

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Populaire et Démocratique Algérienne

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de Scientifique Recherche et Supérieure l'Enseignement

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
diplôme D'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer
Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**Evaluation de la vulnérabilité du littoral de la wilaya
de Chlef face aux géo risque côtiers**

Présenté par

FERRAS Nafissa

MECHIDI Moufida

Soutenu le 08/07/2024, devant le jury composé de :

M. OTMANI H.

M.C. A

ENSSMAL

Président

Mme SALEM CHERIF Y.

M.A. B

ENSSMAL

Promotrice

M. MEZOUAR K.

Professeur

ENSSMAL

Co Promoteur

M. DAHMANI A.E.A.

M.C. B

ENSSMAL

Examineur

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

MECHIDI Moufida

Je tiens avant tout à remercier Mme Y. Salem Cherif notre promotrice pour avoir dirigé ce travail avec attention, bienveillance et disponibilité.

À écrire cette partie, ma première pensée s'est dirigée à mon Copromoteur Monsieur « MEZOUAR Khoudir » pour son soutien permanent, son Accompagnement instructif mais aussi pour sa présence joviale et ses qualités humaines, mérite toute ma gratitude et mes plus sincères remerciements.

Mes remerciements vont également à Mr Sallaye Miloud qui nous a donné de son temps et nous a encouragé.

Je remercie Mr. Dahmani A.E.A pour avoir accepté à évaluer ce modeste travail.

Je suis également redevable à Mr. Berkane Moussab qui malgré que ce soit qu'une connaissance, était là pour nous et nous a beaucoup aidé

Un merci spécial va à ma mère, mon cher Papa, mes frères « Wassim et Fethi » et ma sœur « Meriem » pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible. Sans leur encouragement constant je n'en serai pas arrivée jusqu'à là.

A mon cher mari, merci de me pousser à être meilleur chaque jour.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers ma tante pour son amour et ses encouragements tout au long de mon parcours scolaire.



FERRAS Nafissa

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma promotrice Y. Salem Cherif, Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé, son entière Disponibilité.

J'adresse mes sincères remerciements à mon co-promoteur Mr « Mezouar Khoudir » pour sa patience, son soutien constant et ses encouragements le long de ce travail.

J'adresse mes chaleureux remerciements à ma collègue MECHIDI moufida pour son aide et son soutien morale.

Un grand merci à ma mère et mon père « Djamel », pour leur amour inestimable, leurs sacrifices ; leur confiance ainsi que leur soutien inconditionnel et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer. Sans oublier mes frères « seifou, Houdayfa, yaakoub et Djilali » pour leur tendresse et leur complicité. Je remercie mon oncle spécialement « Ferras Brahim » pour ses mots d'encouragements et son soutien inconditionnel.

Table des matières

Table des matières

Tables des matières :	Erreur ! Signet non défini.
Liste des figures :	VII
Introduction	1
Chapitre I. Présentation de la zone d'étude	3
I.1 Situation Géographique de littoral de Chlef :	3
I.2 Le cadre géologique et pédologique :	4
I.3. Le réseau hydrographique :	5
I.5. Géomorphologie	7
I.6. Cadre Météo-océanique :	8
I.6.1. Les Températures :	8
I.6.2. Précipitations :	9
I.6.3. Le vent :	11
I.6.4. La houle :	14
I.6.5. Les courants :	16
I.6.6. La Marée :	16
I.7. Risques géologiques	17
I.7.1. Les séismes :	17
I.7.2. Les éboulements :	18
I.7.3. Les glissements :	18
I.8. Facteurs anthropiques :	18
I.9. Les structures portuaires :	18
I.9.1. Endiguement :	19
I.10. Identification des zones ayant subi des extractions :	19
I.11. L'urbanisation anarchique près de cote :	19
I.12. La fréquentation touristique	19
I.13. Conclusion :	20
Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef	21
II.1. Méthodologie :	21
II.2. Aperçus généraux sur les outils numériques :	21
II.2.1. Google earth pro :	21
II.2.2. Arc Gis :	22
II.2.3. Le DSAS (Digital Shoreline Analysis System) :	22
II.3. Analyse diachronique de la cinématique de la ligne de rivage :	23

Table des matières

II.3.1. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2024 :	24
II.3.2. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2008.....	26
II.3.3. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2008 et 2014.....	28.
II.3.4. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2014 et 2018.....	30
II.3.5. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2018 et 2024.....	32
II.3.6. Evolution prévisionnelle à l’horizon 2044 :	35
II.4. Conclusion.....	36
Chapitre III : Modélisation numérique.....	37
III.1. Introduction :	37
III.2. Présentation du modèle utilisé :.....	37
III.2.1. Mesh Generator :	37
III.2.3. MIKE 21 HD :	37
III.2.3.1. Équations en eaux peu profondes :	38
III.2.3.2. Équations de conservation de l'action des vagues :	39
Coordonnées cartésiennes :	39
III.3. Méthodologie de travail :	41
III.3.2. Etude bathymétrique :	42
III.3.3. Scénarios de simulation :	43
III.4. Résultats des simulations :	45
III.5. Conclusion :	50
Chapitre IV : La submersion marine	52
IV.1. Introduction :	52
IV.2. La submersion marine :.....	52
IV.2.1. Les différents types de submersions marines :.....	52
IV.2.2. Le phénomène responsable de ces submersions marines d’origine météorologique : La surcote	53
IV.3. Méthodologie de simulation de submersion marine :	54
IV.3.1. Scénarios de niveaux d’eau extrêmes :.....	54
IV.3.2. Désignation des houles extrêmes à la côte :	54
IV.4. Interprétation des résultats :.....	57
IV.5. Conclusion :	64
Chapitre V : Evaluation de la vulnérabilité du littoral de chlef.....	65

Table des matières

V.2.1. La vulnérabilité physique :	65
V.2.2. Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière physique :	65
V.2.3. Résultats et discussion de la vulnérabilité physique :	67
V.2.4. Évaluation de la vulnérabilité socio-économique (CVI socio-Eco) :	72
V.2.5. Calcul d'indice de vulnérabilité socio-économique :	73
V.2.6. Résultats et discussion :	73
V.2.7. Evaluation de la vulnérabilité physique et socio-économique du littoral de Chlef : ...	78
V.3. Vulnérabilité au Risque sismique :	79
V.4. Conclusion.....	82
Conclusion générale :	83
Référence bibliographie	85
ANNEXE :	91

