

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
littoral



Mémoire de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer
Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

*L'évaluation des impacts des changements
climatiques et des activités anthropiques sur
l'évolution de la partie Ouest du golfe de Bejaia*

Présenté par : SALMI Soundes

Soutenu le 11/10/2021

Devant le jury :

✚ Mme ABDEDAIEM H.	ENSSMAL	Présidente
✚ M. MEZOUAR K.	ENSSMAL	Promoteur
✚ Mme MAHDID	ENSSMAL	Examinatrice
✚ M. DAHMANI A.	ENSSMAL	Examinateur

Promotion : 2020-2021

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement
du littoral



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la
Mer Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

*L'évaluation des impacts des changements
climatiques et des activités anthropiques sur
l'évolution de la partie Ouest du golfe de Bejaia*

Présenté par : SALMI Soundes

Soutenu le 11/10/2021

Devant le jury :

✚ Mme ABDEDAIEM H.	ENSSMAL	Présidente
✚ M. MEZOUAR K.	ENSSMAL	Promoteur
✚ Mme MAHDID	ENSSMAL	Examinatrice
✚ M. DAHMANI A.	ENSSMAL	Examineur

Promotion : 2020-2021

Remerciements

*Tout d'abord je tiens à remercier mon encadreur et enseignant **M Mezouar Khoudir** qui a bien voulu m'encadrer et qui n'a pas hésité à répondre à mes questionnements en m'octroyant les conseils et réponses à même de me permettre de mener à bien toutes les étapes de ce travail. Je tiens aussi à le remercier pour sa disponibilité et sa promptitude à répondre à chaque fois qu'il m'a été donné de lui demander des explications.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à **Mme Salem Cherif Yousra** qui m'a prodigué solutions et conseils et qui a à plusieurs reprises procédé aux essais de simulations qui lui ont pris beaucoup de temps malgré son état matrimonial et ses engagements divers.*

*Je tiens à remercier les membres du jury **Mme Abdetaïem, Mme Mahdid** et **M Dahmani**, pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour le temps qu'ils le lui ont accordé.*

*Enfin je remercie toutes celles et tous ceux qui par un geste, une parole ou même un sourire ont participé à l'élaboration de ce mémoire, je citerai sans les nommer toutes les enseignantes et tous les enseignants qui se sont succédés pendant les cinq années à **l'ENSSMAL**.*



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère, cet être cher, cette femme exemplaire qui a de tous temps été à mes côtés, me prodiguant soins et conseils et demeurant continuellement à mon écoute. Je ne la remercierai jamais pour tout ce qu'elle a enduré afin que je parvienne à achever mes études dans les conditions les plus confortables ;

*A mon père qui a toujours été à mes côtés dans les moments où j'avais le plus besoin de son aide et de ses précieux conseils ;
A mes frères **Raouf et Ilyes**, ces êtres chers et gentils qui ont toujours répondu présents à mes doléances et qui ont été aux soins à chaque fois que de besoin ;*

*A une noble et respectable dame de la famille, ma tante **Dalila**, tata comme on aime l'appeler, pour tous les gestes qu'elle a fait, d'une manière désintéressée et le plus naturellement du monde, sans attendre quoique ce soit en retour ;*

*Je n'oublierai pas bien sûr de remercier vivement mon amie **Behlouf El Djida** en qui j'ai trouvé toute la disponibilité, la gentillesse et l'aide désintéressée qui ont été d'un apport considérable tout au long de la réalisation de ce travail.*

A toutes celles et tous ceux qui me sont chers.



Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Table des matières

Liste des acronymes et abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Partie théorique

Chapitre I

Généralités

1. Le littoral.....	6
1.1. Le système littoral.....	6
2. Le littoral Algérien.....	7
2.1. La loi du 5 février 2002	7
2.2. Pressions anthropiques et littoralisation.....	7
3. Le Changement climatique et ses impacts	9
3.1. L'impact du changement climatique dans un contexte de développement	9
3.2. Impacts potentiels du changement climatique sur le secteur de l'agriculture et de l'élevage.	10
3.3. Impacts potentiels du changement climatique sur le secteur du tourisme	11
4. Aménagement littoral et gestion des risques littoraux.....	11
5. La submersion des zones basses et ses conséquences sur les ressources littorales	13
6. L'urbanisation littorale, facteur-clé de l'aggravation des risques.....	13
7. Solutions d'aménagement et pistes d'adaptation	13

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....	15
---------------------------------------	-----------

Table des matières

2. La géomorphologie.....	16
2.1. Les côtes rocheuses	16
2.2. Les côtes meubles.....	17
2.2.1. Les plages.....	17
3. La sédimentologie.....	19
4. La topographie.....	20
5. La géologie	21
5.1. La stratigraphie	22
5.1.1. Le Trias	22
5.1.2. Le Jurassique	22
5.1.3. Le Crétacé	22
5.1.4. Le Tertiaire	22
5.1.5. Le pliocène	22
5.2. La Tectonique Plio-Quaternaire	23
5.2.1. Le Synclinorium de la région littorale Ouest.....	23
5.2.2. Le sillon de la vallée de la Soummam	23
5.3. Activité sismique actuelle	24
6. Facteurs hydrologiques, météo-océaniques et anthropiques du golfe de Bejaia 25	
6.1. Facteurs hydrologiques.....	25
6.1.1. Le réseau hydrographique	26
6.1.1.1. Oued Soummam	26
6.1.1.2. Oued Agrioun.....	26
6.1.1.3. Oued Zitouna	27
6.2. Facteurs météo-océaniques.....	27
6.2.1. Facteurs météorologiques	27
6.2.1.1. La température	28
6.2.1.2. Les précipitations.....	29
6.2.1.3. Le vent	31
6.2.2. Facteurs océaniques	35
6.2.2.1. Les marées	35

Table des matières

6.2.2.2. Les houles	35
6.2.2.3. Le courant	37
A. Les courants généraux	37
B. Les courants côtiers	37
C. Les courants de retour	37
6.2.2.4. Le niveau de la mer	37
6.3. Facteurs anthropiques	38
6.3.1. L'installation des ouvrages de protection du littoral	38
6.3.2. Extraction du sable et dégradation du système dunaire	38
6.3.3. Urbanisation rapide le long de la côte	38
6.3.4. Augmentation de la pollution (rejet domestique, eaux usées)	38
6.3.5. Zone à vocation touristique	39
Conclusion	39

Partie pratique

Chapitre III

Etude bathymétrique et hydrodynamique

Introduction	42
1. Outils et procédures	42
1.1. Logiciels utilisés.....	42
1.1.1. ArcGis 10.2	42
1.1.2. MIKE 21	43
1.2. Procédures suivies	43
1.2.1. Etude bathymétrique	43
1.2.2. Résultats et interprétations	43
1.2.3. Etude hydrodynamique	45
1.2.3.1. La réfraction de la houle (Spectral Waves, SW).....	45
1.2.3.2. Description du module SW	45
1.2.3.3. Courantologie (hydrodynamic, HD)	46
1.2.3.4. Description du module HD.....	46
2. Résultats et interprétations	48
Conclusion	56

Chapitre IV

Etude diachronique du trait de côte

Introduction	58
1. Outils et procédures	58
1.1. Logiciels utilisés.....	58
1.1.1. Google Earth pro	58
1.1.2. DSAS	58
Figure IV.31 : Barre d’outils de DSAS	59
1.2. Etapes de réalisation de l’étude (Voir annexe 3).....	59
1.2.1. L’extraction des traits de côtes des années concernées de Google Earth pro 2021 et les exporter sur Arc Gis 10.2.....	59
1.2.2. Création la ligne de base (Baseline).....	59
1.2.3. Création des vecteurs shorelines.....	60
1.2.4. Création des transects	60
1.2.5. Le calcul des paramètres statistiques EPR et NSM	60
1.2.6. Conversion des Valeurs d’EPR en fichier vecteur	60
2. Resultat et interpretation	60
2.1. Tableau IV.9 : L’évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1984 et 1990	61
2.2. Tableau IV.10 : L’évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1990 et 2000	62
2.3. Tableau IV.11 : L’évolution de trait de côte du golfe de Bejaia entre 2000 et 2009	63
2.4. Tableau IV.12 : L’évolution de trait de côte du golfe de Bejaia entre 2009 et 2013	64
2.5. Tableau IV.13 : L’évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2013 et 2017	65
2.6. Tableau IV.14 :L’évolution du trait de côte du golf de Bejaia entre 2017 et 2021.....	66
2.7. Tableau IV.15 : L’évolution du trait de côte de golf de Bejaia entre 1984 et 2021	67
3. Analyses du bilan sédimentaire et surfacique entre 1984 et 2021	68
4. Evolution prévisionnelle aux horizons 2050 et 2100	70
Conclusion.....	71

Chapitre V

Etude sur les submersions marines et les risques d’inondations

Table des matières

Introduction	74
1. Cas des submersions marines qui ont affecté la région de Bejaia	75
1.1. Une forte houle détruit le poste de secours des services de la protection civile dans la plage d'Oued-Das à Toudja le 14 novembre 2017	75
2. Les facteurs déclenchant.....	76
2.1. Variation du niveau de la mer en fonction de la pression atmosphérique (effet barométrique inverse).....	76
3. Les caractéristiques de la submersion marine	77
4. Outils et procédures	77
4.1. Le calcul des houles extrêmes au large.....	78
4.2. Simuler les houles extrêmes les plus défavorables pour le site d'étude sur MIKE21	80
4.3. Faire une étude sur les scénarios d'inondations	84
Conclusion	88
Conclusion Générale	89
Références bibliographiques	92
Les Annexes.....	99

Liste des acronymes et abréviations

ANRH : Agence Nationale des **R**essources **H**ydriques.

CSEM : Centre Sismologique **E**uro-**M**éditerranéen.

ENE: Est-Nord-Est.

EPR: End Point **R**ate.

ESRI: Environmental Systems **R**esearch **I**nstitute.

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Evaluation du **C**limat.

GIZC : Gestion Intégrée des **Z**ones **C**ôtières.

LEM : Laboratoire des **É**tudes **M**aritimes.

NSM: Net Shoreline **M**ouvement.

OMM : l'Organisation **M**étéorologique **M**ondiale.

ONM : Office National de **M**étéorologie.

ONS : Office National des **S**tatistique.

ORRM: Observatoire **R**égional des **R**isques **M**ajeurs.

RGPH : Recensement **G**énéral de la **P**opulation et de l'**H**abitat.

SCE: Shore line **C**hangement **E**nveloppe.

SIG : Système d'**I**nformation **G**éographique.

U.T.M: Universal Time **M**ercator.

USGS: United States **G**eological **S**urvey.

W.G.S: World **G**eoïde **S**ystem.

WSW : Ouest-Sud-Ouest.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Débits moyens annuels des affluents de l'oued Soummam entre 1961 et 1971	26
Tableau II.2 : Variation des températures (minimales, moyennes, maximales) au niveau de la station météorologiques de l'aéroport de Bejaia (2013-2021)	29
Tableau II.3 : Moyennes des précipitations mensuelles de la station météorologiques de l'aéroport de Bejaia (1970-2012)	30
Tableau II.4 : Vitesses moyennes des vents dans les différentes directions durant la période 2013-2021 dans la région de Bejaia	32
Tableau III.5 : Les différentes applications du logiciel ARCGIS 10.2	42
Tableau III.6 : Les houles dominantes et leurs périodes par direction en 2019	45
Tableau III.7 : Analyse des houles issues des secteurs N360°, N45° et N330.....	46
Tableau III.8 : Le vent moyen dans les trois directions dominantes dans le golfe de Bejaia en 2019	46
Tableau IV.9 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1984 et 1990.....	61
Tableau IV.10 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1990 et 2000.....	62
Tableau IV.11 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2000 et 2009.....	63
Tableau IV.12 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2009 et 2013.....	64
Tableau IV.13 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2013 et 2017.....	65
Tableau IV.14 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2017 et 2021.....	66
Tableau IV.15 : Evolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1984 et 2021.....	67
Tableau IV.16 : Bilan sédimentaire net du golfe de Bejaia (1984-2021)	69
Tableau IV.17 : Bilan surfacique du golfe de Bejaia par secteur (1984-2021)	69

Liste des tableaux

Tableau V.18 : Hauteurs significatives associées aux périodes de retour en fonction des directions dominantes	80
Tableau V.19 : Les enregistrements des hauteurs significatives avec leurs périodes au large du golfe de Bejaia en 2019	80
Tableau V.20 : Hauteurs des houles extrêmes provenant du nord à la côte en fonction des périodes de retour	81
Tableau V.21 : Niveaux d'inondations extrêmes	85

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Zonation hydrodynamique du littoral.....	6
Figure I.2 : Bande délimitée par la loi 02-02 du 05 Février 2002.....	7
Figure I.3 : Approche générale de la lutte contre les changements climatiques et leurs impacts.....	9
Figure I.4 : Chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur l’agriculture ...	10
Figure I.5 : Chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur le secteur du tourisme	11
Figure I.6 : Chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur le secteur des risques littoraux	12
Figure II.7 : Le littoral de la partie Ouest du golfe de Bejaia	15
Figure II.8 : Esquisse morphologique du secteur Annaba-Bejaia.....	16
Figure II.9 : Les plages de la partie Ouest de la zone d’étude	18
Figure II.10 : Les plages de la partie Est de la zone d’étude	19
Figure II.11 : La carte topographique de la partie Ouest du golfe de Bejaia.....	20
Figure II.12 : Carte géologique de la région d’étude extraite de la carte géologique Nord Constantine de 1/500 000	21
Figure II.13 : Environnement structural de la région de Bejaia.....	23
Figure II.14 : Carte de sismicité de 1960 à 2021 du nord de l’Algérie.....	25
Figure II.15 : Localisation géographique des Oueds de la zone d’étude	27
Figure II.16 : Variation des températures (Minimale, moyenne, maximale) au niveau de la station météorologique de l’aéroport de Bejaia.....	28
Figure II.17 : Moyennes des précipitations mensuelles de la station météorologique de l’aéroport de Bejaia	30

Liste des figures

Figure II.18 : Précipitations en 2020 à Bejaia.....	31
Figure II.19 : Vitesses moyennes du vent (m/s) dans les différentes directions durant la période 2013-2021 dans la région de Bejaia	33
Figure II.20 : Roses de vent au large du golfe de Bejaia	34
Figure II.21 : Variations des marées enregistrées sur les côtes Algériennes	35
Figure II.22 : Roses des houles au large du golfe de Bejaia	36
Figure III.23 : Maillage du domaine de travail de la zone d'étude à l'état initial	44
Figure III.24 : Carte bathymétrique du golfe de Bejaia 2021	44
Figure III.25 : Champ des vagues dans la direction Nord-Ouest.....	48
Figure III.26 : Champ des vagues dans la direction Nord	49
Figure III.27 : Champ des vagues dans la direction Nord-Est.....	50
Figure III.28 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord-Ouest.....	52
Figure III.29 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord	53
Figure III.30 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord-Est.....	54
Figure IV.31 : Barres d'outils de DSAS	59
Figure IV.32 : Bilan sédimentaire de la zone littorale du golfe de Bejaia (1984-2021)	68
Figure IV.33 : Bilan surfacique du golfe de Bejaia (1984-2021).....	69
Figure IV.34 : Bilan surfacique du golfe de Bejaia (1984-2021) par secteur	69
Figure V.35 : Mécanismes de la submersion marine	75
Figure V.36 : Cas de submersion marine dans la plage d'Oued-Das.....	75
Figure V.37 : Facteurs déclenchant d'une submersion marine	77

Liste des figures

Figure V.38 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles Nord-Ouest au large des côtes de Bejaia	79
Figure V.39 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles Nord au large des côtes de Bejaia.....	79
Figure V.40 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles Nord-Est au large des côtes de Bejaia	79
Figure V.41 : Champ des vagues dans la direction nord (R=1 an)	81
Figure V.42 : Champ des vagues dans la direction nord (R=2 ans).....	82
Figure V.43 : Champ des vagues dans la direction nord (R=5 ans).....	82
Figure V.44 : Champ des vagues dans la direction nord (R=10 ans).....	82
Figure V.45 : Champ des vagues dans la direction nord (R=20 ans).....	83
Figure V.46 : Champ des vagues dans la direction nord (R=50 ans).....	83
Figure V.47 : Champ des vagues dans la direction nord (R=100 ans).....	83
Figure V.48 : Modèle numérique du terrain (MNT) du golfe de Bejaia	85
Figure V.49 : Cartes de submersions marines	87

Introduction Générale

Introduction Générale

La problématique de l'érosion côtière occupe une place de plus en plus importante dans la gestion des territoires côtiers à l'échelle de la planète. La compilation de résultats sur l'évolution côtière à l'échelle nationale, continentale et même mondiale démontre un constat similaire : les changements climatiques ont un impact direct sur les milieux côtiers (MEZOUAR, 2009).

Les côtes sont devenues attractives par l'aménagement économique, commercial et touristique qui y est opéré. Le trait de côte se caractérise également par des dynamiques naturelles, des modifications constantes du paysage. Sur le plan physique, on constate une mutation lente du paysage causée par l'érosion, le marnage, les fluctuations climatiques depuis l'Holocène, phénomènes qui ont été responsables de déplacements du trait de côte.

Plus récemment, le trait de côte a connu une modification rapide, très fortement marquée par des facteurs d'origine anthropique, au premier rang desquels, le processus de littoralisation (glissement des populations et des activités vers les littoraux) a joué un grand rôle. Au cours des dernières décennies, avec l'augmentation et la mondialisation des échanges, la densité des populations humaines n'a cessé de s'accroître sur le littoral. Aujourd'hui, les enjeux de la gestion des côtes et de leurs ressources sont aussi divers que les acteurs du système littoral. En tête, on retrouve les enjeux de protection et de développement durable de cet espace fragilisé et menacé par différents usages.

Actuellement, l'érosion côtière est une menace importante pour de nombreux sites côtiers Algériens et le golfe du littoral de Bejaia n'est pas en reste de cela, principalement ces échanges de sédiments qui se produisent sous l'action des houles, des courants et des vents ainsi que l'action on ne peut plus néfaste de l'urbanisation sauvage.

Le but de ce projet est de passer en revue les éléments du littoral du golfe de Bejaia vis-à-vis des changements climatiques ainsi que les activités anthropiques et voir de quelle manière on peut atténuer leurs effets sur ce dernier.

Pour cela, notre travail s'articulera autour de cinq (05) chapitres :

Dans le chapitre I, on évoquera le système littoral en général puis on parlera du littoral Algérien en particulier et les impacts des changements climatiques pouvant agir sur les différents secteurs (Tourisme, agriculture, etc...) et en dernier lieu on citera les solutions d'aménagement quant à atténuer un tant soit peu leurs risques sur le littoral.

Introduction Générale

Le chapitre II décrit la morphologie littorale de notre zone d'étude, le cadre géomorphologique et géologique (topographie, sédimentologie, stratigraphie...etc.), les facteurs hydrologiques, météo-océaniques et anthropiques influençant cette dernière.

Le chapitre III présente les résultats de notre étude bathymétrique et hydrodynamique réalisées à l'aide des logiciels Arc Gis et Mike 21.

Le chapitre IV traitera l'étude diachronique du trait de côte, voir son évolution de 1984 à 2021 avec une analyse du bilan sédimentaire et surfacique durant cette période et une étude prévisionnelles à les deux horizons 2050 et 2100.

Dans le chapitre V, on parlera de l'étude de submersion marine pour voir quelles sont les prévisions des houles extrêmes, leur importance, les lieux où surviendraient ces houles et leur niveau d'inondation afin de proposer les solutions idoines à mettre en place dans le but de minimiser les dégâts que causeraient de pareilles houles.

Partie théorique

Chapitre I
Généralités

1. Le littoral

Il n'existe pas de définition unique du littoral ou de l'espace littoral. En effet selon la discipline exercée, la prise en compte des usages du territoire côtier, voire l'expérience personnelle de l'auteur, il découle de multiples façons de décrire ou de concevoir le littoral et les multiples limites de cette entité spatiale (Figure I.1).

Pour que le littoral conserve sa productivité et ses fonctions naturelles, il faut donc améliorer la planification et la gestion de son développement. En effet, l'aménagement des zones littorales doit se fonder sur une base scientifique tenant compte de ses caractéristiques géomorphologiques et climatiques et conciliant les exigences des divers secteurs économiques dont la survie dépend de ces écosystèmes (PASKOFF, 1993).

1.1. Le système littoral

Tout d'abord, les systèmes sont composés d'une grande variété d'éléments possédant leurs caractéristiques propres. Ces éléments sont organisés en niveaux hiérarchiques avec des interactions généralement non-linéaires de nature très variées (MEZOUAR, 2009).

Le but de ces systèmes littoraux est de décrire et de modéliser l'ensemble des paramètres, acteurs et interactions pour conceptualiser une meilleure compréhension intégrale du littoral.

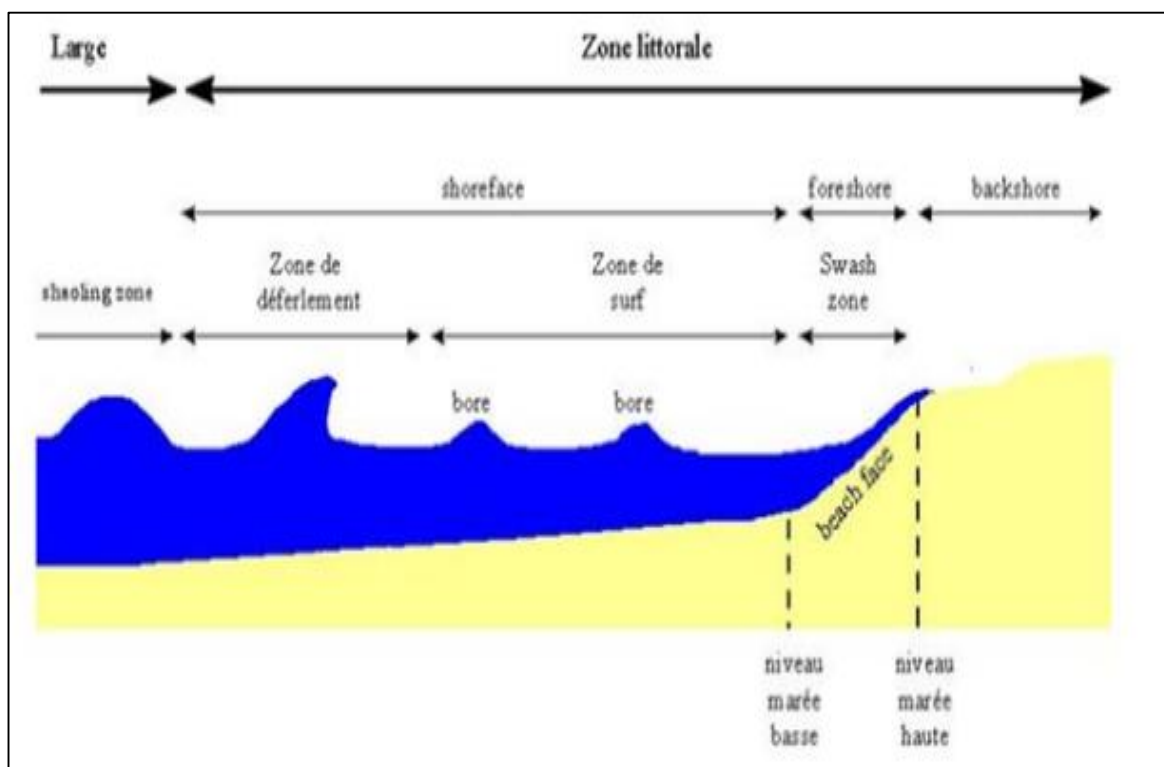


Figure I. 1 : Zonation hydrodynamique du littoral. (CORDIER, 2007)

2. Le littoral Algérien

Généralement, le littoral algérien est divisé en trois zones côtières : Est, Centre et Ouest, une bande littorale étroite qui s'étend sur quelques kilomètres de large, selon la délimitation des Plans d'Aménagement Côtier, elle forme une zone de contact entre le domaine continental et le domaine marin.

2.1. La loi du 5 février 2002

En Algérie l'intérêt porté au littoral est récent, la loi relative à la protection et à la valorisation du littoral date du 05 février 2002. En effet, des plans d'aménagement côtiers ont été lancés à travers les 14 wilayas littorales que compte le pays et des commissariats nationaux du littoral ont été installés. Malheureusement, cette loi et les instruments qui l'accompagnent n'ont que peu modifié la gestion des espaces littoraux et l'urbanisation sauvage n'a pas été freinée du fait d'un manque flagrant de l'application des dispositions de cette loi (figure I.2).

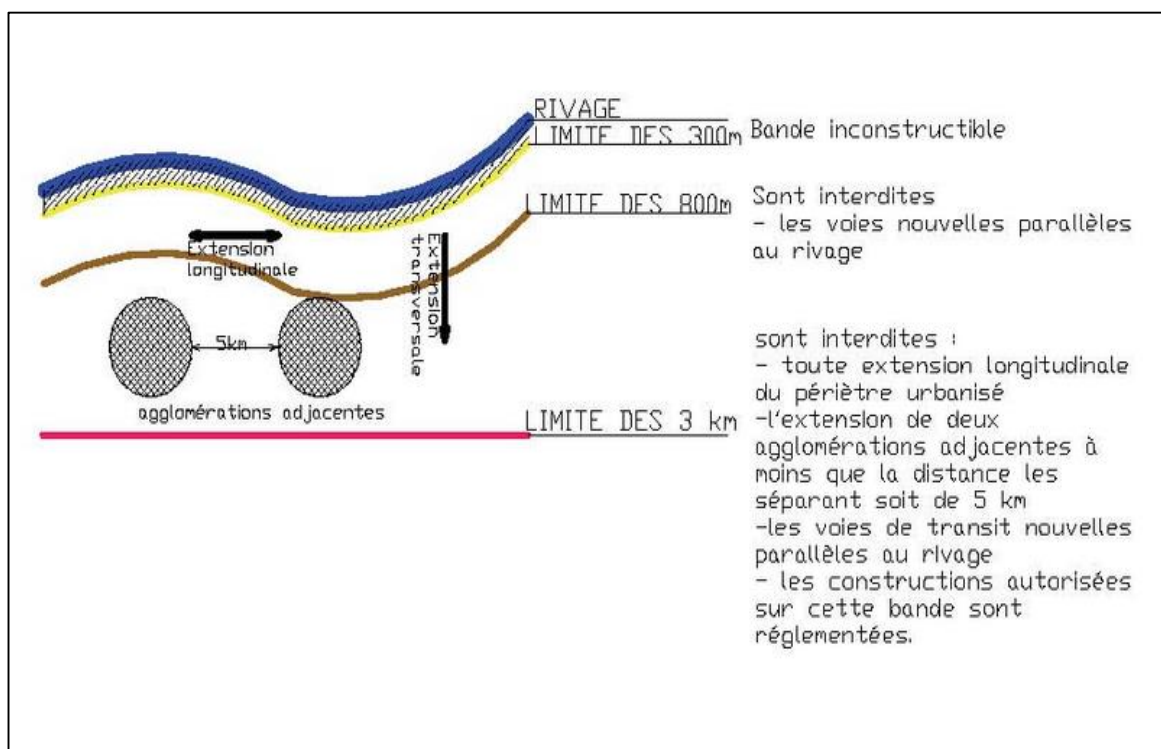


Figure I. 2 : Bandes délimitées par la loi 02-02 du 5 février 2002. (KACEMI, 2004)

2.2. Pressions anthropiques et littoralisation

Le littoral algérien s'étend sur 1 622 kilomètres. Il représente un écosystème fragile et constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière. Il est caractérisé par une concentration des activités industrielles.

La population est caractérisée par une répartition déséquilibrée sur le territoire national, environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement, tandis que 8% de la population est dispersée à travers le Sahara qui s'étend sur 87% du territoire national. En 1998, la population des wilayas littorales est estimée à 12 564 151 habitants soit 43% de la population nationale, résidant en permanence sur une bande du littoral de 50 kilomètres de profondeur (ONS RGPH, 1998).

Cette forte concentration démographique a entraîné une urbanisation démesurée. Cette urbanisation s'est développée au détriment du foncier agricole, les surfaces concédées par l'agriculture ont été évaluées à 8 790 hectares à la Mitidja, 2 850 hectares dans les collines du Sahel, 1 010 hectares dans les plateaux côtiers du centre et 5 470 dans la région oranaise. A elles seules ces régions littorales autour des trois principales villes côtières ont perdu 17% du total de leurs terres agricoles. Les sites naturels (plages, dunes..) autour des grandes agglomérations et périmètres industriels côtiers (Alger, Oran, Annaba) n'ont pas été épargnés non plus.

L'activité pétrolière est une activité positive et souhaitable, essentielle pour le développement social et économique du pays. Cependant, elle s'est accaparée des meilleurs sites littoraux et s'est développée au détriment des autres usages liés à la mer. Elle peut, en outre, comporter des risques réels pour les agglomérations limitrophes et le milieu marin et générer des déchets, des émissions de gaz toxiques et d'eaux usées polluées. La zone compte deux zones pétrochimiques importantes, la première située à Arzew à l'Ouest de l'Algérie et la seconde à Skikda à l'Est.

Le littoral Algérien recèle d'atouts indéniables favorables à l'activité touristique. Depuis l'indépendance, et contrairement aux autres pays du pourtour méditerranéen, l'Algérie n'a pas accordé au secteur du tourisme un rôle conséquent dans ses différentes politiques de développement. En réalité, il n'existe aucune politique qui vise à gérer et à promouvoir le tourisme, encore moins d'une manière durable, même si en 1966 furent créées les Zones d'Expansion Touristiques (ZET). Actuellement la majorité des ZET ont été détournées de leur vocation initiale, leurs terrains d'assiettes ont servi pour implanter des lotissements et des coopératives immobilières.

Le littoral Algérien est soumis à un recul important dans environ 50% des côtes dont plus de 75% sont des plages sableuses (BOUTIBA, 2006).

Dans un contexte de changements climatiques, on assiste actuellement à une hausse du niveau marin relatif (GIEC, 2001) de 1 à 2 mm/an depuis un siècle (PIRAZZOLI, 1989, WOODWORTH et al, 1999, MORNER, 2004) et de 3,1 mm/an depuis la dernière décennie (GIEC, 2007).

3. Le Changement climatique et ses impacts

Depuis 1910, la température moyenne de la Terre s'est accrue d'environ 0,6 °C. Les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère se maintiennent à des niveaux record qui placent notre planète sur une trajectoire de réchauffement dangereux.

Il faut donc considérer le changement climatique comme étant une « chaîne d'impacts ». Il correspond à une modification durable des paramètres statistiques du climat global de la terre. Les perturbations du système climatique se traduiront par l'évolution de certains grands paramètres (températures de l'air, précipitations, niveau de la mer), qui aura potentiellement des répercussions sur la fréquence, l'intensité et la répartition des aléas. Ceux-ci auront eux-mêmes des conséquences plus ou moins marquées sur les ressources naturelles (eau, sols, espace terrestre, etc.), et donc à terme sur les conditions de maintien et de développement de nombre d'activités humaines (agriculture, production d'énergie, aménagement du territoire, etc.). Certains secteurs d'activité sont également directement sensibles à l'évolution des conditions climatiques, comme le tourisme ou la santé.

3.1. L'impact du changement climatique dans un contexte de développement

Le changement climatique sera l'un des grands facteurs de contrainte des activités économiques et des modes de vie, mais il faut néanmoins se garder de le considérer comme le seul moteur de changement, ni même comme le principal dans certains cas (figure I.3).

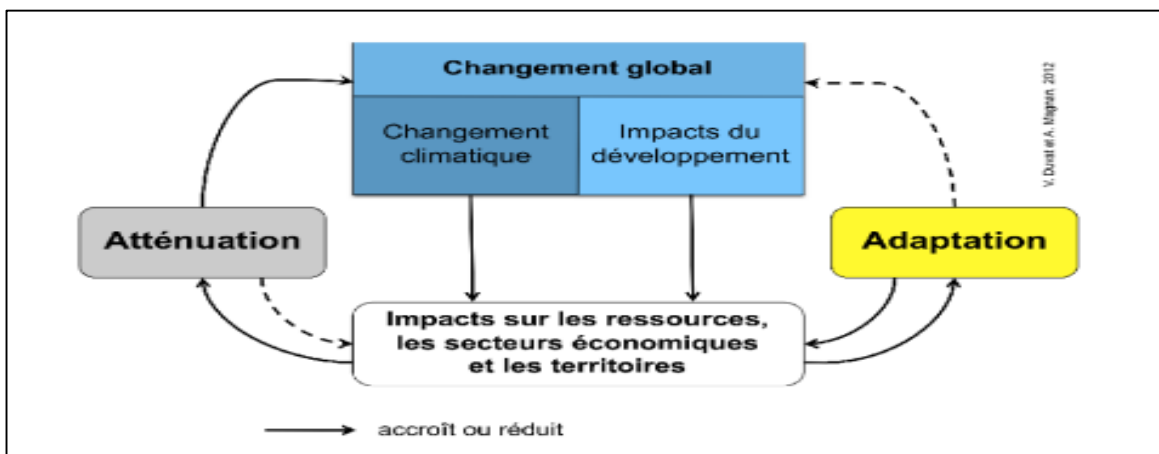


Figure I.3 : Approche générale de la lutte contre les changements climatiques et leurs impacts. (DUVAT et MAGNAN, 2012)

3.2. Impacts potentiels du changement climatique sur le secteur de l'agriculture et de l'élevage

Le changement climatique agit sur le rendement en matière de production agricole, les variations de rendement, qu'ils soient positives ou négatives sont très inférieures aux variations positives de rendement qui pourraient résulter du recours à la fertilisation. Le risque économique encouru par les paysans à l'intensification des systèmes de culture par la fertilisation devrait être analysé afin de proposer des politiques offrant aux agriculteurs les moyens de s'adapter au changement climatique, notamment via la facilitation de l'accès aux intrants, dont le coût rend aujourd'hui leur utilisation impossible pour certains. Selon une étude prospective réalisée par l'organisation de la FAO, la réduction des précipitations et l'augmentation des températures tendent à augmenter progressivement l'aridité entraînant ainsi des effets négatifs sur les rendements agricoles (FAO, 2010), par contre trop de précipitations risquent d'endommager les récoltes. Il va de soi que le meilleur des cas serait une pluviométrie régulière et modérée qui aurait un impact positif sur l'agriculture (figure I.4).

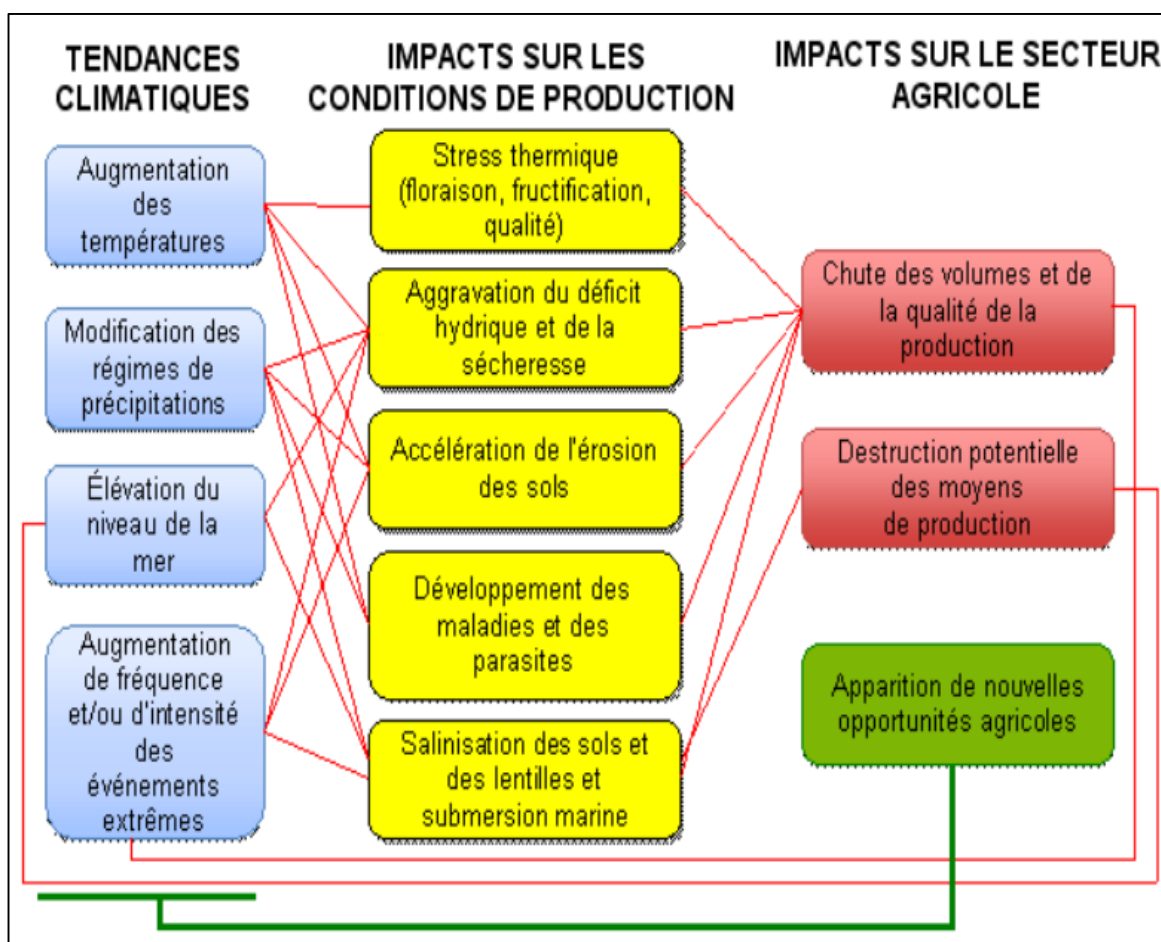


Figure I.4 : Chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur l'agriculture. (DUVAT et MAGNAN, 2012)

3.3. Impacts potentiels du changement climatique sur le secteur du tourisme

Les effets du changement climatique sur l'activité touristique sont plus ou moins sensibles. En période hivernale, une diminution de l'enneigement serait mal venue pour les stations de ski situées en dessous de 1 800 mètres qui se verraient ainsi menacées et seraient en péril. Les pénuries d'eau deviendraient difficiles à gérer sous la pression du tourisme selon les lieux et saisons et une pluviométrie conséquente influencerait négativement sur l'affluence touristique surtout en bord de mer (figure I.5).

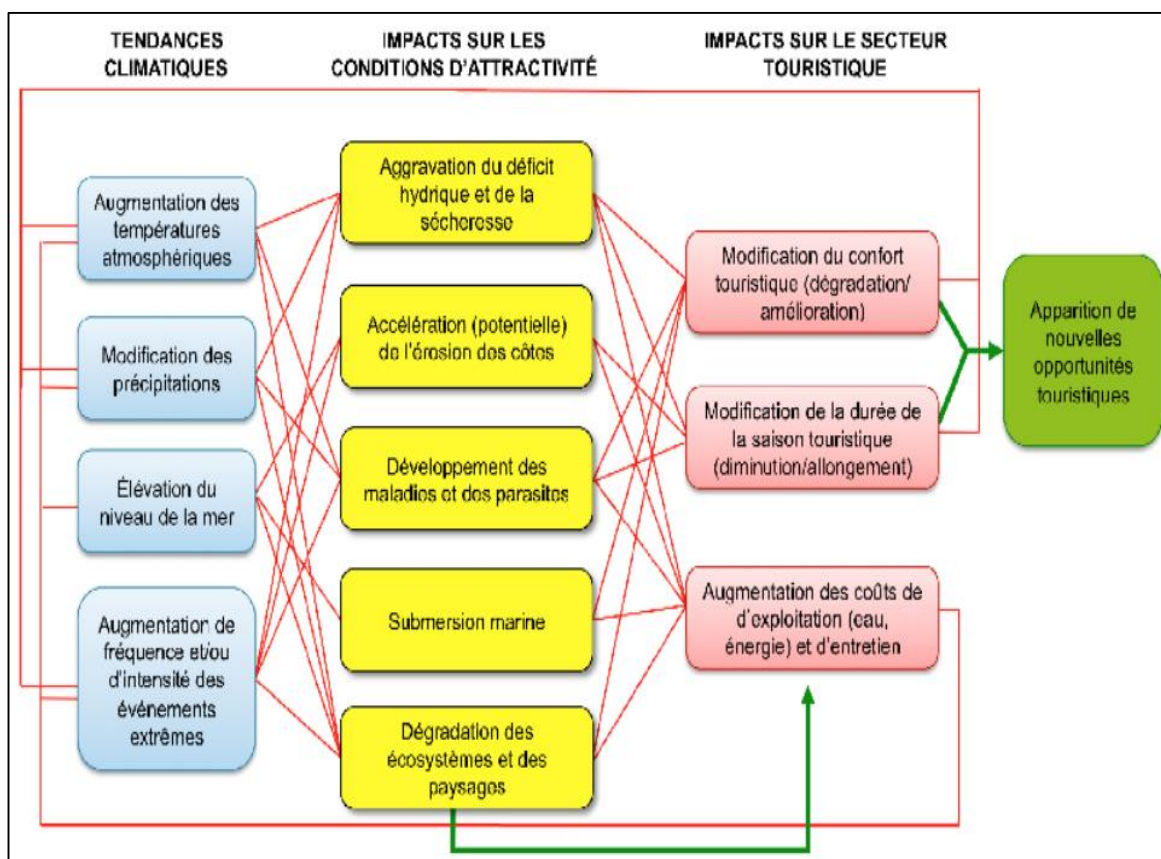


Figure I.5 : Chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur le secteur du tourisme. (DUVAT et MAGNAN, 2012)

4. Aménagement littoral et gestion des risques littoraux

L'aménagement des littoraux a fortement perturbé leur fonctionnement morpho dynamique et accru leur sensibilité aux aléas érosion et submersion. Le creusement de ports et de chenaux de navigation dans les platiers récifaux, l'élargissement des passes, les travaux de remblayage, l'extraction de sable et de coraux, le ratissage des plages touristiques, le défrichement des mangroves, etc., sont autant de pratiques qui ont contribué à déstabiliser les côtes et à affaiblir les écosystèmes protecteurs (DUVAT, 2008 ; LE COZANNET et al, 2011).

