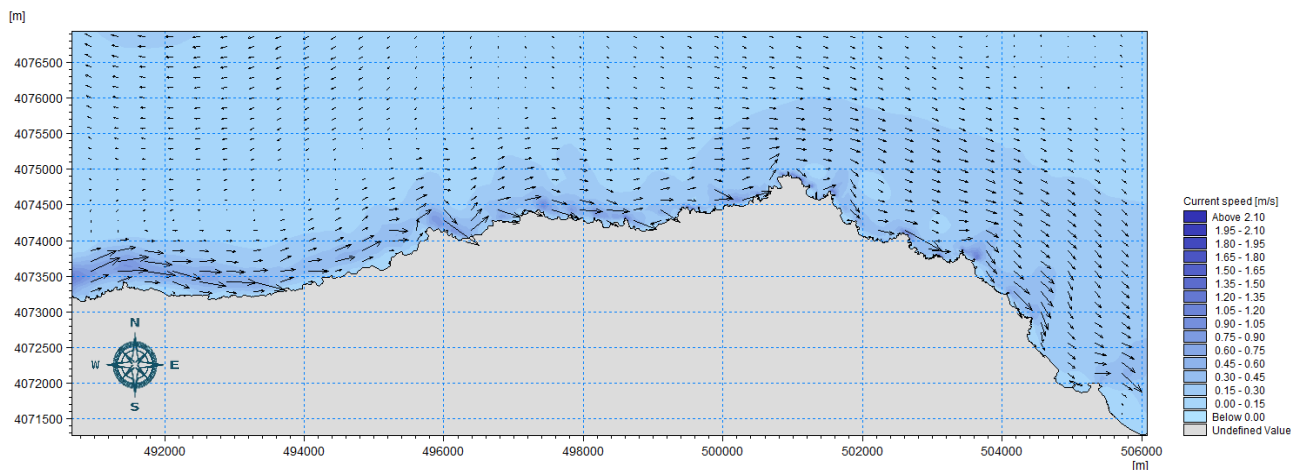


Figure III-31. Répartition du champ des courants. Vagues du secteur NO,  $H_s = 2.64$  m.  $T = 8s$

- **Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)**

Le transit sédimentaire dans la zone (site B) suit l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants qui est généralement orienté vers l’Est. Sur le plan Sédimentologie, le transit est remarqué surtout à l’ouest, et faible à l’Est comme dans le secteur de vagues précédentes, cela est dû au fait que la zone est rocheuse et très accidentée, contrairement à l’ouest où la bathymétrie est plus régulière et la zone moins accidentée.

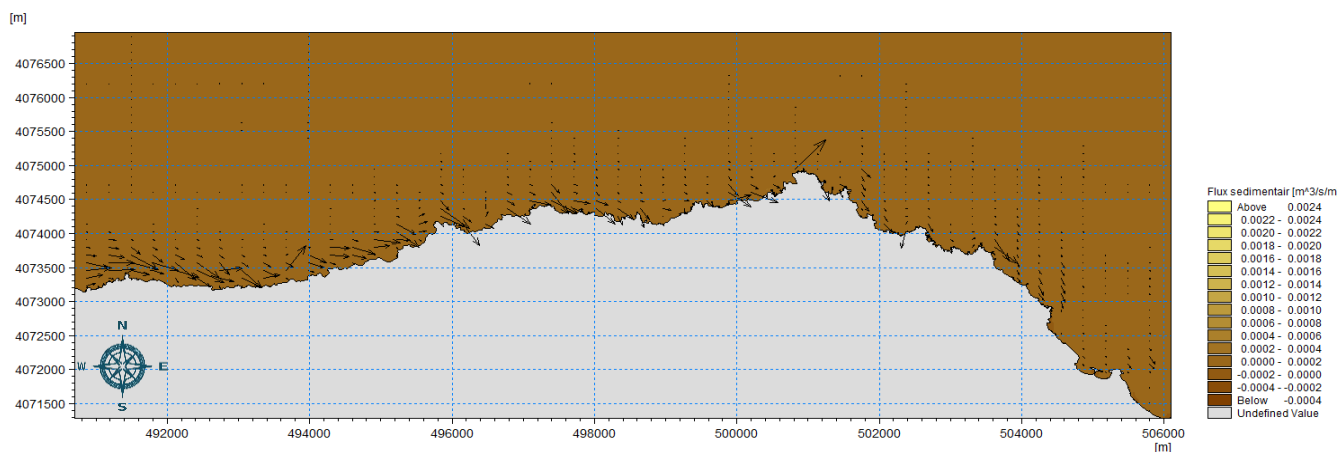


Figure III-32. Répartition du flux Sédimentaire au site B. Vagues du secteur NO,  $H_s = 2.64$  m.  $T = 8s$ .

**Conclusion**

À travers l'auscultation des indicateurs morphologiques et hydrodynamique (vagues/houles), les résultats de cette étude sont encore à discuter et étudier mais ils ont permis quand même, l'identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine pour l'ensemble du littoral de la zone d'étude comprise entre Reghaia (Alger Est) et Zeralda (Alger Ouest), mais cela a été concentré surtout sur les zones d'intérêt qui sont les falaises, et représentées par le site A et le site B respectivement à l'Est et l'Ouest.

En effet, en se basant sur l'étude des données de la morphologie côtière et sous-marine couplée avec la modélisation du forçage des vagues à la côte par le modèle Mike 21, les zones côtières potentiellement riches, en matière d'énergie marine ont pu être identifiées. Nous pouvons donc confirmer à travers les résultats obtenus que les vagues et les houles sont moins amorties au niveau des côtes à falaises et rocheuses, ces zones exposées à la forte énergie de ces vagues, contrairement aux zones côtières dites d'accumulation (sableuses) où les vagues et les houles sont plus amorties et dissipées par l'effet des hauts fonds.

La topo-bathymétrie, traduite par un fond marin accidenté, a été la base pour lancer un ensemble de simulations hydrodynamiques sur modèle Mike 21, ces dernières ont révélé une forte vulnérabilité face au potentiel de l'énergie marine. La combinaison des résultats morphologiques et hydrodynamiques montre que la fragilité des zones côtières face à la forte énergie est essentiellement due à :

- Leur orientation et donc leur degré d'exposition aux vagues provenant du large (Ain Benian, Rais Hamidou) ;
- La position par rapport aux caps (Tamenfouset, El Marsa) ;
- Des pentes sous-marines côtières.

**CHAPITRE IV**

**SYNTHESE DU DIAGNOSTIC ET DE  
L'ETUDE DE L'EVOLUTION DES  
FALAISES DE LA ZONE ALGEROISE**

## **IV. Synthèse du diagnostic et de l'étude de l'évolution des falaises de la zone algéroise :**

Ce chapitre fait l'objet de la synthèse du diagnostic et de l'évolution des falaises de la zone algéroise, réalisé dans le cadre de ce travail.