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Table 1:l'indice pluviométrique de l'Emberger	11
Table 2: Evolution du trait de côte de littoral de Chlef entre 2004 et 2024	25
Table 3: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2008.....	27
Table 4: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2008 et 2014	29
Table 5: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2014 et 2018	31
Table 6: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2018 et 2024	33
Table 7: Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique.	66
Table 8: Représentation des variables retenues pour le calcul du IVC socio-économique (McLaughlin et Cooper, 2010 ; McLaughlin et al., 2002)	73
Table 9: Les différentes classes de la vulnérabilité côtière socio-économique.....	73
Table 10:Symboles et leur signification	39
Table 11: Symboles et leur signification	40
Table 12: Symboles et leur signification	41
Table 13: Hauteurs de houles issues de la méthode POT en omnidirectionnel dans la zone de Cherchell (SALEM CHERIF, 2023).....	44
Table 14: Des inputs des simulations pour l'ensemble les différentes période de retour	44
Table 15: Les hauteurs de houle aux profondeurs de fermeture de différentes directions	55
Table 16: niveaux d'inondations extrêmes	55
Table 17: Superficies des terres inondées par les différents niveaux d'élévation	62

Liste des acronymes et abréviations :

Liste des figures :

Figure 1:carte de situation géographique de littoral de Chlef	3
Figure 2:Carte qui montre la géologie du littoral de Chlef	4
Figure 3: Pédologie de la BLWC (BNEDER, 2008).....	5
Figure 4: Hydrologie de la BLWC (BNEDER, 2008)	6
Figure 5:Histogramme des températures (max, min et moyenne) mensuelles 2004- 2022 Source : Nasa power, 2021	8
Figure 6: Histogramme des précipitations mensuelles de la zone de Chlef entre 2004 et 2022 (Source : Nasa power, 2021).....	9
Figure 7: Le diagramme ombro-thermique	10
Figure 8: Climagramme d'Emberger de la station de Chlef « 1999-2022 »	11
Figure 9: Rose des vents au large de la côte de Cherchell (Infoplaza, 2017). (SALEM CHÉRIF,2023)	13
Figure 10: Les roses de houle au large de Cherchell Chlef (SALEM CHÉRIF,2023).....	16
Figure 11: Niveau de la marée au niveau du port d'Alger Source : www.opalesurfcasting.net (sallaye,2021).....	17
Figure 12: barre d'outils du DSAS	23
Figure 13: Carte qui montre les différentes cellules étudiées dans évolution spatiotemporelle du trait de cote	24
Figure 14: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2004-2024) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)	26
Figure 15: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2004-2008) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)	28
Figure 16: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2008-2014) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)	30
Figure 17: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2014-2018) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)	32
Figure 18: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2018-2024) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)	34
Figure 19: Emprise du maillage	42
Figure 20 : la carte marine (INCT).....	43
Figure 21: La carte bathymétrique du littoral de Chlef	43
Figure 22:Carte qui représente la propagation de la houle moyenne de 1.5m	45
Figure 23:Propagation de la houle de la période de retour 2 ans	46
Figure 24: La propagation de houle de la période de retour 10 ans	47
Figure 25: Propagation de la houle de la période de retour 30 ans	48
Figure 26: La propagation de la houle de période de retour 50 ans	49
Figure 27: La propagation de la houle de période de retour 100 ans.....	50
Figure 28: Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage) (HAUTE-CORSE, SERVICE ETAT, 202)(in HACHICHI,2023).....	53
Figure 29: Représentation schématique des différents paramètres rentrant en compte ou non dans l'estimation des surcotes (JEAN-FRANCOIS 2015).....	54
Figure 30: carte des altitudes.....	56
Figure 31: carte d'occupation du sol.....	56

Liste des acronymes et abréviations :

Figure 32: Synthèse de la méthodologie adoptée pour la cartographie de l'aléa de submersion marine (BENALLOU,2020).....	57
Figure 33: superficies des terres inondées par le niveau d'élévation de 8m.....	61
Figure 34: Superficies des terres inondées par les différents niveaux d'élévation.....	64
Figure 35: géomorphologie	67
Figure 36: pente côtière (%).....	68
Figure 37: Remontée relative du niveau de la mer (mm/an).....	68
Figure 38: amplitude moyenne de la maree	69
Figure 39: Recul /avancé de trait de cote (m/an).....	70
Figure 40: amplitude moyenne de la houle (m).....	71
Figure 41: Pourcentage du littoral de Chlef pour chaque degré de Vulnérabilité physique.....	71
Figure 42: carte de vulnérabilité côtière physique	72
Figure 43: La population.....	74
Figure 44: patrimoine culturel.....	74
Figure 45: réseaux ferres.....	76
Figure 46: occupation du sol	76
Figure 47: statut de protection.....	77
Figure 48: Pourcentage du littoral de Chlef pour chaque degré de vulnérabilité socio-économique....	78
Figure 49: Pourcentage du littoral de Chlef pour la vulnérabilité physique et socio-économique.....	79
Figure 50: carte de vulnérabilité côtière.....	79
Figure 51: Initiation d'un tsunami d'origine sismique dans un contexte de subduction. Erreur ! Signet non défini.	
Figure 52: Une carte qui represente les zones qui marquent une activité sismique (protection civil). 81	

Liste des acronymes et abréviations :

- **WGS:** World Geodesic System
- **UTM:** Universal Transverse Mercator
- **EPR:** End Point Rate
- **LRR:** Linear Regression Rate
- **NSM:** Net Shoreline Movement
- **DSAS:** Digital Shoreline Analyses System
- **DD :** Développement Durable
- **GIEC :** Group Intergouvernemental d’Evaluation du Climat
- **SW:** Spectral Wave
- **HD:** Hydrodynamic
- **ST:** Sediment Transport
- **GIZC :** Gestion Intégrée des Zones Côtières
- **CVI :** Costal Vulnerability Index
- **SIG :** System d’Information Géographique
- **L’USGS :** le Service géologique américain

Introduction

Introduction

Le littoral est un système complexe, vulnérable et dynamique, il est soumis à plusieurs forçages hydrodynamiques (par les courants, vagues, tempêtes, changements climatiques...), ainsi que par les activités anthropiques dont les aménagements (les barrages, les ouvrages de protection côtier) qui le conduisent à une évolution rapide (érosion ou accrétion), ce qui peut être engendré par une ou plusieurs Géorisques côtiers.

La zone côtière méditerranéenne est parmi les côtes les plus urbanisées au monde avec un taux d'urbanisation d'environ 66% (Lafitte et al., 2012). Depuis le 19ème siècle, la température atmosphérique moyenne a augmenté de 0,74°C à l'échelle du bassin Méditerranéen, ce qui rend la région vulnérable à l'élévation du niveau de la mer (GIEC, 2014 ; Klein et Nicholls, 1999 ; Nicholls et Hoozemans, 1996). Dans le sud du bassin Méditerranéen occidental (Afrique du Nord), de nombreux vestiges archéologiques témoignent d'une occupation des Zones côtières actuellement submergées (Paskzzoff, 2001).