- La plupart des risques actuels vont rester identiques ou s’amplifier dans le futur : la correction des insuffisances actuelles constitue donc une option sans regret.
- Les zones littorales connaissent une urbanisation côtière soutenue qui accroît mécaniquement les risques qui pèsent sur les biens et les personnes.
- La mise en place de plans de zonage des risques et de mesures visant à contrôler l’application de plans de prévention doit être poursuivie, car c’est également une solution sans regret.
- Les choix d’aménagement doivent être appréhendés de manière globale en prenant en compte la morphologie des bassins versants, les sols, les cellules hydro sédimentaires.
- L’observation (érosion côtière, mouvement de terrain) et la communication au public doivent être renforcées afin de pouvoir affiner le zonage des risques, améliorer les dispositifs réglementaires existants et permettre à l’ensemble des acteurs de mieux s’appropriier les enjeux associés aux risques. Il importe d’abord de présenter les facteurs et les processus qui sont à l’origine des risques littoraux, car ils sont tout aussi importants à prendre en compte que les manifestations à attendre du changement climatique pour penser des politiques d’adaptation pertinentes (figure I.6).

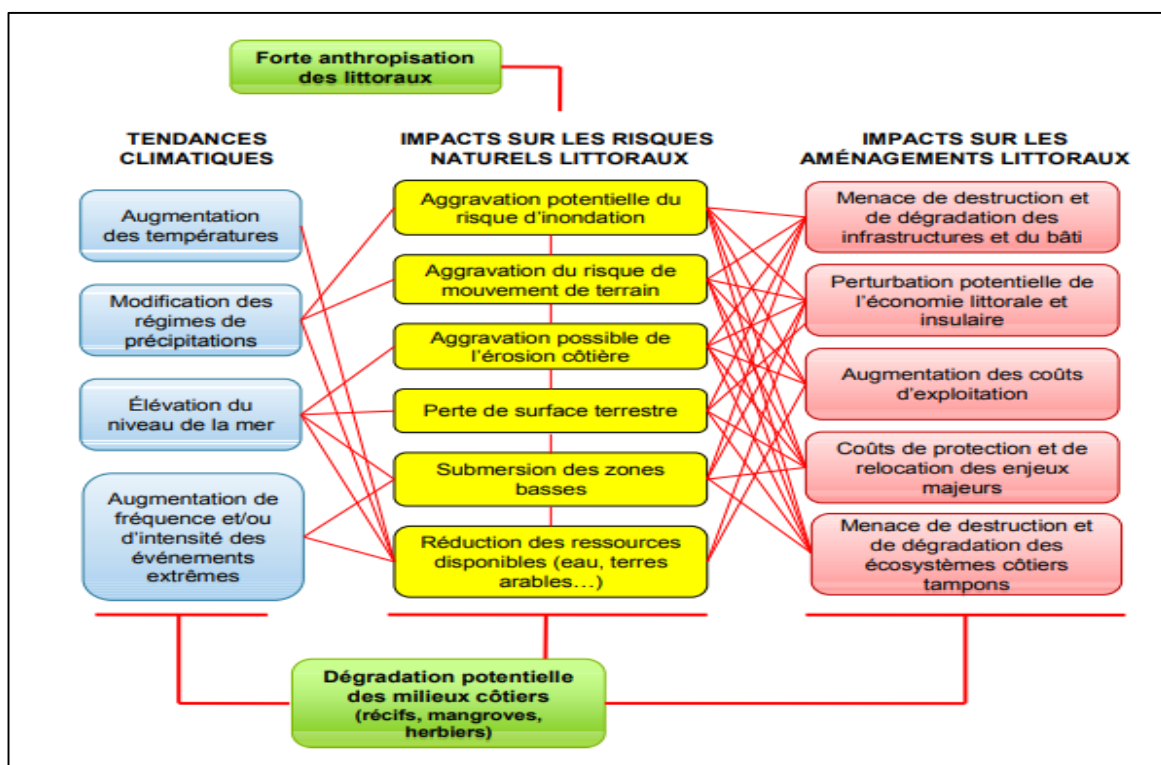


Figure I.6 : La chaîne des impacts à attendre du changement climatique sur le secteur des risques littoraux. (DUVAT et MAGNAN, 2012)

5. La submersion des zones basses et ses conséquences sur les ressources littorales

Avec l'élévation graduelle du niveau de la mer, certains espaces seront submergés, la submersion des zones basses va réduire les ressources disponibles, donc aggraver les pressions sur l'eau et les terres cultivables. L'élévation du niveau de la mer va entraîner une salinisation des nappes phréatiques et une baisse de volume des lentilles qui contribuent à l'approvisionnement des populations dans les îles basses.

6. L'urbanisation littorale, facteur-clé de l'aggravation des risques

Si de nombreux facteurs anthropiques qui contribuent à l'aggravation des risques littoraux sont en passe d'être en partie contrôlés (extraction de matériaux, dégradation des écosystèmes, défrichement, etc.), ce n'est pas le cas de l'urbanisation. Les tendances observées, les travaux de modélisation de l'étalement urbain et les documents d'urbanisme laissent en effet entendre une poursuite de l'urbanisation littorale qui devrait aggraver considérablement les risques.

7. Solutions d'aménagement et pistes d'adaptation

- Réduire la vulnérabilité actuelle (recul stratégique, prévention des risques) et future (zonage de l'urbanisation).
- Mener une politique globale de soutien des bonnes pratiques.
- Poursuivre le contrôle de l'urbanisation, par le biais des plans de prévention des risques mais également par la prise en compte des risques naturels directement dans les documents d'urbanisme, en empêchant les constructions dans les secteurs exposés aux aléas.
- Favoriser le rééquilibrage démographique et économique au profit des espaces situés à mi-pente par la réalisation d'opérations d'aménagement de grande ampleur.
- Préserver les écosystèmes protecteurs.
- Évaluer et cartographier la vulnérabilité et développer l'observation.
- Développer le dispositif de gestion des risques.

Chapitre II
Présentation de la zone
d'étude

1. Situation géographique

La wilaya de Bejaia est située au Nord-Est de la région centre de l'Algérie, Elle est divisée administrativement en 52 communes réparties sur une superficie totale dépassant les 3223 Km² elle est délimitée au Nord par la Méditerranée, à l'Est par la wilaya de Jijel, à l'Ouest par les wilayas de Bouira et Tizi-Ouzou et enfin au Sud par les wilayas de Bordj-Bou-Argeridj et Sétif.

Bejaia est érigée sur l'un des plus beaux golfes de l'Algérie et de la méditerranée dont les coordonnées géographiques sont 36°45'0'' N et 5°19'60''E. Il est situé dans la partie Sud du bassin méditerranéen. La partie Ouest de ce golfe représente 10% du littoral algérien et se situe entre le cap Carbon à l'Ouest et le cap de Ziama Manssouria à l'Est ; il est composé d'une morphologie variable qui s'étend sur plus de 111 kilomètres, la partie Ouest du littoral du golfe de Bejaia est d'environ 70km de long, regroupe 7 communes qui sont respectivement d'Ouest en Est : Bejaia, Sidi Ali Lebhar, Boukhefifa, Tichy, Aokas, Souk el Tenine et Melbou (figure II.7).

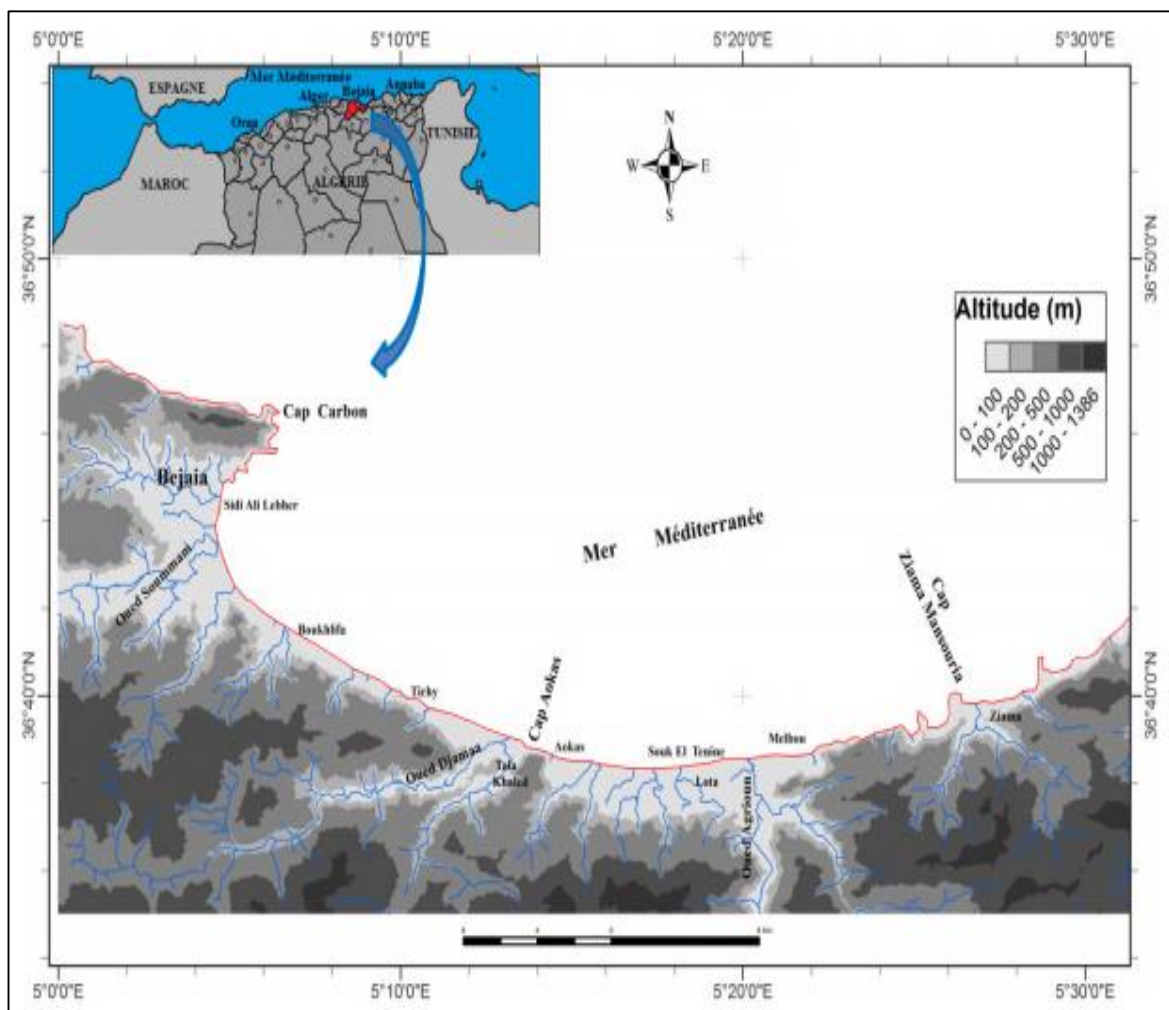


Figure II.7 : La partie Ouest du littoral du golfe de Bejaia. (DJOLDER, 2018)

2. La géomorphologie

Le golfe de Bejaia (forme semi-circulaire) est délimité à l'Est par le massif volcanique d'El Aouana et à l'Ouest par les falaises jurassiques de cap Bouak. Il se singularise par un plateau continental peu étendu, d'une largeur moyenne de 1,5 Km un glacis continental festonné par d'imposants Criques (Cap Aokas, Béni Segual), d'où partent des vallées sous-marines, la profondeur maximale du golfe de Bejaia est d'environ 1000 m (LECLAIRE, 1972). Le secteur Ouest se caractérise essentiellement par des côtes rocheuses (Figure II.8).

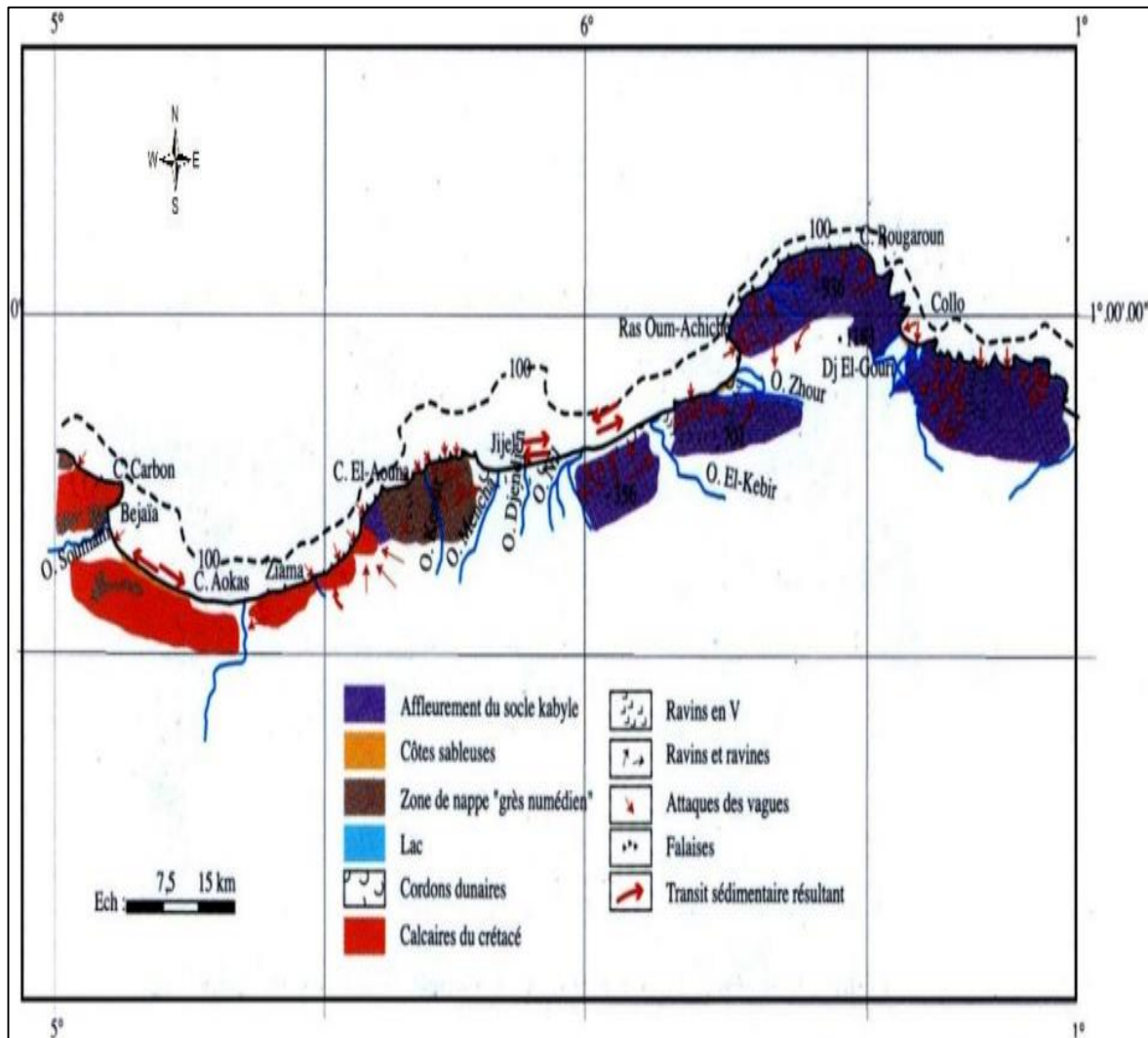


Figure II.8 : Esquisse morphologique du secteur Annaba-Bejaia (BOUTIBA, 2004). Modifié

2.1. Les côtes rocheuses

Aux deux extrémités occidentale et orientale apparaissent les formations rocheuses du cap Carbon qui départagent les deux franges littorales de la wilaya et celle de Melbou qui marquent l'entrée aux côtes Jijeliennes. Elles sont toutes les deux taillées dans des calcaires dolomitiques.

Dans la partie centrale, s'érige le cap Aokas, ses falaises évoluent en plusieurs niveaux entre un substratum calcaire de base et un sol peu évolué d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur avec sa texture limono-argileuse et de quelques galets.

Un peu plus à l'Ouest se trouve le cap de Tichy qui est moins volumineux et moins résistant face aux assauts des vagues, sa falaise est formée d'un dépôt de colluvions hétéroclites, mélangé avec des argiles et du sable.

2.2. Les côtes meubles

Elles sont représentées par des plages qui sont généralement bordées par des dunes à la limite de la disparition à cause des extractions illégales des granulats, des activités touristiques nocives...etc.

2.2.1. Les plages

La géomorphologie définit une plage comme une accumulation sur le bord de mer de matériaux d'une taille allant des sables fins aux blocs. Le nombre de plages recensées du cap Carbon jusqu'à Ziama Manssouria est de 33 plages dont la longueur de trait de côte totale est de 34.5 km.

En allant de l'Ouest vers l'Est, se trouvent les plages du club hippique, d'oued Djoua, d'El Meghra, d'Acherchour, d'El Djabia et d'oued Afalou qui englobent 377000 m² de la bande côtière de la commune de Boukhelifa. Elles s'étendent sur une longueur de 6 km et 2° à 4° de déclivité entre oued Djebira à l'Ouest et oued Afalou à l'Est et représentent 23,14% de la totalité des plages de la zone d'étude.

Tout en continuant vers l'Est, se trouvent les plages de Tichy qui représentent 19,60% de l'étendue sableuse totale du golfe, elles s'étendent sur 5km de long, 20m à 80m de large et 1° à 4° de déclivité, ces plages sont : les Hammadites, Tichy stade, Tichy centre, Tassift, Ben Said et Taghzouit (figure II.9).

A Aokas, se succèdent 7 plages qui couvrent 22.35% de la longueur totale de la bande sableuse de la zone d'étude. Ces plages sont : oued Djemaa, oued Zitouna, Aokas centre, oued Tabelout, Sidi Rihane, Carrefour Aokas et Ashrit. Elles s'étendent sur 5.7 km de long, 60m à 80m de large et de 3° à 4° de déclivité.

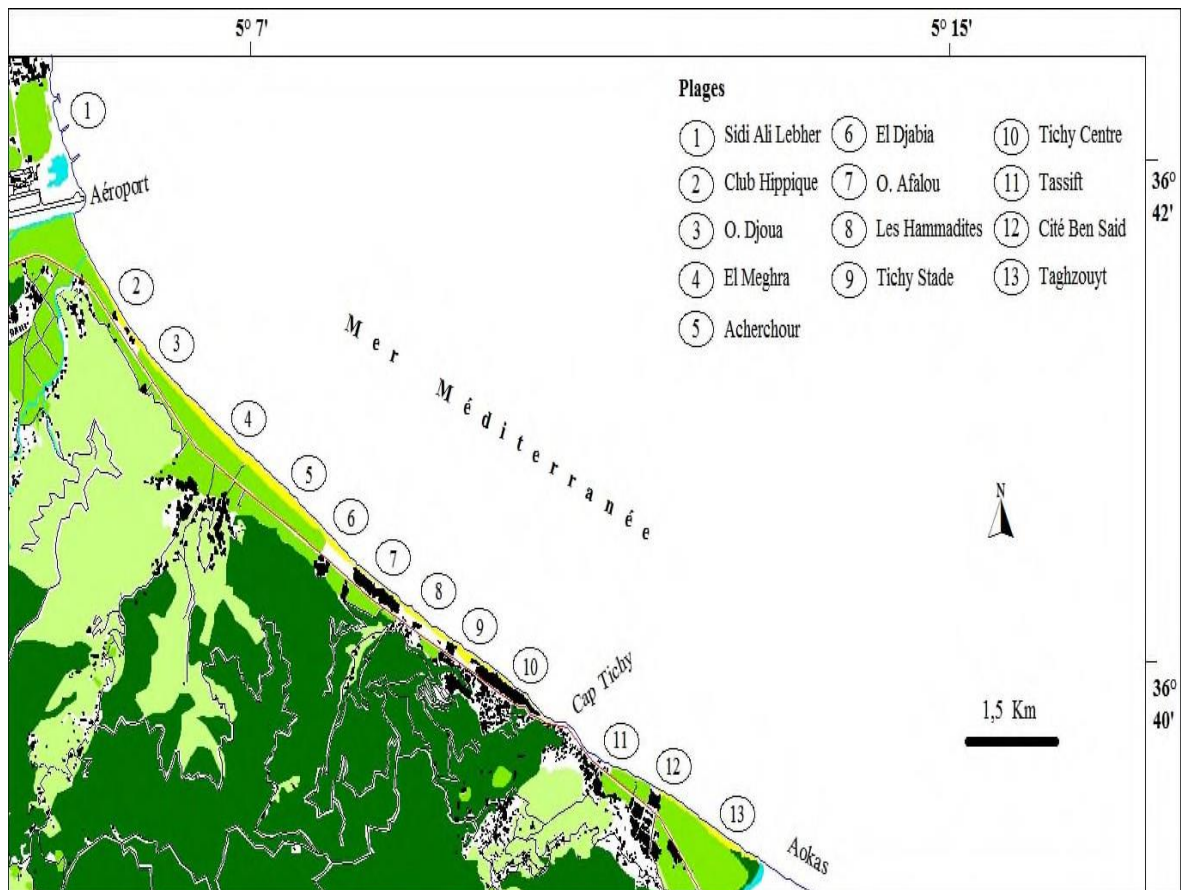


Figure II.9 : Les plages de la partie Ouest de la zone d'étude. (DJOUDER, 2018)

A Souk El Tenine, on trouve 6 plages constituant la bande sableuse de cette localité, qui constituent 15.868% de la bande sableuse de la zone totale d'étude, englobant ainsi 322000m² de la bande côtière de la commune de Boukhelifa, 70m à 100m de large, 4km de long et 0.71° à 3° de déclivité. Ces plages sont celles d'Ighil Hssaein, Ennouar, Lota, Souk el Tenine, Ighzer Leblat et Tassabount.

Enfin à Melbou, on trouve 7 plages qui recouvrent 16.07% de la bande sableuse de la zone totale d'étude, s'étendant sur une longueur de 4.4 km, 30m à 70m de large et 2° à 3° de déclivité. Ces plages sont : Agrioun, la plage du lac, celle du 08 mai 1945, el Djorf Dahabi, Tassift el Mersa, les falaises et Tiqsert (figure II.10).

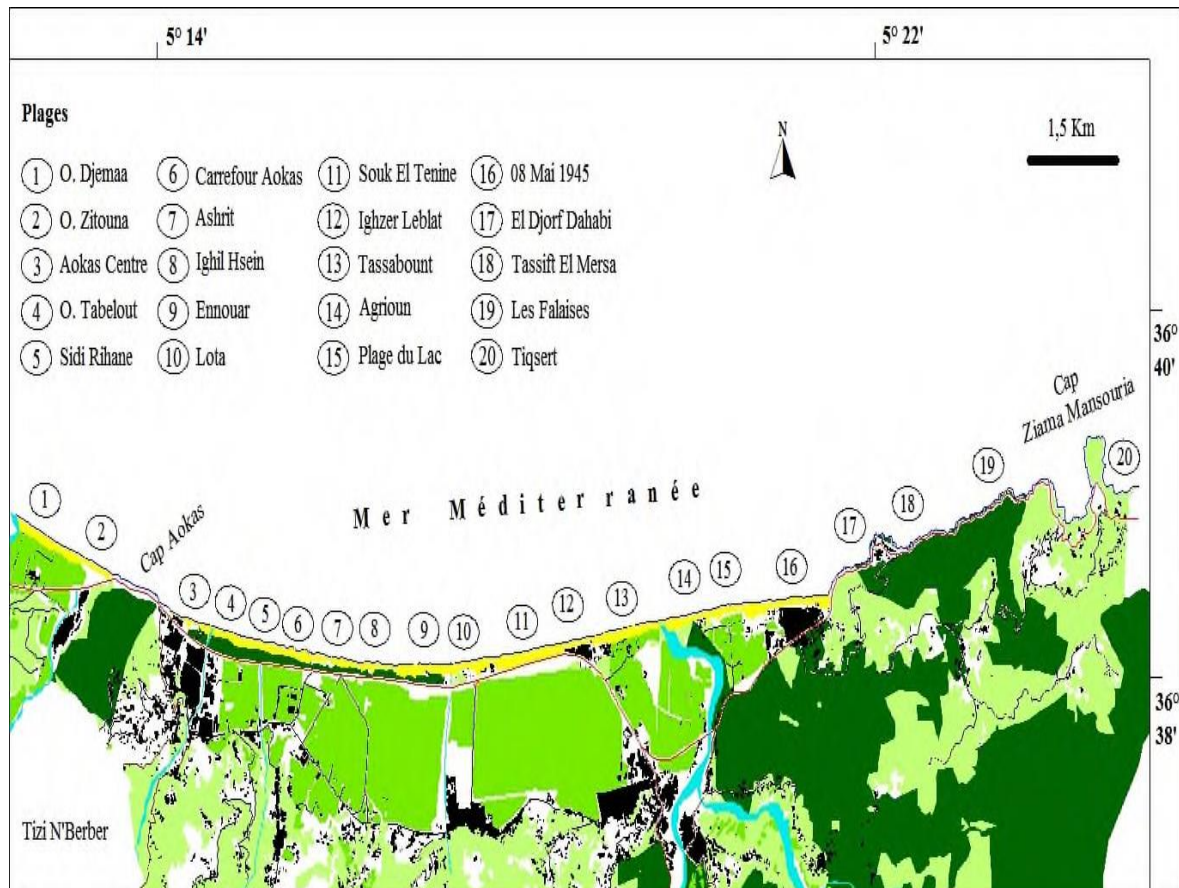


Figure II.10 : Les plages de la partie Est de la zone d'étude. (DJOUDER, 2018)

3. La sédimentologie

Le golfe de Bejaia comporte trois principaux faciès : les sédiments calcaires tels les sables, les graviers et les vases calcaires siliceuses. Les sédiments siliceux représentent le plus important pourcentage du recouvrement sédimentaire du plateau continental (63 à 64%), et enfin le sédiment argileux avec un seul faciès de boues argilo-siliceuses. (LECLAIRE, 1972).

Tous les sables noirs, de Bejaia à Mansouria sont identiques : quartz anguleux, bipyramidiques, calcite et dolomite. Ces sables noirs, sans changer de nature, deviennent beaucoup plus fins (sablons) et s'étalent largement dans le golfe de Bejaia. Les caractères granulométriques des sablons des avant-plages de Bejaia indiquent qu'ils sont plus fins de diamètre de 120μ à 175μ et leur mode variable entre 2,50 et 3,25 (BEHLOUL et BELHOUT, 2019).

4. La topographie

La topographie du littoral du golfe de Bejaia est composée principalement de montagnes, de la vallée de la Soummam et de la zone côtière, ces deux dernières sont très largement dominées par les montagnes faisant d'elles de réels repères et symboles de la Kabylie. Les terrains qui composent les montagnes des Babors culminent pour la plupart sous la barre des 400 m d'altitude. En dépit de ces altitudes qu'on peut considérer relativement faibles, la zone reste très accidentée et présente en grande partie des pentes supérieures à 25 % (DJOUDER, 2018). La région de Bejaia est caractérisée par des fortes précipitations, lesquelles ont donné naissance à un dense réseau hydrographique qui a déformé ses reliefs en y creusant des oueds étroits et encaissés. En certains espaces, la chaîne des Babors est rattachée à la mer via des caps et des falaises qui font que le golfe est découpé en de petites baies. Ce sont successivement le cap Carbon à l'extrême Ouest, les deux caps de Tichy et d'Aokas au centre et les falaises de Melbou à l'extrême Est. Mis à part cela, ce qui assure la transition entre la chaîne montagneuse et la mer sont les plaines littorales et les belles plages de sable fin qui contrastent avec les hauteurs qui dominent l'environnement alentour (figure II.11).

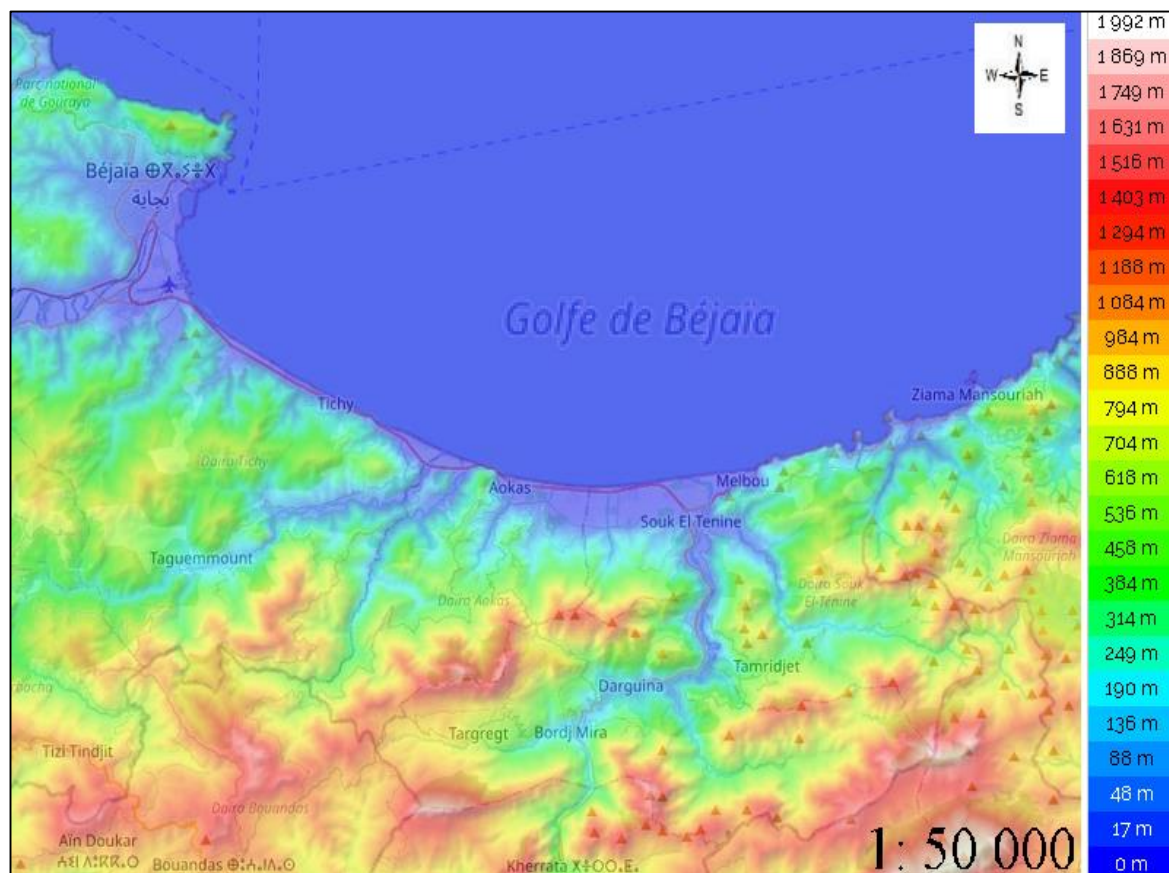


Figure II.11 : la carte topographique de la partie Ouest du golfe de Bejaia.

(Source : <https://fr-fr.topographic-map.com/maps/26kg/B%C3%A9ja%C3%AFa/>)

5. La géologie

Les massifs de Ténès, de Chenoua, d'Alger, de petite et de grande Kabylie et de l'Eddough sont ce qu'on appelle les zones internes, c'est là où on distingue respectivement le socle cristallin (métamorphique), le paléozoïque non métamorphique et enfin la dorsale kabyle ou chaîne calcaire, Le tout chevauche les zones externes par l'intermédiaire d'unités de flysch dont l'origine et la mise en place sont encore discutées et au sein desquelles on distingue le flysch massylien à matériel crétacé, le flysch maurétanien à matériel crétacé à éocène et le flysch numidien d'âge Paléogène.

La zone externe du littoral Ouest du golfe de Bejaia, quant à elle, est formée par le domaine des Babors qui apparaissent à l'Est du mont Gouraya, lequel domaine est aussi appelé domaine tellien. Cette zone est composée principalement de terrains d'âge Mésozoïque et Cénozoïque très épais, plissés, parfois schistosés et métamorphisés. Ces terrains ont été charriés sous forme de nappes au cours de l'orogénèse alpine (figure II.12).

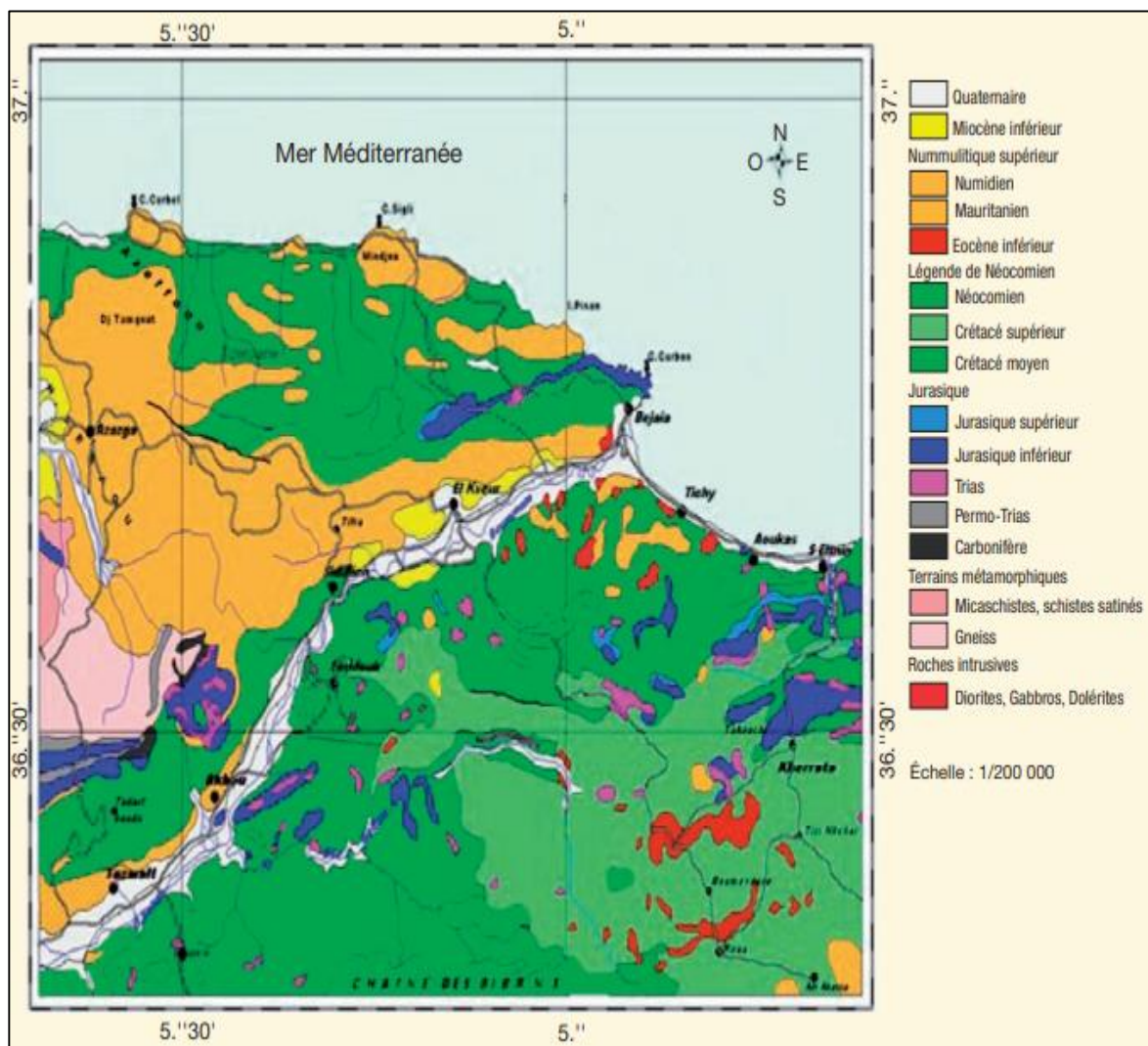


Figure II.12 : Carte géologique de la zone d'étude (LTMGP, 2009)

5.1. La stratigraphie

5.1.1. Le Trias

Il est composé par des faciès argilo-évaporitiques et dolomitiques. Sa présence a été constatée sous forme d'écailles ou de diapirs, surtout au niveau de Souk el Tenine mais aussi, comme signalé par beaucoup d'auteurs, aux environs du chaînon Gouraya- Arbalou. Beaucoup plus tard, de nombreuses études sur la région, particulièrement celle menée par HASSISSENE en 1989, ont exclu toute présence du trias. Selon ce même auteur, les affleurements triasiques cartographiés auparavant correspondent aux dolomies liasiques teintées en rouge violacé.

5.1.2. Le Jurassique

Constitué de formations calcaires et dolomitiques pouvant atteindre 1500 m d'épaisseur et formant ainsi d'importantes masses disposées en chaînons, de direction WSW-ENE. Les montagnes de Boukhelifa – Aokas présentent des saillies rocheuses culminantes de calcaires, des séries marno-calcaires et des flyschs profondément entaillés par les cours d'eau.

5.1.3. Le Crétacé

Les dépôts d'âge Crétacé apparaissent dans les Babors occidentaux et se répartissent en deux ensembles lithologiques : les formations pélitiques et marneuses appelées « faciès tellien » et les formations schisto-gréseuses.

5.1.4. Le Tertiaire

Appelé aussi Tertiaire marin, il ne se manifeste dans les Babors qu'à partir du Burdigalien supérieur et se compose de dépôts infiniment détritiques dont le contenu faunistique traduit un caractère le plus souvent littoral.

5.1.5. Le pliocène

Appelé aussi Pliocène inférieur marin, il n'est identifié que dans la basse vallée de la Soummam. Il est formé de marnes bleues. Selon GLAÇON (1967), la mer Pliocène a avancé d'au moins 15 km (par rapport au rivage actuel) du fait de la dépression occupée actuellement par la Soummam.