Le diagnostic et l'évolution ont été réalisés, à travers l'identification des zones à falaises dans la zone algéroise, leur composition géologique et configuration géomorphologique, la relation de ces derniers et les paramètres météorologiques, la dynamique du trait de côte, l'impact des facteurs océanographiques sur ce dernier ainsi que l'influence de la bathymétrie sur ces facteurs.

### **IV.1 Diagnostic et identification des zones falaises**

Notre étude s'est basée sur les côtes à falaises, l'identification de ces zones a été grâce aux recherches, collecte de données et sorties d'investigations sur terrain. Celles-ci sont présentes dans deux sites essentiels, que nous avons nommé **site A** et **site B**.

L'étude climatologique a permis de distinguer deux périodes climatologiques concernant la précipitation, une très pluvieuse s'étalant du mois de septembre jusqu'au mois de mai, et une autre plutôt sèche allant du mois de juin au mois d'août. La moyenne annuelle des données couvrant la période étudiée est de l'ordre de 459.26 mm/ans.

Concernant le vent, l'étude a indiqué que les vents soufflent environ 32.12 % du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Nord Est, ne soufflent que pendant 6.5 % du temps.

#### **IV.1.1 Site A**

Localisé à l'Est algérois entre Réghaia et Cap Matifou.

Le cadre géologique du site révèle que, le Quaternaire est la principale formation géologique qui domine dans le littoral de ce site, cela indique que la lithologie de cette zone est peu résistante.

#### **IV.1.2 Site B**

Localisé à l'Ouest algérois s'étendant de Bab El Oued à Sidi Fredj.

La géologie de ce site est beaucoup plus consistante et résistante comparée à celle du site A, mais révèle une faiblesse sur le plan anthropique du fait que l'urbanisation occupe toute la ligne supérieure des falaises du site.

### **IV.2 Dynamique côtière**

Les résultats de cette étude nous ont permis d'identifier et de caractériser les différents types d'évolution dans notre zone d'intérêt, en effet, on déduit que la majeure partie des deux sites d'études ont une tendance régressive vue le caractère météorologique fort (vents et précipitations) et l'hydrodynamisme (vagues et houles) auquel elles font face. Aussi des

## Chapitre IV Synthèse du diagnostic et de l'étude de l'évolution des falaises de la zone algéroise

occupations anthropiques (habitations aux bords des falaises) qui jouent un rôle déterminant dans l'évolution des traits de côte.

Cette étude avait aussi l'objectif de nous montrer l'utilité de l'utilisation des méthodes et techniques de précision pour la détermination des états des lieux, qui a leurs tour vont être la base d'une étude de suivi ou de vulnérabilité, pour pouvoir enfin identifier des perspectives et des solutions bien adéquates aux différents cas rencontrés.

### IV.3 Modélisation hydro-sédimentaire

Les résultats de cette étude ont permis à travers l'auscultation des indicateurs morphologiques et hydrodynamique (vagues/houles), l'identification des zones côtières à forte exposition par rapport à l'énergie hydrodynamique notamment dans les zones à intérêt.

En effet, en se basant sur l'étude des données de la morphologie côtière et sous-marine couplée avec la modélisation du forçage des vagues, car la bathymétrie a une influence directe sur l'énergie et la propagation des houles, les résultats de la modélisation concordent avec les tendances évolutives observées au niveau dans notre d'étude respectivement pour les sites A et B. Nous avons pu conclure que les vagues et les houles sont moins amorties au niveau des côtes à falaises, et ainsi confirmer notre hypothèse soulevée sur les facteurs de vulnérabilité qui règnent sur le régime d'évolution de ce type de côtes qui se trouve être dominant sur le littoral national.

La combinaison des observations in situ des résultats de simulation ainsi que l'emploi de différentes méthodes de diagnostic et de surveillance d'évolution a permis d'apporter des éléments de réponses sur les tendances évolutives ainsi que les facteurs qui les régissent.

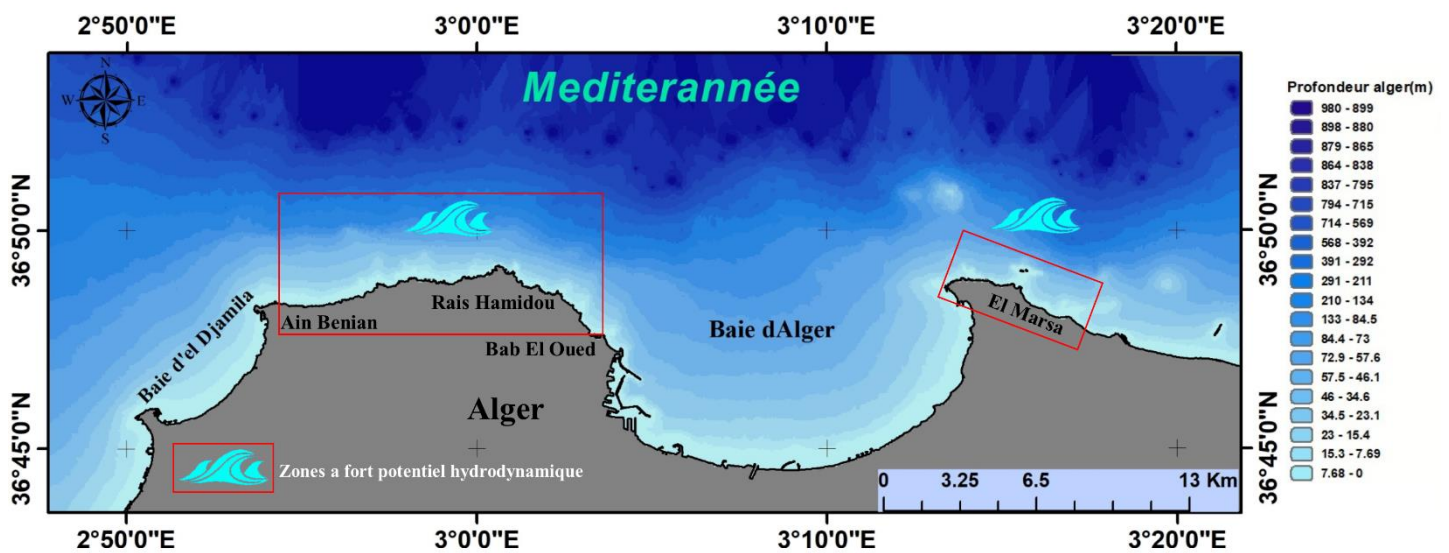


Figure IV-1. Identification des zones à forte exposition à l'énergie hydrodynamique

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## **Conclusion et perspectives**

Ce travail a porté sur deux grandes parties essentielles, une à concerner un diagnostic complet des falaises de la zone algéroise, et une autre qui s'est concentré sur l'évolution de ces falaises et l'impact du forçage des vagues, de l'hydrodynamisme et le flux sédimentaire des zones d'intérêt.