La côte algérienne s'étend sur un linéaire côtier de 1622 km et abrite 85% de la population du pays, qui sont concentrés sur 12% de la surface totale du pays (Djabri et al., 2019 ; Rabehi et al., 2018). Toutefois, l'exploitation et le développement de cette côte présentent certains risques côtiers liés aux problèmes d'érosion et aux submersions marines. Ces risques peuvent s'amplifier avec le taux d'élévation prédit du niveau de la mer Méditerranée (GIEC, 2014 ; Jimenez et SánchezArcilla, 1997), ces risques constituent un défi majeur pour la côte algérienne dans les années à venir.

En ce siècle, l'élévation du niveau de la mer est devenue une préoccupation majeure pour la communauté scientifique et les décideurs (Boruff et al., 2005). De nombreuses études qui portent sur la vulnérabilité côtière ont été effectuées dans la plupart des pays pour anticiper les effets de l'élévation du niveau de la mer sur leurs côtes. Cependant, les études menées pour l'évaluation de la vulnérabilité côtière en Algérie ont débuté cette dernière décennie (SALLAYE, 2021).

L'évaluation de cette vulnérabilité côtière permet de distinguer les secteurs les plus vulnérables, nécessitant une intervention urgente ; elle constitue donc un outil majeur d'aide à la décision pour l'adaptation des pratiques et des politiques de planification pour une meilleure occupation et préservation de ces espaces fragiles.

Introduction

Le littoral de Chlef étant étroitement liée au séisme de l'Asnam (10 octobre 1980), on a tendance à parler de sa vulnérabilité par rapport à l'activité sismique qu'à sa vulnérabilité aux géo-risques côtiers pour répondre à notre problématique proposé : quel est le taux de vulnérabilité de ce littoral face aux géo-risques côtiers ?

Pour aborder cette question de manière optimale. On a commencé par la collecte des données concernant la zone d'étude. En outre, une recherche a été menée sur plusieurs axes. Notre travail a été structuré en cinq chapitres suivants :

Le premier chapitre décrit le contexte d'étude, ou on aborde le climat météo-océanique, sur une échelle régionale, et aussi la caractérisation géologique et géomorphologique.

Deuxième chapitre examine les variations historiques de la position de la ligne de rivage dans le but d'identifier et de décrire les taux nets d'évolution le long de cette côte, ainsi que d'établir un scénario prévisionnel à l'horizon 2044. Cela nous permet d'étudier la vulnérabilité par rapport au phénomène d'érosion.

Dans le troisième chapitre, on effectuera une étude hydrodynamique qui a comme objectif l'étude de réfraction des houles dans notre zone d'étude. Les scénarios simulés couvrent un état de houle moyenne et de houles de tempêtes définis par la méthode des événements extrêmes. Cela nous permet d'évaluer leur impact sur la vulnérabilité côtière et d'étudier la submersion marine dans notre zone. Dans cette étude, le software Mike 21 a été utilisé.

Le quatrième Chapitre est consacré pour la cartographie de l'aléa de la submersion marine. Ceci nous permettra d'identifier l'étendu des surfaces vulnérables aux différents niveaux de submersion.

Le Chapitre cinq est consacré au calcul de l'indice de vulnérabilité côtière CVI pour évaluer les risques majeurs dans notre zone d'étude. De plus, nous avons également abordé la prospection des séismes aléatoires qui menacent notre côte.

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

I.1 Situation Géographique de littoral de Chlef :

La wilaya de Chlef, cette portion de l'Algérie, doit son nom à l'Oued qui draine sa vallée : le Cheliff, l'Oued le plus long d'Algérie avec ses 700 kilomètres (ABHCZ, 2003). Elle est enserrée entre les longitudes 0° 44' et 1° 45' Est et les latitudes 36° 33' et 35° 50' Nord (PATWC 1, 2011) ; (FEKIH,2020).

La wilaya de Chlef couvre une superficie totale de 4950 km². Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée ; au sud : Tissemsilt et Relizane ; à l'est : Tipaza et Aïn Defla et à l'ouest : Mostaganem.