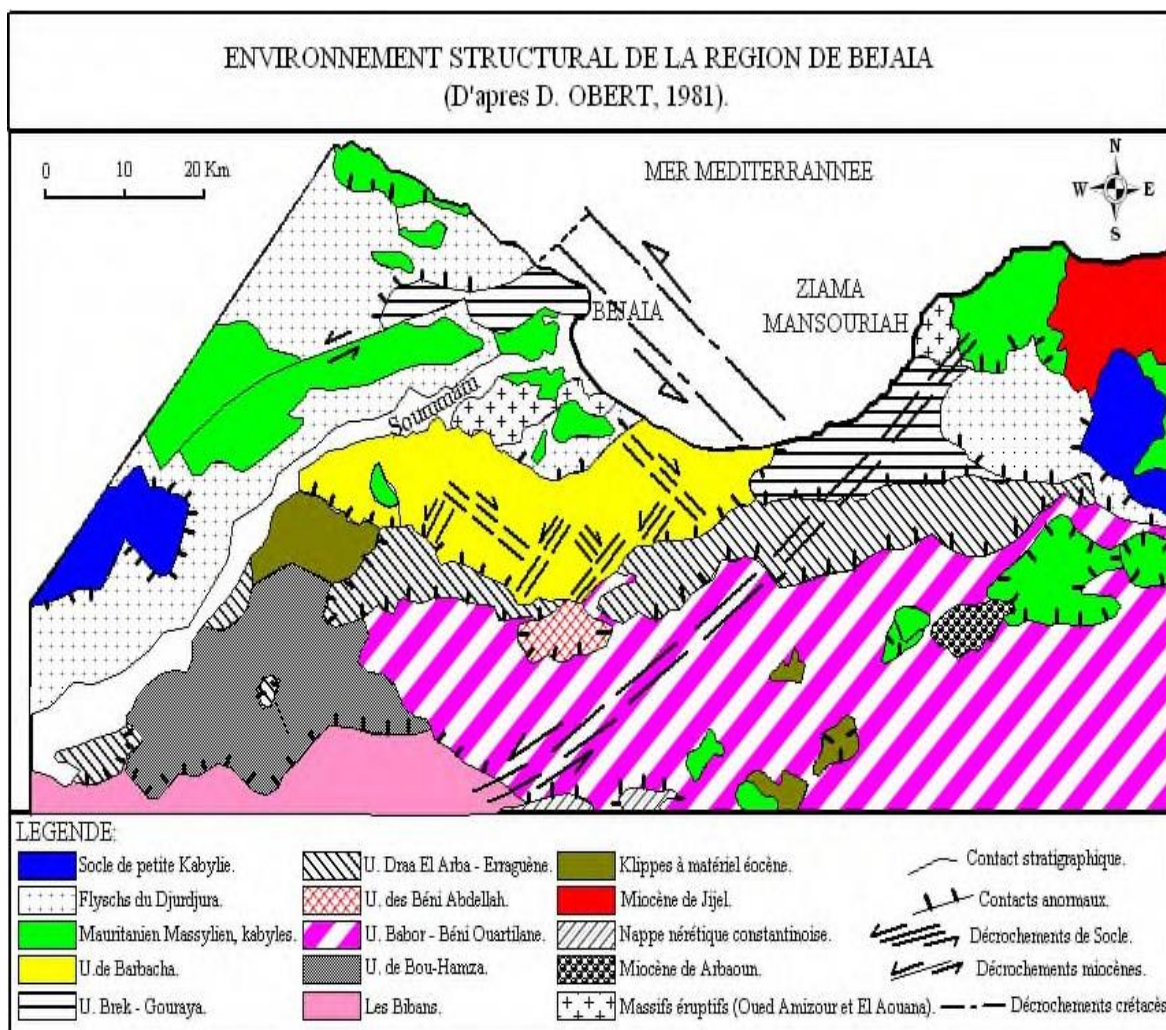


Figure II.13 : Environnement structural de la région de Bejaia (OBERT, 1981).

5.2. La Tectonique Plio-Quaternaire

On ne peut omettre l'importance du caractère tectonique de cette zone pour laquelle deux unités géologiques ont été mises au-devant de la scène, il s'agit de :

5.2.1. Le Synclinorium de la région littorale Ouest

La région littorale Ouest a connu plusieurs phases tectoniques :

- Des failles post-oligocènes découpant l'ensemble du Synclinorium en compartiments disposés en gradins effondrés du Sud vers le Nord.
- Un grand accident Sud-Ouest Nord-Est qui cisaille les anticlinaux des Djebels Arbalouet Gouraya ; il est daté du Pliocène.

5.2.2. Le sillon de la vallée de la Soummam

Axé parallèlement sur le cours d'oued Soummam entre Bouira et Sidi Aich et il est affecté par une faille longitudinale d'un rejet moyen de 800m.

Il est essentiellement formé par des accumulations grés-argileuse du Miocène, surtout dans la partie avale. Au pliocène, une phase de distension engendre en particulier les grandes failles d'effondrement Est-Ouest de part et d'autre de la vallée de la Soummam et le long du littoral.

5.3. *Activité sismique actuelle*

Dans la région de Bejaia, le soulèvement de l'ensemble tellien et l'effondrement du domaine méditerranéen a réactivé certaines failles qui sont depuis à l'origine de nombreuses et fréquentes secousses telluriques.

Jusqu'à présent, la région de Béjaïa n'a jamais subi de séismes de forte intensité, mais la sismicité y est intense à tel point qu'elle est classée dans la zone 2 du Règlement Parasismique Algérien (R.P.A).

Très récemment, exactement en 2013, deux secousses telluriques, ayant eu lieu en mer à une dizaine de kilomètres seulement du rivage et avec un intervalle de temps d'une semaine, ont affecté le golfe de Bejaia. Avec des magnitudes respectives de 5,1 et 5 sur l'échelle ouverte de Richter, les deux secousses ont causé quelques fissurations et des effondrements mineurs de vieilles bâtisses. Des blocs et rochers se sont aussi effondrés des montagnes et du cap Aokas mais toujours sans dénoter une perte humaine quelconque.

En 2021, le 18 Mars exactement, un séisme de magnitude avoisinant les 6 degrés à l'échelle Richter a eu lieu à moins de 20 km à l'Est du cap Carbon, causant quelques dégâts matériels et même humains. Il est à noter que plusieurs de ces séismes ont eu lieu en mer, ce qui témoigne du prolongement jusqu'à dans la mer Méditerranée des failles actives qui apparaissent à l'intérieur du pays (figure II.14).

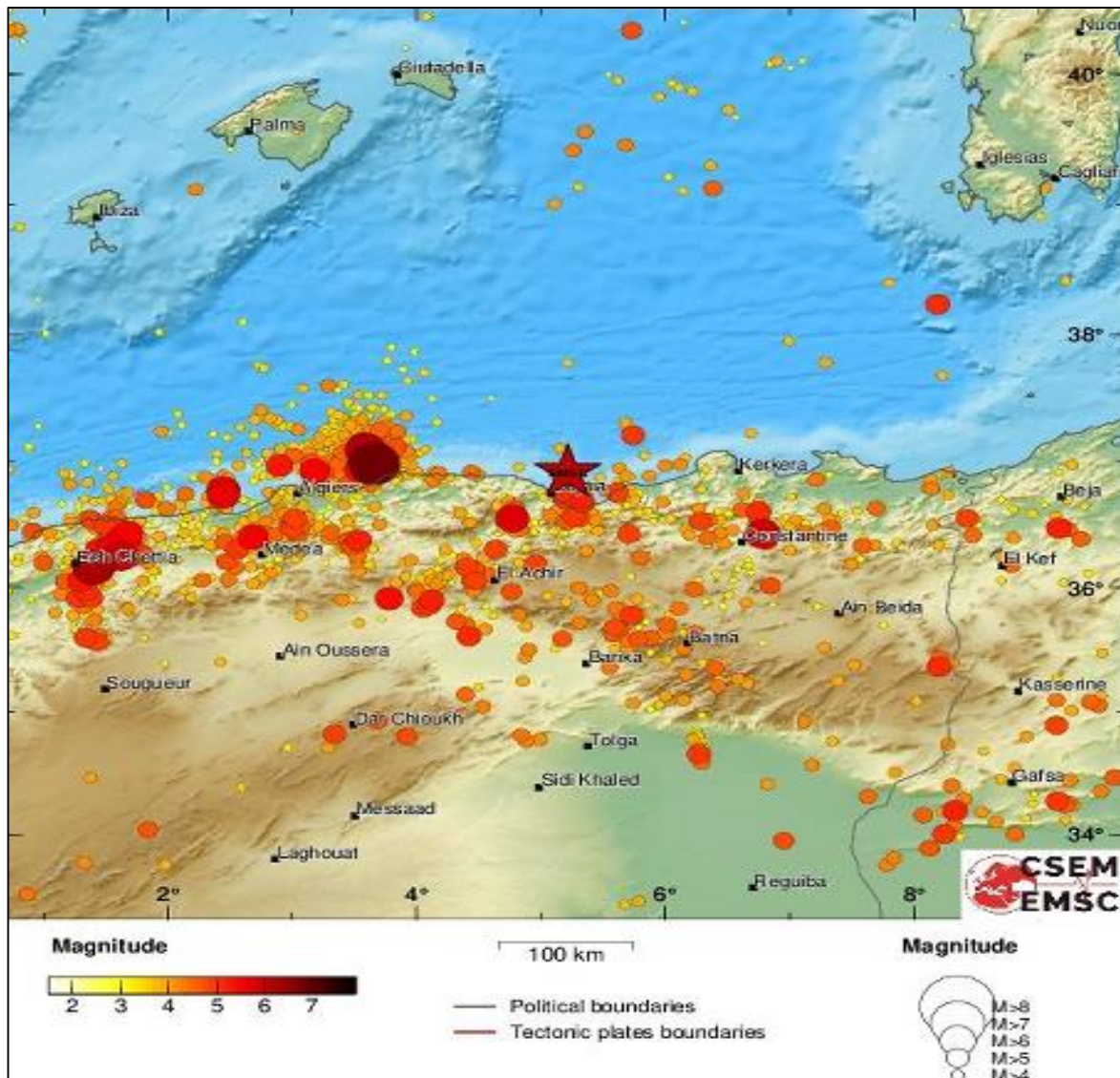


Figure II.14 : Carte de sismicité de 1960 à 2021 du nord de l'Algérie. L'étoile représente l'épicentre du 18 mars 2021. (Source: CSEM)

6. Facteurs hydrologiques, météo-océaniques et anthropiques du golfe de Bejaia

6.1. Facteurs hydrologiques

Sur le plan hydrographique, l'Algérie est divisée en trois grands bassins assez denses du Nord vers le Sud (tell, hauts plateaux et le Sahara) où sont constitués dix-sept (17) grands bassins versants dont quinze (15) présentent un exutoire vers la mer méditerranée et déterminent ainsi un linéaire côtier de 1622 Km, (AHFIR ET MEZIANE, 2016).

Les apports et le comportement hydrologiques des cours d'eau sont la résultante de l'interaction complexe des facteurs climatiques et physiographiques dont le caractère de disparité spatiale, est nettement marqué.

La répartition spatiale des apports des cours d'eau, établie sur la base des données d'observations des bassins jaugeés, ces fortes disparités confèrent à la région, deux systèmes hydrologiques opposés : des oueds à écoulement exoréique et relativement abondant, au Nord (bassins subhumides à humides), et des oueds à écoulement endoréique, manifestement modeste, au Sud (bassins semi-arides à arides).

6.1.1. Le réseau hydrographique

Le golfe de Bejaia est l'une des zones les plus riches en eau de surface à cause des quantités importantes de précipitations qu'il reçoit annuellement, plusieurs oueds se déversent dont les plus importants sont :

6.1.1.1. Oued Soummam

C'est l'oued le plus important dans la région, son parcours est de 90 km avec un débit moyen de 25 m³/s, il cumule à son embouchure un débit total moyen annuel de 700 millions de m³ (VISITERV 1987), son profil en longueur présente un aspect général concave avec des pentes qui décroissent de l'amont vers l'aval, il est alimenté de plusieurs affluents qui sont :

- Ceux de la rive droite : les oueds Bousselem, Sedouk, Amassine et Amizour.
- Ceux de la rive gauche : les oueds Sahel, Illola, Ighzer Amokrane, Remila, El Kseur et Ghir.

Tableau II.1 : Débits moyens annuels des affluents de l'oued Soummam entre 1961 et 1971. (VISITERV 1987).

	Affluents	Superficie du bassin versant (Km ²)	Débits moyens (m ³ /an)
Rive gauche	Oued Sahel	3800	-
	Oued Illoula	40	4 × 10 ⁶
	Oued Ighzer Amokrane	80	12 × 10 ⁶
	Oued Remila	100	28 × 10 ⁶
	Oued El Kseur	55	12 × 10 ⁶
	Oued Ghir	50	12 × 10 ⁶
Rive droite	Oued Bousselem	4300	-
	Oued Seddouk	125	10 × 10 ⁶
	Oued Amassine	195	15 × 10 ⁶
	Oued Amizour	55	-

6.1.1.2. Oued Agrioun

C'est l'un des plus importants des oueds de la région après celui de l'oued Soummam, il est alimenté par plusieurs affluents dont les plus importants sont les oueds Attebe, Msalta et Ighzer Oufdis, il parcourt 15 km.

6.1.1.3. Oued Zitouna

Cet oued est limité par les lignes de partage des eaux d'Adrar Taliouine et celles d'Adrar n'Deba au Sud et à l'Est par oued Tikheroubine et oued Djemaa à l'Ouest. Il achemine des eaux de surface drainées de Tichy, Aokas et Tizi n'berber pour les jeter en dernier ressort en mer méditerranéenne. Cet oued se caractérise par son vaste bassin de 83.45 km².

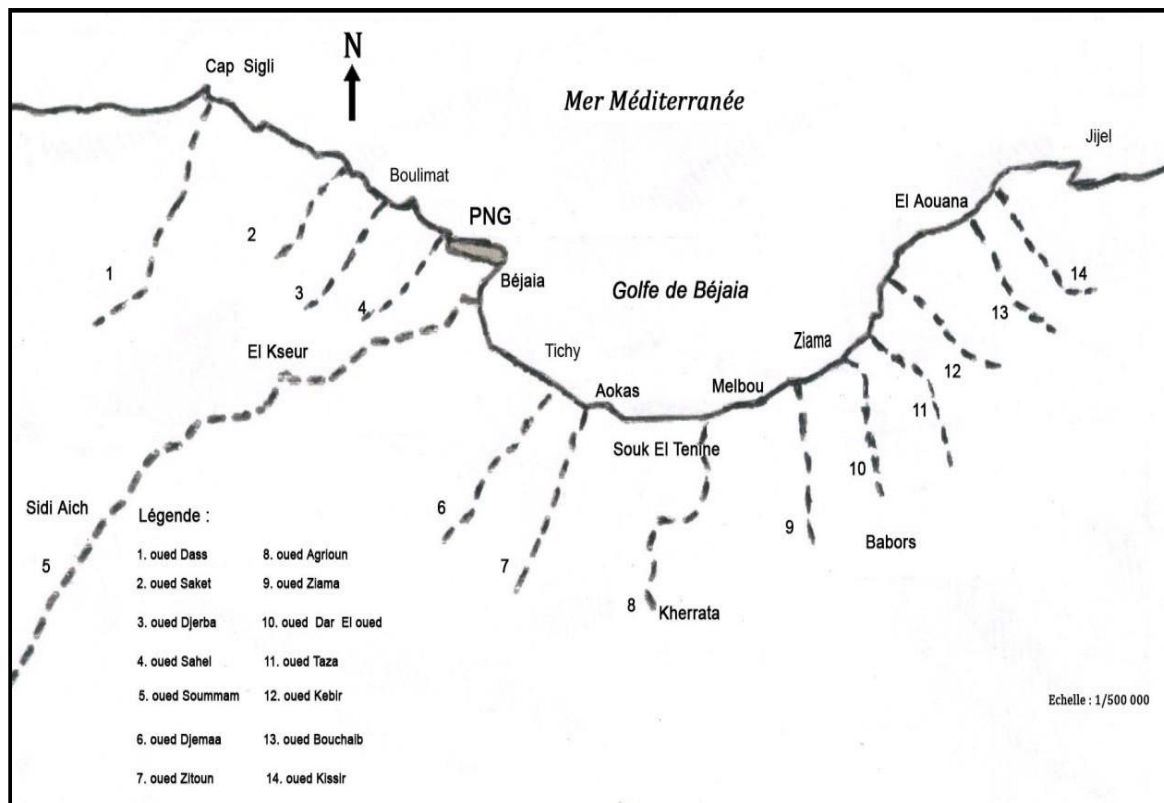


Figure II.15 : Localisation géographique des oueds de la zone d'étude. (REBBAS, 2014)

6.2. Facteurs météo-océaniques

La variabilité du climat est généralement associée à des phases de couplage de phénomènes océaniques et atmosphériques.

6.2.1. Facteurs météorologiques

De latitude Nord comprise entre 18 et 38°, de longitude Ouest de 9° et de longitude Est de 12°, l'Algérie possède un climat méditerranéen très varié du fait de son vaste étendue. On peut distinguer un ensemble d'éléments et de facteurs climatiques rapportés en catégorie selon (BENLATRECHE, 2006) :

- Facteur énergétique : Température ;
- Facteur hydrologique : précipitation ;
- Facteur mécanique : vents.

6.2.1.1. La température

La température est un facteur constitutif d'un climat qui influe considérablement sur l'environnement en général, c'est un élément essentiel pour caractériser le climat régional selon plusieurs variables et avec une évolution spatio-temporelle. Les températures enregistrées sur la plaine littorale algérienne se caractérisent par un régime thermique de type méditerranéen dont le rythme saisonnier est simple :

- En été, l'Algérie est soumise à l'influence des hautes pressions subtropicales.
- En hiver, le retrait des hautes pressions vers des latitudes plus basses livrent la région à la circulation zonale d'Ouest : Le temps est plus frais et plus humide (BENYETTOU et al, 2017).

De 2013 à 2021, on remarque que les températures les plus basses sont celles des mois de Janvier, Février, Mars et Octobre, ne dépassant pas 4°C et à un degré moindre celles des mois d'Avril, Novembre et Décembre, donc pendant les saisons hivernales et automnales. On peut dire que les températures du golfe de Bejaia et de toute la région avoisinante sont douces, ne faisant pas trop froid en hiver et pas trop chaud en été (figure II.16).

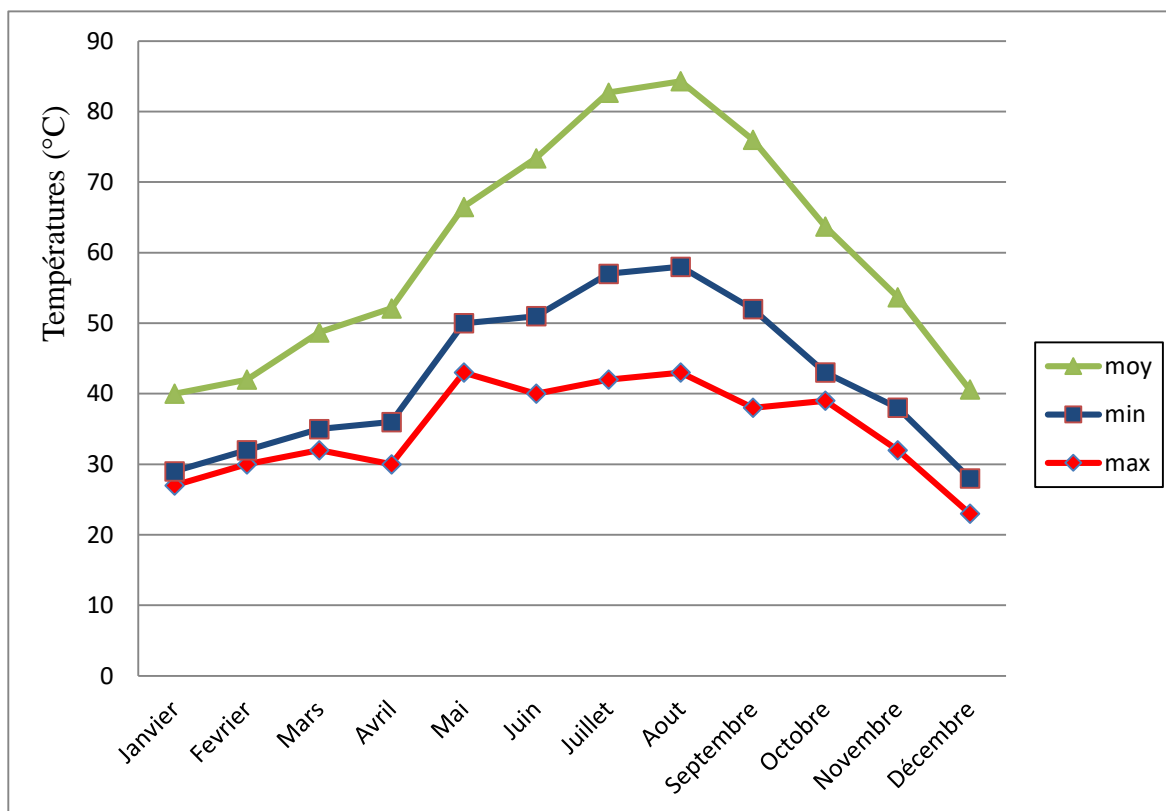


Figure II.16 : Variation des températures (minimales, moyennes, maximales) entre 2013 et 2021 à Bejaia.

Tableau II.2 : Variation des températures (minimales, moyennes, maximales) à Bejaia entre 2013 et 2021. ([https://rp5.ru/Archives météo à Bejaia \(aéroport\), METAR](https://rp5.ru/Archives_météo_à_Bejaia_(aéroport),_METAR))

Station météorologique de Bejaia	Températures (°C)		
	Maximales	Minimales	Moyennes
Janvier	27	2	11
Février	30	2	10
Mars	32	3	13.7
Avril	30	6	16.1
Mai	43	7	16.5
Juin	40	11	22.4
Juillet	42	15	25.7
Aout	43	15	26.3
Septembre	38	14	24
Octobre	39	4	20.7
Novembre	32	6	15.7
Décembre	23	5	12.6
Moyenne annuelle	34.92	7.50	17.89

6.2.1.2. Les précipitations

Les précipitations au nord de l'Algérie sont liées à l'arrivée de fronts dépressionnaires du Nord-Ouest, dont l'origine est le plus souvent atlantique. (REFES, 2011). Les précipitations varient en fonction de l'altitude et de l'orientation des chaînes de montagnes, elles sont déterminées par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents.

Ce sont les versants Nord, Nord-est et leurs sommets qui reçoivent les précipitations les plus fortes en diminuant d'Est en Ouest, (SELTZER, 1946). La région de Bejaia est l'une des régions les plus pluvieuses de l'Algérie avec une pluviométrie de 900mm/an en moyenne. Les précipitations varient de 88 mm entre le plus sec et le plus humide des mois.

Tableau II.3 : Moyennes des précipitations mensuelles de la station météorologique de l'aéroport de Bejaia entre 1970 et 2012. (O.N.M)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Ann.
P (mm)	107,6	91,5	83,5	73,7	42,3	15,3	6,2	9,7	56,4	82,1	102,4	128,2	798,9

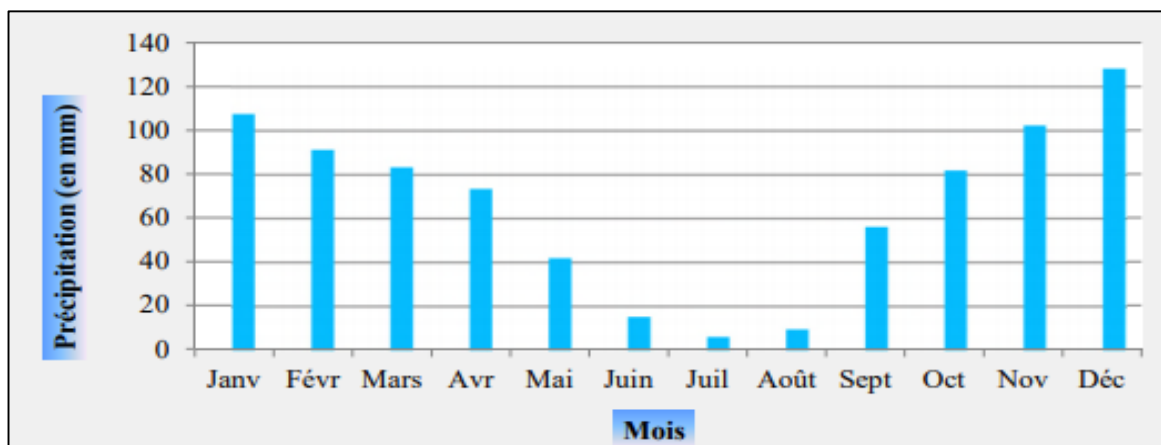


Figure II.17 : Moyennes des précipitations mensuelles de la station météorologique de l'aéroport de Bejaia entre 1970 et 2012. (O.N.M)

D'après le relevé des précipitations de 1970 à 2012, le mois de Décembre est le mois où la pluviométrie a été la plus abondante et juillet le mois où il n'a plu que très peu. Cependant, avec une moyenne de l'ordre de 798,9 mm, le littoral de Bejaia est celui où la pluviométrie est l'une des plus importantes en Algérie.

En 2020, on remarque un dysfonctionnement assez palpable dans les habitudes pluviométriques de la région du fait qu'il a beaucoup plus en Mars et en novembre alors que les mois de Février et Mai ont enregistré des niveaux de pluviométrie pratiquement nuls.

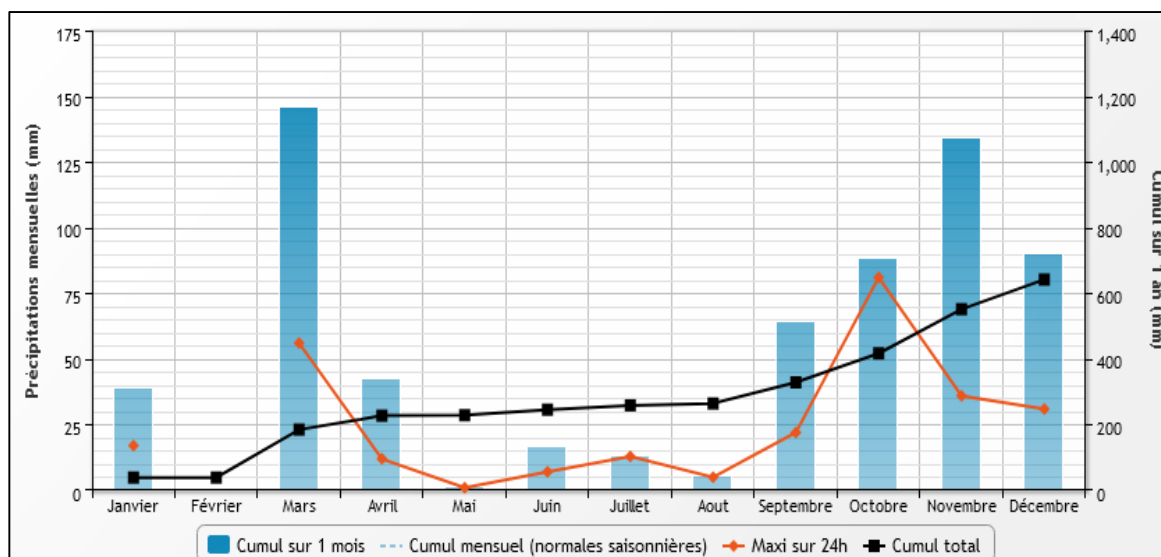


Figure II.18 : Précipitations en 2020 à Bejaia. (infoclimat.fr)

6.2.1.3. Le vent

Le vent est un élément important à prendre en considération dans toute étude relative à la zone côtière. En effet, les vents sont générateurs de vagues et de courants superficiels et leurs impacts augmentent avec leurs vitesses. Les vents jouent un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux, surtout dans les côtes basses d'accumulation des régions à climat sec, (BOUTIBA, 1996). Ce facteur joue un rôle essentiel dans les transferts sédimentaires directement sur la partie aérienne et par les différents agents hydrodynamiques générés par ce dernier sur la partie immergée.

Tableau II.4 : Vitesses moyennes des vents (en m/s) dans les différentes directions durant la période 2013-2021 dans la région de Bejaia.

Source : ([https://rp5.ru/Archives météo à Bejaia \(aéroport\), METAR](https://rp5.ru/Archives_météo_à_Bejaia_(aéroport).METAR)).

Directions	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janvier	3.45	3.88	3.49	3.82	3.84	3.51	4.85	3.49
Février	3.56	3.61	2.96	3.56	3.53	3.55	3.55	3.54
Mars	3.63	3.86	3.45	3.38	2.29	3.65	4.48	3.85
Avril	3.15	3.91	3.46	3.37	2.34	3.22	4.23	3.41
Mai	2.94	3.16	1.65	3.56	2.11	3.11	3.60	3.77
Juin	3.30	3.09	3.31	3.76	2.17	3.01	3.12	2.96
Juillet	2.83	3.15	3.45	3.73	3.31	2.89	3.31	3.38
Aout	3.34	3.54	2.92	3.87	2.36	3.03	3.28	3.50
Septembre	3.20	3.69	3.20	3.43	2.44	3.23	3.88	3.86
Octobre	2.43	3.71	4.05	3.53	2.98	3.18	3.07	3.16
Novembre	2.63	3.98	4.36	3.78	4.84	2.90	2.95	2.86
Décembre	2.32	3.70	4.90	4.59	3.53	3.63	2.99	2.61
Moyennes annuelles	2.64	3.38	3.96	3.63	3.39	3.46	3.07	3.42

Au Nord, les vents sont de moindre importance et ne dépassent pas 3.63 m/s avec des vitesses minimum de 2.32 m/s au mois de décembre.

Les vitesses des vents de direction Nord-Est ont enregistré un pic de 3.98 m/s en novembre et n'ont pas dépassé 3.09 m/s au mois de juin.

Au Nord-Ouest, c'est en décembre qu'ont été enregistrées les vitesses les plus faibles (2.61 m/s), enregistrant un maximum de 3.86 m/s en septembre.

On remarque que les vitesses tout au long de la période allant de 2013 à 2021 sont assez voisines l'une de l'autre (figure II.19).

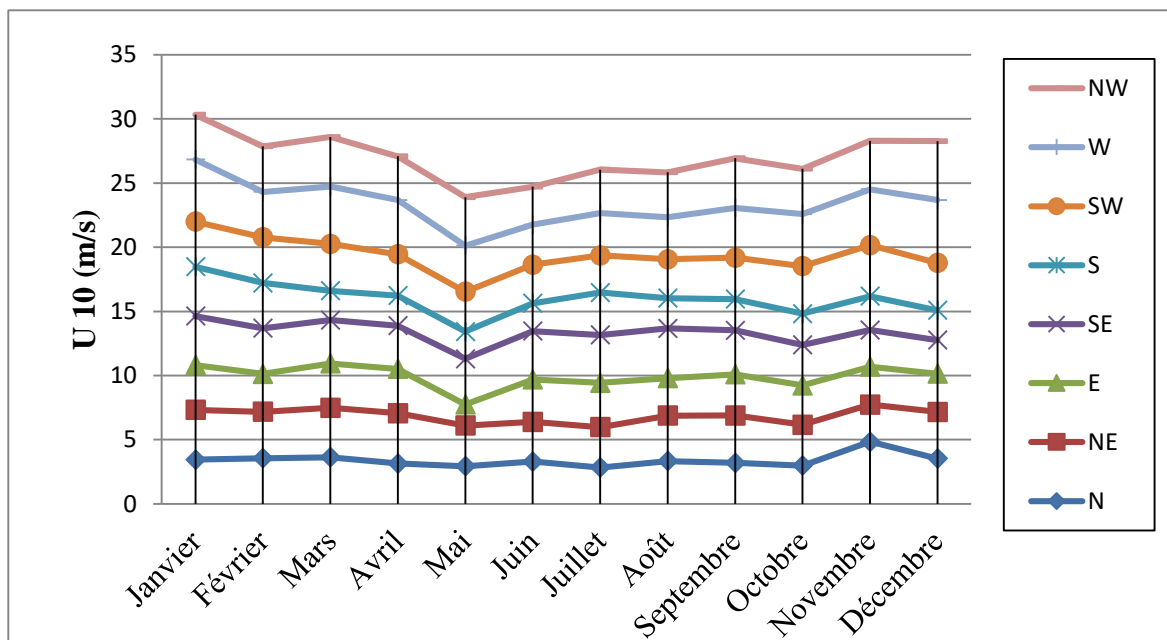


Figure II.19 : Les vitesses moyennes du vent (en m/s) dans les différentes directions durant la période 2013-2021 dans la région de Bejaia.

Il Ressort des données recueillies dans la région de Bejaia, que les régimes des vents sont influencés par le relief environnant, en l'occurrence le mont de Yemma Gouraya, les Babors et la vallée de la Soummam. En effet, les vents de cette région sont canalisés par la vallée de la Soummam qui leur donne son orientation Sud-Ouest – Nord-Est.

Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses allant de 4m/s à 8m/s. Pour le troisième trimestre (saison estivale), on remarque un taux de 76.36%, ce qui dénote que les plages sont très calmes. Les directions des vents issus du Nord-Est ont des vitesses pouvant atteindre 8m/s et sont de vitesse très faible dans les autres directions.

Il en est pratiquement de même pour la période printanière avec un taux sensiblement inférieur mais qui reste important (75%), ce qui nous permet de déduire qu'en cette période les plages sont aussi très calmes. Les directions des vents provenant du Nord-Est, Nord-Ouest et Sud-Ouest ont des vitesses moyennes de 4m/s à 8m/s, celles issues du Sud-Est ont des vitesses faibles ne dépassant pas les 4m/s.

En hiver, le taux est de 66.54%, ce qui nous semble logique en cette saison où les plages sont peu calmes et les vitesses maximales enregistrées proviennent des directions Sud et Ouest. A l'Est et au Nord-Est, elles sont de vitesse modérées (4m/s à 8m/s) et même en deçà.

Il en est de même pour l'automne hormis la direction Ouest où les vents peuvent atteindre 12m/s et un taux de calme de 62.64%.

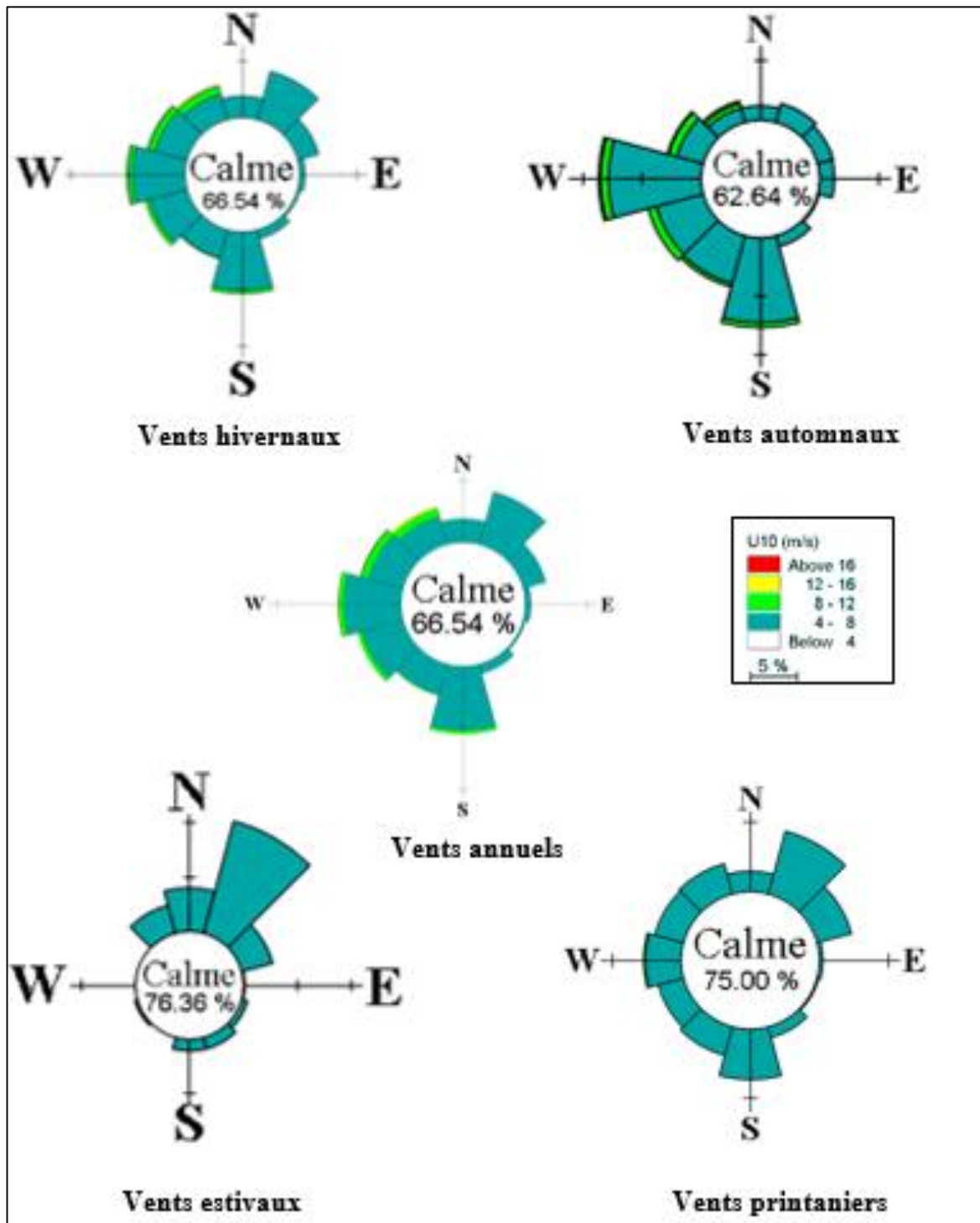


Figure II.20 : Roses de vent au large du golfe de Bejaia.

6.2.2. Facteurs océaniques

Les facteurs hydrodynamiques peuvent être liés à des phénomènes océaniques tels que :

6.2.2.1. Les marées

La marée est un mouvement oscillatoire de niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (BOUGIS, 2003). D'une façon générale, la marée a une amplitude faible sur les côtes algériennes (de l'ordre de 20 cm environ) mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En pleine lune, elle peut atteindre 25 à 30 cm en moyenne, et celle de la nouvelle lune varie de 5 à 15 cm. (HATTABI et KADDOUR, 2018). Le rythme fondamental est imposé par la marée astronomique de faible amplitude comme celle existant sur toute la côte Algérienne. Aussi, le niveau d'eau peut changer en fonction d'autres phénomènes tels que la pression atmosphérique, les seiches et le vent, mais le niveau ne dépasse pas 50 cm, (Le Hir P. et al, 2001), avec des périodes qui varient généralement entre 12h et 14h, (BELAIDI et HAMDOUS, 2016).

Niveau maximum : + 50 cm NGA ; Moyenne haute mer de vives eaux : + 10 cm NGA ; Moyenne basse mer : -10 cm NGA ; La plus basse mer : - 34 cm NGA.

Figure II.21 : les variations des marées enregistrées sur les côtes algériennes.

(DJOUDER, 2018)

6.2.2.2. Les houles

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulations ou de vagues. (BONNEFILLE, 1992).

Le traitement statistique des données d'observation des houles au large, nous a permis de déterminer les fréquences d'apparition des houles par direction et par période. Les statistiques des houles dans la côte Algérienne font apparaître deux régimes:

Les houles les plus fortes sont automnales et hivernales, enregistrant des taux respectifs de 51,14% et 46,82% mais laisse présager des plages assez calmes et de direction Nord pouvant dépasser 4 mètres.

En été, les houles sont de moindre intensité avec un taux de 69.53% qui montre des plages calmes. Au Nord-Est et Nord-Ouest, elles peuvent atteindre 2m, sont d'intensité moyenne au Nord jusqu'à 3m et inférieure à 1 m dans les autres directions.

Au printemps, un taux faible de 44.59% montre que les plages demeurent calmes en cette période et les houles peuvent atteindre 2 m au Nord et sont très faibles partout ailleurs, ne dépassant guère 1 mètre.

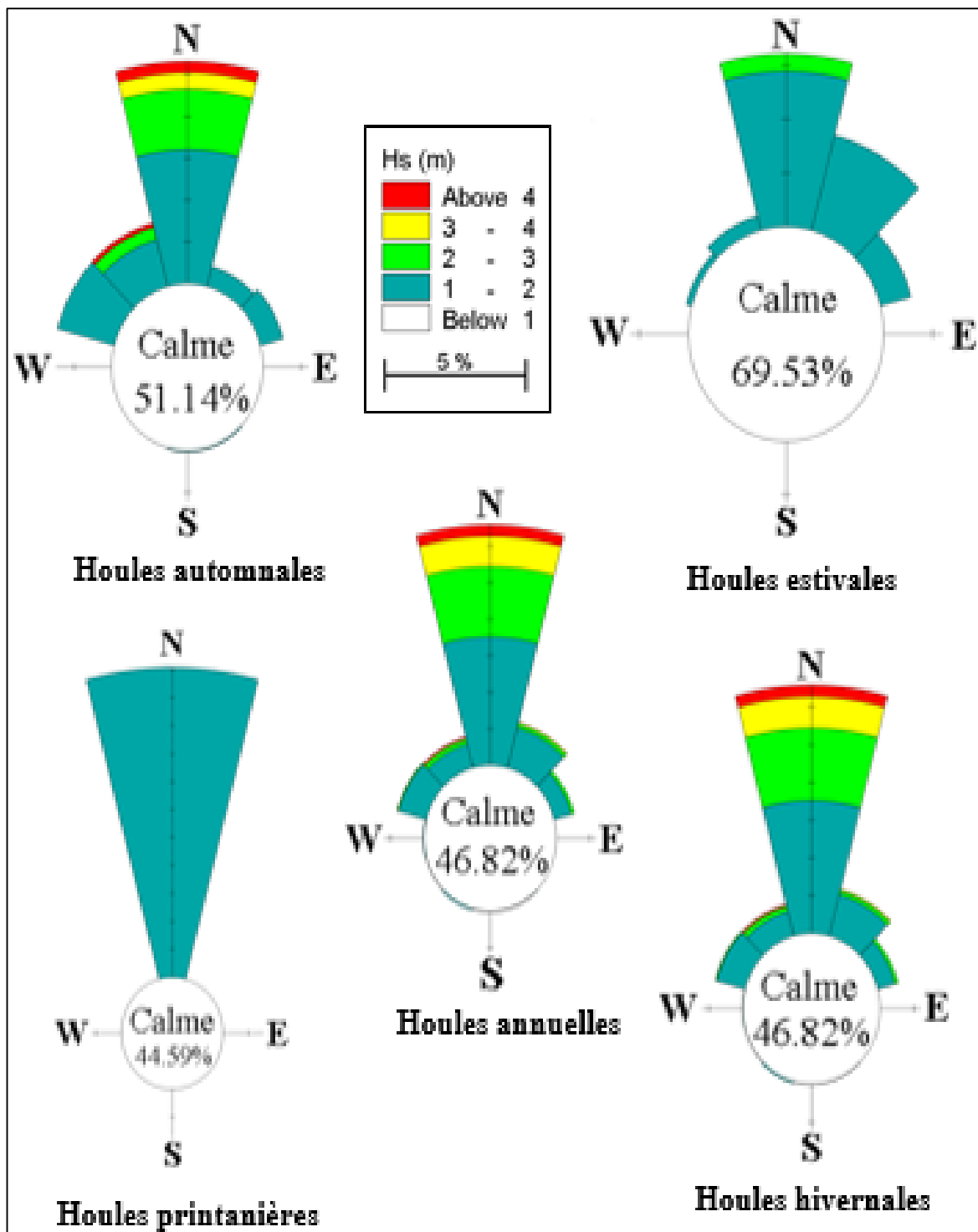


Figure II.22 : Roses des houles au large du golfe de Bejaia.