A travers cette étude nous avons pu reprendre aux objectifs suivants :

- Identification des falaises dans la zone algéroise ;
- Détermination la climatologie dominante dans la zone, avec la distinction des périodes climatologiques et des paramètres qui conditionne ces périodes ;
- Comparaison de la composition géologique et configuration géomorphologique des zones à falaises sous un volet de vulnérabilité ;
- Evaluation de la variation de la ligne rivage au niveau des zones a falaises, et cela avec la comparaison entre deux méthodologie de pratique : Les levés DGPS et l'imagerie Satellitaire.
- Comparaison de la morphologie sous-marine des différentes régions de la zone d'étude, et son influence sur l'hydrodynamisme côtier ;
- Identification des zones à fort hydrodynamique, et la distinction du sens des courants et du transport sédimentaire dans la zone ;

Enfin, les résultats de ce travail ouvrent des perspectives pour mener des recherches poussées sur les falaises de la zone algéroise. L'atteinte de cet objectif passe par l'actualisation des données morphologiques côtières par l'investissement dans le réseau du suivi de trait de côte avec des outils précis tel que le DGPS ou le LIDAR pour avoir une base de données actualisée continuellement, des données hydrodynamiques pour une meilleure estimation du potentiel énergétique des vagues et des houles régulant fréquemment le littoral algérois.

Orienter ces travaux vers un contexte d'études de GIZC (Gestion Intégrée des Zone côtières, vas surement régler nombreux défis et de problématiques perçus sur le littoral et plus précisément les falaises. Prenant l'exemple de la côte Ouest comprise entre Bab El Oued et Ain Benian, qui subit une pression des habitations et surtout des rejets intenses directement sur les falaises de la région cela doit être gérer.

## Bibliographie

**AMIS. (2008).** Caractérisation de la zone côtière. CIRSA. l'assistance financière de la Communauté Européenne et du Ministère Italien de l'Environnement et la tutelle du territoire et de la mer . p. 167.

**BENGOUFFA, S. (2016).** *étude de l'évolution de la vulnérabilité de la région est Algéroise. Mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL.* p. 11.

**Bouakline, Salim. (2009).** variation historique de la ligne de rivage et érosion cotière le long de la cote Est algéroise. Alger, université de science et technologie USTHB. pp.22-79.

**BOUHAMADOUCHE, M. (2012).** Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de zamouri (cap matifou et cap djinet), Thèse de doctorat en-Geologie-Marine, USTHB, Alger. p. 27.

**BOUKERT, H, AZZI, I. (2017).** *Contribution à la connaissance de morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral centre de l'Algérie (Cas d'étude : Sidi fradj – El Hamdania – Boumerdes). mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL, Alger* p. 53.

**BOURTI, HENDA 2014.** *Evolution et dynamique de la falaise est de boumerdes et proposition des solutions. mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL, Alger* p. 09.

**El Abdellaoui, Jamal Eddine, Ozer, André. 2007.** Étude diachronique et historique de l'évolution du trait de côte de la baie de tanger (maroc). 2007. p. 162.

**Giuliano, Jeremy. (2015).** érosion des falaises de la région Provence-Alpes-Cote d'Azur : evolution et origine de la morphologie cotière en Méditerranée : télédétection, géochronologie, géomorphologie. p. 172.

**HOAREAU, A, AUBIE, S. (2010).** *Compagnes de suivi géomorphologique du littoral de la côte rocheuse Basque. BRGM.* p. 51.

**INCT. 1964.** carte geologique de la zone Algéroise Est. Le service de la carte géologique de l'Algérie. Alger; INCT.

**Kara, Messaoud. (2009).** *Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût.* 2009. p. 60.

**KADRI, I. (2017).** *Impacts de l'implantation de structures de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan. mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL, Alger* p. 17.

**Kermani, Saci. (2016).** *Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast (East Algeria).* s.l. : Ocean & Coastal Management, 2016.

**KHELIFI TOUHAMI, M. (2017).** *Contribution à l'élaboration d'une base de données dans le cadre de la gestion intégrée du littoral algérien. Mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL.* p. 137.

**LARBI, N. (2017).** *Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK). Mémoire d'ingénieur en aménagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL.* p. 40.

**LEM. (2006).** *Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable zone est-algéroise.* Alger : Rapport: Laboratoire d'Etudes Maritime, LEM.

**Mallet, C, Michot, A. (2012).** *synthèse de référence des techniques de suivi du trait de cote.* s.l. : BRGM, 2012. p. 33.

**Maquaire, Olivier. (2011).** *suivi des falaise et versants littoraux en Normandie (France).* p. 10.

**Mezhoud, Abdelkarim. (2011).** Contribution à l'analyse de durabilité du domaine littoral (loi 02-02) inclus dans le Projet de la Zone d'Expansion Touristique de Ain Chorb - willaya d'Alger. Alger, ENSSMAL. p. 4.

**MICLAT (2017).** Le ministre de l'intérieur, des Collectivités Locales et de l'aménagement du territoire.

**Nadir, M. (2016).** Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur en-amenagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL. p. 32.

**OTMANI. (2014).** impact des infrastructures maritimes sur le littoral : cas du port de cap djinet. Mémoire de Magister en-amenagement-Dely-Ibrahim; ENSSMAL.p. 09.

**PAC. (2005).** Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. Rapport final intégré Algerie; PAC.

**Paskoff, R. (1993).** Côtes en danger, Ed Masson, Paris

**Pascoff, R. (2001).** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, Ed Masson, Paris.

**Saci, Kermani. (2016).** Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast (East Algeria). 2016.

**SEKKAL, R. (1986).** *Hydrologie de la nape de la metidja -ALGERIE- etude hydrodinamique des champs captants de la ville d'Alger.* p. 4.

**Y. Hemdane,, M. Bouhmadouche et F. Atroune. (2016).** *Identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine.* Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Alger, FSTGAT,USTHB, Algérie. p. 548.