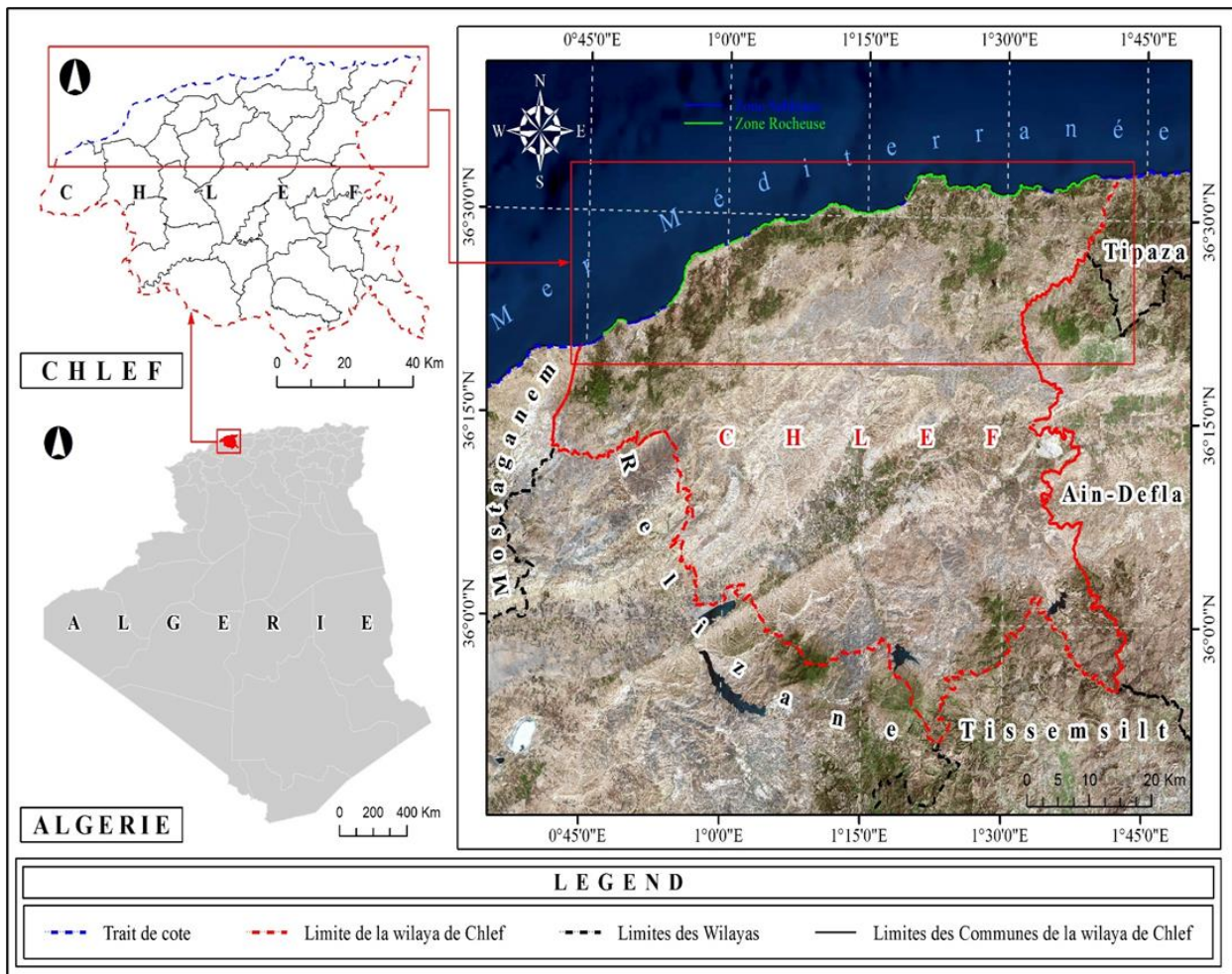


Figure 1:carte de situation géographique de littoral de Chlef

La bande littorale de Chlef donne sur une large façade maritime orientée Est-Ouest, rectiligne en général, mais sinueuse localement. Elle possède 6 communes côtières (Beni

Haoua, Oued Goussine, Ténès, Sidi Abderrahmane, El Marsa et Dahra) réparties sur 129 km de littoral, représentant 7.84% du total de la cote algérienne et 20% de la région de Chlef comme la figure 1 montre.

Ces communes s'étendent sur un linéaire côtier de 129 km environ. Sur ces 120 km de côte 17 sont urbanisés.

I.2 Le cadre géologique et pédologique :

La bande littorale de la Wilaya de Chlef chevauche sur un domaine interne qui ne concerne que les reliefs littoraux du Dahra au Nord, C'est une chaîne montagneuse qui s'interpose entre la vallée du Chlef et la mer Méditerranée dont l'aspect est compact de forme ramassée au nord, qui présentent une grande diversité géologique dont il existe une prédominance des terrains de type Oligocène marin.

L'étude géologique du littoral du Chlef permet de dégager 15 formations géologiques décrites dans la figure suivante :

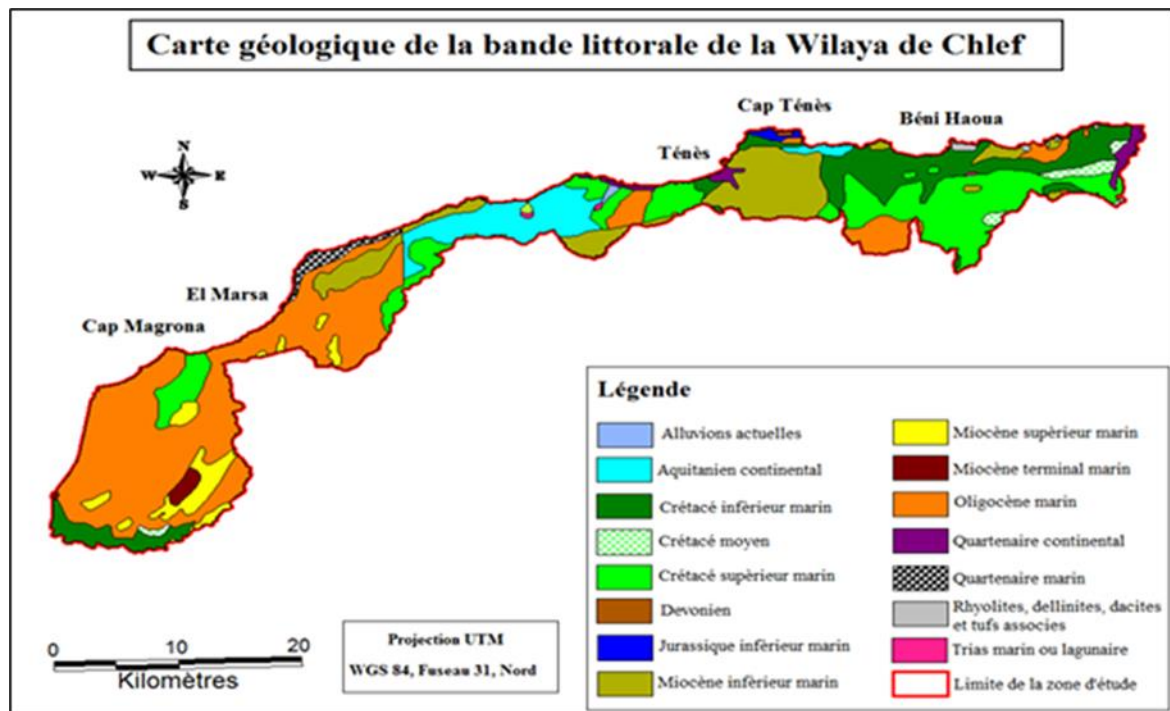


Figure 2: Carte qui montre la géologie du littoral de Chlef

D'après Bencherit (1956), la description des sols rencontrés dans notre zone d'étude est la suivante :