6.2.2.3. Le courant

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

A. Les courants généraux

Ce sont des courants qui sont créés par le franchissement des eaux atlantiques du détroit de Gibraltar. Dans les côtes algériennes, ces courants progressent vers l'Est à une vitesse de 0.5 m/s à 1 m/s (LECLAIRE, 1972). Ils sont affectés par des tourbillons cycloniques et anticycloniques de 50 km à 200 km de diamètre et qui atteignent 500 à 2000 m de profondeur (MILLOT, 1985 ; MAILLOT, 1987 ; TAUPIER-LETAGE, 1988).

B. Les courants côtiers

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

C. Les courants de retour

Opèrent en surface et en profondeur, à partir du lieu de déferlement des vagues, leur vitesse dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage, ils sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

6.2.2.4. Le niveau de la mer

Les fluctuations de niveau marin sont d'une importance vitale et doivent faire l'objet de surveillance afin d'agir et de parer au plus pressé en cas de danger. Malheureusement l'Algérie accuse en cette matière un grand retard comparée aux pays de la rive Nord de la méditerranée (France, Espagne, Italie,...). Pour cela, la dotation des ports Algériens en équipements adéquats tels que les marégraphes est plus que nécessaire. Actuellement, l'altimétrie satellitaire est d'une grande aide malgré qu'elle nécessite des relevés effectués sur des périodes assez longues dépassant un siècle.

En méditerranée occidentale, l'altimétrie satellitaire Topex/Poseidon et Jason 1 a enregistré une élévation du niveau de la mer méditerranée de 2.5 mm/an entre 1993 et 2006. L'exactitude de cette valeur peut être mise en doute du fait qu'elle tient compte du forçage anthropique du climat et omet les mouvements tectoniques et les subsidences (DJOUDEUR et BOUTIBA, 2017).

6.3. Facteurs anthropiques

6.3.1. L'installation des ouvrages de protection du littoral

L'installation des ouvrages de protection sur le littoral Ouest de la baie de Bejaia a mis en évidence la présence des profils topographiques en érosion avec une position du rivage instable qui oscille entre recule et avancée.

6.3.2. Extraction du sable et dégradation du système dunaire

Les besoins de loger les populations poussent les entreprises et autres entrepreneurs privés surtout à puiser le sable d'une manière sauvage et mettent ainsi en péril la fragilité du littoral. Le littoral, représenté par une multitude de plages sableuses et soutenues par un système dunaire très endommagé et vulnérable, est sujet à des érosions marquées durant les dernières décennies par la destruction des espaces dunaires et la disparition des plages dans la même période. L'extraction abusive du sable et du gravier constatée dans les plages et les lits d'oued Agrioun en est un cas très concret.

6.3.3. Urbanisation rapide le long de la côte

La côte est sujette à une urbanisation intensive. L'occupation de son espace littoral s'est déroulée en plusieurs épisodes et s'est faite progressivement au détriment de nombreux espaces dunaires (dunes actuelles meubles et dunes anciennes consolidées). Leur disparition s'est répercutée négativement sur l'alimentation naturelle en sédiments des plages dans cette zone.

6.3.4. Augmentation de la pollution (rejet domestique, eaux usées)

Les eaux usées rejetées dans l'environnement, qu'elles soient domestiques ou provenant d'usines et autres centrales électriques, peuvent être la cause de pollution. Pour le cas de Bejaia, un port très important où sont implantées diverses usines telles que CEVITAL et autres, des déchets organiques sont déversés dans les Oued et la mer et sont ainsi la cause de conséquences néfastes sur tout le littoral.

6.3.5. Zone à vocation touristique

La côte de Bejaia étant une région à vocation touristique, elle attire de ce fait bon nombre de touristes qui ne sont pas sans perturber les éléments essentiels du littoral (Pollution de l'eau, destruction du système dunaire essentiellement par le piétinement incessant et important et le carrossage).

Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons pu faire une analyse multi-scalaire sur presque toutes les caractéristiques de la zone d'étude (contexte géographique, géologique et géomorphologique), ainsi que la détermination des facteurs agissant de manière directe ou indirecte sur l'évolution et les fonctionnalités de la zone côtière (facteurs météo-océaniques).

Partie pratique

Chapitre III
Etude bathymétrique et
hydrodynamique

Introduction

L'objectif de ce chapitre vise, d'une part à décrire les différents outils utilisés, la démarche méthodologique adoptée pour obtenir la base de données bathymétriques et faire une étude hydrodynamique, et d'autre part à interpréter et analyser les résultats qui sont la carte bathymétrique et les cartes de simulations hydrodynamiques du golfe de Bejaia du cap carbon jusqu'à Ziama Mansouriah.

1. Outils et procédures

1.1. Logiciels utilisés

1.1.1. ArcGis 10.2

ArcGis est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. (DEMOUCHE, 2017).

Tableau III.5 : Les différentes applications du logiciel ArcGis 10.2. (BEHLOUL et BELHOUT, 2019).

Applications	Définition
ArcCatalog	Explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation. Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.
ArcMap	Application fondamentale du logiciel ArcGis. Elle contient une boîte à outils organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données. ArcMap est l'équivalent de l'ancienne version d'ArcView.
ArcToolbox	C'est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions, des transferts de format et aussi de projection.

1.1.2. MIKE 21

Mike 21 est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de shoaling liés aux variations bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier (DHI, 2014).

1.2. Procédures suivies

1.2.1. Etude bathymétrique

Le but de cette étude est de récolter les données bathymétriques de notre zone d'étude pour parvenir à une modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la zone. Cette étude comporte les étapes suivantes :

- L'extrait des cartes bathymétriques de la zone d'étude à l'aide de **Navionics Boating** qui est un téléchargement gratuit à partir de Windows store et contient des fonctionnalités que les plaisanciers peuvent utiliser immédiatement ! Les tracés, routes, distance, partage des tracés et détails des routes par mail sont inclus. Cet utilitaire nous a permis d'extraire par parties les cartes bathymétriques du golfe de Bejaia du cap Carbon jusqu'à Ziama Mansouriah avec des profondeurs allant de 0.5 m à 1000 mètres.
- La digitalisation des cartes obtenues précédemment sur le logiciel ArcGis 10.2, une fois leurs géo référencement est effectué, a pour résultat les données bathymétriques de notre zone d'étude (les coordonnées tridimensionnelles (X, Y, Z)) dont nous avons besoin dans notre étude hydrodynamique. (voir annexe 1).

1.2.2. Résultats et interprétations

Après la préparation des données bathymétriques, nous avons utilisé le module 'Mesh Generator' une des options du logiciel MIKE 21 qui permet d'introduire ces données en choisissant le système correspondant (WGS_1984_UTM_Zone_31N) et de définir l'espace de travail dans le but d'aboutir aux résultats suivants :

- Le maillage du domaine de travail de la zone d'étude : composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée (Figure III.23).

- La carte bathymétrique du golfe de Bejaia : La bathymétrie obtenue présente des valeurs comprises entre -0.5 m et -1000m (Figure III.24).

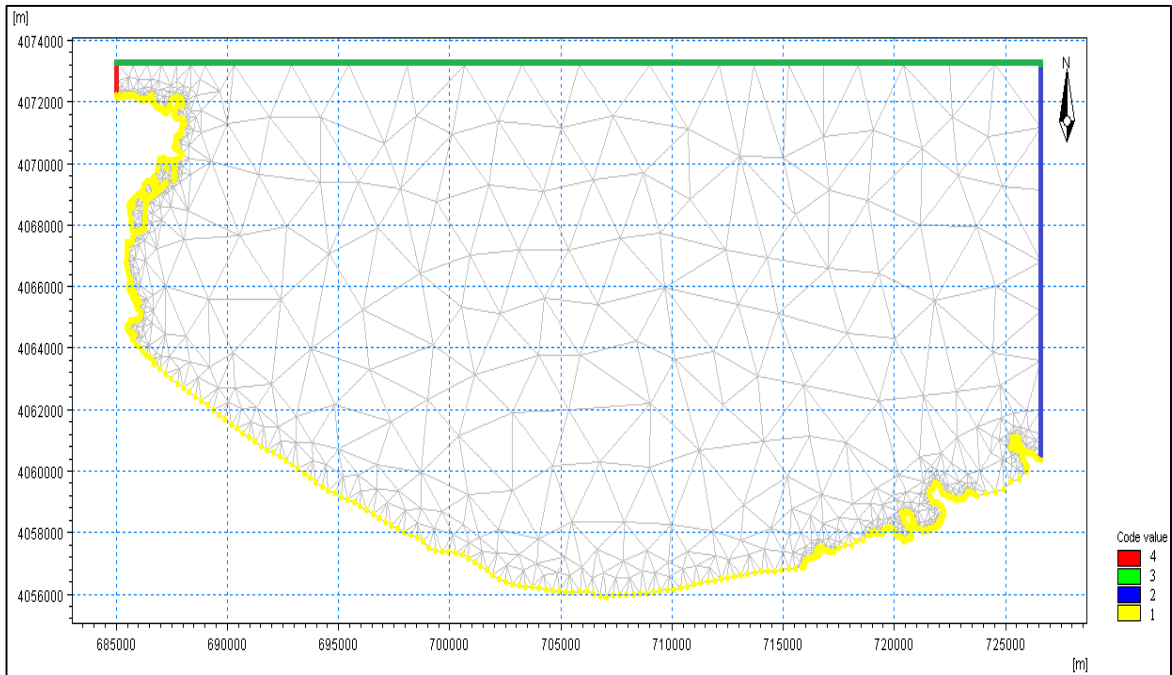


Figure III.23 : Maillage du domaine de travail de la zone d'étude à l'état initial.

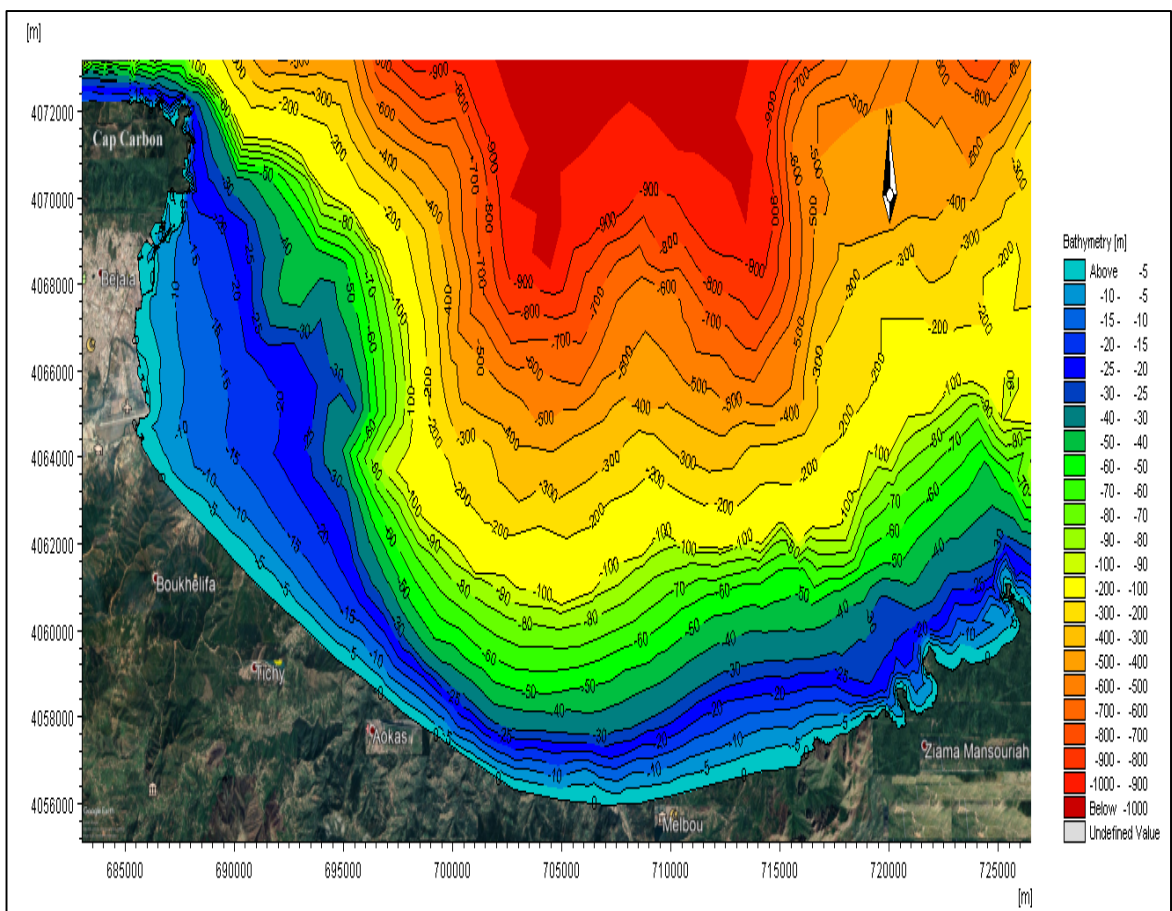


Figure III.24 : Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe de Bejaia 2021.

L'analyse de la carte bathymétrique du golfe de Bejaia montre que les isobathes des petites profondeurs (0 à 20 m) sont rapprochées entre elles, d'où un fond accidenté, et parallèles à la côte dans les parties centre et Est, La zone présente un fond marin régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Par contre, dans la partie Ouest ces isobathes présentent un espacement plus important surtout dans les environs du port de Bejaia. Ce profil sous-marin un peu spécial témoigne d'une dynamique des particules sédimentaires du fond sous l'action des houles et des courants. Plus on avance vers le large, plus les isobathes deviennent irrégulières ce qui se traduit par une pente plus douce que celle du rivage.

1.2.3. Etude hydrodynamique

Le but de cette étude est la détermination des modules SW et HD de notre zone d'étude.

1.2.3.1. La réfraction de la houle (Spectral Waves, SW)

L'objectif de Cette étude est de connaître les caractéristiques de la houle au cours de sa propagation, depuis le large jusqu'à la côte. Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 Spectral Waves FM. Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Les données bathymétriques de notre zone d'étude.
- Les hauteurs de houles annuelles retenues par secteur de provenance au large du golfe de Bejaia en 2019. (Tableau III.6).

Tableau III.6 : les houles dominantes et leurs périodes dans le golfe de Bejaia en 2019.

Directions des houles au large	N315°	N360°	N45°
Hauteurs significatives (m)	4.62	4.9	3.69
Périodes (s)	10.69	11.34	9.8

1.2.3.2. Description du module SW

C'est un paramètre qui traite la propagation de la houle vers la côte avec l'utilisation de la formule directionnelle quasi-stationnaire dans le domaine spectral et temporel pour la propagation de la houle, il compte plusieurs phénomènes dont la génération de la houle par action du vent, la dissipation due au frottement sur le fond et celle due au déferlement, la réfraction et le Shoaling due à la variation de la profondeur.

Tableau III.7 : Analyse des houles issues des secteurs N360°, N45° et N330° (LEM 1998).

Directions en degrés	Période (s)	Coefficient de réfraction (Kr) à 15m	Direction de la houle (α) à 15m
N 360°	6	0.89	N 005°
N360°	8	0.89	N 001°
N360°	10	0.91	N010°
N045°	6	0.89	N 045°
N045°	8	0.96	N 046°
N045°	10	0.96	N 046°
N 330°	6	0.80	N 342°
N 330°	8	0.67	N 350°
N 330°	10	0.63	N357°

1.2.3.3. Courantologie (hydrodynamic, HD)

Cette étude nous permet de simuler les courants côtiers dus à l'action de la houle dans la zone de déferlement.

Tableau III.8 : les vitesses du vent dans la zone d'étude-2019.

Directions	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est
U10 (m/s)	0.6	0.4	0.2

1.2.3.4. Description du module HD

C'est un paramètre qui traite le frottement sur le fond, la force de Coriolis, l'effet des conditions météorologiques (vents, température, pression atmosphérique, précipitations...) et la contrainte de radiation pour calculer la variation spatiale des niveaux et des débits d'eau dus à ces mécanismes.

Cette étude hydrodynamique comporte les étapes suivantes :

- L'ouverture du modèle MIKE 21/3 qui est un modèle couplé comprenant les modules SW et HD ;
- Le choix de l'extension : « Coupled Model FM » ;
- La définition du domaine de travail ;
- Le réglage de la durée de la simulation ;
- La sélection des modules concernés : HD et SW ;
- Paramétrage des modules : l'intégration des données initiales de houle et de vent (vitesse et directions), conditions aux limites, le choix des fichiers de sortie, vient ensuite l'exposition de la procédure de calibration qui consiste à choisir les paramètres de calibration qui sont le déferlement et le frottement du fond pour les simulations des houles. Pour calibrer le module hydrodynamique, deux facteurs ont été pris en compte :
 - ✓ La viscosité : La constante de Smagorinsky varie de 0,24 à 0,9 (DHI, 2014). Pour notre cas d'étude elle est égale à 0.28.
 - ✓ La rugosité du fond : Le nombre de Manning varie de 24 à 32 m^{1/3}/s. Pour notre cas d'étude ce paramètre est égal à 32 m^{1/3}/s.
- Lancement des simulations de SW et HD. (voir annexe 2)
- Création des cartes de simulations hydrodynamiques (figures III.25 à III.30).

2. Résultats et interprétations

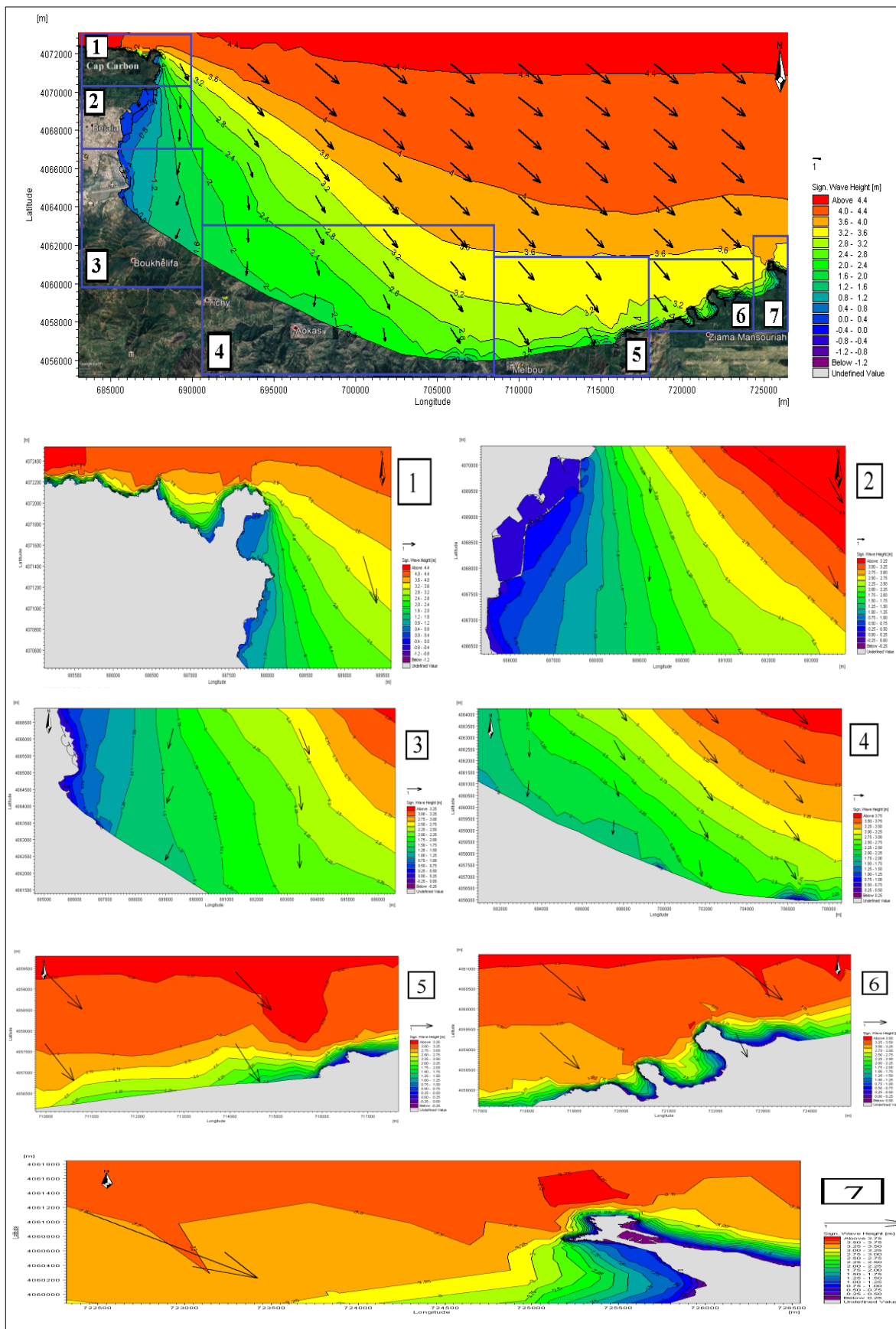


Figure III.25 : le champ des vagues dans la direction Nord-Ouest.

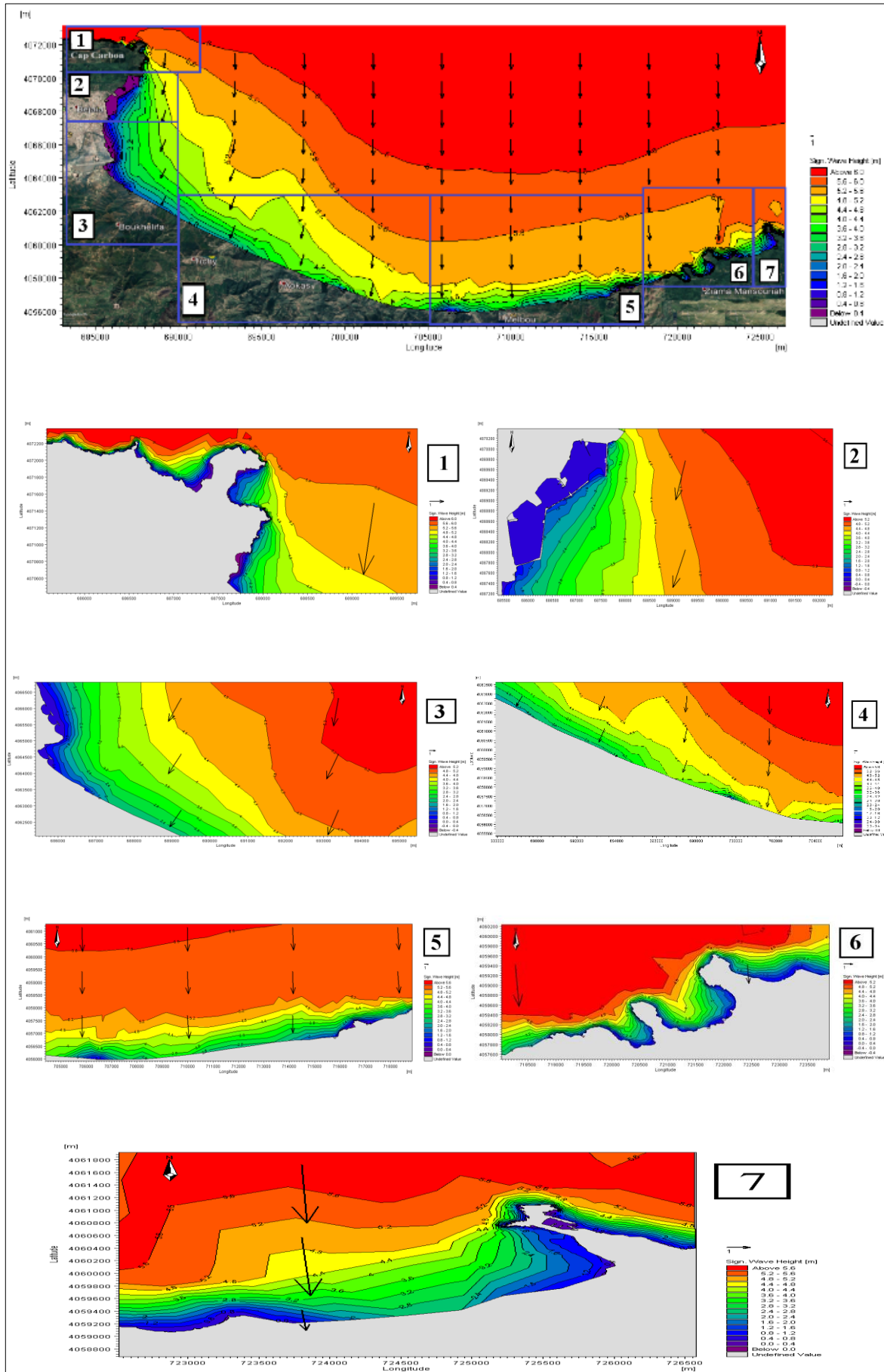


Figure III.26 : le champ des vagues dans la direction Nord.

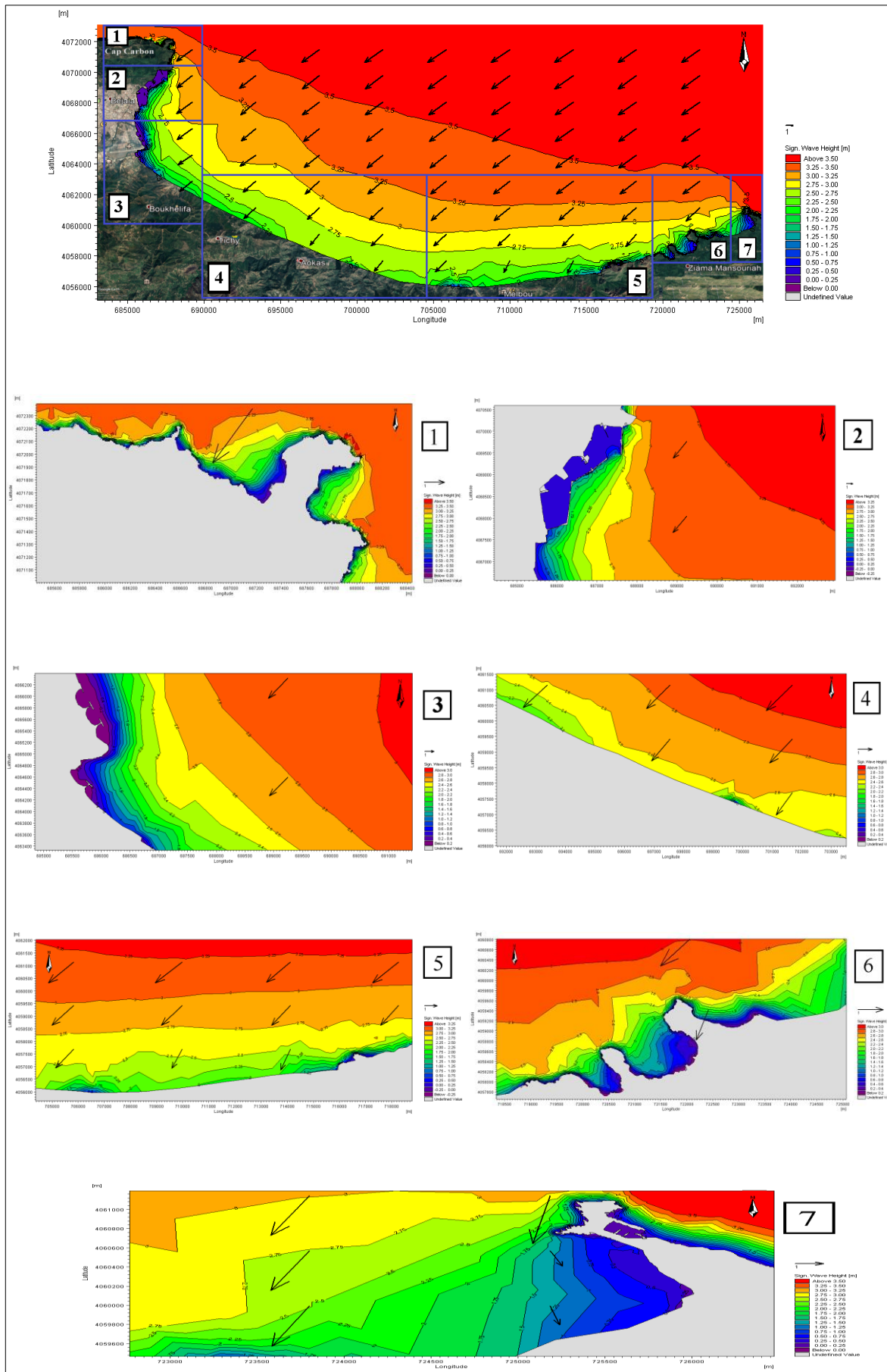


Figure III.27 : Le champ des vagues dans la direction Nord-Est

Commentaire

La Figure III.25 représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de la direction Nord-Ouest (315°) qui connaît des hauteurs significatives variant globalement entre 0.15m et 4.4 m pour une période de 10.69s. Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,7 à 15 m de profondeur (Tableau 7), donc ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière car leur coefficient de réfraction est le moins important dans notre zone donc les houles de cette direction perdent peu de leur énergie par rapport aux houles des autre directions, ces données font de ces houles les plus menaçantes pour la zone d'étude. La propagation de la houle atteint notre zone sans modifier de direction à l'Est et garde son énergie par contre dans la zone Ouest, on observe un changement de direction qui peut être dû à la morphologie de la côte, les orthogonales sont un peu réfractées dans la partie centrale, la houle se propage avec une énergie qui diminue graduellement en même temps que la profondeur à cause du frottement avec le fond marin.

La Figure III.26 représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de la direction Nord 360° qui connaît des hauteurs significatives variant globalement entre 0.4 m et 4.9 m pour une période $T=11.34s$. La propagation de la houle atteint notre zone sans modifier de direction à l'Est par contre dans la zone Ouest on observe un changement de direction qui peut être dû à la morphologie de la côte, les orthogonales sont un peu réfractées dans la partie centrale. Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,9 à 15 m de profondeur. Donc les houles atteignent de manière perpendiculaire la côte et perdent une partie de leur énergie jusqu'à leur arrivée au rivage. Dans cette figure on remarque aussi qu'au niveau des zones abritées (le port de Bejaia et de Ziama), les hauteurs de la houle sont importantes auprès de la jetée principale (de 1.2m à 1.6m), cela est dû généralement au déferlement important des vagues ainsi que la diffraction de la houle sur les jetées des ports.

La figure III.27 représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de la direction Nord-est 45° et cela pour la période 9.8s. Dans cette direction les hauteurs significatives sont les moins importantes et varient de 0,2 m à 3.5 m. Le plan de houle est frontal et ne subit aucune modification de direction donc les houles gardent leur énergie au large et en se propagent vers la côte l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue pour atteindre des valeurs faibles entre 0.2 m et 0.4m. Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,93 à 15 m de profondeur. Les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage de la partie centrale.

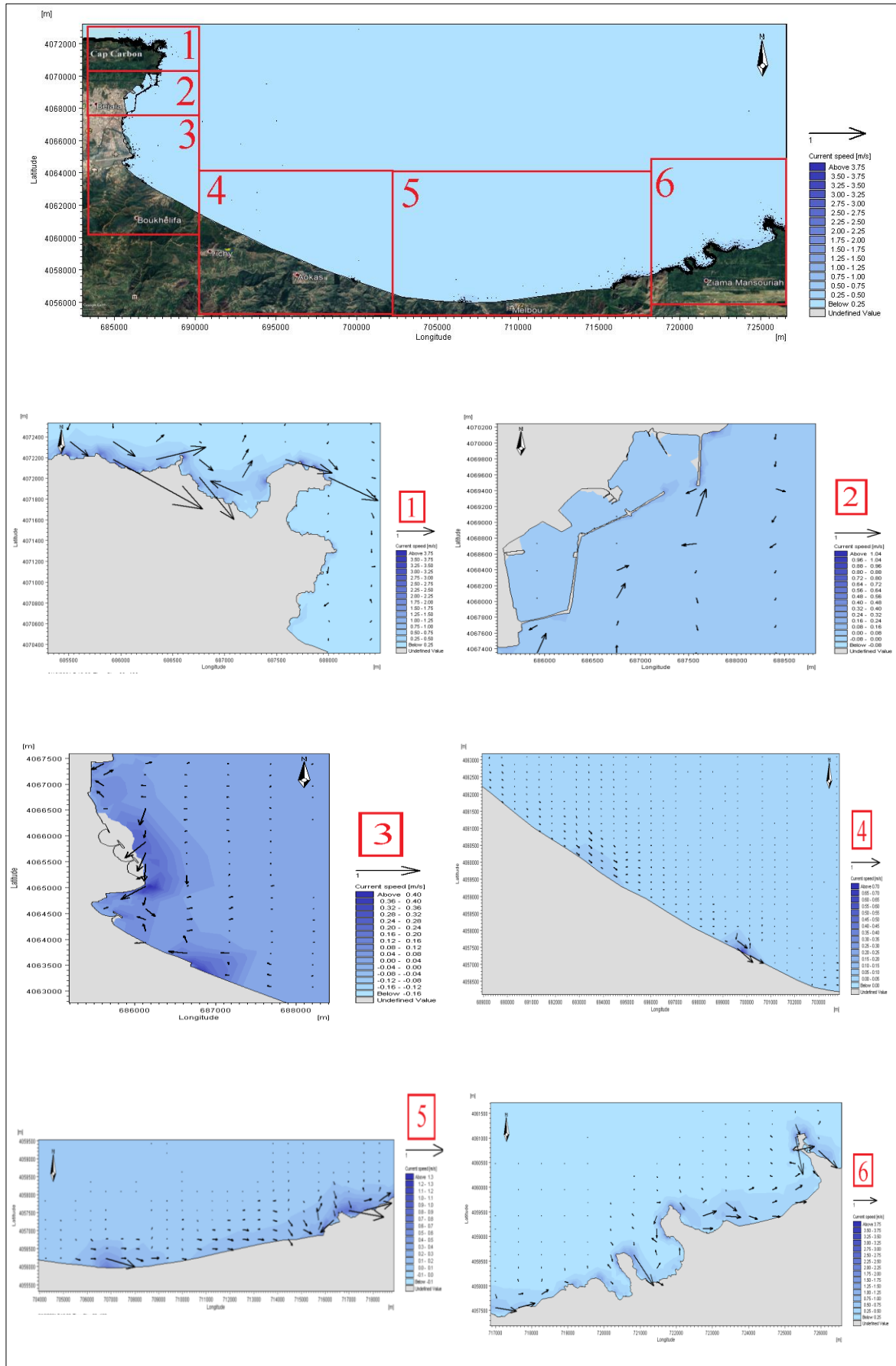


Figure III.28 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord-Ouest.

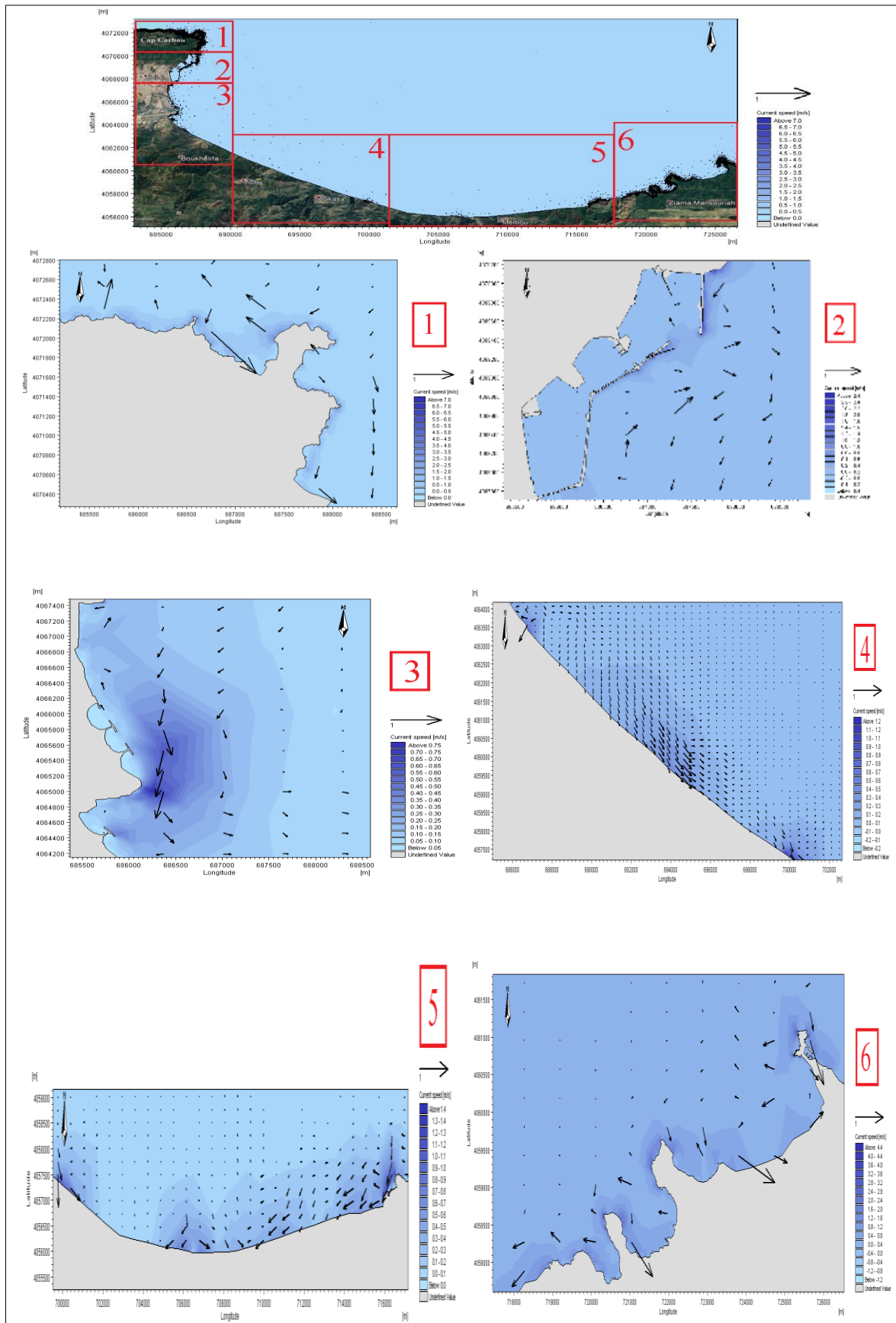


Figure III.29 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord.