## **Sites web :**

<https://m.rp5.ru/>

**DHI 2014a.** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator.

*Scientific Documentation. Disponible sur le web*

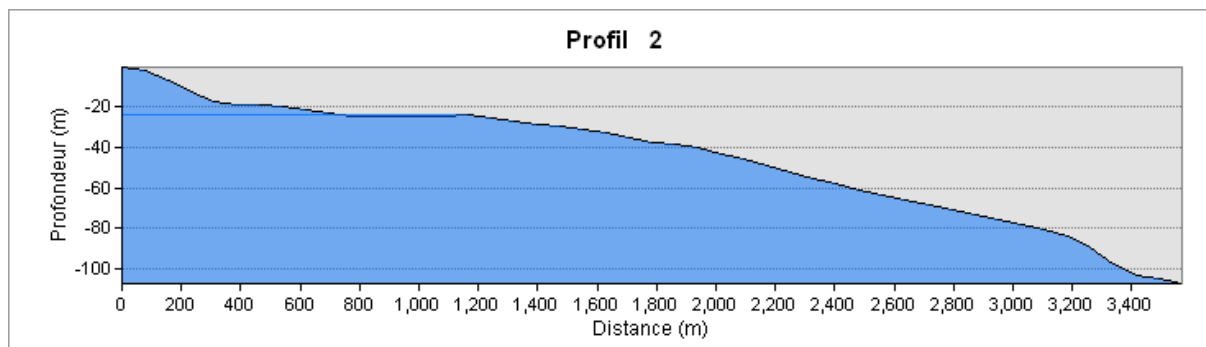
< [www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration\\_ScientificDoc.pdf](http://www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf).>

**DHI 2014b.** MIKE 21 Spectral Wave Module. *Scientific Documentation. Disponible sur le Web* [www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW\\_Scientific\\_Doc.pdf](http://www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf).

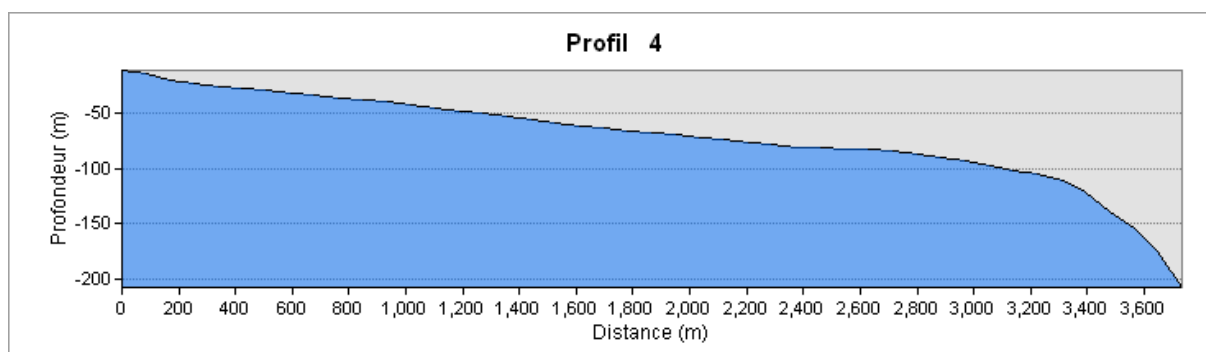
**DHI 2014c.** MIKE 21/3 Couple Model FM. *Disponible sur le web*

[www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE\\_213\\_Coupled\\_Model\\_FM.pdf](http://www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf).

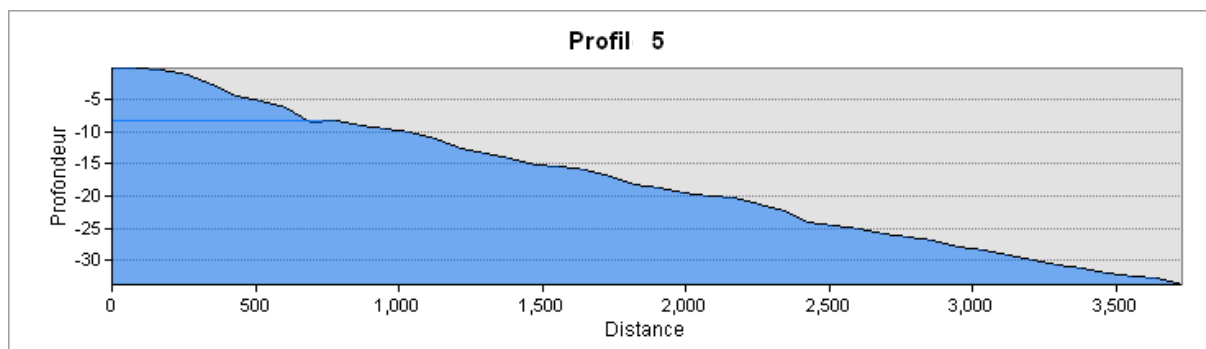
## ANNEXES



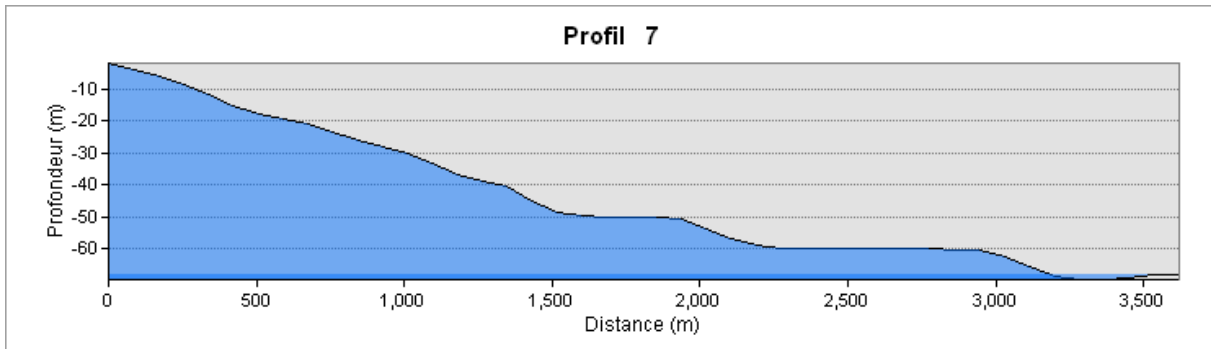
**Figure 01 : Profil bathymétrique n°2.**



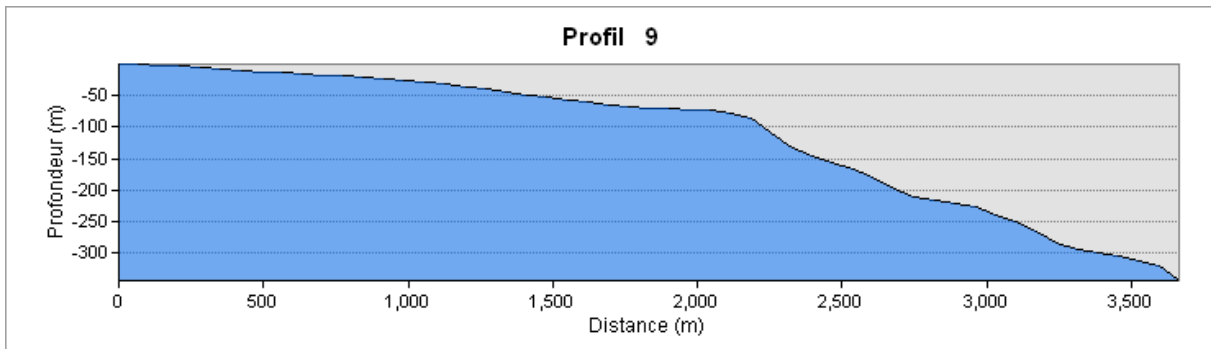
**Figure 02 : Profil bathymétrique n°4.**