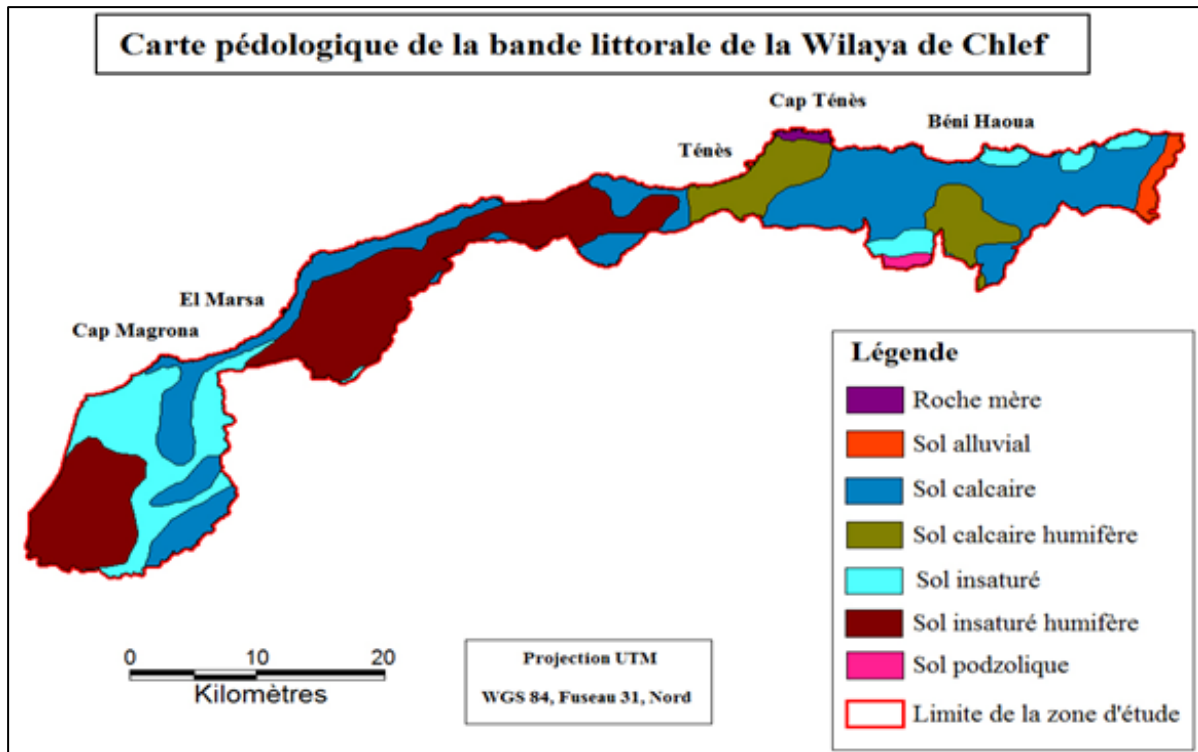


Figure 3: Pédologie de la BLWC (BNEDER, 2008)

I.3. Le réseau hydrographique :

La Wilaya de Chlef dispose d'un réseau hydrographique assez dense qui fonctionne suivant les domaines morphologiques traversés, du bassin versant oued Cheliff qui traverse la Wilaya d'Est en Ouest, s'ajoutent les différents affluents (Oued Sly, Oued Fodda, Oued Tsighaouet) (FEKIH,2020).

Les Plaines et vallées littorales qui regroupent les principales vallées suivantes :

1/Sous zone de la vallée de l'oued Damous (rive gauche) qui représente la limite Est de la wilaya de Chlef avec celle de la wilaya de Tipaza.

2/Sous zone de la vallée de l'oued Allala débouche dans la ville de Ténès et qui draine un vaste bassin versant développer au Sud de cette ville. Il draine une superficie de 295 km², jusqu'à la station de jaugeage Rocade-Sud installée à hors du bassin. (Abderrahmane & Mohammed, 2019)

3/L'oued BouCheral qui débouche en mer sous les reliefs de Kef El Ahmar.

4/L'Oued Cheliff qui est le plus important cours d'eau en Algérie (750 Km), il traverse le territoire la plaine de l'Est à l'Ouest, sur un trajet de 60 Km.

D'autres vallées étroites sont développées à l'Ouest de Ténès : L'oued Amri, L'oued Tarzout, L'oued Guelta à la limite Ouest de la wilaya de Chlef.



Figure 4: Hydrologie de la BLWC (BNEDER, 2008)

Les communes littorales à l'est de la wilaya abritent deux zones humides, à savoir :

- **Zone humide d'Oued Outar :**

Cette zone humide est représentée par la zone d'inondation de l'oued Outar dans la commune de Beni Haoua.

- **Zone humide de Thaddart ou Fenaïse :**

Cette zone humide englobe la zone d'inondation des oueds Thaddart ou Fenaïsse, El Kaïd et Douar Ait Anirane au niveau de la commune d'Oued Ghoussine.

I.4.Risque d'inondations :

Les inondations sont récurrentes surtout au niveau des oueds à régime pérenne tel que l'oued Allala mais la convergence de multiples affluents vers ce dernier rend propice la possibilité d'une saturation par les eaux. Elles peuvent être dues à des précipitations d'origine pluviales et à celles causées par le ruissellement diffus. La présence de la végétation amoindri

l'action néfaste des inondations qui ont lieu surtout pendant la période hivernale pouvant entraîner un fluage le long des berges jusqu'à un niveau de base vers l'aval.

I.5.Géomorphologie

I.5.1.Le plateau continental de Chlef :

Le plateau continental de la wilaya de Chlef est l'un des plus réduits de la côte algérienne, l'inexistence de cours d'eau de grande compétence en est la conséquence. La limite du plateau continental est presque parallèle à la côte et ne dépasse guère 4 km (Beni Haoua) et se réduit à 250 m à l'est de Damous. La réduction de la largeur du plateau favorise l'augmentation de l'énergie des houles lesquelles trient les sédiments. On retrouve des galets, sables grossiers sur l'ensemble du plateau où la largeur est très réduite, quand celle-ci est plus développée, les sables moyens à faibles terminent la sédimentologie du plateau continental.

I.5.2.Les canyons sous-marins :

Le trait marquant de la morphologie de la pente continentale est la présence de canyons sous-marins qui entaillent profondément la marge.

Le Domaine oriental correspondant aux canyons de cap Kalah, de Colombi, d'El Marsa et du canyon de la Guelta ; et un domaine occidental qui comprend les canyons de Kramis et le canyon de la Khadra. Ces deux domaines sont séparés par une zone haute orientée N 120°, en forme d'éperon, située à 2400m de profondeur au large du Cap Megraouana, sur une longueur de plus de 40km. Cet éperon formé probablement de roches dures, contraste avec le reste du secteur, moins soumis aux phénomènes d'érosion sous-marine.

La morphologie côtière est très diversifiée sur l'ensemble de la zone d'étude. Les falaises représentent 70% du linéaire côtier de la zone ouest comme la Falaise de Sidi Djilali, Falaise Cap Sirat Falaise Ken Ennador, Est -Falaise Kef Temassar ainsi les côtes rocheuses comme la Côte rocheuse Marina, Côte rocheuse Abattoir Côte rocheuse Sidi Abderrahmane, Côte rocheuse Ain Hammad.

Une variété de plages caractérise le littoral de la wilaya de Chlef, elles sont constituées soit de sables fins, de graviers ou de galets : plage de Dechria, plage El Guelta, plage Messadia, plage de Ghalba, plage El Marsa, plage Ain Hamadi, plage Zerouki Abdelkader, plage de douar Regoune, plage de douar Cheair, plage de Sidi Merouane, plage de Taranenia, plage de Sidi Ahmed Msanas, plage de Boucheghal, plage El Tamzit, plage Beni Haoua, plage Doumia, plage

oued Goussaine, plage de Sidi Ahmed Mesnas, plage de Teranenia, plage de Maïnis, plage de Sidi Abderrahmane, plage de Taghzout, plage de Ain Hamadi et plage d'El Marsa.