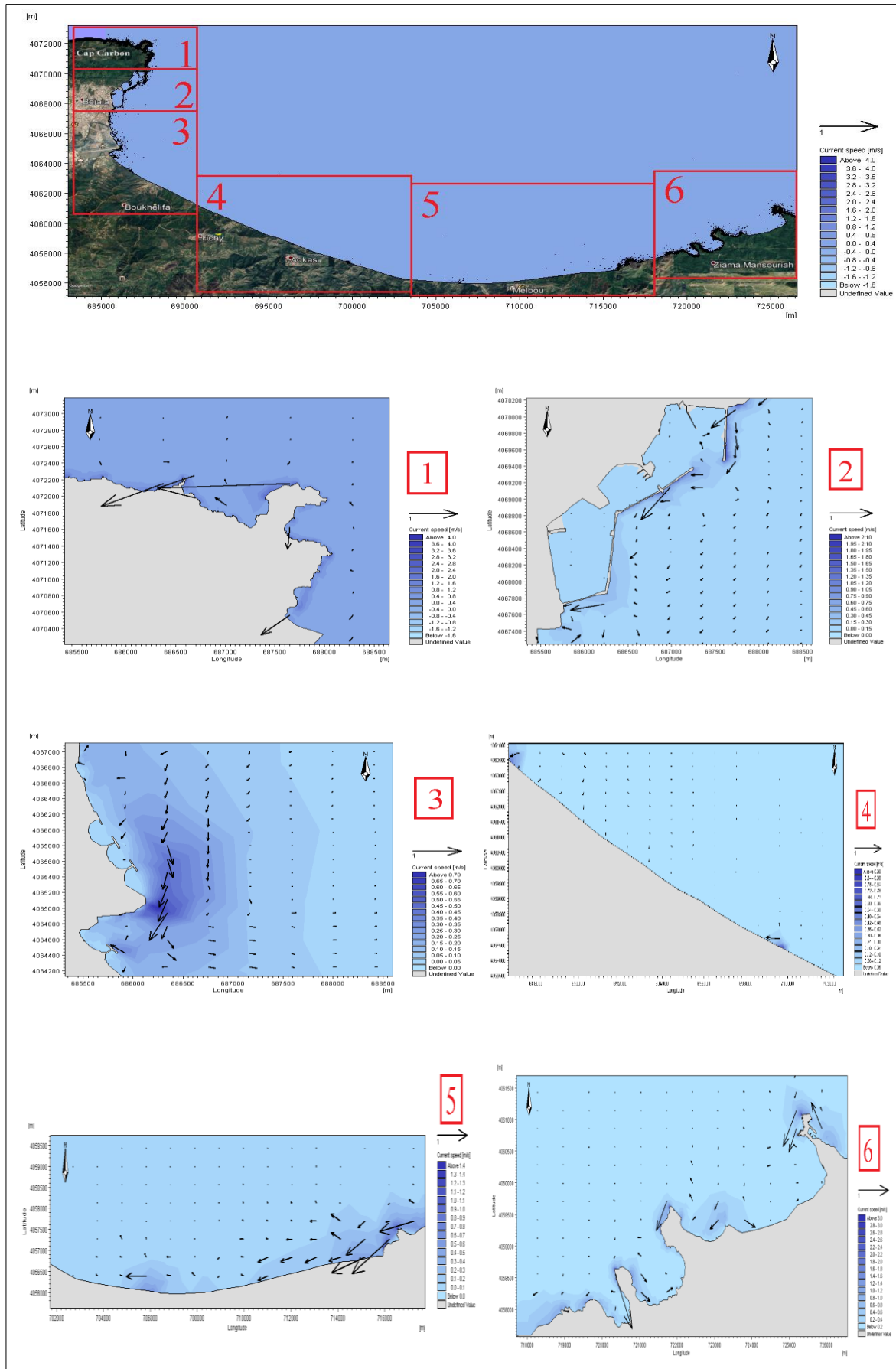


Figure III.30 : Cartes de direction et de vitesses des courants Nord-Est.

Commentaire

La figure III.28 montre la variation des courants et leur direction qui sont générés par une houle du Nord-Ouest 315° . D'après les cartes, les courants sont d'ordre de 0.25 m/s à 1.5 m/s et évoluent d'une manière parallèle au rivage. Ils sont liés possiblement au courant de la dérive littorale par une vitesse maximale importantes de 1.5 m/s du Nord-Ouest de la zone cette vitesse diminue en allant vers le Sud-Ouest dans les côtés du port de Bejaia 1.04 m/s et diminue encore à cause de l'existence des brises lames 0.4 m/s ensuite elle recommence à augmenter en allant du Sud-Ouest au Sud-Est jusqu'à ce qu'elle arrive à 1.3 m/s sur les côtés du port de Ziama, les courants de dérive sont orientés vers le Sud-Est. On remarque la présence des courants de retour presque dans toute la zone et spécialement dans les côtés de la région du cap carbon où on observe la présence de deux courants qui sont parallèles au rivage de deux directions différentes se rencontrent ce qui engendre un courant de retour.

La figure III.29 montre des champs de courant induits par une houle du Nord 360° avec une variation de vitesse entre 0 m/s et 2.4 m/s, on observe que les courants évoluent avec une vitesse maximale 1.4 m/s au Sud-Est, 1.2 m/s et 0.75 m/s au Sud-Ouest de la zone d'étude, les courants de dérive sont orientés dans des directions opposées tout au long de la côte ce qui engendre des courants de retour presque dans toute la zone spécialement aux environs du Cap carbon, port de Bejaia et les côtés de Ziama.

La figure III.30 montre des champs de courants générés par une houle du Nord-Est. La vitesse de ces courants varie entre 0 m/s et 2.1 m/s. Le gradient de vitesse atteint un maximum 2.1 m/s au niveau de la partie Nord-Ouest et un minimum 0.7 m/s et 0.9 m/s au niveau de la partie Sud-Ouest, on observe les courants de retour seulement dans la partie Sud-Est de la zone.

Les vitesses importantes des courants marins sont généralement dues à l'augmentation de la vitesse des vents, laquelle à son tour est due probablement au changement de climat.

Les vitesses moyennes des courants induits par les houles des trois directions dominantes (0.4m/s NW 0.75 N 0.7NE) ont généralement pour cause le fait que ces courants sont produits principalement par le phénomène de réfraction de la houle dans la partie Sud-Ouest de la zone d'étude.

Dans les trois figures les vitesses des courants marins sont au maximum aux environs du cap carbon ensuite elles commencent à diminuer en allant vers le port de Bejaia et atteint le minimum dans la zone de Sidi Ali Lebhar où ils existent des brises lames ensuite elle recommence à augmenter en allant du Sud-Ouest jusqu'au Sud-Est de la zone d'étude. Cela est dû généralement à l'effet des brises lames immergés quant à limiter, en dissipant l'énergie de la houle. La partie Sud-Ouest de la zone d'étude est la partie la plus touchée par l'érosion et les inondations comme nous allons voir dans les chapitres suivants.

Conclusion

Grâce à la partie modélisation des champs de courants et des houles du logiciel MIKE 21, nous avons pu élucider un tant soit peu le mode de fonctionnement des courants et des houles tout au long de la zone d'étude. D'après les résultats obtenus, l'étude de propagation des courants du large vers la côte sont de provenance multiples (NE45°, NW315° et N360°), ce qui crée un courant de retour dans toutes les directions.

Dans les trois figures trouvées, Les courants marins d'intensité maximale se trouvent aux environs du cap carbon et diminuent de plus en plus dans la direction du port de Bejaia pour presque disparaître ou atteindre une vitesse négligeable du côté de Sidi Ali Lebhar où des brises lames ont été immergés, ensuite elle recommence à augmenter en allant du Sud-Ouest jusqu'à le Sud-Est de la zone d'étude. La partie Sud-Ouest de la zone d'étude étant elle est la partie la plus touchée par l'érosion et les inondations. Ces résultats peuvent nous aider à faire sortir une interprétation finale qui reflète le mieux les phénomènes présents et même de choisir une stratégie d'intervention adéquate pour remédier ce déséquilibre naturel.

Chapitre IV
Etude diachronique du
trait de cote

Introduction

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion. (WILLIAMS, 1990).

Dans ce chapitre on va traiter l'évolution du trait de côte par l'utilisation d'une extension DSAS de logiciel Arc Gis10.2 dans le but de voir le phénomène de l'érosion et son influence sur la frange littorale de notre zone d'étude à partir du cap carbon jusqu'à Melbou. L'analyse de la dynamique spatio-temporelle du trait de côte du golfe de Bejaia s'est faite suivant 7 périodes, afin d'évaluer l'impact de l'érosion de 1984 à 2021, Suivant les données disponibles, cette analyse s'étend sur : (1) 1984 à 1990, (2) 1990 à 2000, (3) 2000 à 2009, (4) 2009 à 2013, (5) 2013 à 2017, (6) 2017 à 2021, (7) 1984 à 2021.

1. Outils et procédures

1.1. Logiciels utilisés

1.1.1. Google Earth pro

Google Earth est un système d'information géographique (SIG), développé depuis 2001. Disponible sous Windows dans ses différentes versions et même sous Macintosh, il permet d'inspecter aussi bien la terre que la lune et même Mars ainsi que le Ciel sous toutes ses coutures.

Google Earth Pro peut également être utilisé pour visualiser des images satellitaires à très haute résolution et télécharger des données géo spatiales.

1.1.2. DSAS

DSAS (Digital Shoreline Analysis System) est un plugin développé par l'USGS (United States Geological Survey) disponible gratuitement qui fonctionne au sein du logiciel de Système d'information géographique ArcGis d'ESRI (Environmental System Research Institute). Il calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique de données vectorielles de trait de côte. Cet outil a été utilisé dans différentes études de mesure et suivi de la dynamique du trait de côte à travers le monde (TEMITOPE et TIMOTHY, 2014).

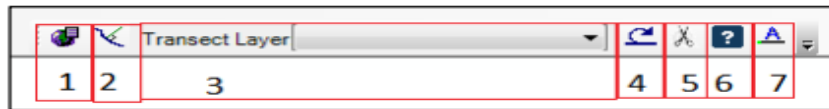


Figure IV.31 : Barre d'outils de DSAS.

- 1 :** Set / Edit default parameters, c'est une option qui sert à définir la ligne de base et les trait de côtes à étudier, modifier les paramètres (la longueur des transects, l'espacement entre les transects, l'incertitude...etc.).
- 2:** Transects Cast, une option qui sert à générer des transects perpendiculaires à la ligne de base.
- 3:** Transect layer selection tool, c'est une répertoire qui contient tous les fichiers de transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- 4:** Calculer les statistiques, lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.
- 5:** Clip to shoreline change envelope (SCE), lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.
- 6:** Lance la fonction d'aide DSAS.
- 7:** A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.

1.2. Etapes de réalisation de l'étude (Voir annexe 3)

1.2.1. L'extraction des traits de côtes des années concernées de Google Earth pro 2021 et les exporter sur Arc Gis 10.2

L'extraction des lignes de référence a été réalisée par digitalisation manuelle sur fond de photographie aérienne corrigée de 2021 de la zone d'étude et d'images multi-dates de Google Earth pro à l'aide de l'option « nouveau trajet » pour chacune des périodes 1984, 1990, 2000, 2009, 2013, 2017 et 2021. Les fichiers enregistrés sous format .kml, ont ensuite été importés dans Arc Gis 10.2. Grâce à l'outil de conversion d'Arc Gis, les traits de côte digitalisés sous Google Earth pro ont été convertis en shapefile et intégrés dans une géodatabase comme données d'entrée dans le logiciel DSAS (Digital Shoreline Analysis System).

1.2.2. Création la ligne de base (Baseline)

C'est une ligne qui va servir de référence pour mesurer les distances, elle peut être représentée en une seule ligne ou en plusieurs segments.

Les changements du trait de côte sont calculés en utilisant les distances entre la ligne de base (Baseline) et chaque intersection de trait de côte sur un transect on peut représenter la ligne de base de trois façons:

- Offshore baseline: tracée dans la mer
- Midshore baseline : tracée au milieu des traits de côte
- Onshore baseline: tracée sur terre

1.2.3. Création des vecteurs shorelines

Pour qu'on peut faire une étude sur l'évolution du trait de côte de notre zone d'étude entre les années 1984 et 2021 en comparant entre chaque deux traits de côtes dans un interval du temps. Ces traits de côte doivent être contenus dans un seul vecteur (feature class in a personal geodatabase) dans un système projeté. Le logiciel Arc Gis 10.2 nous a permis de fusionner chaque deux « shapefiles » des traits de côte d'un intervalle du temps correspondant en un seul avec l'option « merge » dans la boîte à outils Arctoolbox. L'incertitude des traits de côte utilisés est de 0.3m (30cm). Cette incertitude reflète la somme de l'incertitude liée à l'opérateur (25cm) et celle liée au système GPS utilisé pour la réalisation des levés (5 cm). (KERAGUEL, 2021).

1.2.4. Création des transects

DSAS génère des transects perpendiculaires à la ligne de base.

1.2.5. Le calcul des paramètres statistiques EPR et NSM

Les changements du trait de côte sont calculés en utilisant les distances entre la ligne de base (baseline) et chaque intersection de trait de côte sur un transect, Cet outil permet le calcul de paramètres statistiques qui permettent d'étudier l'évolution du trait de côte on site :

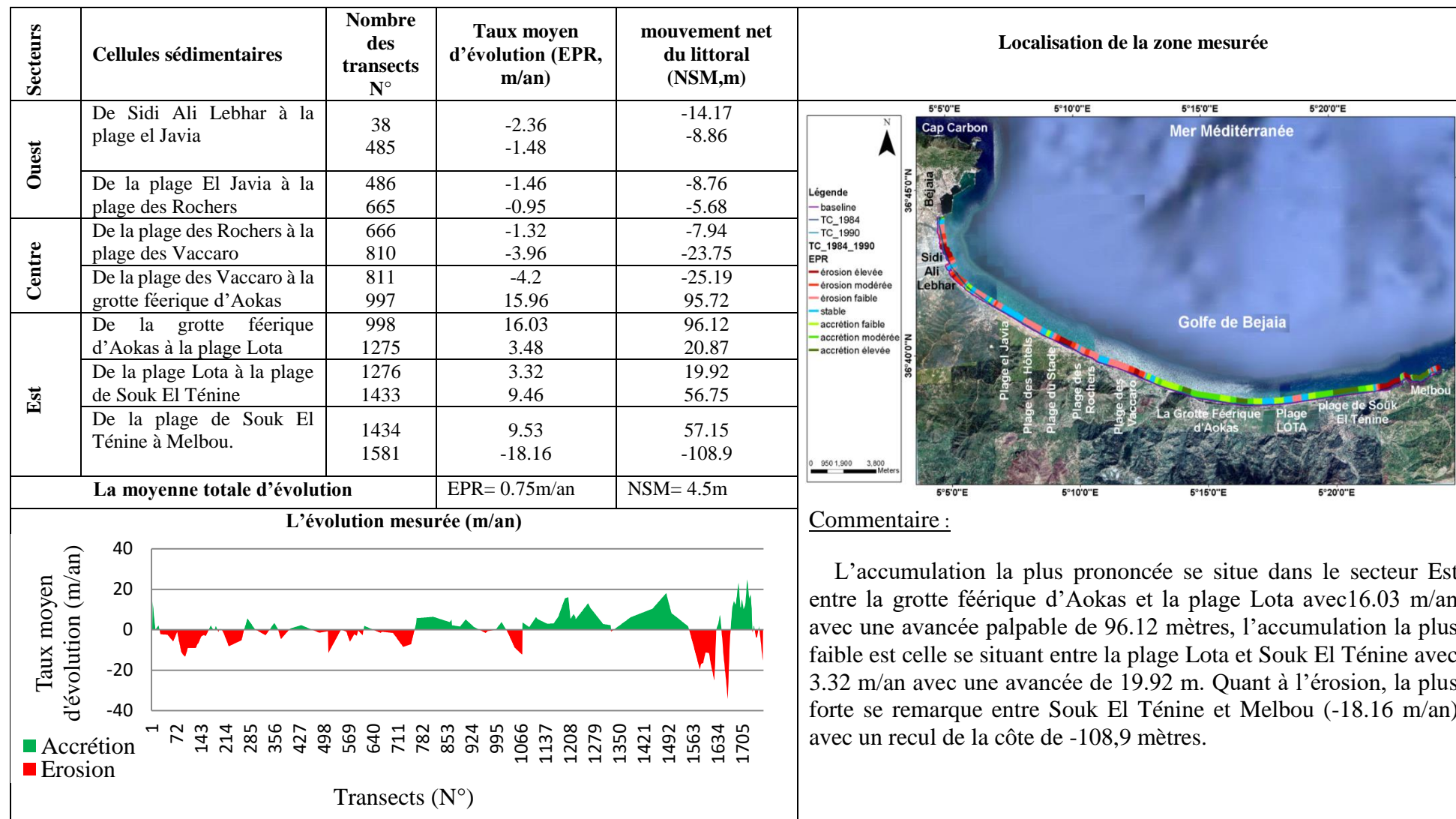
- NSM : la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent (en mètre).
- EPR : le rapport entre NSM et le temps entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent (en mètre/an).

1.2.6. Conversion des Valeurs d'EPR en fichier vecteur

En jouant sur la symbologie, nous avons pu convertir les valeurs d'EPR obtenues en un fichier vecteur qui va nous permettre de faire sa projection sur l'image satellitaire.

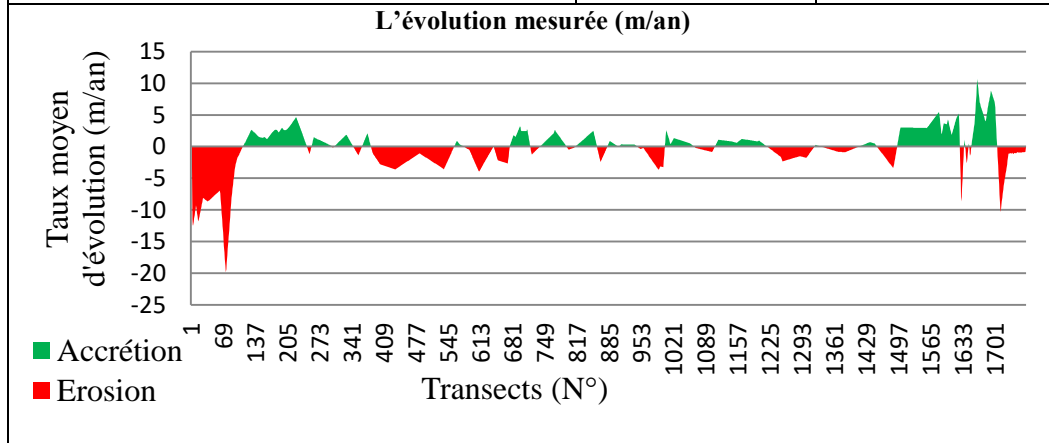
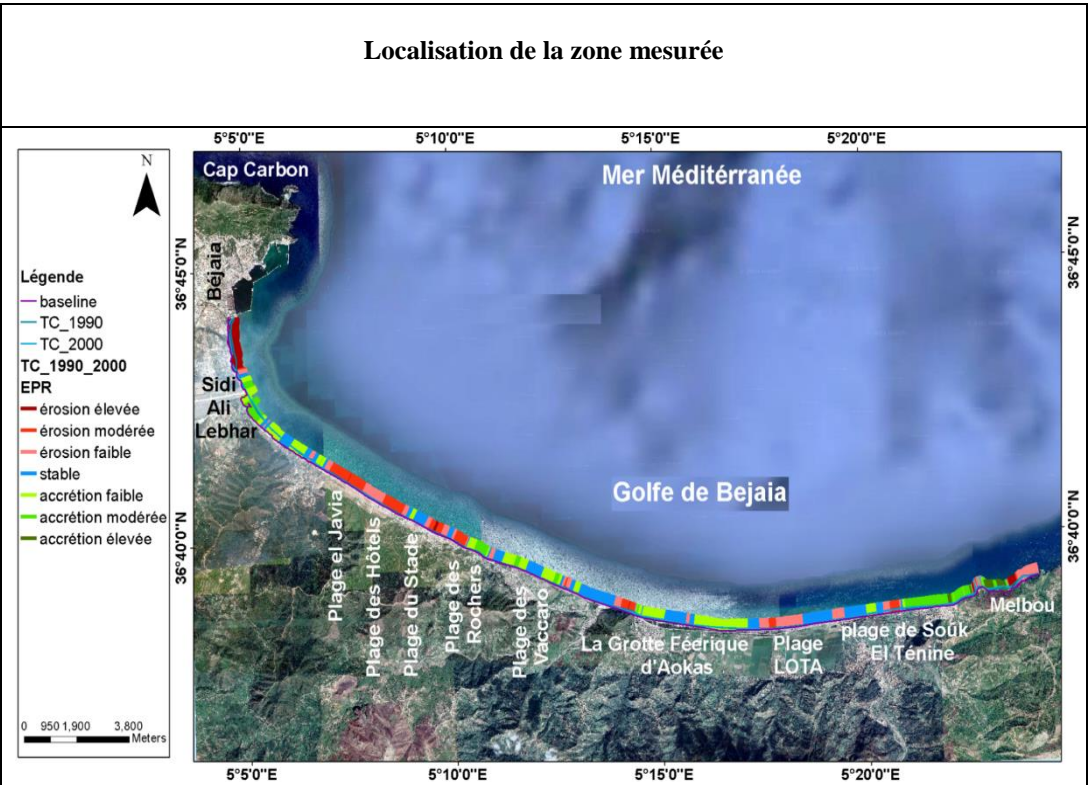
2. Resultat et interpretation

2.1. Tableau IV.9 : L'évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1984 et 1990



2.2. Tableau IV.10 : L'évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 1990 et 2000

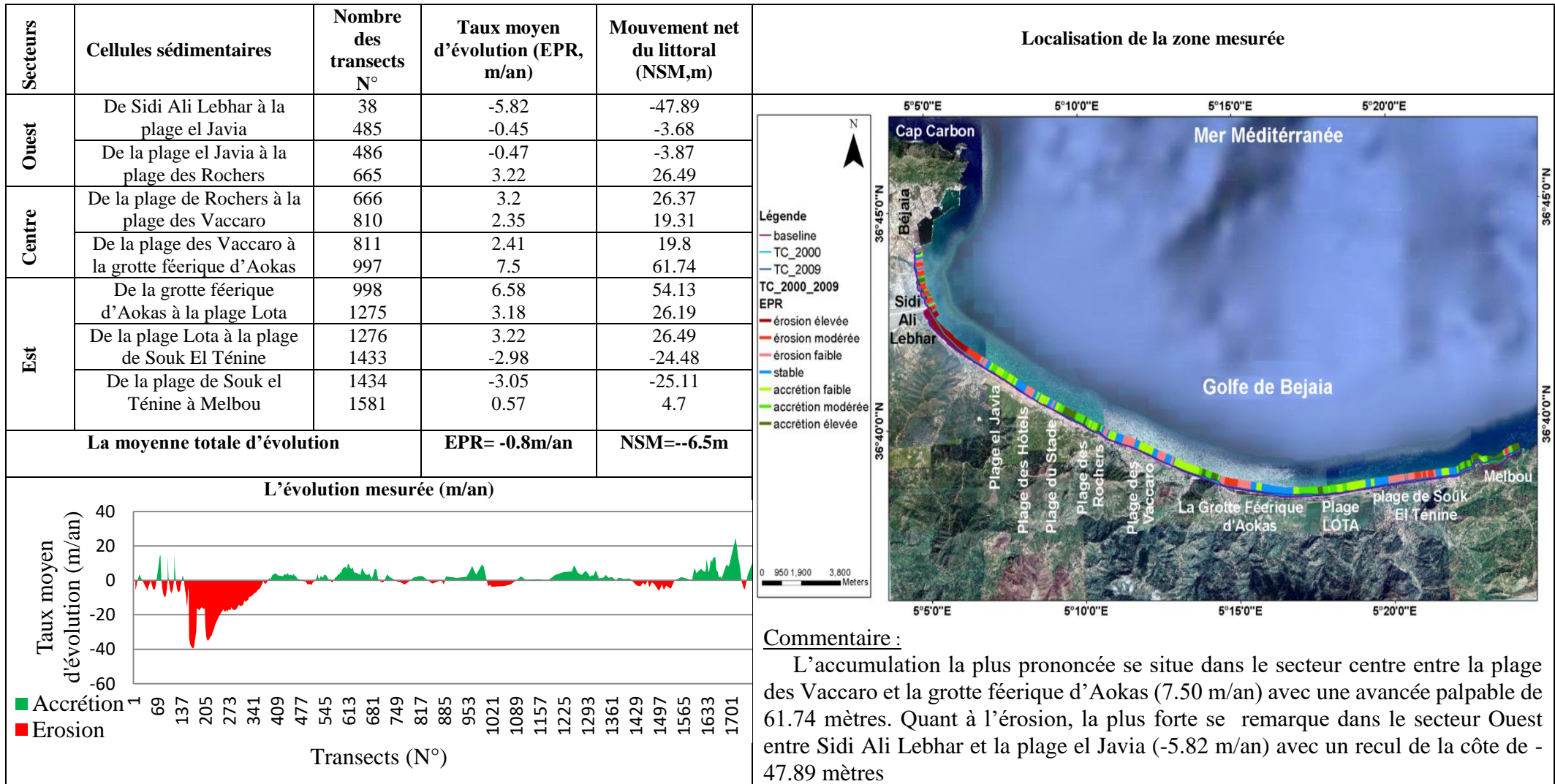
Secteurs	Cellules sédimentaires	Nombre des transects N°	Taux moyen d'évolution (EPR, m/an)	mouvement net du littoral (NSM,m)
Ouest	De Sidi Ali Lebhar à la plage el Javia	38	-8.6	-86.42
	De la plage el Javia à la plage des Rochers	485	-1.1	-11.01
Centre	De la plage des Rochers à la plage des Vaccaro	486	-1.14	-11.4
	De la plage des Vaccaro à la grotte féerique d'Aokas	665	-2.52	-25.24
Est	De la grotte féerique d'Aokas à la plage Lota	666	-2.55	-25.48
	De la plage Lota à la plage de Souk El Ténine	810	-0.22	-2.23
Est	De la plage de Souk El Ténine à Melbou	811	-0.2	-1.97
	De la plage de Souk El Ténine à Melbou	997	-3.19	-31.93
	De la grotte féerique d'Aokas à la plage Lota	998	-3.21	-32.14
Est	De la grotte féerique d'Aokas à la plage Lota	1275	-1.82	-18.25
	De la plage Lota à la plage de Souk El Ténine	1276	-1.8	-18.02
	De la plage de Souk El Ténine à Melbou	1433	0.58	5.85
Est	De la plage de Souk El Ténine à Melbou	1434	0.62	6.16
	De la plage de Souk El Ténine à Melbou	1581	5.28	52.8
La moyenne totale d'évolution			EPR= 0.53m/an	NSM=-3.52m



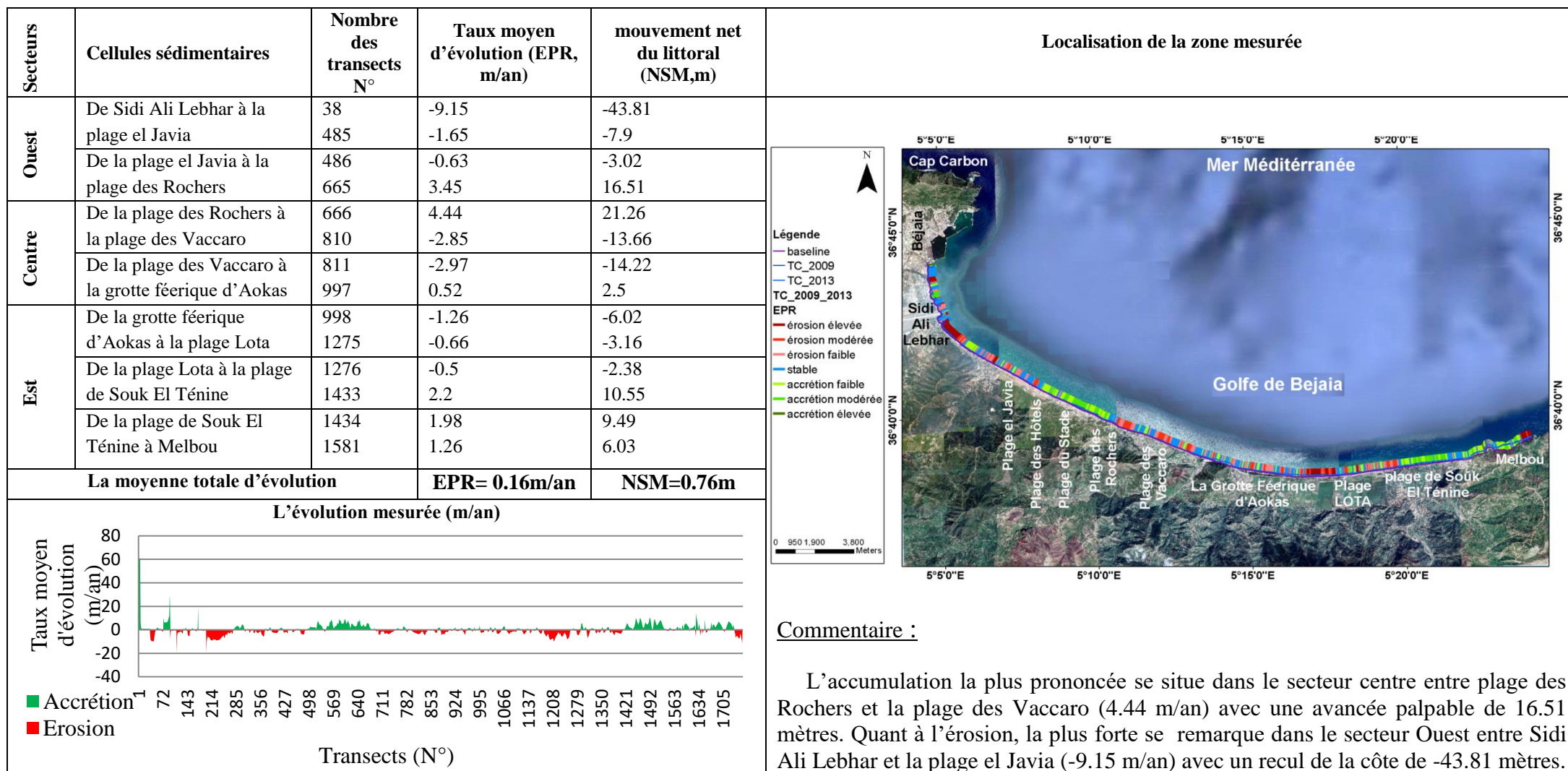
Commentaire :

L'accumulation la plus prononcée se situe dans le secteur Est entre Souk El Ténine et Melbou (5.28 m/an) avec une avancée palpable de 52.8 mètres. Quant à l'érosion, la plus forte se remarque dans le secteur Ouest entre Sidi Ali Lebhar et la plage el Javia (-8.6 m/an) avec un recul de la côte de -86.42 mètres.

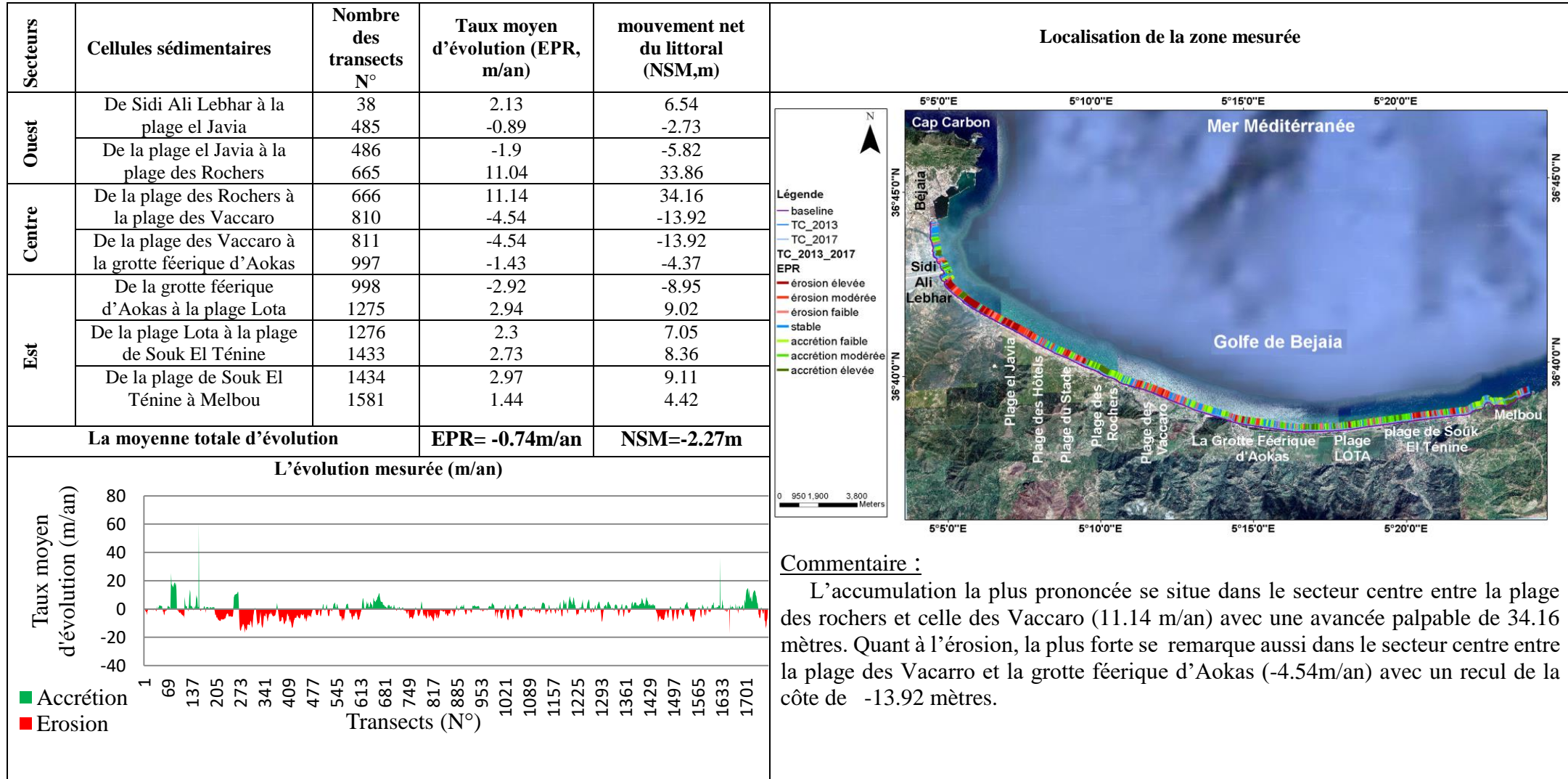
2.3. Tableau IV.11 : L'évolution de trait de côte du golfe de Bejaia entre 2000 et 2009



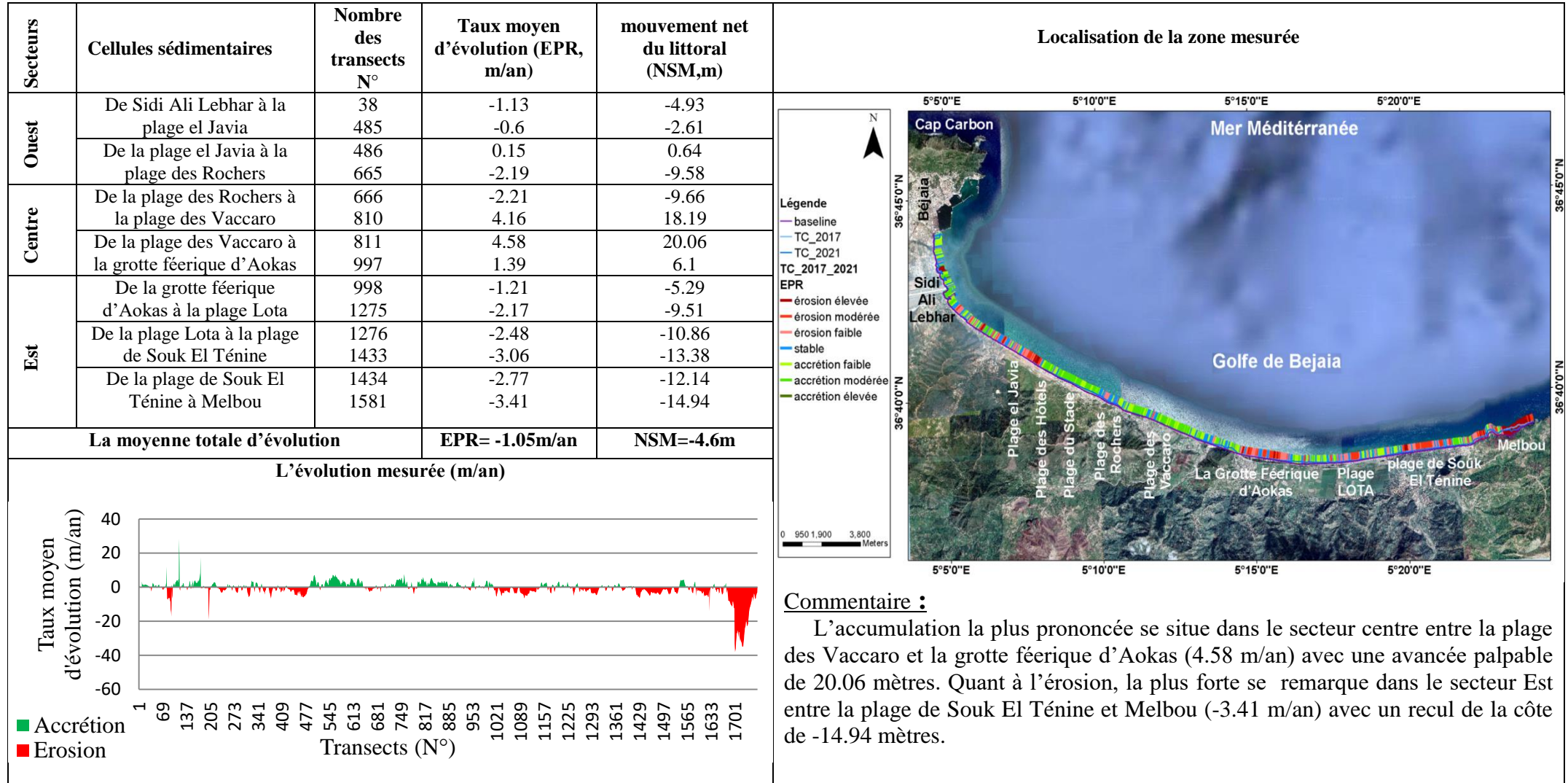
2.4. Tableau IV.12 : L'évolution de trait de côte du golfe de Bejaia entre 2009 et 2013



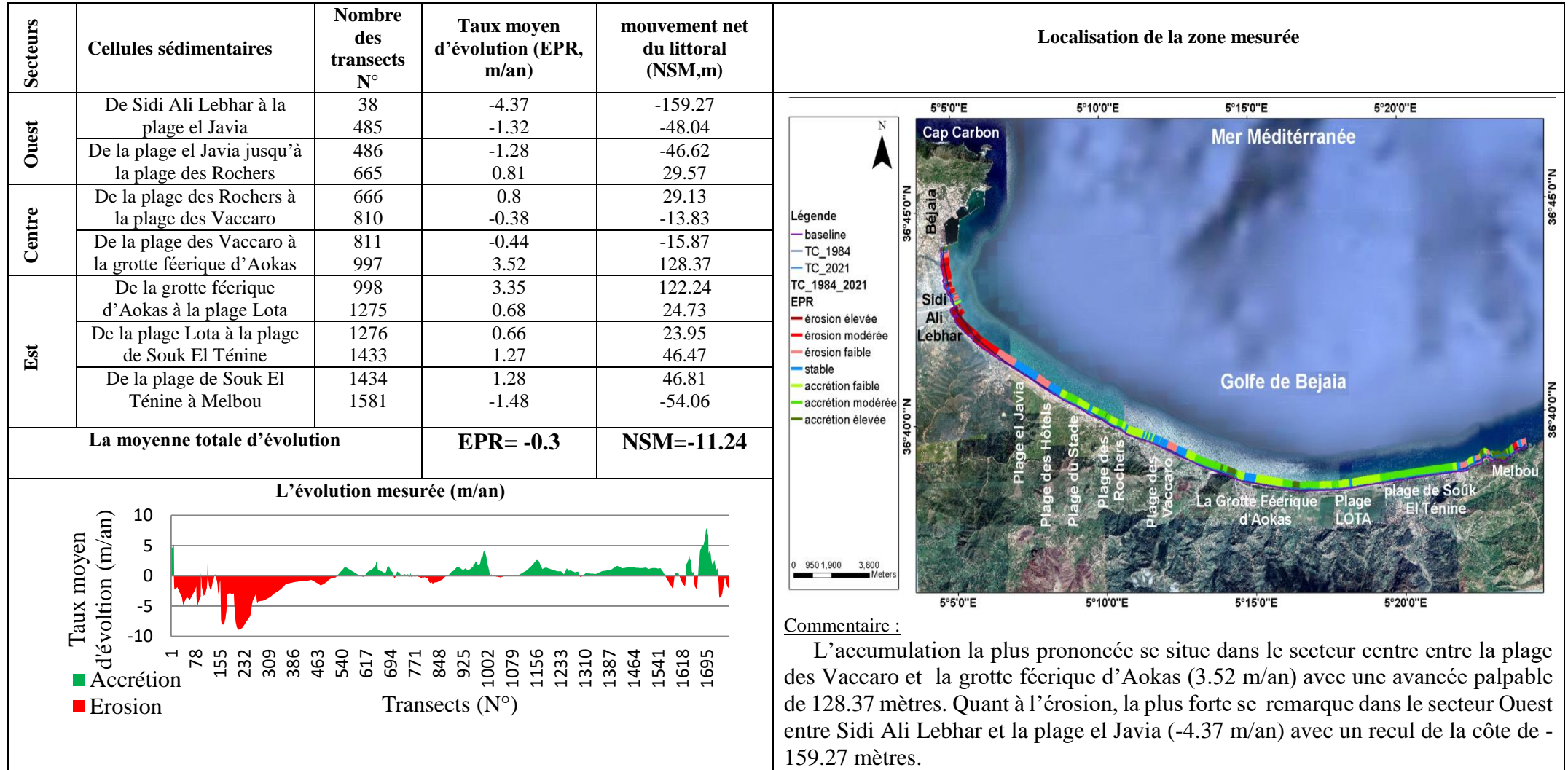
2.5. Tableau IV.13 : L'évolution du trait de côte du golfe de Bejaia entre 2013 et 2017



2.6. Tableau IV.14 : L'évolution du trait de côte du golf de Bejaia entre 2017 et 2021



2.7. Tableau IV.15 : L'évolution du trait de côte de golf de Bejaia entre 1984 et 2021



En général, l'érosion remarquée dans les cartes précédentes a pour causes les facteurs naturels et anthropiques qui peuvent être des changements de climats entraînant des tempêtes répétées et cumulées ainsi que des facteurs anthropiques tels que les extractions massives et arbitraires de quantités de sable. Par contre, l'accrétion est due aux variations annuelles des apports sédimentaires d'oued Soummam.