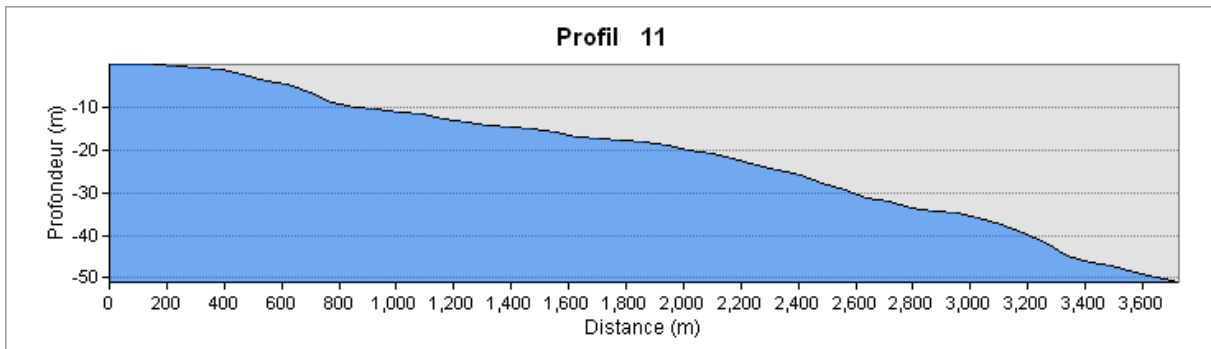
**Figure 03 : Profil bathymétrique n°5.**



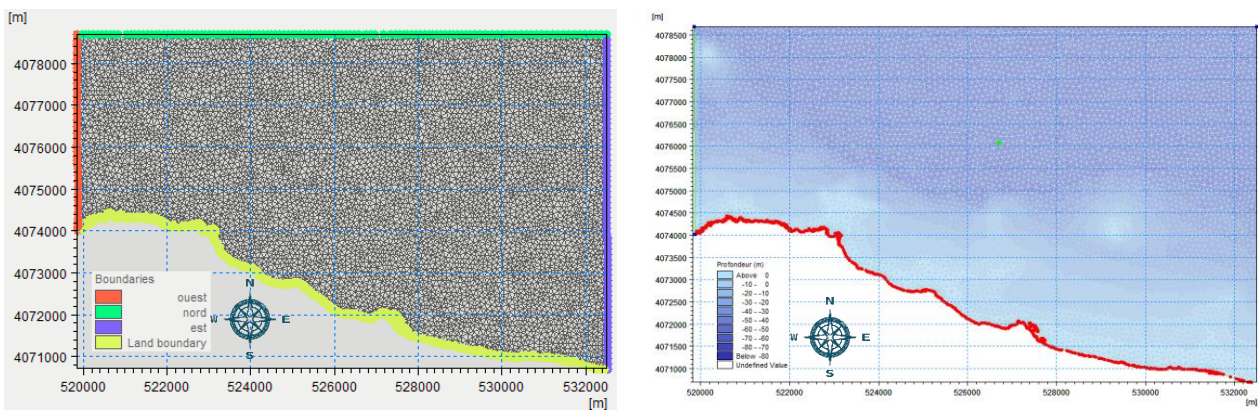
**Figure 04 : Profil bathymétrique n°7.**



**Figure 05 : Profil bathymétrique n°9.**



**Figure 06 : Profil bathymétrique n°11.**



**Figure 07 : Maillage du site A (Est).**

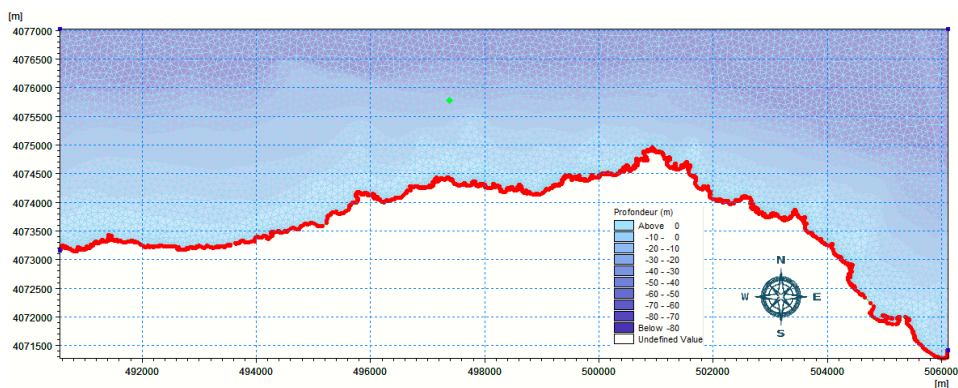


Figure 08 : Maillage du site B (Ouest).

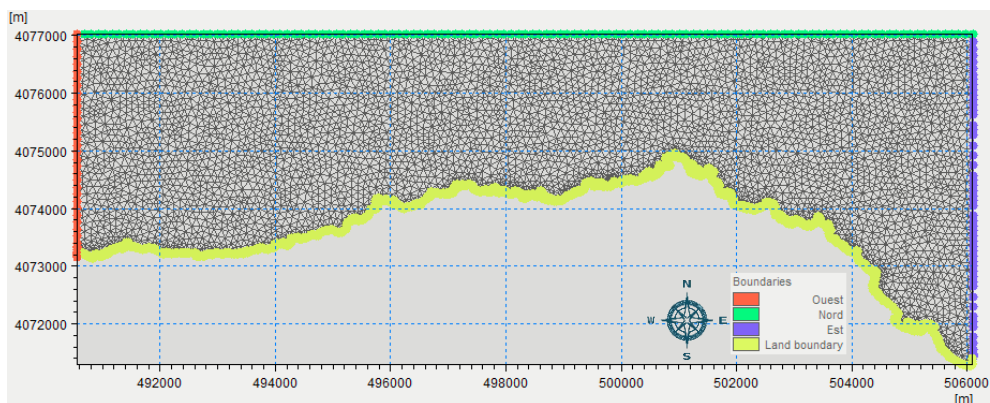


Figure 09 : Maillage du site B (Ouest).