Le littoral de la wilaya se caractérise aussi par l'existence d'écosystèmes insulaires : Ile de Colombie, îlot de Sidi Djillali et îlots de Sidi Merouane.

I.6.Cadre Météo-océanique :

Le climat de la zone littorale est caractérisé par le régime méditerranéen à deux saisons bien distinctes. Dans notre zone d'étude, l'inclinaison de la côte vers le sud de la wilaya ouest (Chlef) présente un climat plus sec (inférieur à 600 mm de précipitation par an) et plus chaud en été. Pour bien confirmé cette information théorique nous avons utilisé les informations fournies par le site « Nasa power » pour définir le climat de la marge littorale de la Wilaya de Chlef. Nous avons analysé les principales variables climatiques (précipitation, température) sur une période de dix-huit ans, de 2004 à 2022.

I.6.1. Les Températures :

Les températures sont parmi les facteurs climatiques les plus importants après les pluies (Dreux ,1974 in Cherifi, 2017).

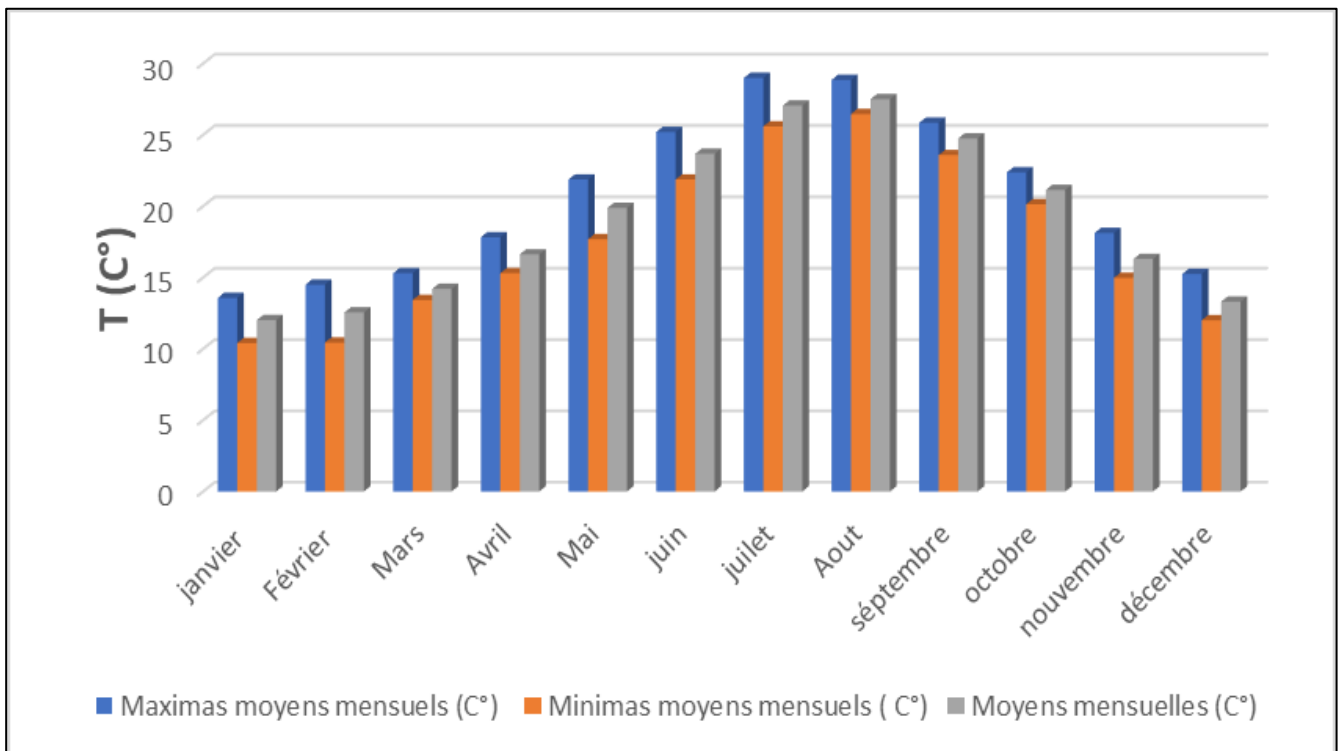


Figure 5:Histogramme des températures (max, min et moyenne) mensuelles 2004- 2022 Source : Nasa power, 2021

Selon les informations thermiques de la wilaya de Chlef présentées au-dessus, il y a une légère fluctuation de la température moyenne d'un mois à l'autre. En effet, les mois de Juin, Juillet et Aout présentent les températures les plus élevées (maximas moyennes de 28.99 C°), tandis que

les mois de Décembre et Janvier présentent les températures les plus basses (minimas moyennes de 10,41 C°).

I.6.2. Précipitations :

Le rythme et la fréquence des précipitations qui déterminent les saisons, les températures restant peu variables tout au long de l'année. Les précipitations de la wilaya de Chlef pour l'année 2018 sont plus importantes que les années précédentes et sont réparties de manière inégale. La pluie tombe généralement sous forme d'averses courtes, causant des inondations dans quelques endroits de la plaine. Les années 2015 et 2016 ont été les plus chaudes et la région d'étude a été confrontée à des cycles de sécheresse prolongés au cours des dix dernières années.

La pluie est le facteur climatique le plus important qui influe sur le phénomène d'occurrence des feux (Trabaud, 1983 in Lakhel, 2016).