3. Analyses du bilan sédimentaire et surfacique entre 1984 et 2021

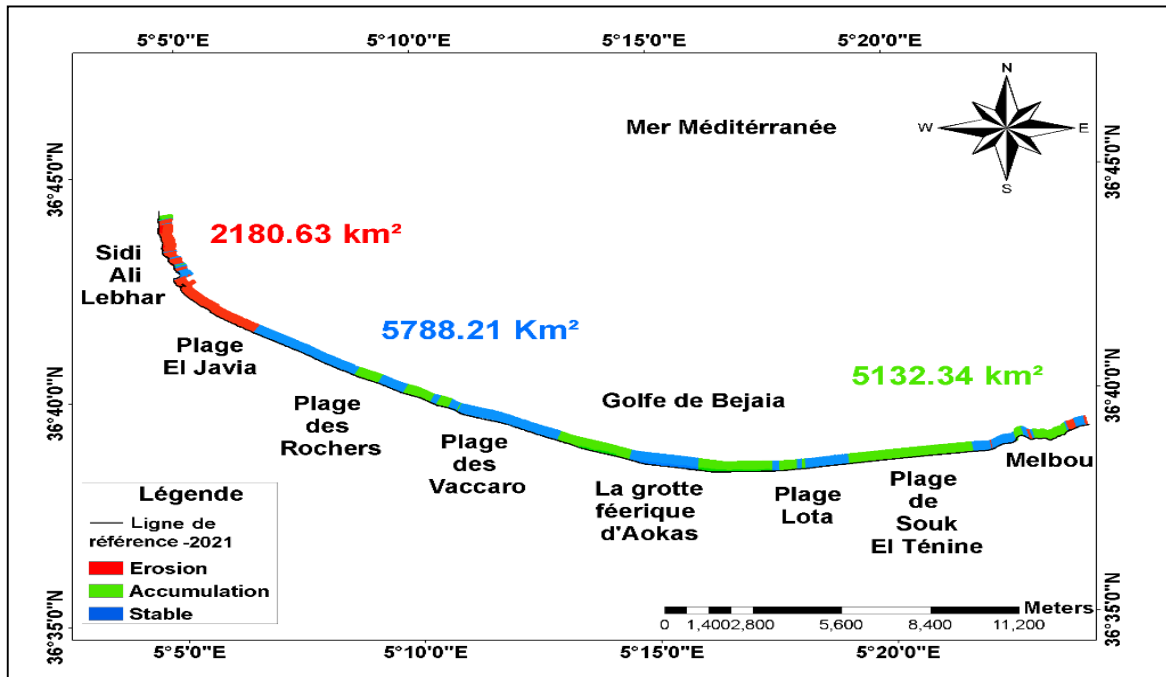


Figure IV.32 : Bilan sédimentaire de la zone littorale du golfe de Bejaia entre 1984 et 2021.

D'après la figure 32, on remarque que les surfaces les plus érodées sont celles du secteur Ouest (2180.63 km² de surfaces érodées) entre Sidi Ali Lebhar et la plage El Javia, la partie centre est généralement stable avec des accumulations plus au moins importantes en allant de la plage des Rochers jusqu'à la grotte féerique d'Aokas, les accumulations les plus importantes se situent dans la partie Est entre la plage Lota et Melbou avec une érosion très faible remarquée dans cette zone.

Tableau IV.16 : Bilan sédimentaire net du Golfe de Bejaia (1984-2021).

	Erosion	Accrétion	Bilan net
Superficie en ha	-21.81	51.32	29.51

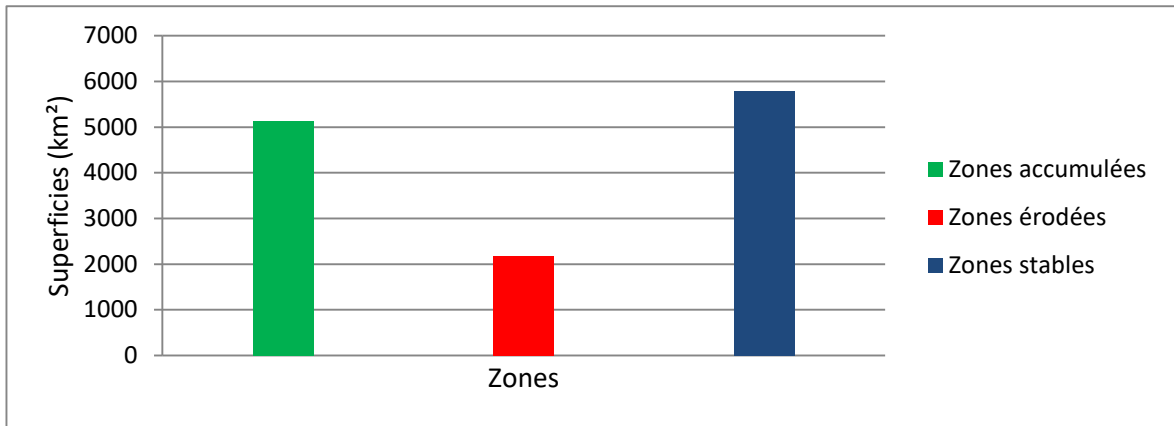


Figure IV.33 : bilan surfacique du golfe de Bejaia entre 1984 et 2021.

Tableau IV.17 : Bilan surfacique du golfe de Bejaia entre 1984 et 2021 par secteurs.

Secteur	Est	Centre	Ouest
Erosion (ha)	-1.36	-0.11	-20.44
Accrétion (ha)	23.17	20.65	7.49

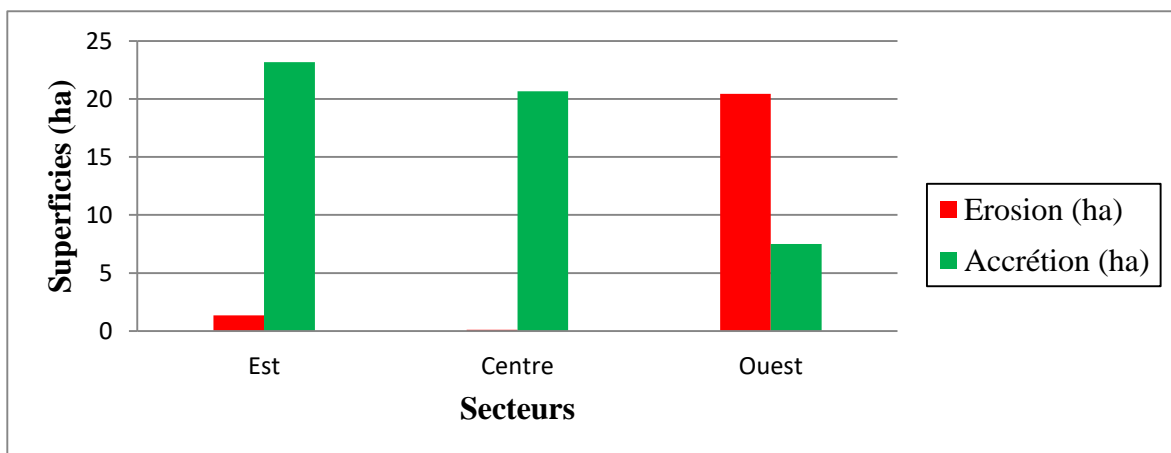


Figure IV.34 : Bilan surfacique du golfe de Bejaia entre 1984 et 2021 par secteurs.

4. Evolution prévisionnelle aux horizons 2050 et 2100

On peut prévoir la position future du trait de côte grâce aux modèles mathématiques non linéaires basés sur la fonction temps, taux d'érosion et d'accumulation ou l'élévation du niveau de la mer. Les modèles du taux du point extrême (EPR) et celui de la régression linéaire (LR) restent les plus utilisés dans ce cas bien précis. Dans notre étude, la position future du trait de côte pour l'horizon 2050 a été calculée à l'aide de l'équation qui tient compte du taux de changement du trait de côte (EPR), l'intervalle de temps entre la position du trait de côte observé et prédit et l'interception du modèle lui-même. Cette équation est la suivante :

$$P_{ftr} = TEPR \times T + KEPR$$

Où

P_{ftr}: Définit les positions futures du trait de côte

T : L'intervalle de temps

TEPR : Taux de changement du trait de côte (EPR), Avec:

$$TEPR = \frac{P2 - P1}{t2 - t1}$$

P2, P1 : Positions la plus ancienne et la plus récente du trait de côte

t1, t2 : Dates

$$KEPR = P1 - (TEPR \times t1) = P2 - (TEPR \times t2)$$

Appliquons cette formule dans le cas de notre étude :

P1 étant l'EPR durant l'année 1984 et il est de l'ordre de -0.3 m/an.

P2 étant l'EPR durant l'année 2021 et il est de l'ordre de 1.05 m/an.

L'intervalle de temps T entre 2021 et 2050 est égal à 29 ans.

L'intervalle de temps T entre 2021 et 2100 est égal à 79 ans.

t1 = 1984.

$t_2 = 2021$.

$KEPR = -0.3 - (0.036 * 1984) = -71.72$ pour l'année 1984.

$KEPR = 1.05 - (0.036 * 2021) = -71.72$ pour l'année 2021.

En 2050 : Pf tr = $0.036 * 29 - 71.72 = -70.68$ m.

En 2050 : Pf tr = -70.68m

En 2100 : Pf tr = $0.036 * 79 - 71.72 = -68.88$ m.

En 2050 : Pf tr = -68.88m

A l'horizon de **2050**, il est prévu au vu des valeurs constatées, une érosion très forte. Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un recul moyen d'EPR d'environ **-70.68 m/an** sur la quasi-totalité de la ligne du rivage.

Cette érosion diminue sensiblement à l'horizon **2100** pour afficher un recul moyen d'EPR d'environ **-68.88 m/an**.

Les causes de ce recul peuvent être dues à la fois à des facteurs naturels et anthropiques. Les causes naturelles d'érosion dans le secteur Est et Ouest du golfe sont dues principalement aux effets répétés et cumulés des tempêtes et dans la hausse relative du niveau moyen de la mer. Les causes anthropiques peuvent être dues aux extractions massives et arbitraires des quantités de sable requises pour l'essor urbain dans le futur proche.

Conclusion

Durant la période de 1984 à 2021 la côte du golfe de Bejaia ne se trouve pas dans une situation de pénurie sédimentaire mais connaîtrait plutôt une accumulation sur la majeure partie de son linéaire côtier.

Les zones de la partie Ouest sont les arties les plus érodées, plus on se dirige vers l'Ouest du trait de côte du golfe de Bejaia, plus l'érosion est importante, ce qui s'explique par les affluents qui se jettent en mer, l'affluence nombreuse des touristes qui influent négativement sur les plages ainsi que l'anarchique enlèvement des sables par les entrepreneurs et autres promoteurs qui sont nombreux sur le littoral Bougeotte.

Cet état de fait ou cette situation est moins accrue lorsqu'on se dirige vers l'Est du peu d'engouement qu'ont ces différents facteurs pour opérer de telles opérations.

On remarque que plus l'érosion est importante, plus le trait de côte recule et plus elle est faible plus le recul est de moindre importance. Le trait de côte avance plus ou moins selon le degré d'accumulation. Les zones de la partie Est sont les plus accumulées alors que celles du centre sont les plus stables.

Chapitre V
Etude sur les
submersions marines et les
risques d'inondations

Introduction

Malheureusement, l'installation si près de la mer n'est pas sans risque. En effet, les habitants côtiers se retrouvent à la merci des intempéries telles que les tempêtes, le niveau marin à la côte peut alors monter sous l'effet de la marée, du vent et de la pression atmosphérique et des vagues. La mer peut alors pénétrer dans les terres, ce phénomène qui peut durer de quelques heures à quelques jours s'appelle la submersion marine.

Le phénomène de submersion marine a été surtout mis en évidence lors de l'hiver 2013/2014 avec la conjonction de grandes marées et des tempêtes, on appelle alors phénomènes de submersion, de fortes vagues conjuguées en même temps à des crues fluviales, ce qui fait qu'au niveau des cités portuaires surtout, la submersion, la surcote et la crue des rivières peut engendrer de dramatiques inondations.

Il se produit sur les zones basses et selon trois mécanismes différents :

- Le franchissement par paquets de mer liés aux vagues : Les vagues déferlent et se brisent sur les défenses côtières naturelles ou artificielles, projetant des gerbes d'eau par-dessus qui inondent les zones arrière dont les conséquences vont dépendre de la quantité d'eau accumulée.
- Le débordement : le niveau marin s'élève au-dessus de l'altitude du terrain naturel ou de la crête des ouvrages de protection et entraîne un déversement direct d'importantes quantités d'eau à terre, les conséquences dépendent de la durée et de la vitesse de débordement et de l'écart entre le niveau d'eau et celui du terrain ou des ouvrages de protection.
- La rupture progressive ou brutale d'ouvrages de protection ou de cordons dunaires qui est causée par l'action répétée des vagues sur les structures de protection. Elles peuvent alors être endommagées progressivement ou céder brutalement et permettre le passage de l'eau.

Un épisode de submersion peut résulter de la combinaison de ces différents processus en des endroits différents du littoral. La submersion marine concerne essentiellement les zones basses estuariennes, les baies, les plages de poche, les marées maritimes et les bols d'air. En l'absence d'adaptation, le changement climatique et en particulier l'élévation du niveau de la mer entraînera inévitablement des submersions marines plus fréquentes et plus intenses lors des tempêtes et qui pourront dans certains cas s'avérer définitives.

L'adaptation à ces changements est essentielle si nous voulons continuer à profiter durablement de notre littoral.

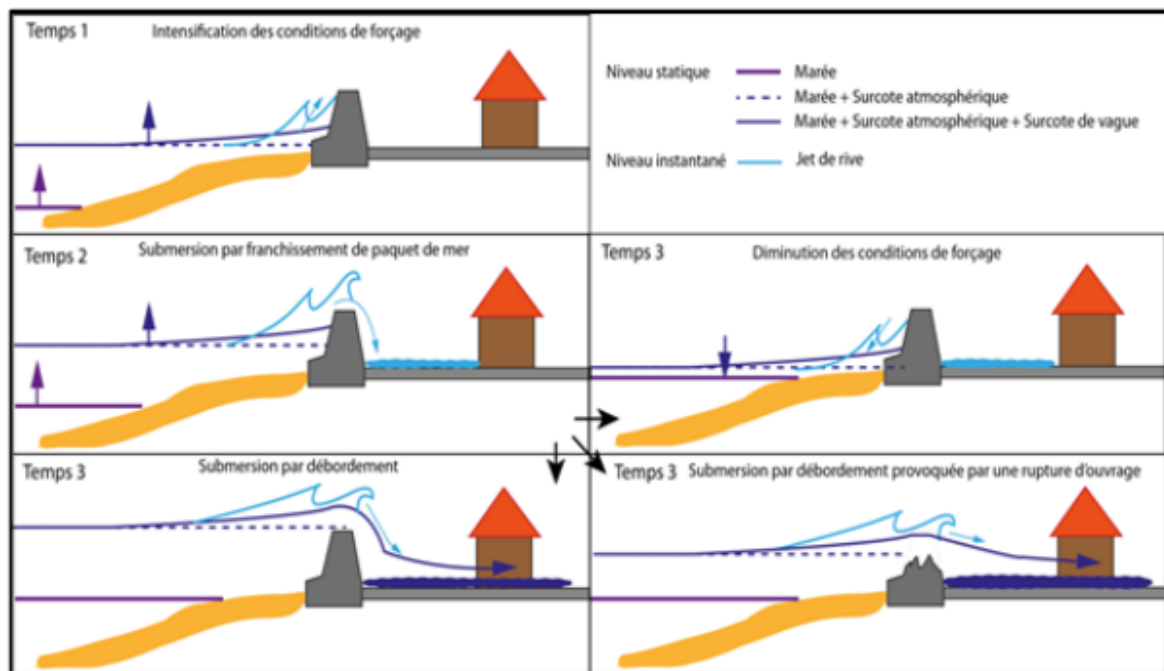


Figure V.35 : Les mécanismes de la submersion marine. (ORRM)

1. Cas des submersions marines qui ont affecté la région de Bejaia

1.1. Une forte houle détruit le poste de secours des services de la protection civile dans la plage d'Oued-Das à Toudja le 14 novembre 2017



Figure V.36 : Cas de submersion marine dans la plage d'Oued-Das. (Bejaia.info)

2. Les facteurs déclenchant

Les submersions marines se produisent en présence de conditions particulières liées aux marées et à la météo. Les causes d'une submersion marine seront souvent en lien avec une heure de marée haute, elles sont déclenchées par une chute de la pression atmosphérique, une augmentation du niveau de l'eau à la côte et un vent fort venant du large appelé vent de mer qui accentue l'accumulation d'eau à la côte.

2.1. Variation du niveau de la mer en fonction de la pression atmosphérique (effet barométrique inverse)

Les changements de pression atmosphérique agissent sur le niveau de la mer qui, lorsqu'elles sont basses, engendrent une surcote et une décote lorsqu'elles sont hautes.

Ceci est communément appelé effet barométrique inverse. Ce changement ou variation du niveau de la mer liée à la pression atmosphérique peut être approchée à partir de la formule qui suit :

$$Z = 0.01 (1013 - p)$$

Où :

p : est la pression atmosphérique en hectopascal,

1013 hPa : étant la pression correspondant au niveau de repos de la mer.

Selon cette formule, on peut déduire que la baisse de pression d'un hectopascal fait croître le niveau marin d'environ un centimètre. En Algérie, les pressions oscillent entre 950hPa et 1050hPa, faisant varier le niveau de la mer entre -0.37m et 0.63m.

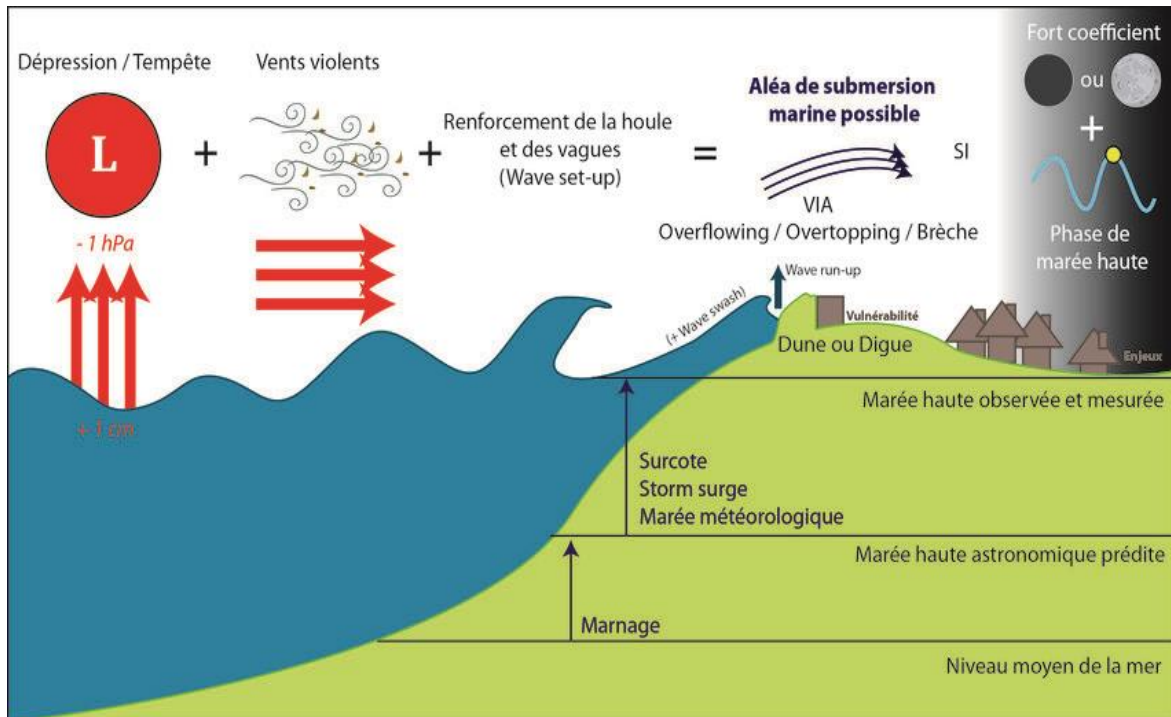


Figure V.37 : les facteurs déclenchant d'une submersion marine (PEZET, 2018)

3. Les caractéristiques de la submersion marine

Les principales caractéristiques de la submersion marine déterminant le niveau d'aléas sont :

- Le seuil : fortement lié au niveau moyen de la mer et à l'élévation de son niveau ;
- L'altitude du lieu concerné ;
- L'ampleur, d'abord en hauteur d'eau submergent (exemple : 1m, 2m, 5m) et en étendue (ha, km²) ;
- La soudaineté (vitesse et temps de montée) : de quelques minutes à plusieurs dizaines de minutes) ;
- La fréquence ;
- La durée de submersion.

4. Outils et procédures

Pour faire une étude sur les submersions marines il faut tout d'abord faire une étude des houles extrêmes au large, La définition de la distribution de probabilité d'événements de grande ampleur et extrêmes est utile dans le calcul des niveaux d'inondation. La détermination du climat d'agitation à long terme a pour but d'associer une hauteur de la houle à une période de retour donnée (habituellement 30 à 100 ans). (CIRIA, et al. 2009).

4.1. Le calcul des houles extrêmes au large

Pour le calcul des houles extrêmes au large nous aurons besoin de la loi de LARRAS qui suppose que les valeurs des creux extrêmes peuvent être approchées par l'équation suivante :

$$\mathbf{H = B - A \log P}$$

Où

A : définie la pente de la droite de régression tracée en fonction des hauteurs significatives (Hs) et les fréquences cumulées correspondantes (-log (F)), pour notre cas nous avons utilisé les enregistrements de l'année 2019.

B : Intersection de la droite de régression avec l'axe y.

H : La hauteur de la houle extrême en mètre.

P : Probabilité d'occurrence de la houle R-annuelle. S'exprime par :

$$\mathbf{P = 24 / 365 * 24 * R = 1 / 365 * R}$$

R : Nombre d'année (R = 1 : Houle annale, R = 2 : Houle biennale, R = 5 : houle quinquennale, R = 10 : Houle décennale, R = 20 : Houle vingtennale, R = 50 : Houle cinquantennale, R = 100 : Houle centennale, etc.).

Si on considère que l'état de la mer change 3 fois par 24 heures l'équation de la probabilité d'occurrence devient :

$$\mathbf{P = 24 / 3 * 365 * 24 * R = 1 / 3 * 365 * R.}$$

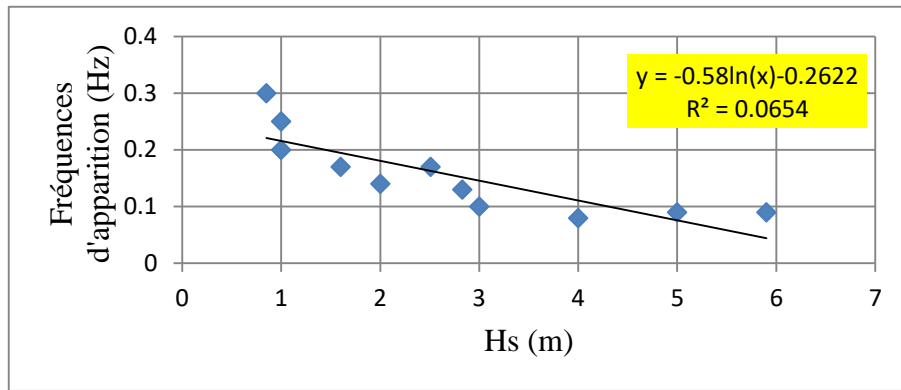


Figure V.38 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles Nord-Ouest au large des côtes de Bejaia

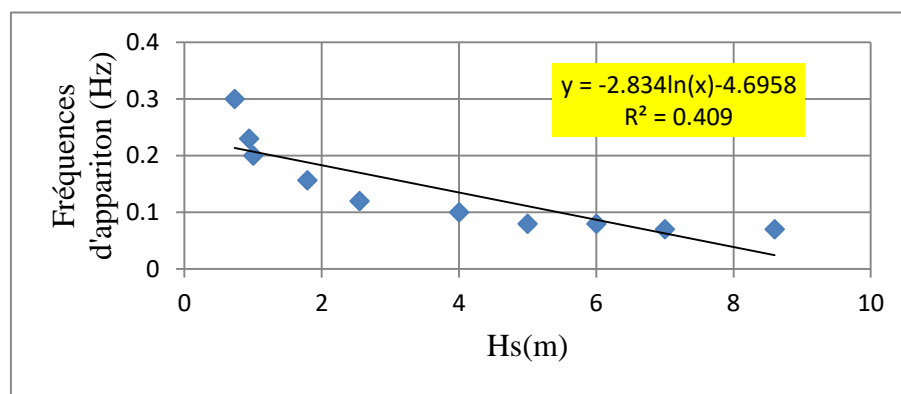


Figure V.39 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles Nord au large des côtes de Bejaia.

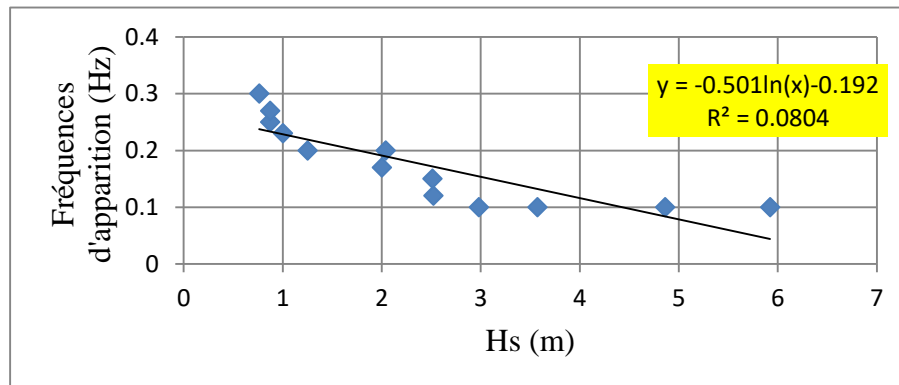


Figure V.40 : Corrélation entre hauteurs significatives et fréquences d'apparition des houles NE au large des côtes de Bejaia.

Chapitre V Etude sur les submersions marines et les risques d'inondations

Après l'application de la loi de LARRAS nous avons abouti les résultats qui sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.18 : Hauteurs significatives associées aux périodes de retour en fonction des directions dominantes.

Période de retour (R, ans)	La hauteur des houles extrêmes (H, m)		
	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est
1	2.5	5.5	2.2
2	2.9	6	2.6
5	3.5	6.8	3
10	3.9	7.3	3.4
20	4.3	7.9	3.7
50	4.8	8.7	4.2
100	5.2	9.2	4.5

4.2. Simuler les houles extrêmes les plus défavorables pour le site d'étude sur MIKE21

D'après les données issues lors des calculs les houles extrêmes les plus défavorables pour le site d'étude sont celle de la direction nord, les enregistrements de houle au large du golfe de Bejaia en 2019 nous ont permis d'ajouter à chaque houle la période qui lui convient (Tableau V. 19).

Tableau V.19 : Les enregistrements des hauteurs significatives avec leurs périodes au large du golfe de Bejaia en 2019.

Direction	Nord (MWD = 360°)						
	1	2	5	10	20	50	100
Période de retour (R, ans)	1	2	5	10	20	50	100
Hs (m)	5.5	6.02	6.8	7.3	7.9	8.7	9.2
Tp (s)	12.86	12.82	12.79	12.77	13.82	14.16	14.97

Chapitre V Etude sur les submersions marines et les risques d'inondations

Après l'obtention des hauteurs des houles extrêmes au large en va faire les simulations des houles N comme étant les plus défavorables pour le site d'étude en utilisant le modèle Spectral Waves FM pour obtenir les hauteurs de ces houles à la côte.

Les résultats de simulations de ces houles seront explicités en détail au suivant :

Tableau V.20 : Hauteurs des houles extrêmes provenant du Nord à la côte en fonction des périodes de retour.

Directions	Nord (MWD = 360°)
Périodes de retour (R, ans)	H (m)
1	1.5
2	2
5	3
10	3.5
20	4
50	4.5
100	5

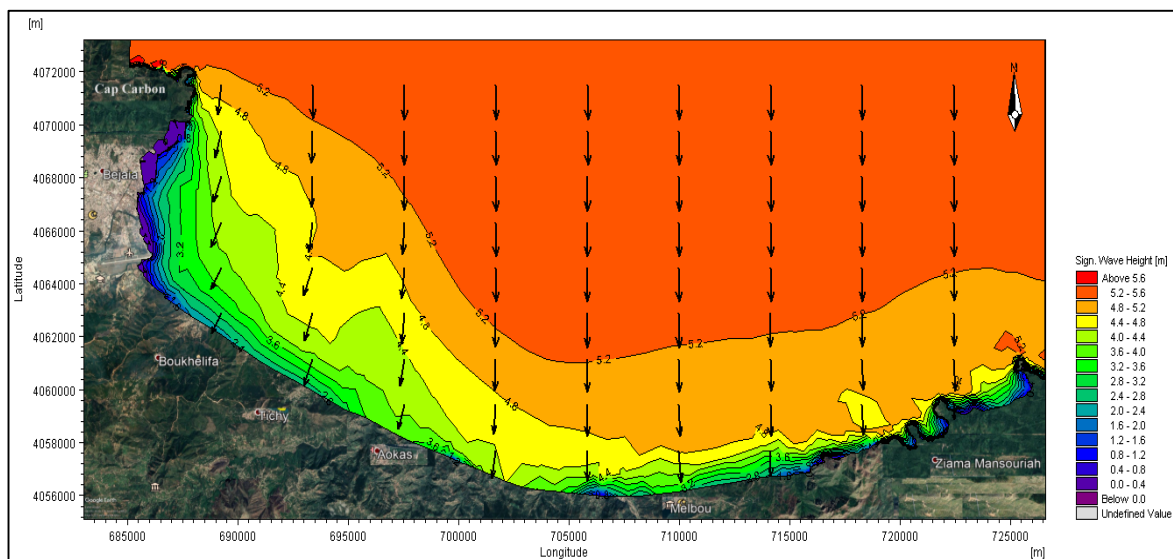


Figure V.41 : Le champ des vagues dans la direction Nord (R = 1 an)

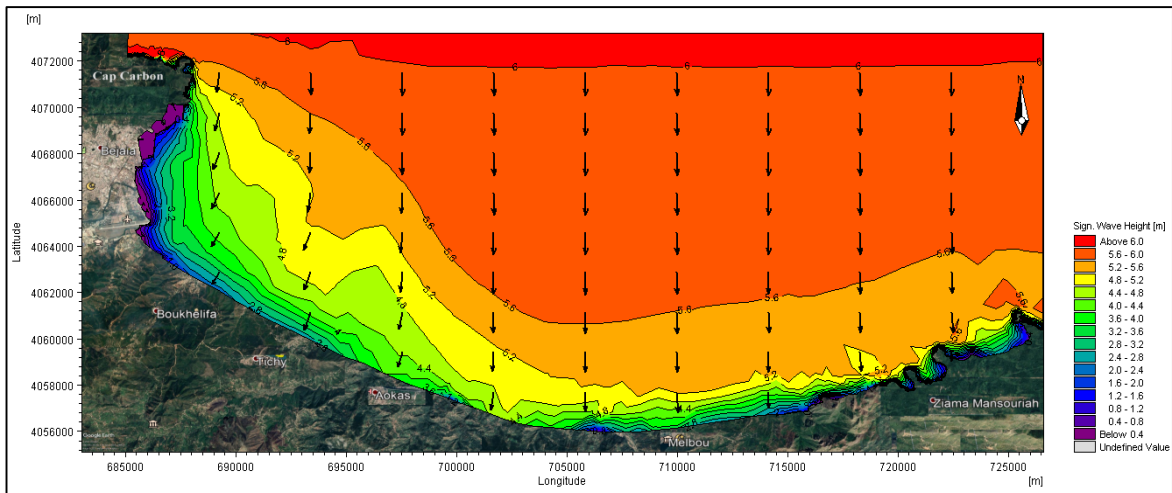


Figure V.42 : Le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 2$ ans)

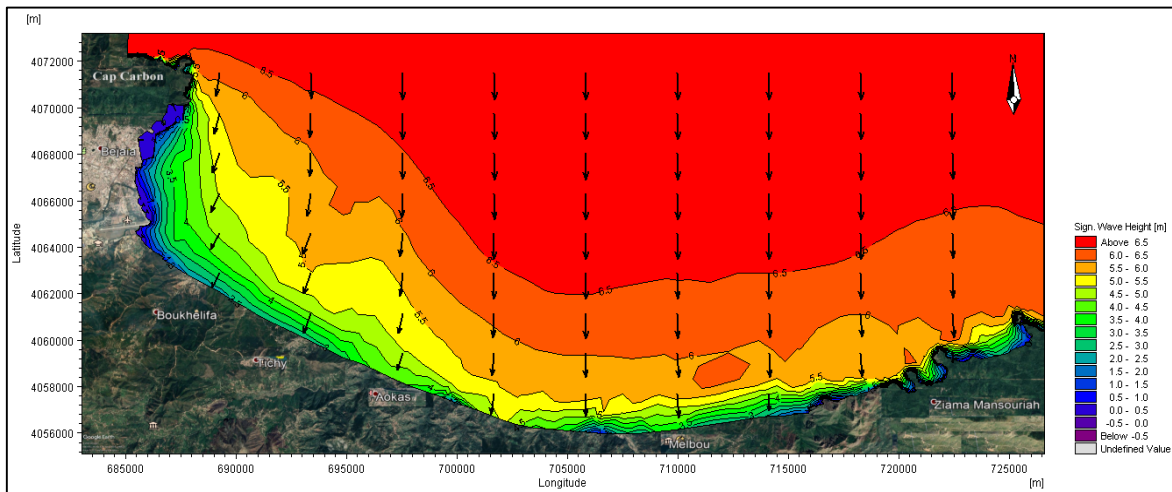


Figure V.43 : Le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 5$ ans)

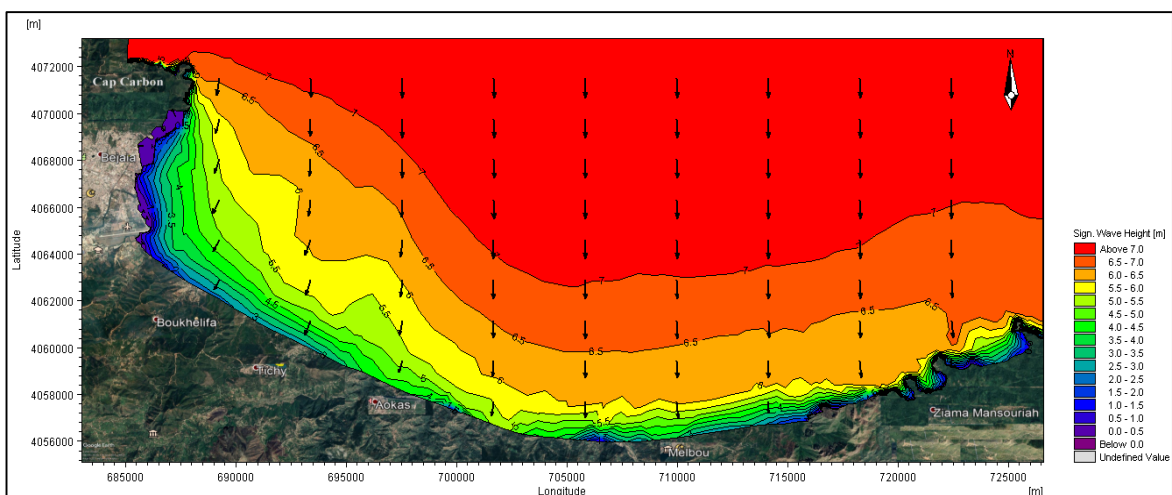


Figure V.44 : Le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 10$ ans)

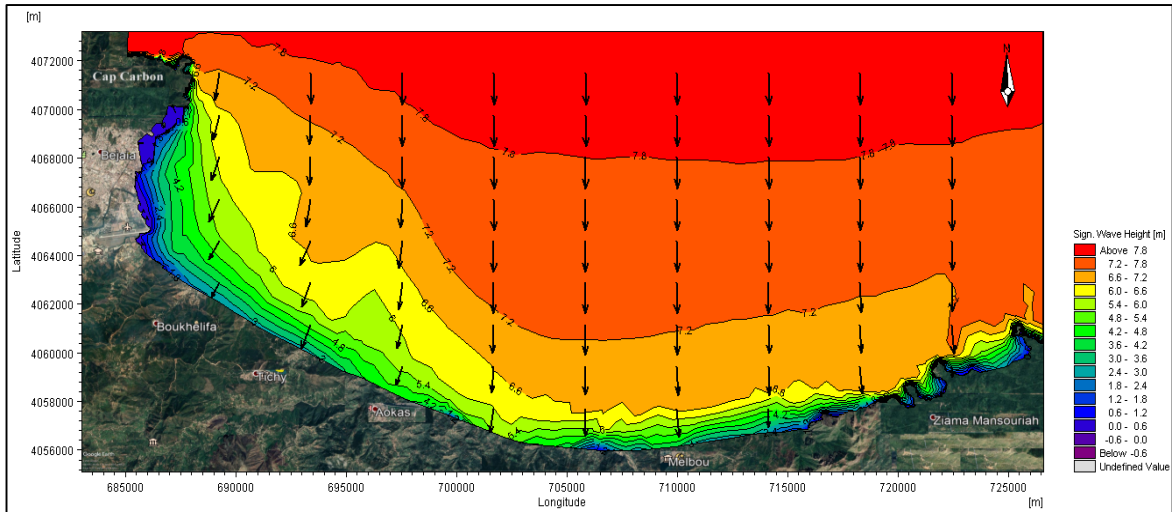


Figure V.45 : le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 20$ ans)

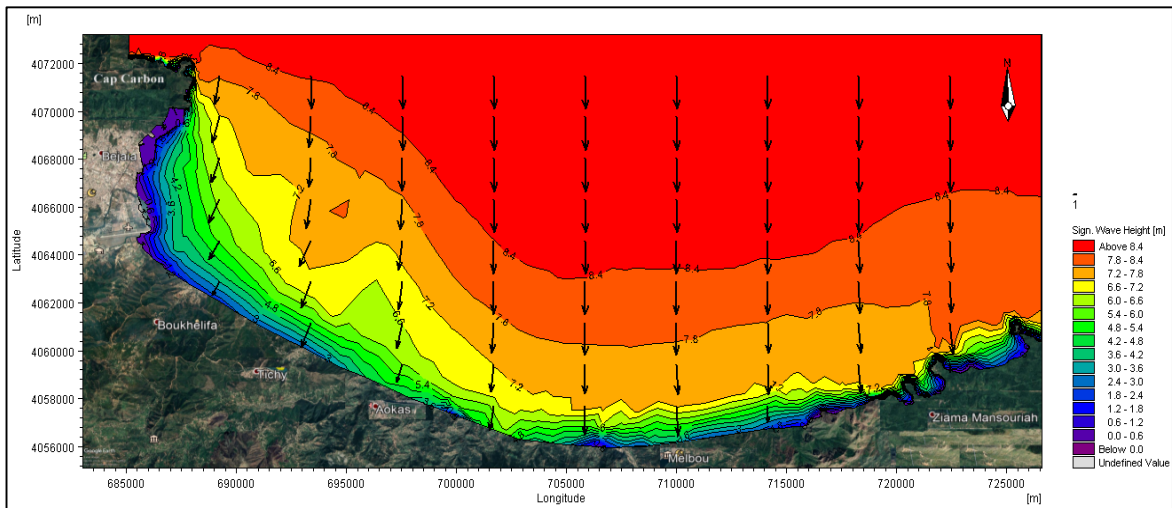


Figure V.46 : Le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 50$ ans)

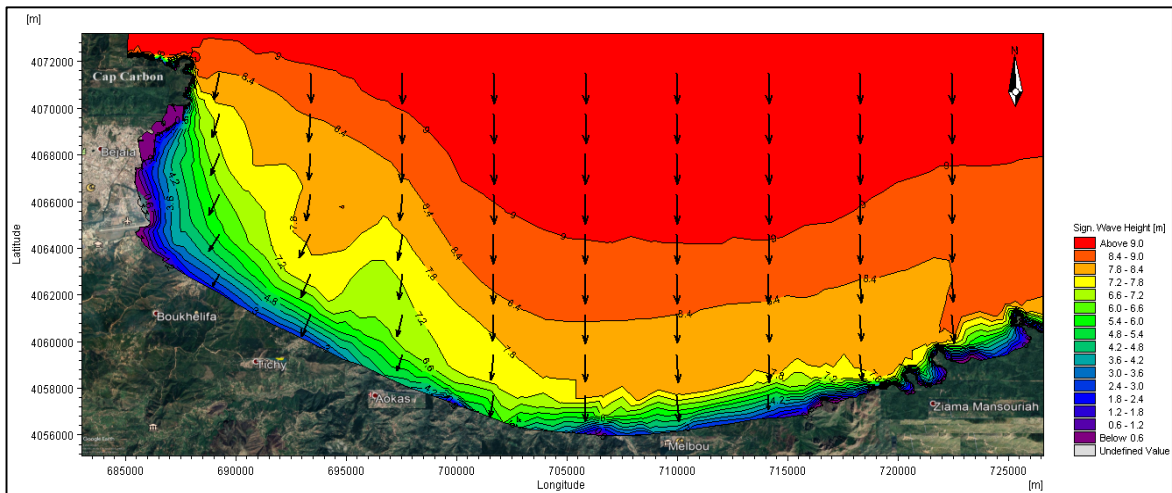


Figure V.47 : Le champ des vagues dans la direction Nord ($R = 100$ ans)

Commentaire

Les Figures (de 41 à 47) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction des houles extrêmes des périodes de retour qui varient entre 1 et 100 ans dans la direction Nord (360°). Ces houles extrêmes connaît des hauteurs significatives varient globalement entre 5.6 m et 9 m. On remarque La propagation de ces houles atteint notre zone sans modifier de direction à l'Est et au centre et garde son énergie au large et en arrivant à la côte les orthogonales sont un peu réfractées par contre dans la zone Ouest on observe un changement de direction qui peut être due à la morphologie de la côte, les houles se propagent toujours avec une énergie qui diminue graduellement avec la diminution de la profondeur qui peut être due au frottement avec le fond marin.