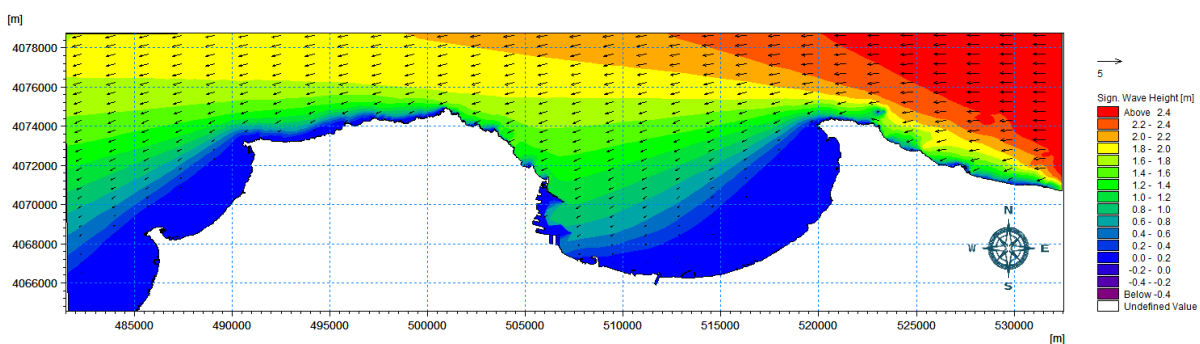


Figure 10 : Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise  
Vagues du secteur E.  $H_s = 2.53$  m.  $T = 8$  s.

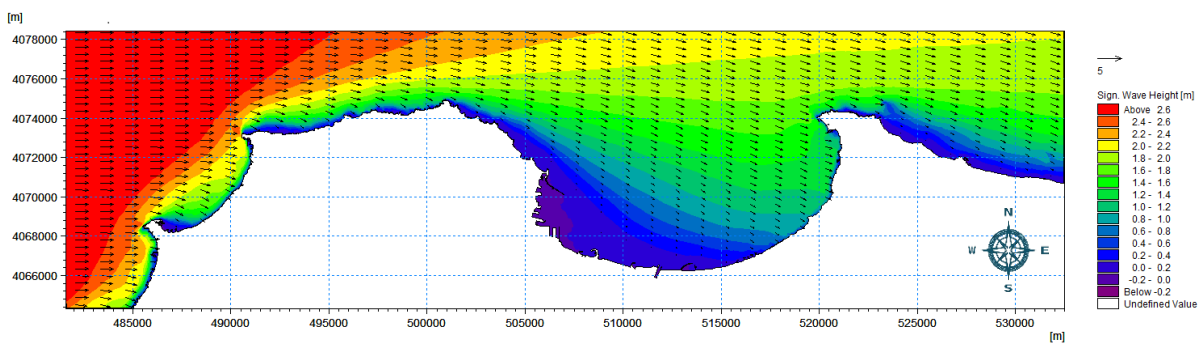
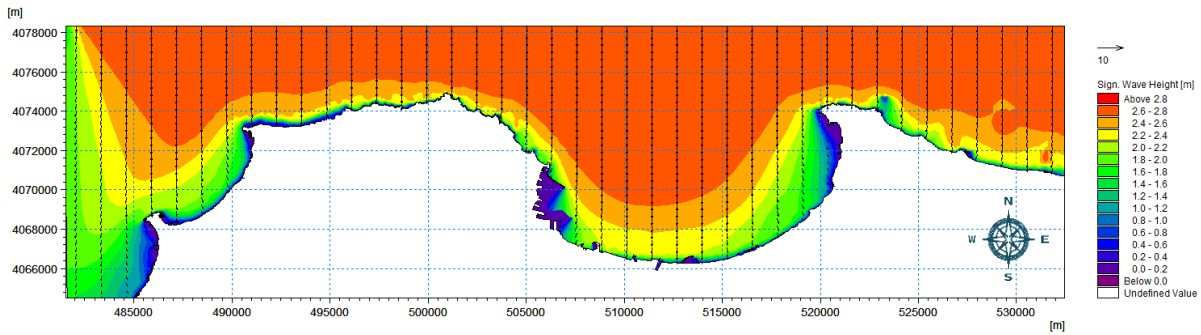
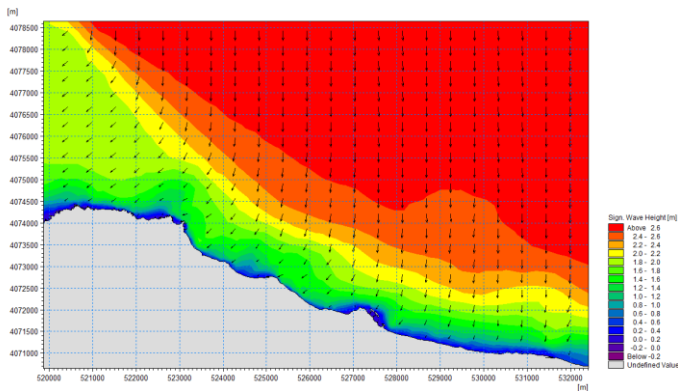


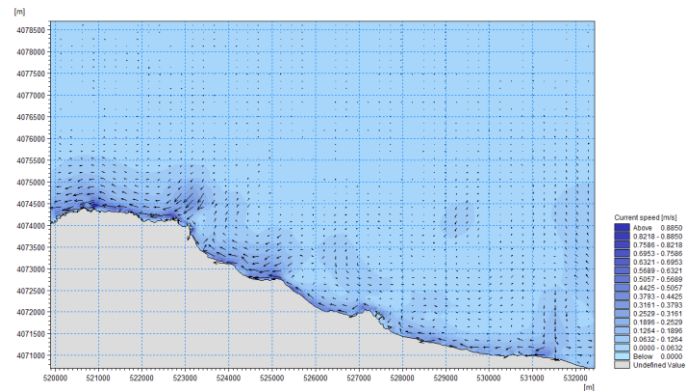
Figure 11 : Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise  
Vagues du secteur O.  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



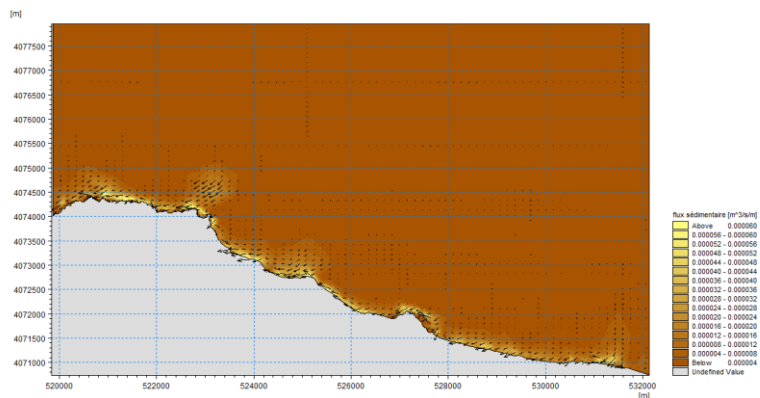
**Figure 12 :** Estimation du forçage induit par les vagues à la côte Algéroise  
Vagues du secteur N.  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