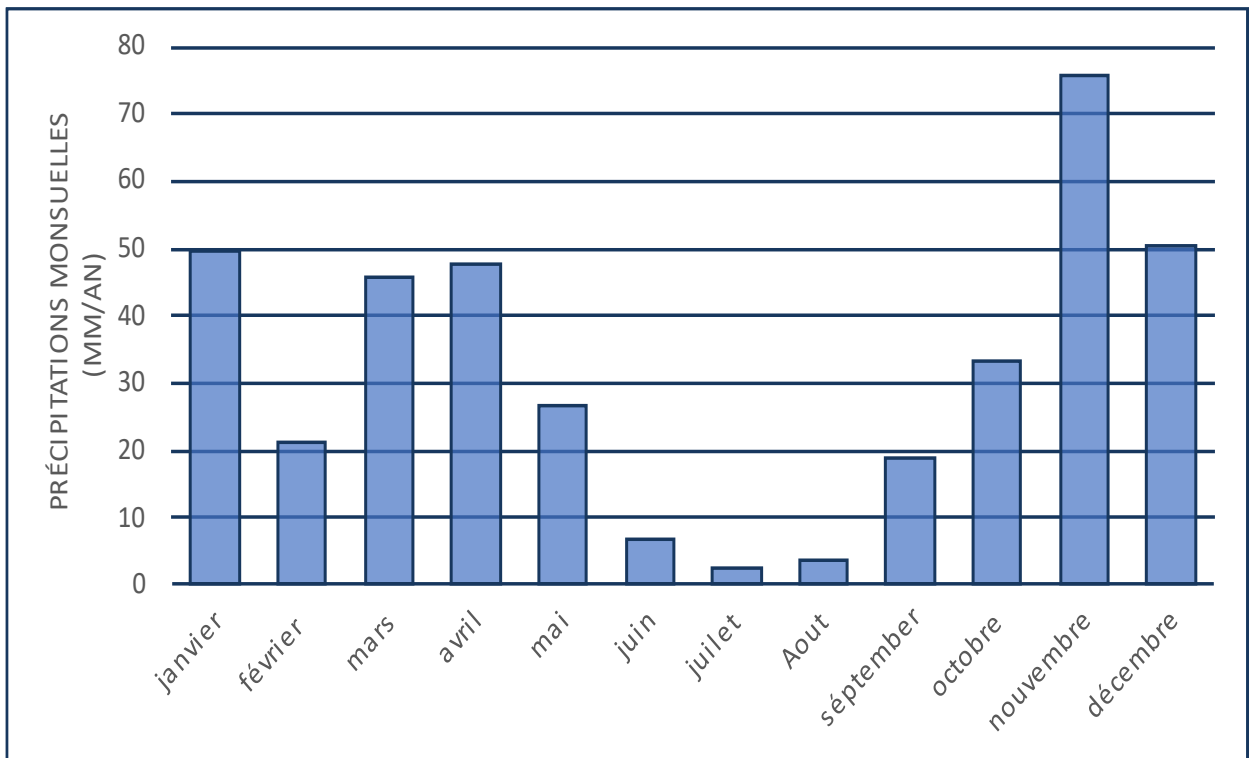


Figure 6: Histogramme des précipitations mensuelles de la zone de Chlef entre 2004 et 2022 (Source : Nasa power, 2021)

Les précipitations mensuelles sont très variables et irrégulières, comme le montrent les analyses pluviométriques du figure 6 avec un maximum de 75.88 mm en novembre et un minimum de 2.34 mm en juillet.

La saison hivernale pluvieuse se concentre entre septembre et mai et atteignant son pic en novembre avec 75.88 mm.

La période estivale sèche dure de juin à août, avec le minimum de 2.34 mm en juillet.

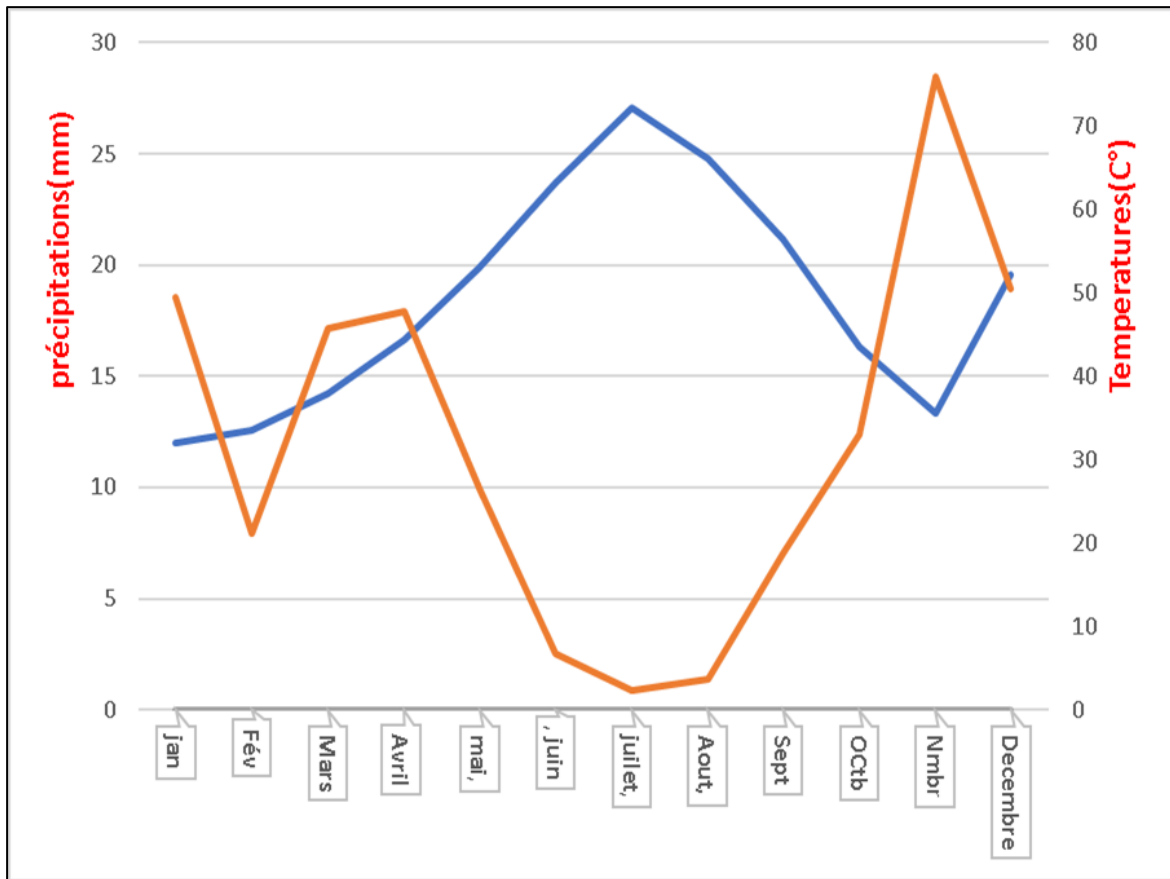


Figure 7: Le diagramme ombro-thermique

Le climat est le facteur qui a le plus d'impact sur la quantité d'eau, il est donc nécessaire d'étudier attentivement les données climatiques pour déterminer précisément le climat de notre zone d'étude, ce qui nécessite l'utilisation de certains indices climatiques. Parmi eux on a : **L'indice d'Emberger :**

Emberger (1955) a institué un quotient pluviométrique « Q2 » pour déterminer l'ambiance bioclimatique valable pour les climats de type méditerranéen. L'emploi du quotient pluviométrique Q2 est spécifique au climat méditerranéen. Ce quotient permet d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes.