4.3. Faire une étude sur les scénarios d'inondations

En utilisant les résultats des simulations obtenue précédemment, L'équation de HOOZMANS et al ; 1993, on a permis de calculé les niveaux d'inondation extrêmes :

$$\mathbf{Dft = MHW + St + Wf + Pf}$$

Où

MHW : le niveau moyen des hautes eaux ;

St : L'élévation relative du niveau de la mer ;

Wf : La hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

Pf : L'élévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.21 : Niveaux d'inondations extrêmes

Période de retour (R, ans)	MHW (m)	St (m)	Wf (m)	Pf (m)	Dft (m)
1	0.34	0.0025	1.5	0.63	2.4725
2	0.34	0.0025	2	0.63	2.9725
5	0.34	0.0025	3	0.63	3.9725
10	0.34	0.0025	3.5	0.63	4.4725
20	0.34	0.0025	4	0.63	4.9725
50	0.34	0.0025	4.5	0.63	5.4725
100	0.34	0.0025	5	0.63	5.9725

En se basant sur le modèle numérique du terrain (MNT) de notre zone d'étude nous avons pu prévoir les zones probables être touchés dans le cas où ces scénarios devient réels.

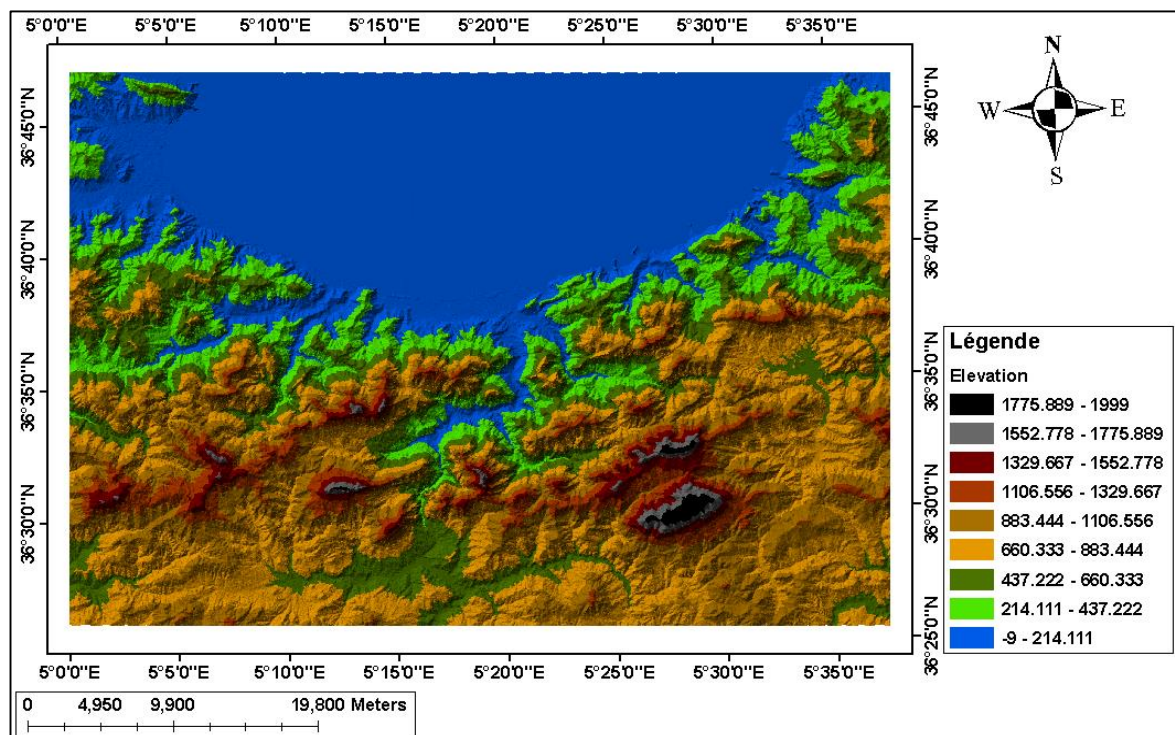
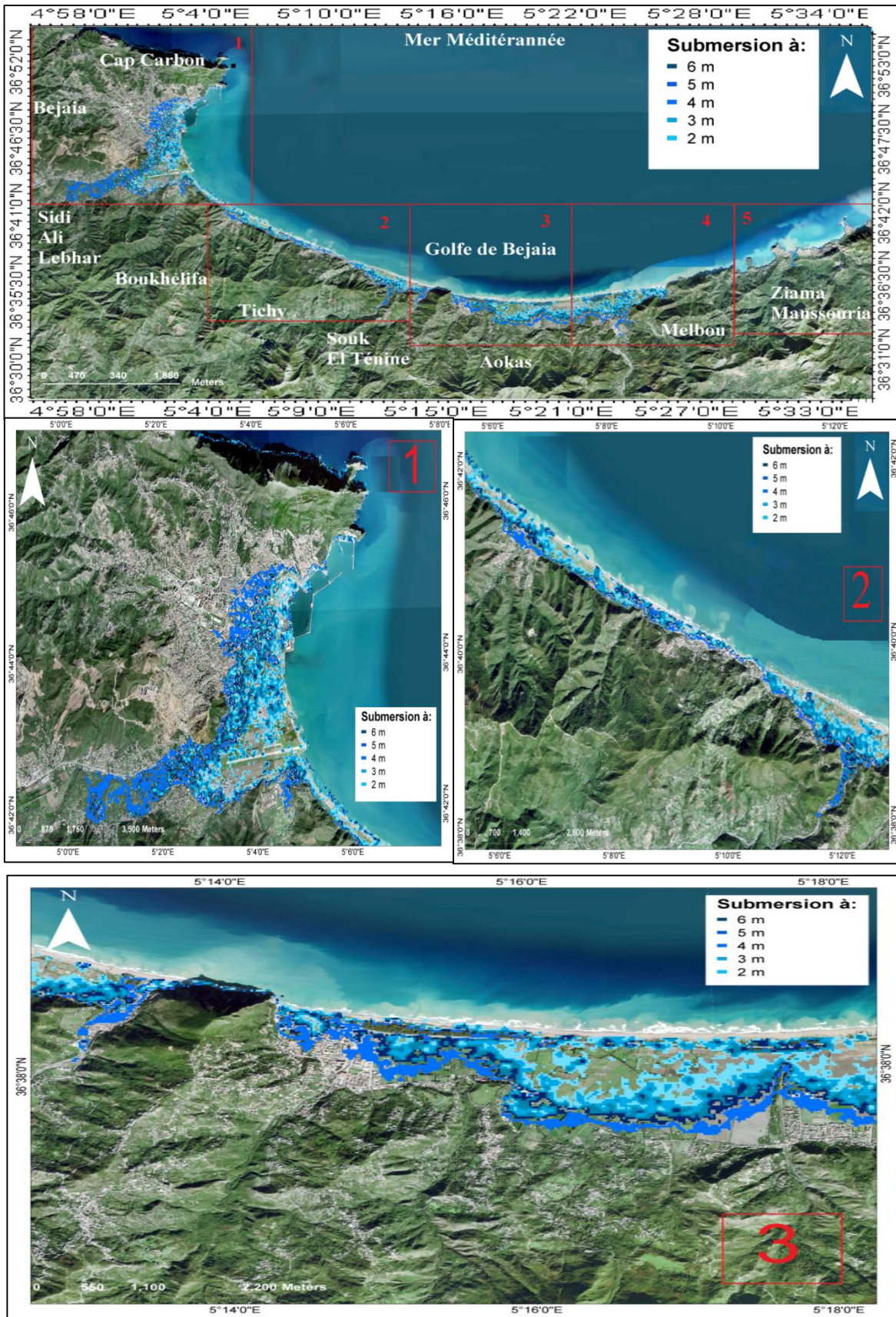


Figure V.48 : Le modèle numérique du terrain (MNT) du golfe de Bejaia.

La démarche adoptée consiste à mentionner les niveaux d'inondations extrêmes sur le MNT en utilisant l'option « conditional » qui se trouve dans la boîte à outils ArcToolbox dans le logiciel ArcGis 10.2 et qui nous a permis d'écrire des expressions selon les scénarios voulus pour pouvoir à la fin calculer les surfaces probables être touchées par les inondations par la digitalisation de ces surfaces.

Chapitre V Etude sur les submersions marines et les risques d'inondations



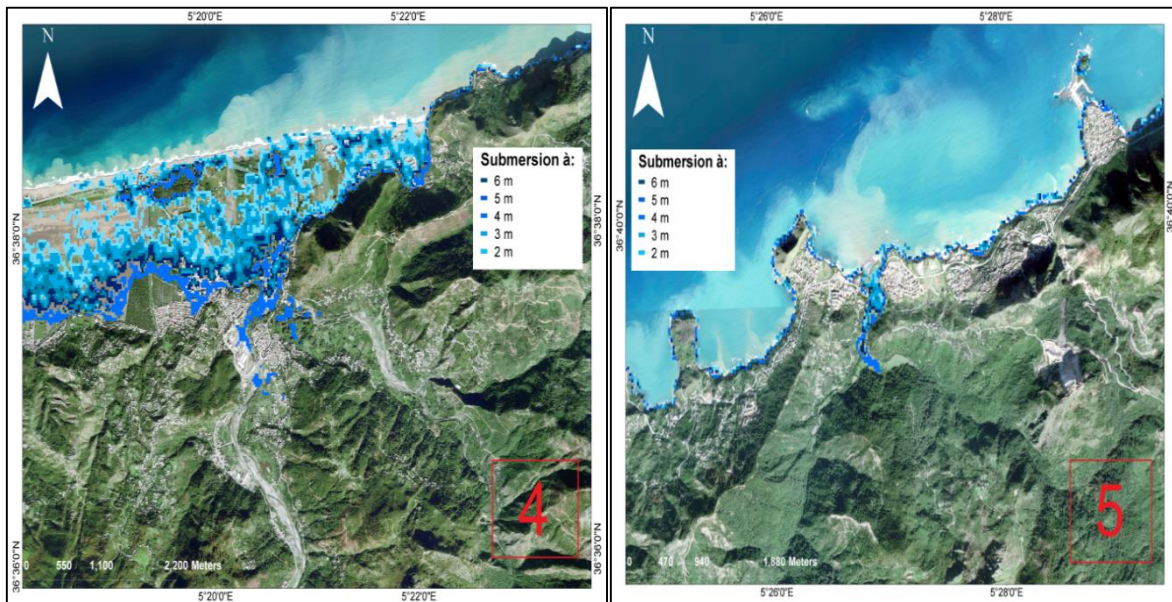


Figure V.49 : Cartes de submersions marines.

Commentaire

Pour une élévation de 2m, on remarque que la surface immergée par les eaux de la mer est plus importante dans le secteur Ouest et Est par rapport au secteur centre, la ville de Bejaia, le port de Bejaia et la région de Sidi Ali Lebhar sont les plus influencées par ces inondations, en 2^{ème} position viennent les régions de Souk El Ténine, Aokas et Melbou. Dans l'extrémité Ouest la submersion marine occupe une surface de 743 hectares et une distance peut attendre jusqu'à 150 m vers la côte, 387 hectares au centre et 78 m vers la côte, à l'Est, 534 hectares et 108 m vers la côte. Cela peut être expliqué par la faible topographie de la zone et la présence des Oueds le long du littoral de la région.

Pour le cas d'une élévation de 3m de niveau marin, On constate que l'eau de mer pénètre vers l'arrière-pays par des distances toujours près de la côte d'environ de 200 m, avec une surface immergée qui s'étale jusqu'à 750, 400 et 550 Hectares dans les différents secteurs Ouest, centre et Est. Pour qui est de l'extrémité Ouest de notre zone d'étude on remarque que l'embouchure d'Oued Soummam est totalement immergée par les eaux marines est son chenal s'est élargi.

Pour une élévation de 4m, on remarque que la surface occupée par les eaux de la mer est plus importante en termes de superficie et de distance par rapport au trait de côte, on la comparant avec la submersion de 2 m et 3 m.

Chapitre V Etude sur les submersions marines et les risques d'inondations

L'intrusion des eaux marine vers la terre est accentuée par les réseaux hydrographiques notamment Oued Soummam, au niveau de ce dernier les eaux de la mer entrent à peu près à 4 km vers la terre. Les eaux marines occupent une superficie d'à peu près 1000, 500 et 800 hectares dans les secteurs Ouest, centre et Est qui est dû non seulement à la morphologie continentale mais aussi au climat des houles au large et les réseaux hydrographiques.

Un fort envahissement des eaux marines sur les terres en cas d'une submersion à 5 m, des terres immergés dépassent 2000 hectares de superficies et des distances vers la côte qui dépasse 1 km de long, au environ d'Oued Soummam les eaux pénètrent à une dizaine de kilomètres vers la terre.

Un cas extrême de la submersion marine dans notre zone d'étude. On remarque que dans le cas d'une submersion à 6 m presque la moitié de la zone de Bejaia est presque recouverte par les eaux marines et la superficie des terres immergées est d'environ 2/3 de la superficie de la zone prospectée dans la partie Ouest.

Conclusion

Pour ce qui est des submersions marines et des risques d'inondation que connaît notre zone d'étude, en l'occurrence le golfe de Bejaia et au vu de ce qui a été passé en revue précédemment, on peut déduire que les résultats de l'étude des conditions météo marines relatives au littoral de la wilaya de Bejaia ont montré qu'il est de type micro tidal. Par conséquent, l'absence de la zone intertidale accroît fortement la sensibilité côtière du littoral de Bejaia. D'une manière générale, la partie NE du littoral de Bejaia est exposée aux vagues et vents des secteurs NE, N et W, tandis que la partie E, de Boukhlifa à Melbou, est, quant à elle, principalement exposée aux vagues et vents des secteurs NW, N et NE.

Les zones les plus touchées par les risques d'inondation sont le port de Bejaia, Sidi Ali Lebhar et la ville de Bejaia et à des degrés moindre les régions de Aokas et Melbou.

Les phénomènes marins rares doivent être intégrés dans les stratégies de développement durable des zones côtières.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Il va de soi que notre travail serait vain s'il ne trouverait pas écho et répondant auprès non seulement des responsables en charge du littoral par la mise en place de moyens de protection et/ou de politiques adéquates à même de faire face aux aléas du climat, mais aussi auprès des populations qui, délibérément ou pas, causent d'importants dégâts tout au long du littoral. Cette étude, dont l'objectif était d'évaluer les impacts potentiels des conditions climatiques et les actions anthropiques sur le littoral du golfe de Bejaia, a révélé une forte vulnérabilité environnementale et socioéconomique de cette frange côtière face à ces impacts.

La carte bathymétrique de notre zone d'étude, issue d'un certain nombre de cartes extraites, nous a renseignés sur la configuration des isobathes et leur disposition tout au long de la côte. Nous avons aussi procédé à l'étude hydrodynamique de notre zone d'étude afin de connaître le comportement des houles, des courants côtiers et voir de quelle manière les vents, les températures et les précipitations, etc... , agissent sur le fond marin.

Toujours dans cette étude, nous avons réussi à extraire les cartes montrant le champ des vagues dans plusieurs directions ainsi que celui des courants, ce qui nous a permis de discerner les houles et les courants de moindre intensité à ceux qui ont tendance à menacer dangereusement le littoral, pour preuve la partie Sud-Ouest du golfe de Bejaia qui est très touchée par l'érosion et les inondations qui vont même jusqu'à détruire des infrastructures aux abords de la côte.

L'analyse diachronique de la cinématique du trait de côte, a montré que ce littoral a été fortement sollicité depuis plusieurs décennies, par les activités de développement, notamment urbain et touristique; Celles-ci ont interféré avec la dynamique hydro sédimentaire du système côtier et causé une forte érosion des plages surtout dans la partie Ouest avec un taux de recul moyen de l'ordre de -0.3 m/an allant de 1984 à 2021.

L'état environnemental actuel, fortement dégradé de ce littoral, présage de grandes difficultés à s'adapter en cas d'élévation du niveau de la mer, si aucune mesure n'est entreprise pour le protéger de ce phénomène qui risque pourtant d'arriver.

L'analyse des impacts physiques et socioéconomiques, montre que pratiquement tout le littoral est exposé à une forte vulnérabilité aux phénomènes d'inondation, en raison de la faible topographie de la zone.

Conclusion Générale

Les risques d'érosion côtière engendrés par l'élévation accélérée du niveau marin, pourraient causer des dégâts pour les plages déjà en recul. Ces impacts affecteront les éléments fondamentaux de la vie des populations côtière. Afin d'éviter ou tout au moins réduire les impacts cités, il serait opportun de mettre en place une politique qui viserait à protéger, valoriser et développer la zone côtière dans le cadre de Développement durable et aussi en mettant en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation anticipatives, écologiquement acceptables et financièrement réalisables.

*Références
bibliographiques*

1. **AHFIR, Y ; MEZIANE, I. (2016).** Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses. (Oran, Bou-Smail, Alger, Bejaia et Skikda). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. ENSSMAL.
2. **AYADI, K. (2016).** Les variations historiques de la ligne de rivage, érosion côtière dans la ville de Bejaia : Modélisation des transports sédimentaires en mer et impacts des ouvrages de protection sur la côte. Thèse de doctorat 3eme cycle (LMD). Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), FSTGAT, Alger, P317.
3. **BAHLOUL, E ; BELHOUT, R. (2019).** Analyse multi scalaire et multifactorielle et l'évolution du comportement géomorphologique du littoral algérien entre 1972 et 2019.
4. **BAVOUX, J. (1998).** Les littoraux Français.
5. **BELAIDI, S ; HAMDOS, Y. (2016).** Etude hydro sédimentaire du rivage de Khemisti : Application de la modélisation numérique en domaine bidimensionnel par un progiciel de calcul MIKE 21. Mémoire Ingénieur. Aménagement du littoral. ENSSMAL.
6. **BENLATRECHE, T. (2006).** Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Mémoire de Magister. Architecteur. Constantine : Université Mentouri.
7. **BENYETTOU, M ; BOUKLIKHA, A. (2017).** Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie. Tlemcen : Université Abou Beker Belkaid.
8. **BONNEFILLE, R. (1992).** Cours d'hydraulique maritime. France : Masson, p208.
9. **BOUGIS, J. (2003).** Les Etats de Mer Naturels'. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var.
10. **BOUTIBA, M ; GUENDOZ, M ; GUETTOUCHE, M. (2006).** Evolution du littoral Jijelien (Est-Algérie) à travers l'analyse sédimentologique des dépôts quaternaires. Bulletin du service géologique national, vol. P17, 113-127.

11. **BOUTIBA, Z. (1996).** La pollution : menace sur le peuplement marin en Méditerranée. Oran : 3^{ème} colloque national climat – environnement « L’environnement côtier » (ARCE), p.230-242.
12. **CIRIA, CUR. CETMEF. (2009).** Guide Enrochement. L’utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock Manual. CETMEF, Compiègne.
13. **CORDIER, E. (2007).** Dynamique hydro-sédimentaire du récif frangeant de l’ermitage/la saline (la Réunion): processus physique et plu sédimentaire. Thèse de doctorat. Université de la Réunion, la Réunion, P193.
14. **DEMOUCHE, R. (2017).** Processus mis en jeu dans l’évolution morpho-dynamique de la baie de Zemmouri (modélisation et observations hydrodynamiques et sédimentaires). Mémoire d’ingénieur. Aménagement du littoral. ENSSMAL, P32.
15. **DHI, A. (2014).** MIKE21/3 coupled model FM. Disponible sur www.mediafire.com/bio/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf.
16. **DJOUDER, F; BOUTIBA, M. (2017).** Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the gulf coast of Bejaia, Algeria. *Arabian journal of geosciences*, vol.10, n°14, Springer, P299.
17. **DJOUDER, F. (2018).** Evaluation des changements climatiques et de l’élévation du niveau de la mer méditerranée sur le littoral du golfe de Bejaia. Thèse de doctorat. Géomorphologie. FSTGAT Page 46-50.
18. **DUVAT, V. (2008).** Le système du risque dans l’île de Saint-Martin (Petites Antilles), Développement durable et territoire, Dossier 11 « Catastrophes et territoires », disponible sur <http://developpementdurable.revues.org/sommaire6753.html>.
19. **DUVAT, V. (2012).** Aménagement littoral et gestion des risques littoraux dans les Outres-Mer français.
20. **DUVAT, V; MAGNAN, A. (2012).** Ces îles qui pourraient disparaître, le pommier, P238.

21. **FAO**, Pour une agriculture intelligente face au climat. Politiques, pratiques et financements en matière de sécurité alimentaire, d'atténuation et d'adaptation, Rome, 2010.
22. **GIEC, (2007)**. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], 104 p. Rapport d'activité. Document non-publié. IPCC, Geneva, Switzerland.
23. **GLAÇON, J. (1967)**. Recherche sur la géologie et les gîtes métalliques du Tell Sétifien (Algérie). Publ. Serv. Carte. Géol. Algérie, nouv. serv, Bull.n°32, 750p.
24. **GLANGEAUD, L. (1954)**. Histoire géologique de la province d'Alger. Publ. 15^{ème} congrès Géol. Inter., Algérie.
25. **HALLAL, N; DUBOIS, L; BOUGDAL, R; DJOUDER, F. (2017)**. Instabilités gravitaires dans la région de Bejaia (Algérie) : Inventaire et appréciation de l'importance relative des différents paramètres conduisant au déclenchement, au maintien ou à l'activation des instabilités.
26. **HATTABI, M ; KADDOUR, H ; (2018)**. Impacts de l'élévation de niveau de la mer et des tempêtes sur l'évolution morpho dynamique de la région Est de la baie d'Alger : simulation numérique des processus hydro-sédimentaires. Mémoire Ingénieur. Aménagement du littoral.ENSSMAL.
27. **KACIMI, M. (2004)**. Protection et valorisation du littoral en Algérie : Législation et instruments : Le cas des communes littorales d'Oran, P12.
28. **KADI, A. (1997)**. La gestion de l'eau en Algérie. Hydrological Sciences (Journal des sciences hydrologiques), vol.42, n°2, p. 191-197.
29. **KADIR, L. (2021)**. Le changement climatique et ses conséquences s'accélèrent. Article scientifique, P1.
30. **KERAGUEL, M. (2021)**. Application sur l'étude de l'évolution des traits de côte. p 11, 20,22 et 39.

31. **LABORATOIRE DE TECHNOLOGIE DES MATERIAUX ET DE GENIE DES PROCEDES, (2009).** Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Sécheresse, 20(4), p. 362.
32. **LAMBERT, A. (1948).** Le Muschelkalk à faciès de calcaire vermiculés du secteur Sud-Orientale de la kabylie des babor (Algérie).C.R.Somm.S.G.F, p221.
33. **LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléare. Mémoire du muséum national d'histoire naturelle P391.
34. **Le COZANNET, G ; CAZENAVE, A ; GARCIN, M. (2011).** L'élévation récente du niveau marin et l'érosion côtière : le cas des îles océaniques du Pacifique, Geosciences, 14, p. 92- 99.
35. **Le HIR P ; ET ALL. (2001).** courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau ; IFREMER ; programme scientifique Seine-Aval.
36. **MAGNAN, A; DUVAT, V ; GARNIER, E. (2012).** Reconstituer des trajectoires de vulnérabilité pour penser différemment l'adaptation au changement climatique P82-91.
37. **MAILLOT, C (1987).** Circulation in the Western Mediterranean Sea. Oceanologica Acta, 10 (2), pp 143- 149.
38. **MARTINEZ, ML. (2007).** The coasts of our word: Ecological, economic and social importance. P01.
39. **MEZHOUD, A; BACHARI, F. (2017)** Evaluation des risques de submersions marines sur le littoral de Bejaia, Algérie. 166p.
40. **MEZOUAR, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algériens et Roumains. Thèse de doctorat Géotechniques et fondations. Roumanie : Université technique de construction de Bucarest.
41. **MILLOT, C (1985).** Some features of the Algerian Current. J. Geophys. Res., 90 (C4): 7169-7176.

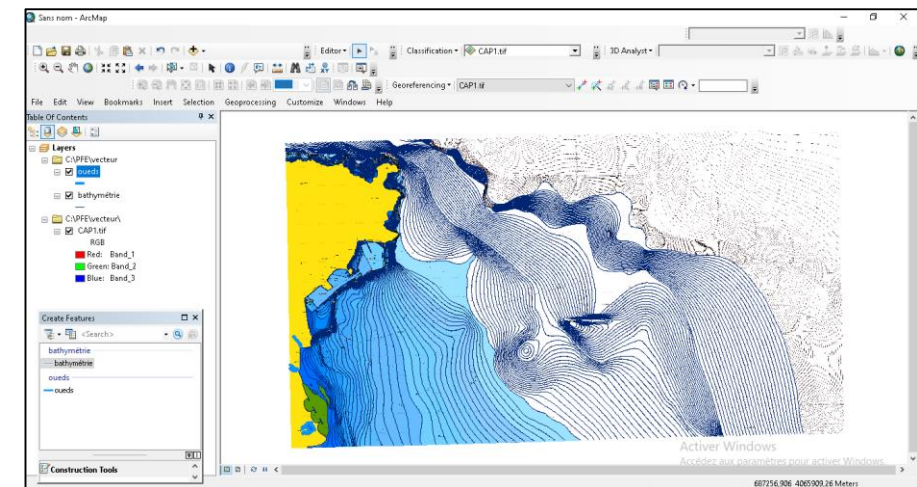
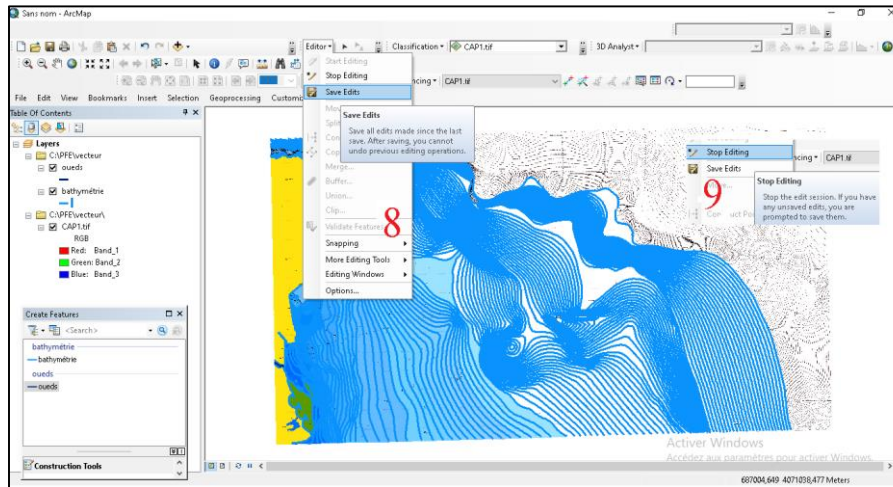
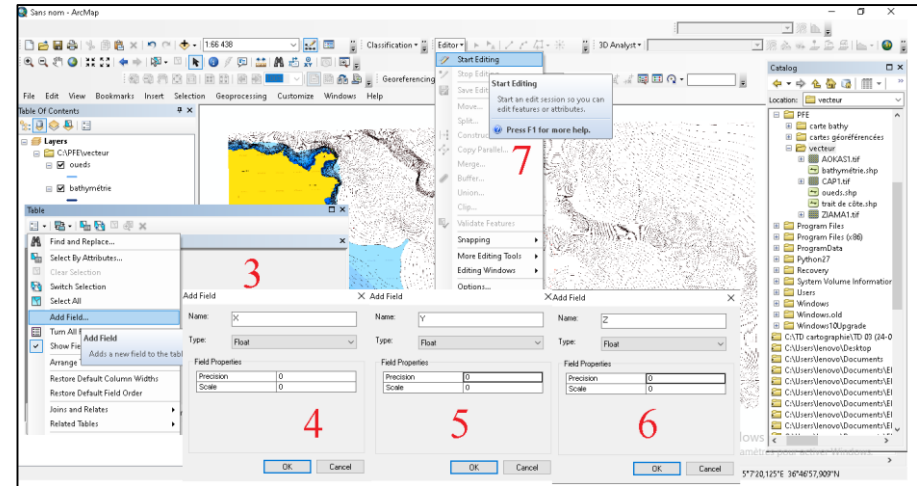
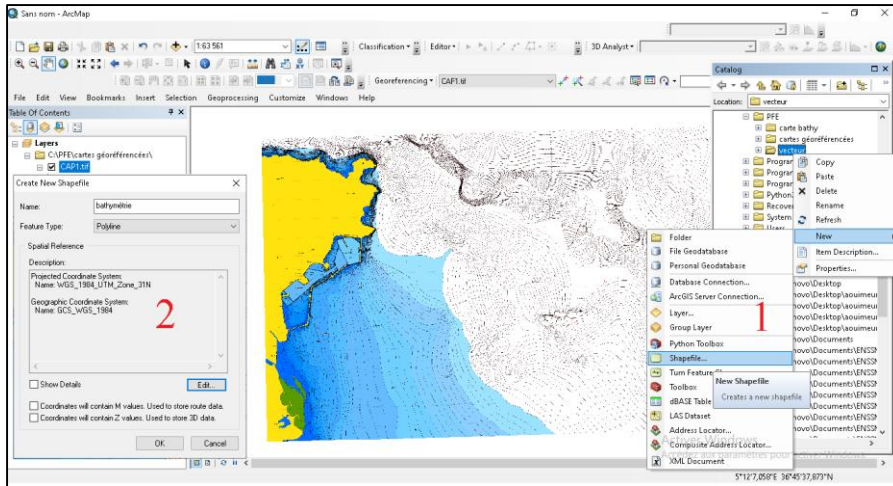
42. **MORNER, N. (2004).** Estimating future sea level changes from past records [en ligne]. Global and planetary changes, vol.40, n°1-2. London: Elsevier, P 49-54.
43. **MOUSSACEB, K. (2009).** Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'Oued Soummam (Algérie). Article scientifique. Université de Bejaia, P362.
44. **OBERT, D. (1981).** Etude géologique des Babors orientaux (Domaine Tellien, Algérie). Thèse Doctorat d'Etat Sc. Nat. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 635P.
45. **ONM (2002).** Un résumé de la situation météorologique exceptionnelle ayant affecté le centre et l'ouest du nord Algérie, et en particulier la zone urbaine d'Alger, les 9 et 10 novembre 2001. Office National de Météorologie, Alger, note technique, n° 001, 6 p.
46. **OTMANI, H. (2014).** Impacts des infrastructures maritimes sur le littoral : cas de Cap Djinet. Thèse de Magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 151 p.
47. **PASKOFF, R. (1993).** Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution.
48. **PIERRE, P. (2018).** Les paléoévénements extrêmes : Outils et méthodes.
49. **PIMENTEL, DC. (1995).** Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits.
50. **PIRAZZOLI, P. (1989).** Recent sea level change in the north Atlantic. Late quaternary sea-level correlation and applications [on line], Springer, P135-167.
51. **REFES, W. (2011).** Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. Thèse de doctorat. Sciences de la mer. Annaba : Université BADJI MOKHTAR.
52. **SELTZER, P. (1946).** Le climat de l'Algérie. Edition la Typo-litho et J.C.(Alger), p219.

53. **SOLOMON, S; PLATTNER, G; KNUTTI, R; FRIEDLINGSTEIN, P. (2009).** Irreversible climate change due to carbon dioxide emission, proceedings of the national academy of sciences (USA), P1704-1709.
54. **TAUPIER-LETAGE, I. (1988).** Biodynamique du bassin algérien. Estimation de la réponse biologique à certaines structures hydrodynamiques à moyenne échelle par Télédétection (AVARR et CZCS) et mesures in situ. Thèse Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II. 119P.
55. **TEMITOPE, D; TIMOTHY, O. (2014).** Shoreline geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis. Article scientifique. P1-2.
56. **VIZITERV, G. (1987).** Etude d'approvisionnement en eau potable et industrielle des agglomérations du couloir Akbou-Béjaïa à partir du barrage de Tichi-Haff. Rapport de synthèse.
57. **WILLIAMS, S. (1990).** Coasts in crisis. Germany: Geological survey circular P32.
58. **WOODWORTH, PL. (1999).** A review of the trends observed in British Isles mean sea level date measured by tide gauges [on line], Geophysical journal international, vol 136, n°3.

Sites W eb

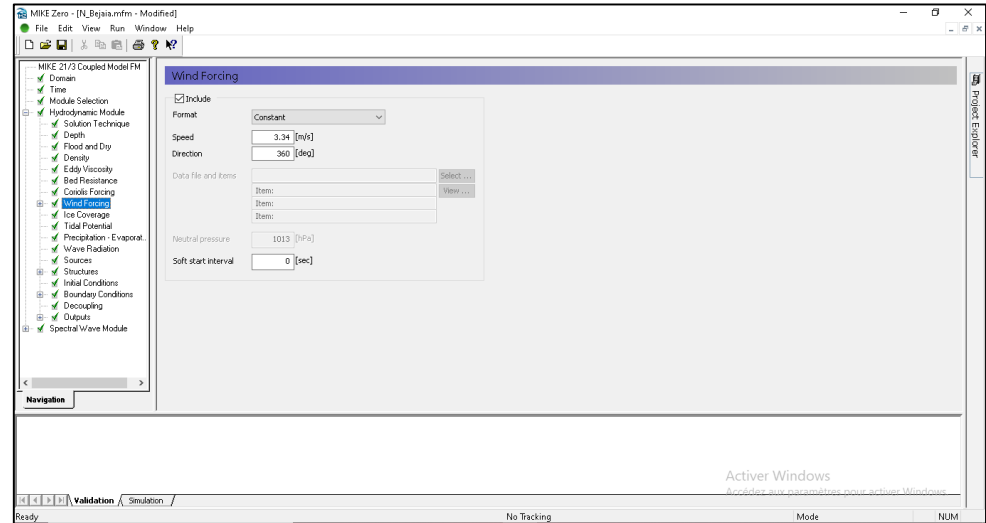
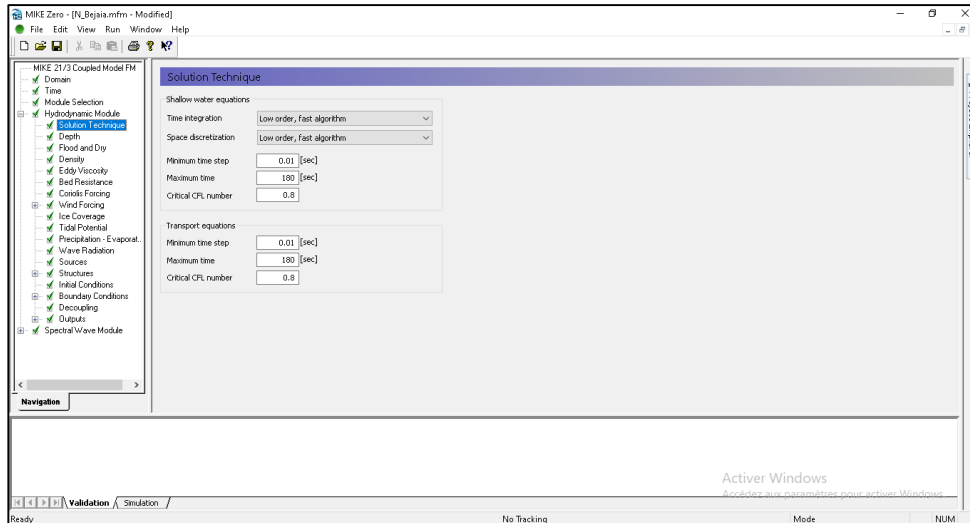
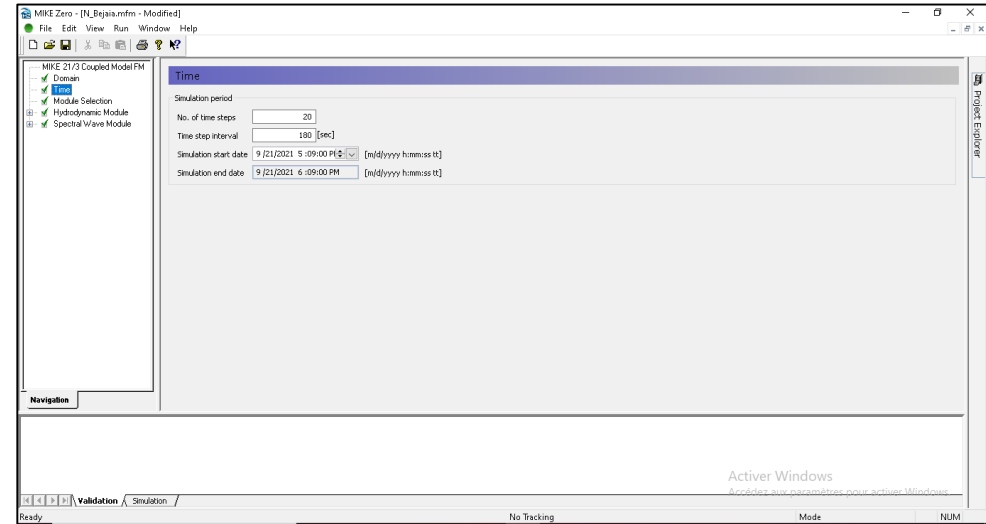
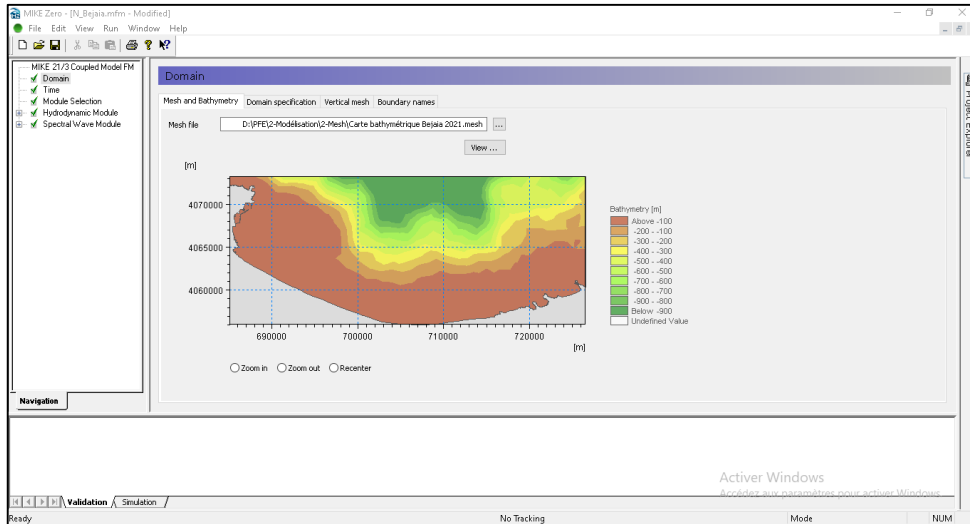
- <https://www.Earthexplorer.usgs.gov>.
- <https://fr-fr.topographic-map.com/maps/26kg/B%C3%A9ja%C3%Afa/>
- www.infoclimat.fr.
- <https://www.memoireonline.com/07/15/9213/Amenagement-et-protection-du-rivage-de-Jijel.html>.
- <https://pubs.usgs.gov/of/2012/1007/>
- [https://rp5.ru/Archives_météo_à_Bejaia_\(aéroport\),_METAR](https://rp5.ru/Archives_météo_à_Bejaia_(aéroport),_METAR)