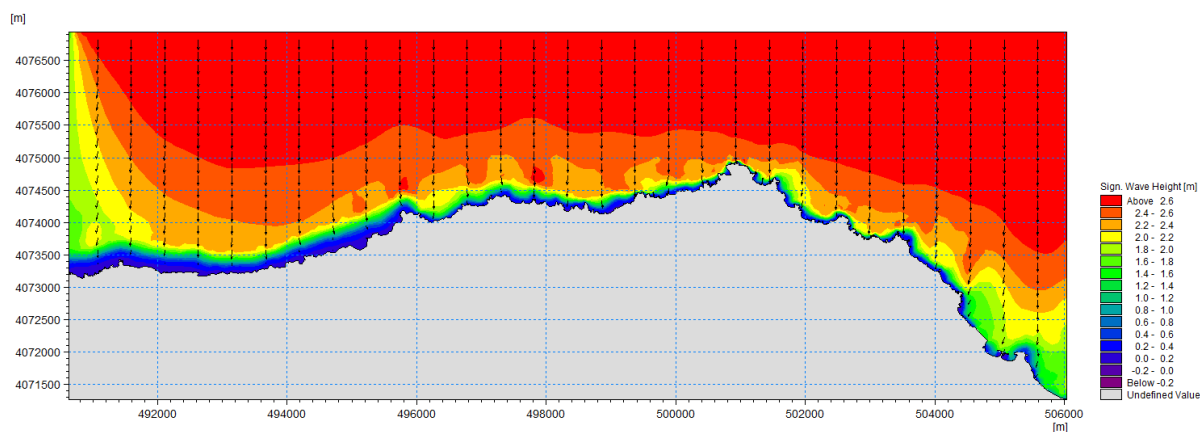
**Figure 13 :** Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site A.  
Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



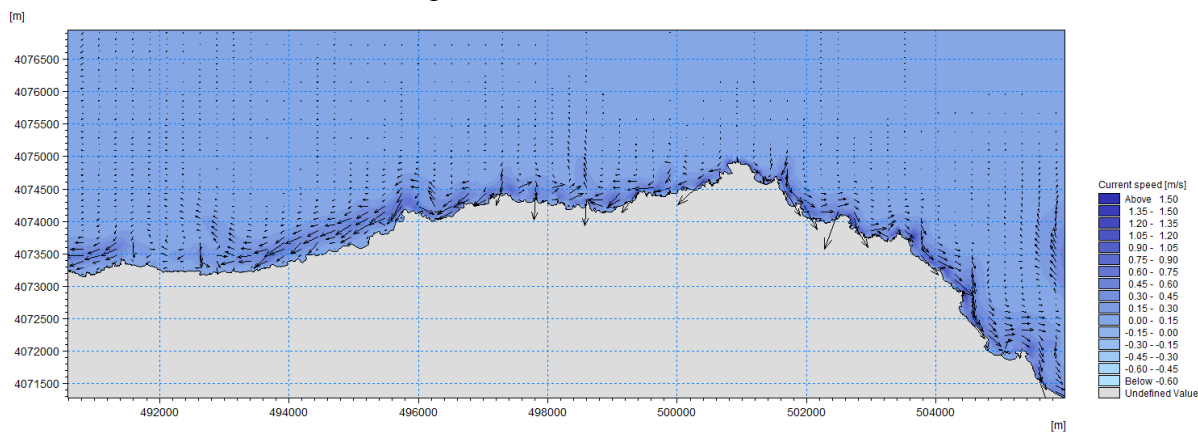
**Figure 14 :** Répartition du champ des courants.  
Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



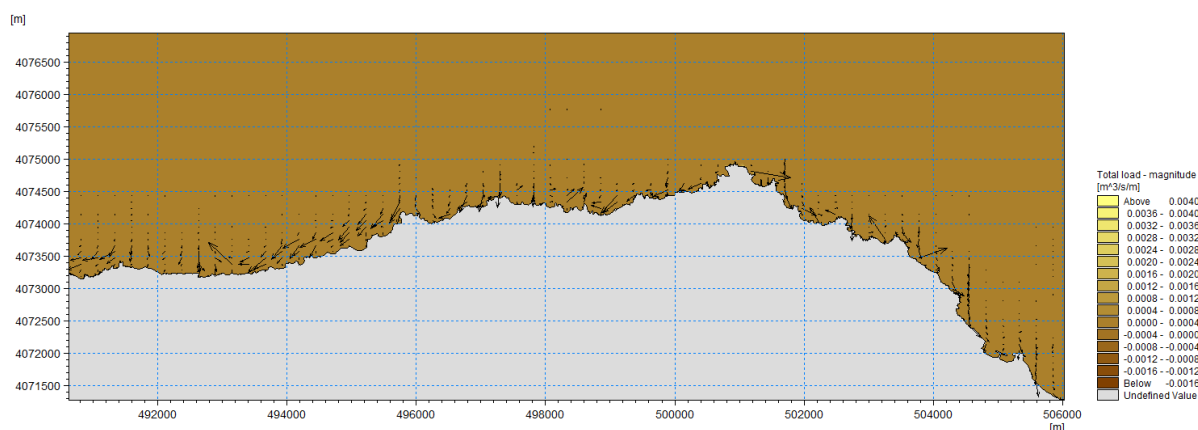
**Figure 15 :** Répartition du flux Sédimentaire au site A. Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



**Figure 16** : Estimation du forçage induit par les vagues à la côte du site B.  
Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



**Figure 17** : Répartition du champ des courants.  
Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.



**Figure 18** : Répartition du flux Sédimentaire au site A.  
Vagues du secteur N,  $H_s = 2.67$  m.  $T = 8$  s.





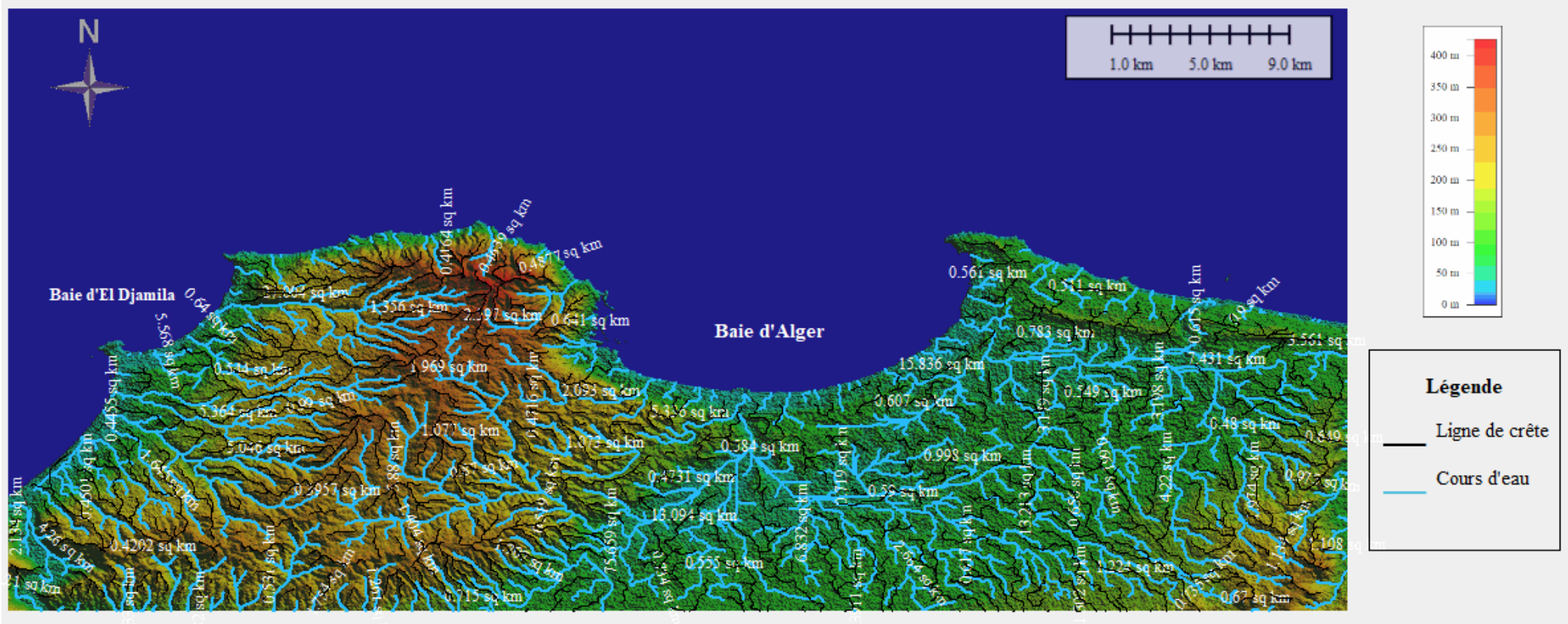


Figure 21. Réseau hydrographique de la zone Algéroise.

## **Diagnostic et étude de l'évolution des falaises de la région algéroise.**

### **Résumé :**

Le littoral algérois présente des unités géomorphologiques hétérogènes. De nombreuses études ont portées sur la morphodynamique des côtes sableuses, par ailleurs il est à noter qu'il y a une insuffisance bibliographique concernant les côtes rocheuses, ce qui nous a donné l'idée de mener une étude dans ce sens, et sur les falaises en particulier, qui représentent plus de 50% de son linéaire. Ce travail s'inscrit donc comme étant l'un des premiers portants à faire un diagnostic, le plus complet possible de l'évolution des falaises au niveau du secteur algérois, qui subissent continuellement une évolution morphodynamique remarquable. Pour cela, deux principaux sites ont été identifiés.

Ce travail a porté sur deux grandes parties essentielles, une à concerner un diagnostic complet des falaises de la zone algéroise, et une autre qui s'est concentré sur l'évolution de ces falaises, au moyen d'une étude diachronique des variations du trait de côte, à l'aide du DGPS (investigation 2014, 2015, 2018 pour la zone de Zarzouria), et des images satellitaires (2002, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015 et 2018 pour les deux sites d'études). Aussi, l'impact du forçage des vagues, de l'hydrodynamisme et le flux sédimentaire des zones d'intérêt.

**Mots-clés :** Falaises, Diagnostique, Alger, Région algéroise, Trait de côte, Dynamique côtière, Littoral, Modélisation, Mike, ArcGis, Système d'Information Géographique (SIG), DSAS, Evolution, DGPS, Zarzouria,

## **Diagnosis and study of the evolution of the cliffs of the Algiers region.**

### **Abstract:**

The Algiers coastline has heterogeneous geomorphological units. Many studies have focused on the morphodynamics of sandy coasts, it should be noted that there is a bibliographical insufficiency concerning the rocky coasts, which gave us the idea to carry out a study in this direction, and on the cliffs in particular, which represent more than 50% of its linear. This work is therefore one of the first bearers to make a diagnosis, as complete as possible of the evolution of the cliffs at the level of the Algerian sector, which undergo a continuous morphodynamic evolution remarkable. For this, two main sites has been identified.

This work focused on two main essential parts, one concerning a complete diagnosis of the cliffs of the Algerian zone, and another which focused on the evolution of these cliffs, by means of a diachronic study of the variations of the coast line, using the DGPS (2014, 2015, 2018 investigation for the Zarzouria area), and satellite images (2002, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015 and 2018 for the two study sites). Also, the impact of wave forcing, hydrodynamism and sediment flow areas of interest

### **تشخيص ودراسة تطور منحدرات منطقة الجزائر.**

### **ملخص :**

يحتوي الساحل في الجزائر العاصمة على وحدات جيومورفولوجية غير متجانسة. وقد ركزت العديد من الدراسات على مورفوديناميكية السواحل الرملية، وتجدر الإشارة إلى أن هناك قصور ببيوغرافي بشأن السواحل الصخرية، والتي أعطتنا فكرة لإجراء دراسة في هذا الاتجاه، وعلى المنحدرات على وجه الخصوص، والتي تمثل أكثر من 50 ٪ من خطيها. لهذا، يعد هذا العمل من أوائل حاملي التشخيص، أكمل ما يمكن من تطور الجرف على مستوى القطاع الجزائري، والذي يخضع لتطور مورفوديناميكي مستمر وملحوظ. لهذا، تم تحديد موقعين رئيسيين.

ركز هذا العمل على جزئين أساسيين، أحدهما يتعلق بالتشخيص الكامل للمنحدرات في المنطقة الجزائرية، والآخر الذي ركز على تطور هذه الجرف، عن طريق دراسة ثنائية للتغيرات في خط الساحل، باستخدام DGPS (2014، 2015، 2018 لمنطقة زروربية)، وصور الأقمار الصناعية (2002 و2007 و2009 و2011 و2013 و2015 و2018 لمواقع الدراسة الاثنين). أيضا، تأثير الامواج، الهيدرودينامية وتدفقات الترسبات لمجالات الاهتمام.