Les Annexes

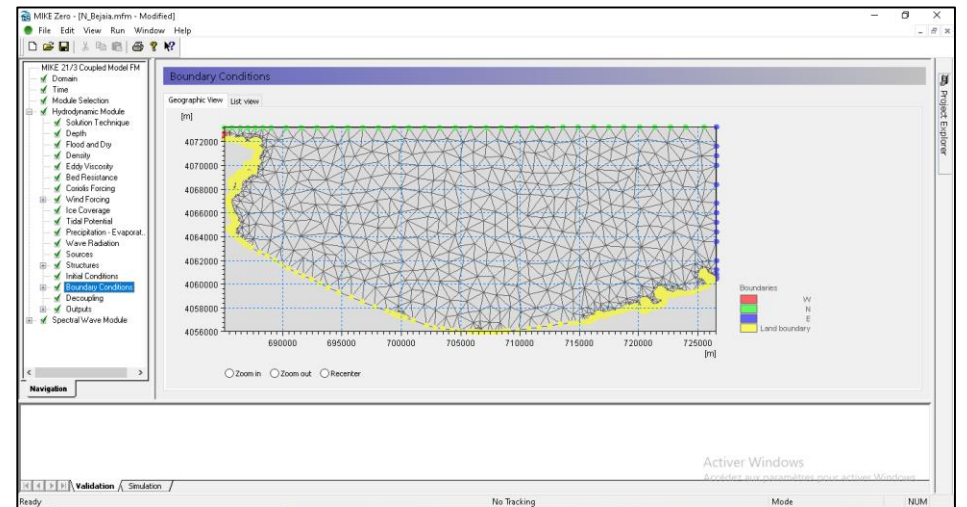
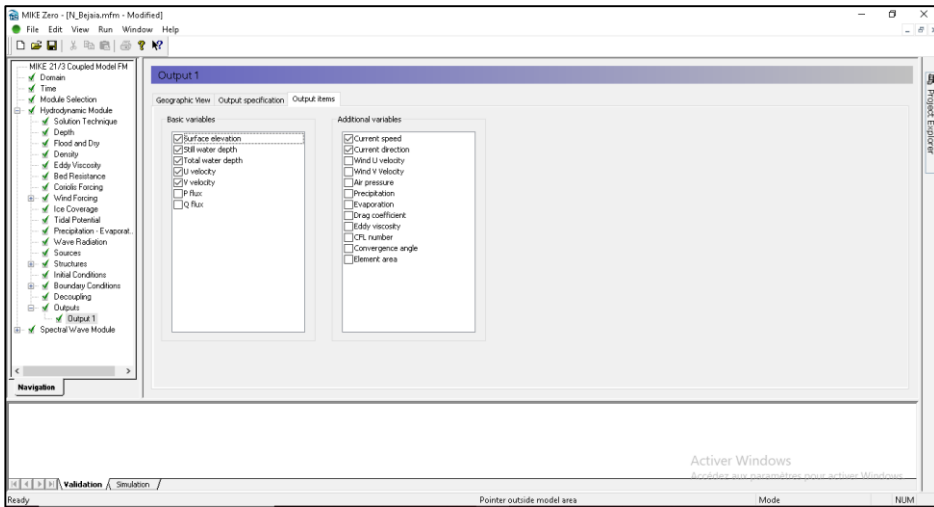
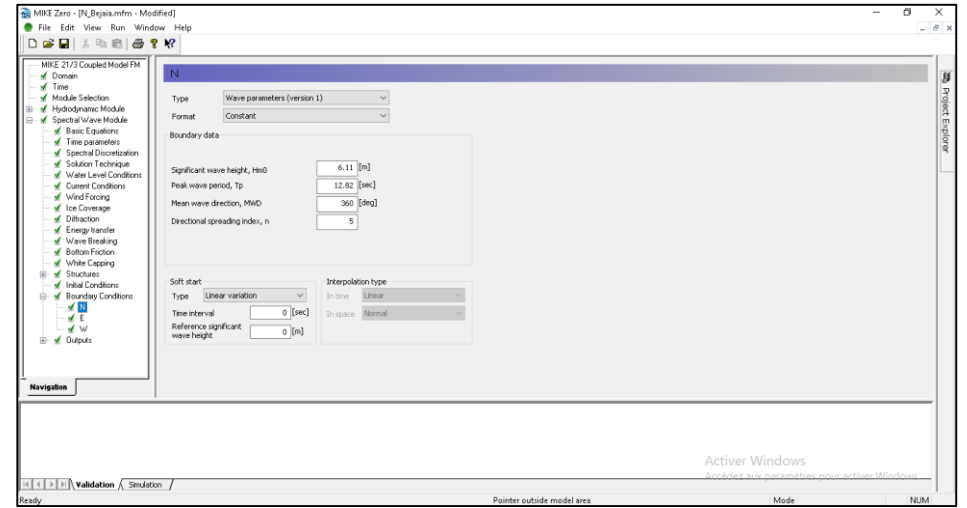
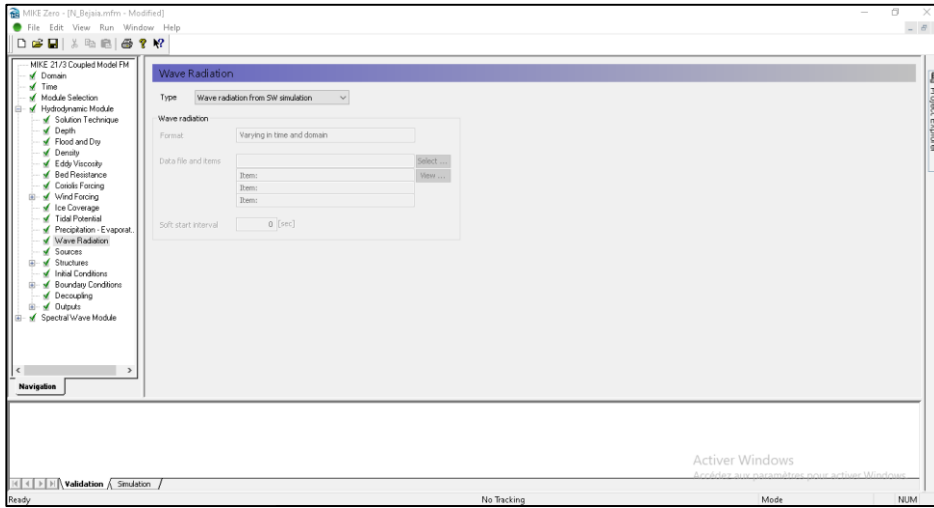


Annexe 1 : Etapes de digitalisation des cartes géo référencées de notre zone d'étude.

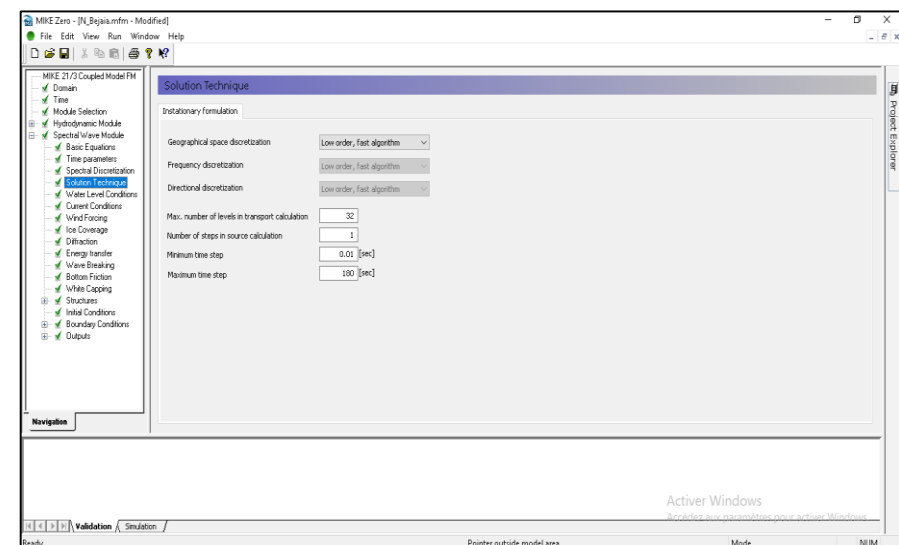
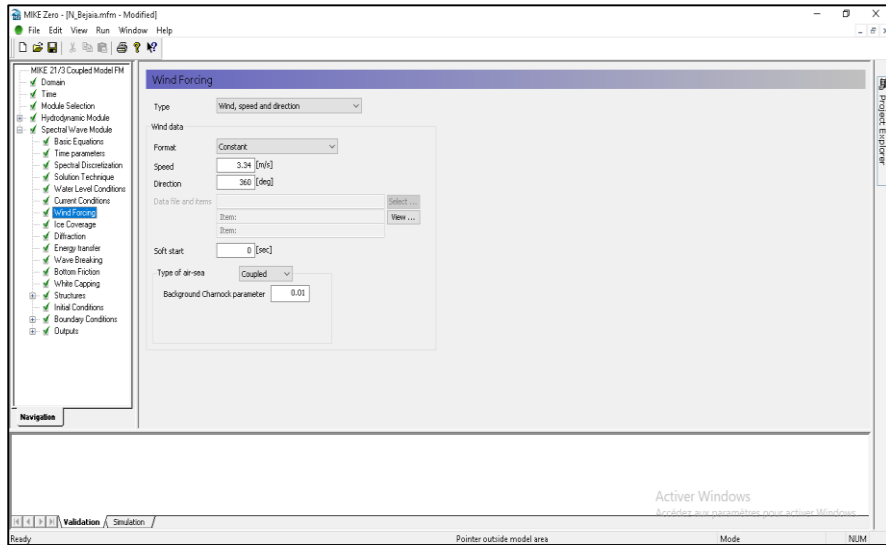
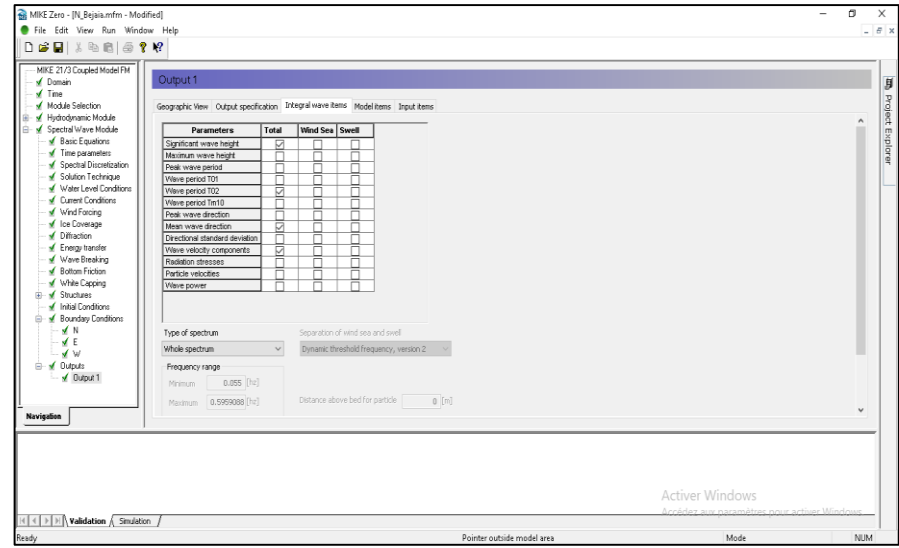
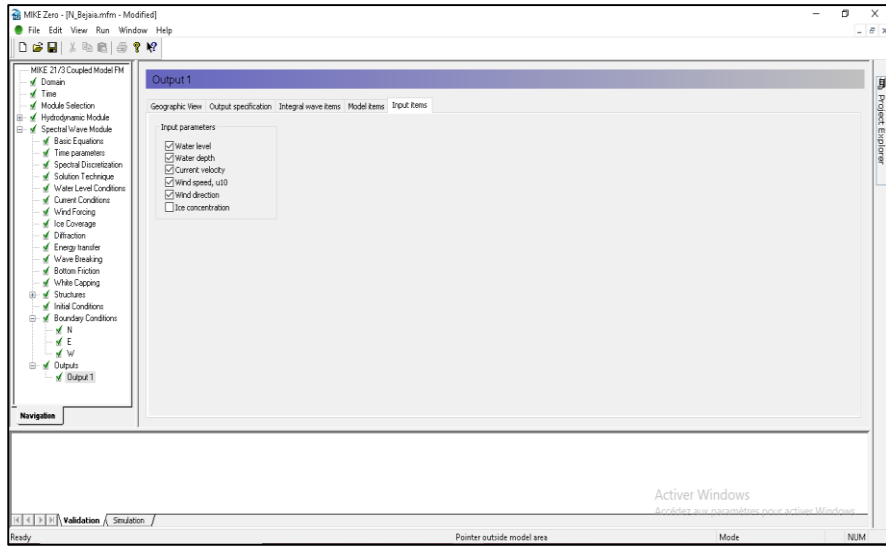
Les Annexes

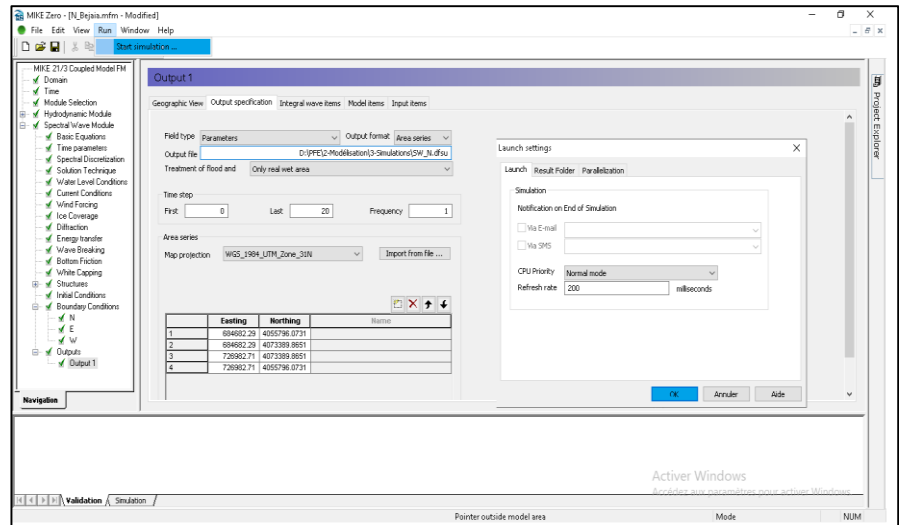
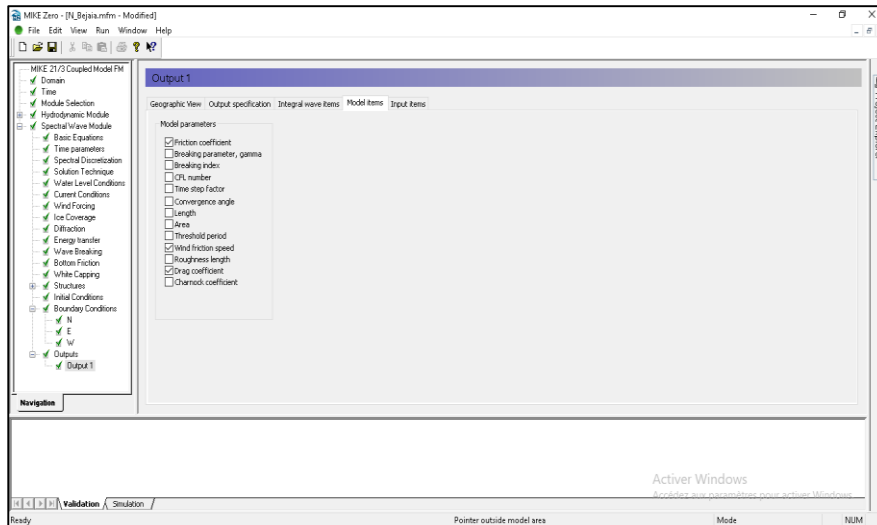
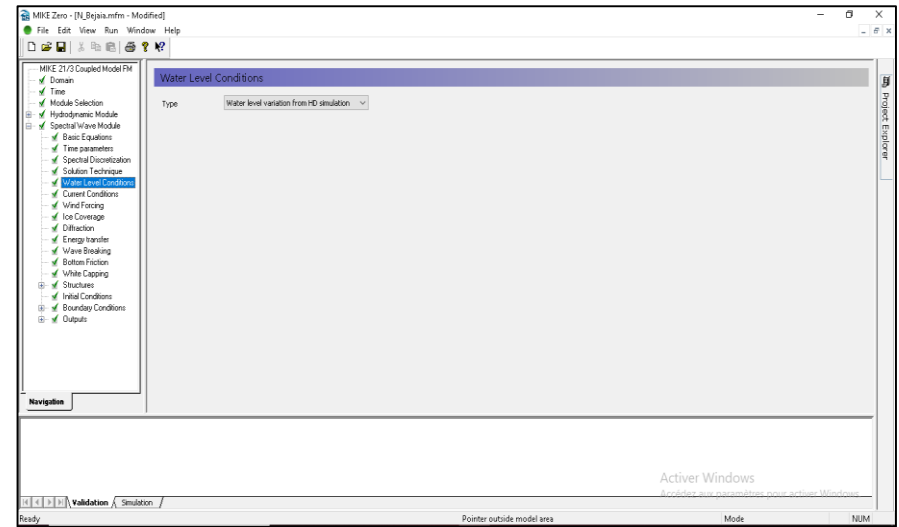
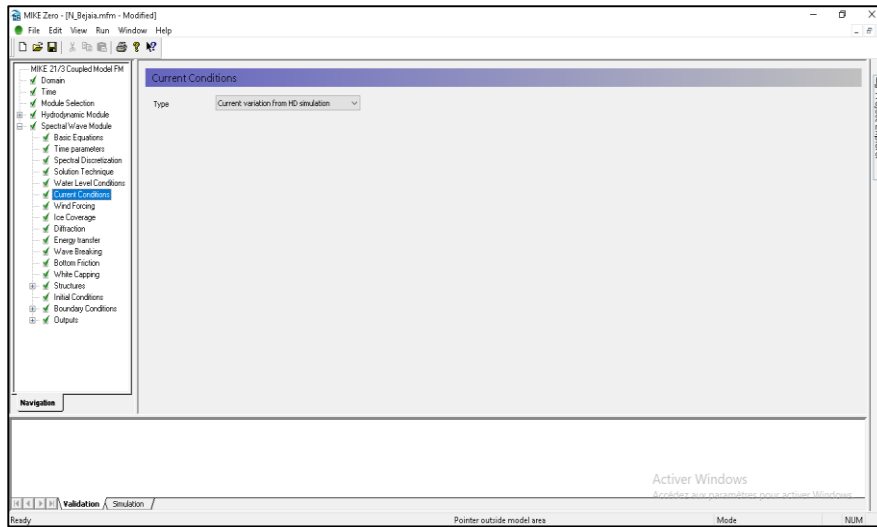


Les Annexes



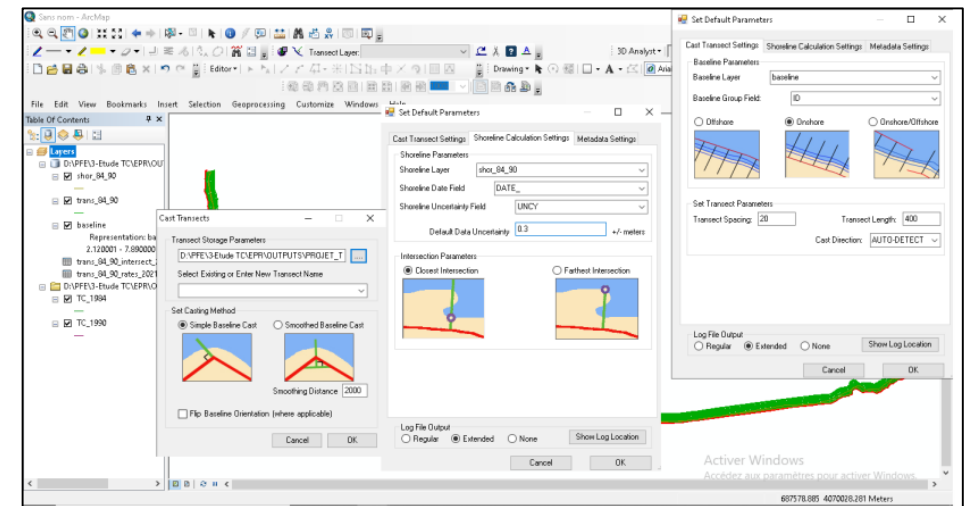
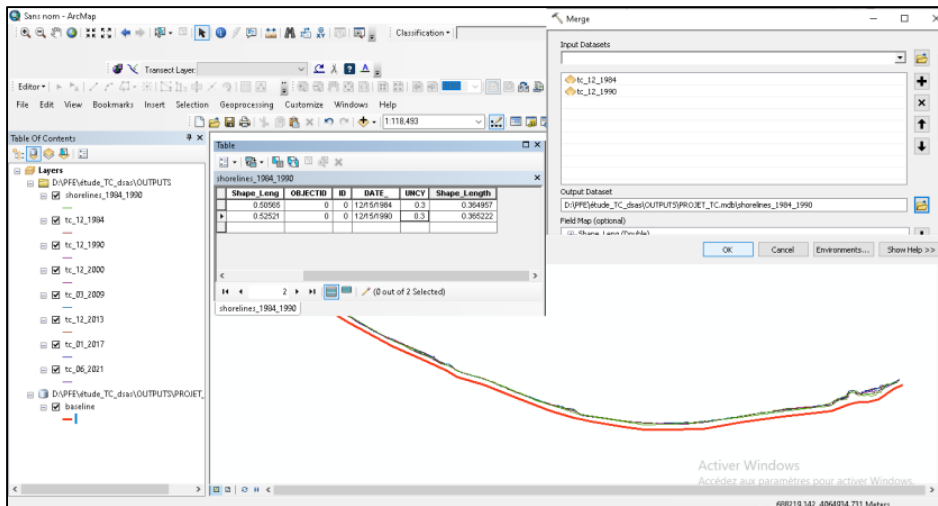
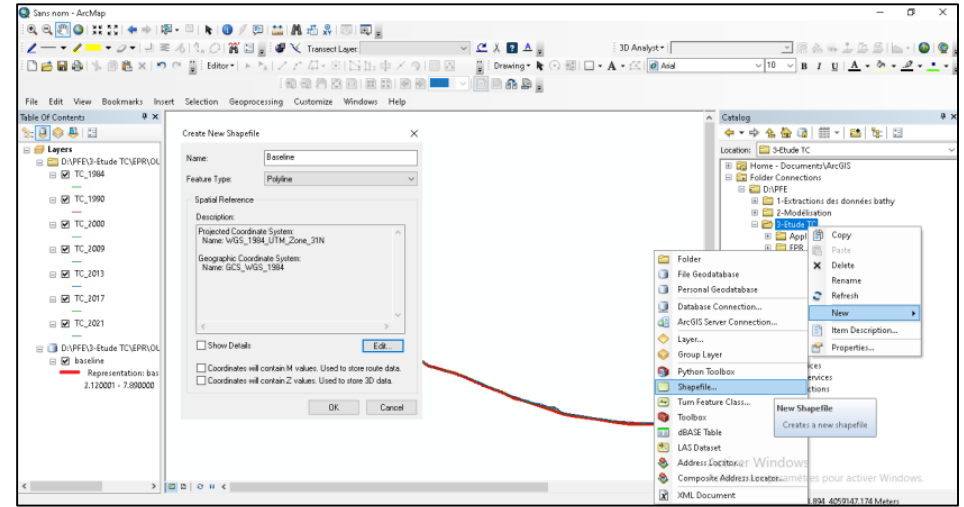
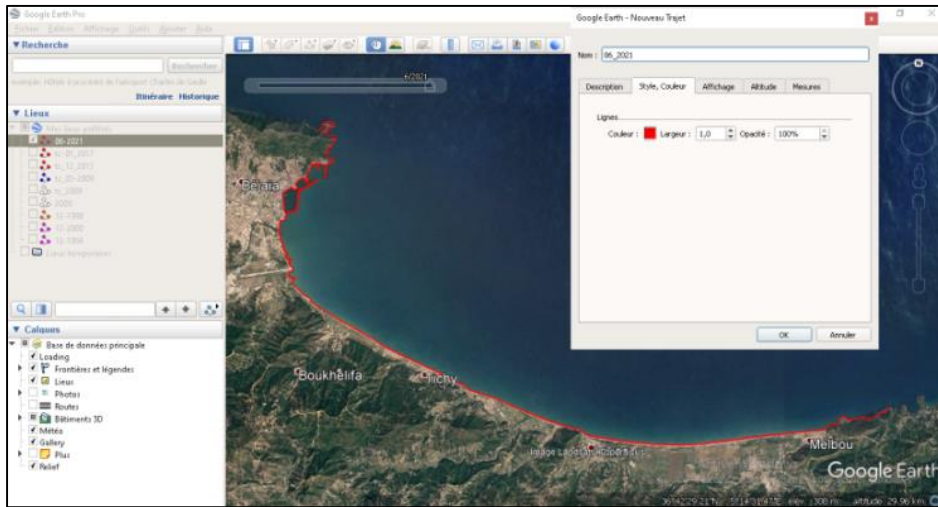
Les Annexes

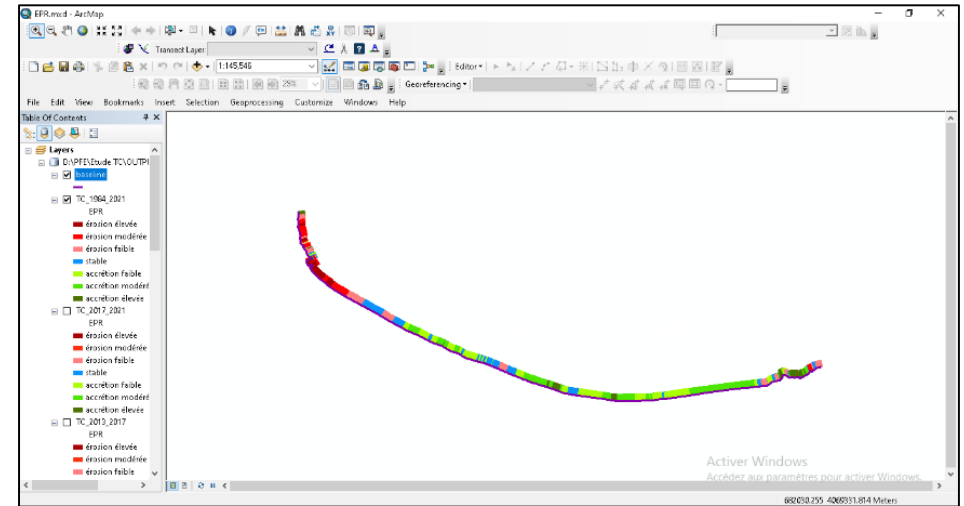
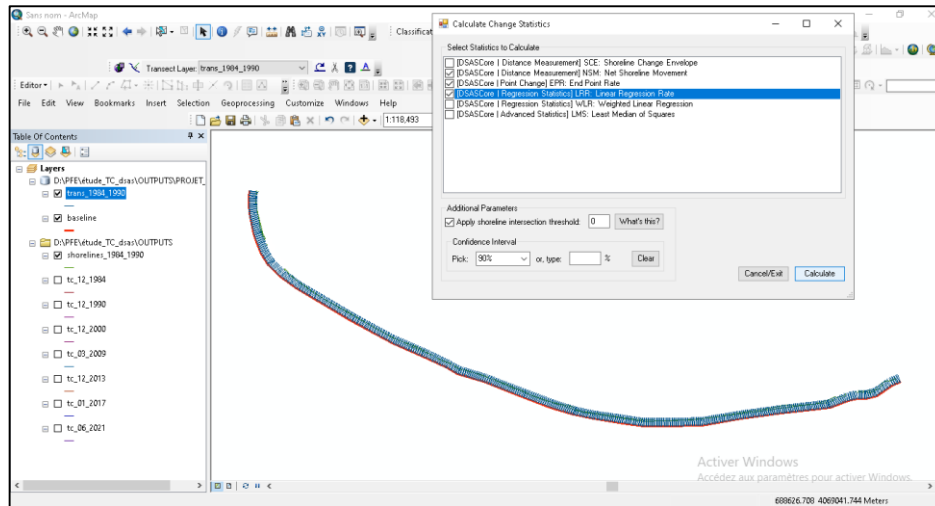




Annexe 2 : Lancement des simulations de SW et HD.

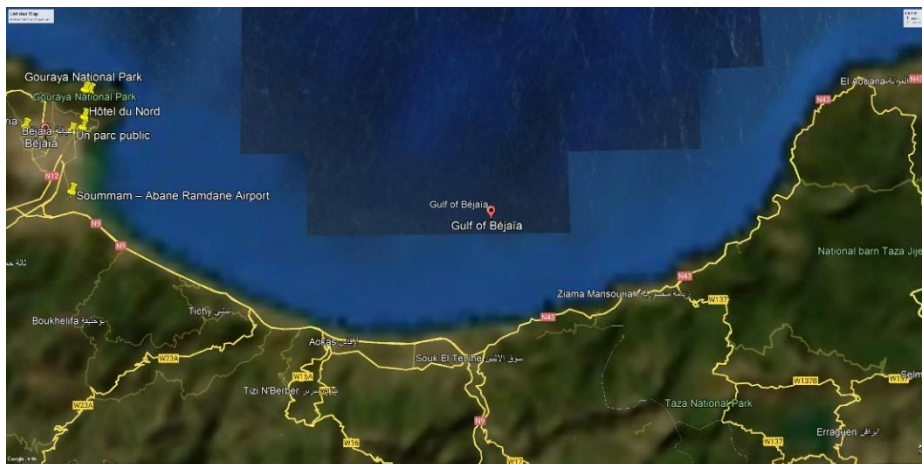
Les Annexes



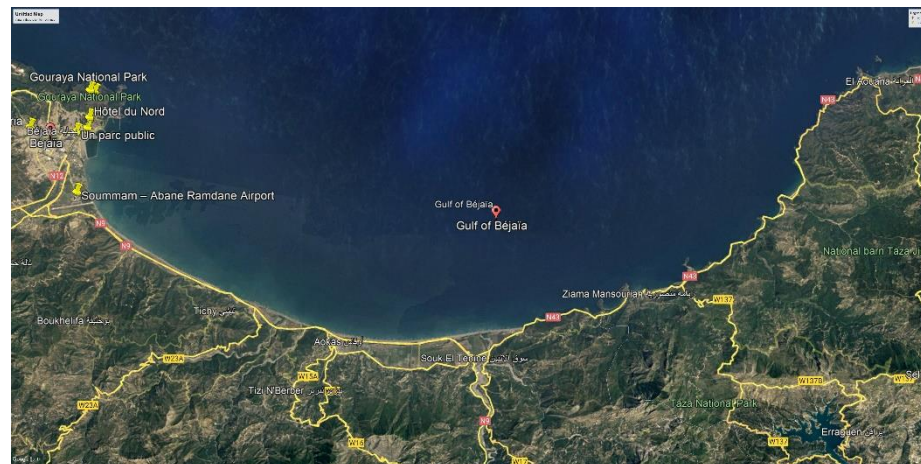


Annexe 3 : Etapes de l'étude du trait de côte

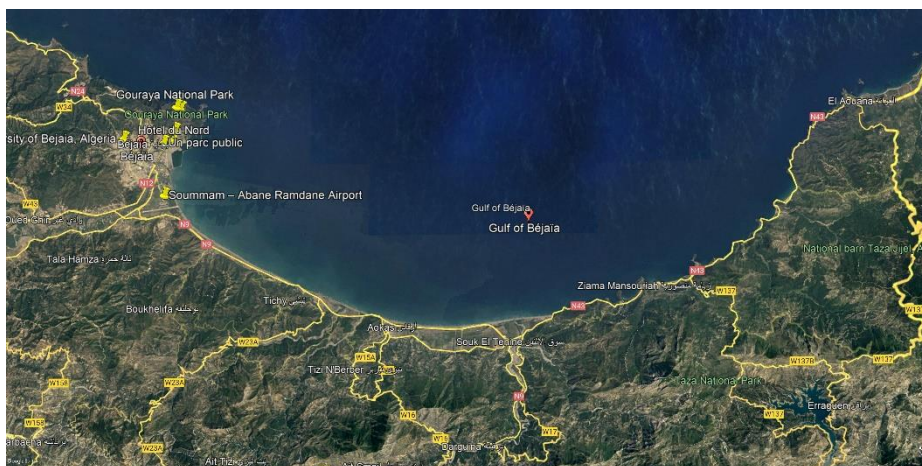
Les Annexes



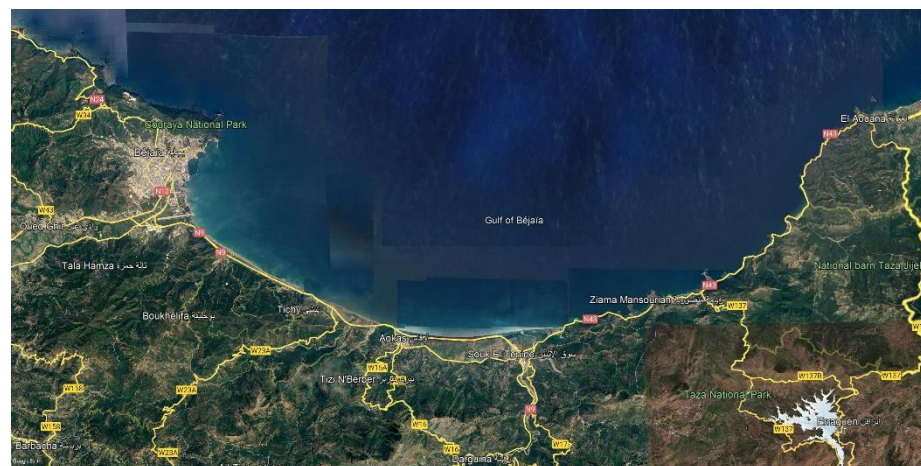
1984



1990



2000



2009

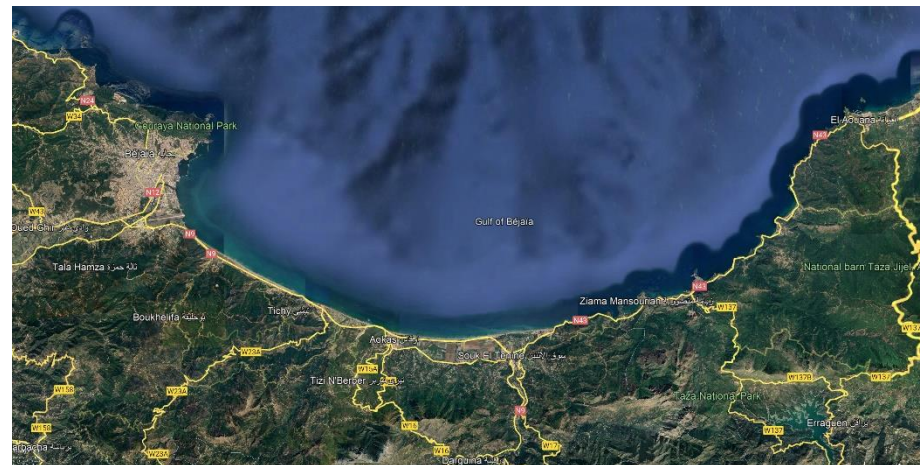
Les Annexes



2013



2017



L'évaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur l'évolution de golfe de Bejaia

Résumé

Le littoral du golfe de Bejaia regorge de potentialités multiples à la fois naturelles et humaines. Sa côte, longue d'environ 70 km, est composée de plages sableuses, de falaises, de plaines. Elle a subi durant les dernières années de nombreuses contraintes liées notamment au climat et aux activités humaines. Ces dernières ont accentué sa fragilité face aux différents risques côtiers, notamment ceux véhiculés par les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer (ENM).

L'étude de la vulnérabilité des composantes physiques et socio-économiques locales face à l'élévation du niveau de la mer a révélé au grand jour une réalité bien plus qu'inquiétante et confirme la mauvaise posture de cette partie du littoral algérien soumise d'ores et déjà à une érosion presque généralisée. Elle a mis en exergue que 53,59% du linéaire côtier total du golfe a une vulnérabilité physique élevée et très élevée, alors que 32,03% à une vulnérabilité basse. Quant au volet socio-économique, 54,56% du linéaire côtier total présente une vulnérabilité modérée, 24,88% une vulnérabilité élevée et 20,56% une vulnérabilité très élevée face à l'érosion et les inondations marines.

Cette vulnérabilité globale a été confirmée par l'étude prospective portant sur l'évaluation des terres qui sont à risque d'érosion et d'inondations marines d'ici le milieu et la fin du 21ème siècle. Dans les plages étudiées de la partie ouest du golfe, et pour le scénario le plus pessimiste d'ENM, les pertes de terres par érosion se situeraient à 780 775,5 m² (113,37%) d'ici 2050 et à 1 597 713,5 m² (232%) à l'horizon 2100. Pour les plages de la partie orientale, les réductions de surface atteindraient 184 775 m² (47,59%) en 2050 et 378 159 m² (97,41%) en 2100. De nombreuses zones de la côte sont également surjettes aux risques d'inondations marines. La présente étude a révélé que la zone inondable globale s'étalerait sur 2,40484 km² pour un niveau d'eau de 3,5 m et sur 20,73076 km² pour celui de 8,5 m. Ainsi, les pertes de terres, par inondation marine, seraient 10 fois supérieures pour un niveau de submersion maximum comparées aux pertes attendues en cas de niveau minimum.

Les zones les plus vulnérables se localisent à Bejaia, Sidi Ali Lebhar, à l'extrême est d'Aokas, à Souk El Tenine et à l'extrême Ouest de la côte de Melbou. Pour un niveau d'inondation minimum, les plages seront les plus touchées, comptant pour 61,91% de la zone inondable globale. En cas de scénario maximum, les zones inondables seront en grande partie celles utilisées à des fins agricoles avec 11,418 km² de terres qui risquent d'être affectées, représentant plus de la moitié (55,07%) de la zone inondable globale.

Abstract

The coast of the Gulf of Bejaia is full of multiple potentials, both natural and human. Its coast, about 70 km long, is made up of sandy beaches, cliffs, plains, hotels, an airport and a port, an industrial area, an urban center, towns and villages. Over the past few years, it has been subjected to numerous constraints linked in particular to the climate and human activities. These have accentuated its fragility in the face of various coastal risks, in particular those conveyed by climate change and sea level rise (ENM).

The study of the vulnerability of local physical and socio-economic components to the rise in sea level revealed a much more than worrying reality and confirms the poor posture of this part of the Algerian coast subjected to erosion and already to almost generalized erosion. She highlighted that 53.59% of the total coastal line of the Gulf has a high and very high physical vulnerability, while 32.03% has a low vulnerability. As for the socio-economic aspect, 54.56% of the total coastline has moderate vulnerability, 24.88% high vulnerability and 20.56% very high vulnerability to erosion and marine flooding.

Global vulnerability has been confirmed by the prospective study assessing lands that are at risk of erosion and marine flooding by the middle and end of the 21st century. In the studied beaches of the western part of the gulf, and for the most pessimistic scenario of ENM, the land losses by erosion would be situated at 780 775.5 m² (113.37%) by 2050 and at 1,597 713.5 m² (232%) by 2100. For the beaches in the eastern part, the surface reductions would reach 184,775 m² (47.59%) in 2050 and 378,159 m² (97.41%) in 2100. Many areas of the coast are also prone to the risk of marine flooding. The present study revealed that the overall flood zone would cover 2.40484 km² for a water level of 3.5 m and 20.73076 km² for that of 8.5 m. Thus, land losses, by marine flooding, would be 10 times greater for a maximum level of submersion compared to the expected losses in the event of a minimum level.

The most vulnerable areas are located in Bejaia, Sidi Ali Lebhar, in the far east of Aokas, in Souk el Tenine and in the far west of the Melbou coast. For a minimum flood level, the beaches will be the most affected, accounting for 61.91% of the overall flood zone. In the event of a maximum scenario, the flood zones will largely be those used for agricultural purposes with 11.418 km² of land likely to be affected, representing more than half (55.07%) of the overall flood zone.