Il est exprimé par les valeurs de l'équation suivante :

$$Q2 = \frac{2000P}{(M2 - m2)}$$

P (mm) : moyenne des précipitations annuelles (mm)

M(ko) : moyenne des maxima du mois le plus chaud en (ko) : (ko) = (Co) + 273.2

m(ko) : moyenne des minima du mois le plus froid en (ko) : (ko) = (Co) + 273.2

Table 1:l'indice pluviométrique de l'Emberger

Paramètres	P (mm)	M(ko)	m(ko)	Q2
Valeurs	400.08	298.72	285.96	107.10

Une période pluvieuse humide de 6 mois (de Novembre à la fin d'Avril) et une période sèche qui caractérise les mois les plus secs (Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre) peuvent être visualisées en analysant le diagramme.

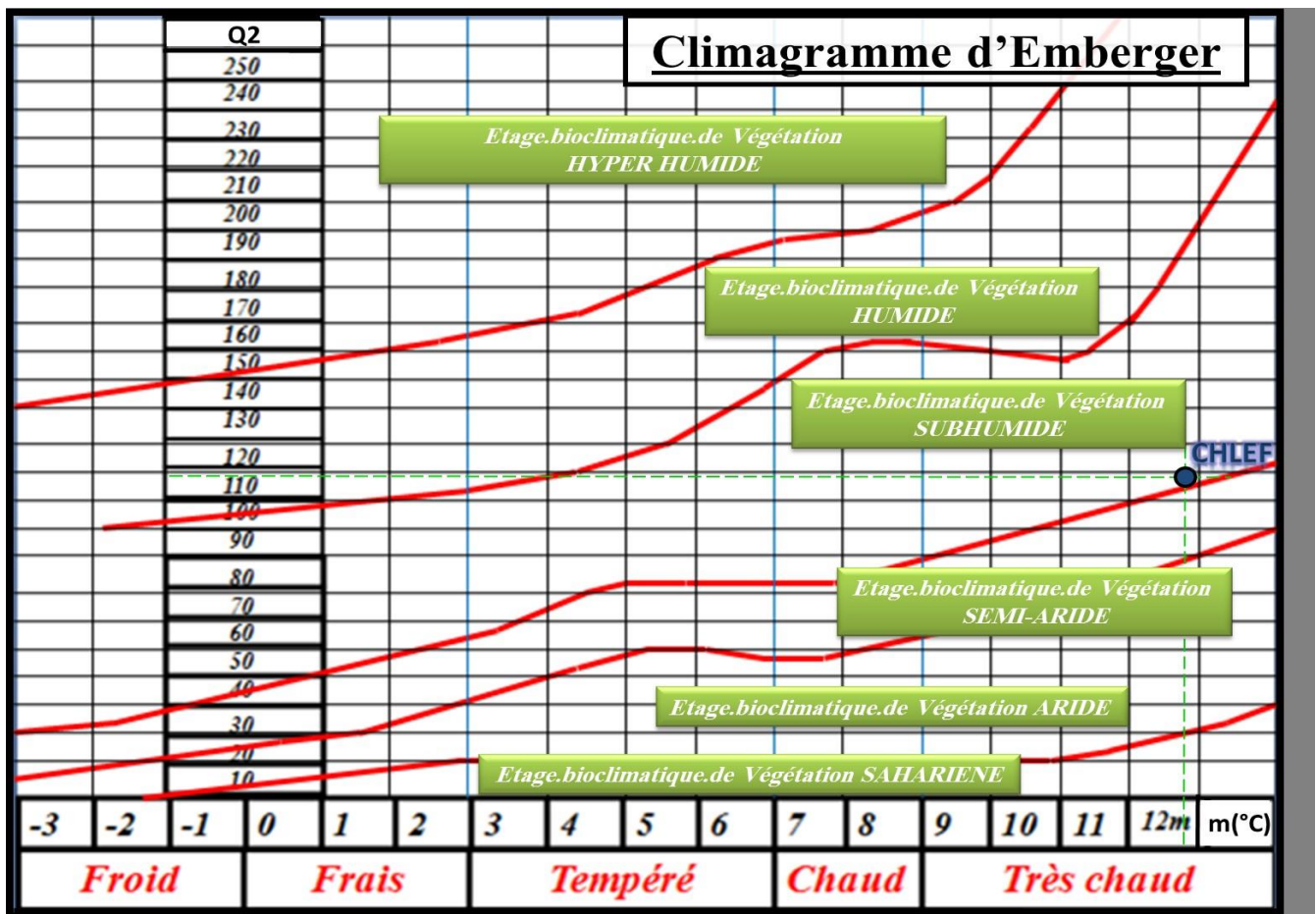


Figure 8: Climagramme d'Emberger de la station de Chlef « 1999-2022 »

La wilaya de Chlef est caractérisée par un climat de type méditerranéen subhumide. Il y a une alternance de deux périodes saisonnières : une saison estivale qui se déroule de juin à septembre et une saison pluvieuse qui se déroule de mi-septembre à mi-mai. Chlef est une des régions les plus chaudes d'Algérie avec une pluviométrie moyenne de 420 mm/an malgré son climat subhumide

I.6.3. Le vent :

La dynamique éolienne est un élément essentiel dans la morphogénèse de la frange littorale (Suanez, 1997). Le vent intervient directement dans le transport des sédiments secs et

indirectement dans le transport du sédiment marin, suite à la génération des vagues par le vent, la connaissance de son régime est donc primordiale.

Sur l'ensemble du littoral algérois, nous observons que les vents dominants sont de deux secteurs opposés ENE et OSO qui se caractérisent par des vitesses de vent considérables ; les vitesses de vent les plus observées (65%) sont inférieures à 6 m/s, 30% sont entre 6 à 12 m/s et 5% des vents enregistrés au large sont supérieurs à 12 m/s pouvant atteindre le 24 m/s. La période hivernale est dominée par les vents d'Ouest (OSO-O) avec un maximum 24 m/s. générés par une différence de pression entre une dorsale anticyclonique sur le proche atlantique et minimum dépressionnaire (Jarry, 2009), à l'opposé, en été ; les vents dominants sont de secteurs Est (NE-E et principalement ENE) avec des vitesses ne dépassant pas 12 m/s. Au printemps et en automne, les roses des vents présentent les mêmes tendances d'apparition des secteurs de vents et qui se rapprochent fortement du régime total des vents ; ou nous observons une importante variabilité des directions (Soukissian et al., 2018), les plus dominantes sont ENE et OSO (SALEM CHÉRIF,2023).

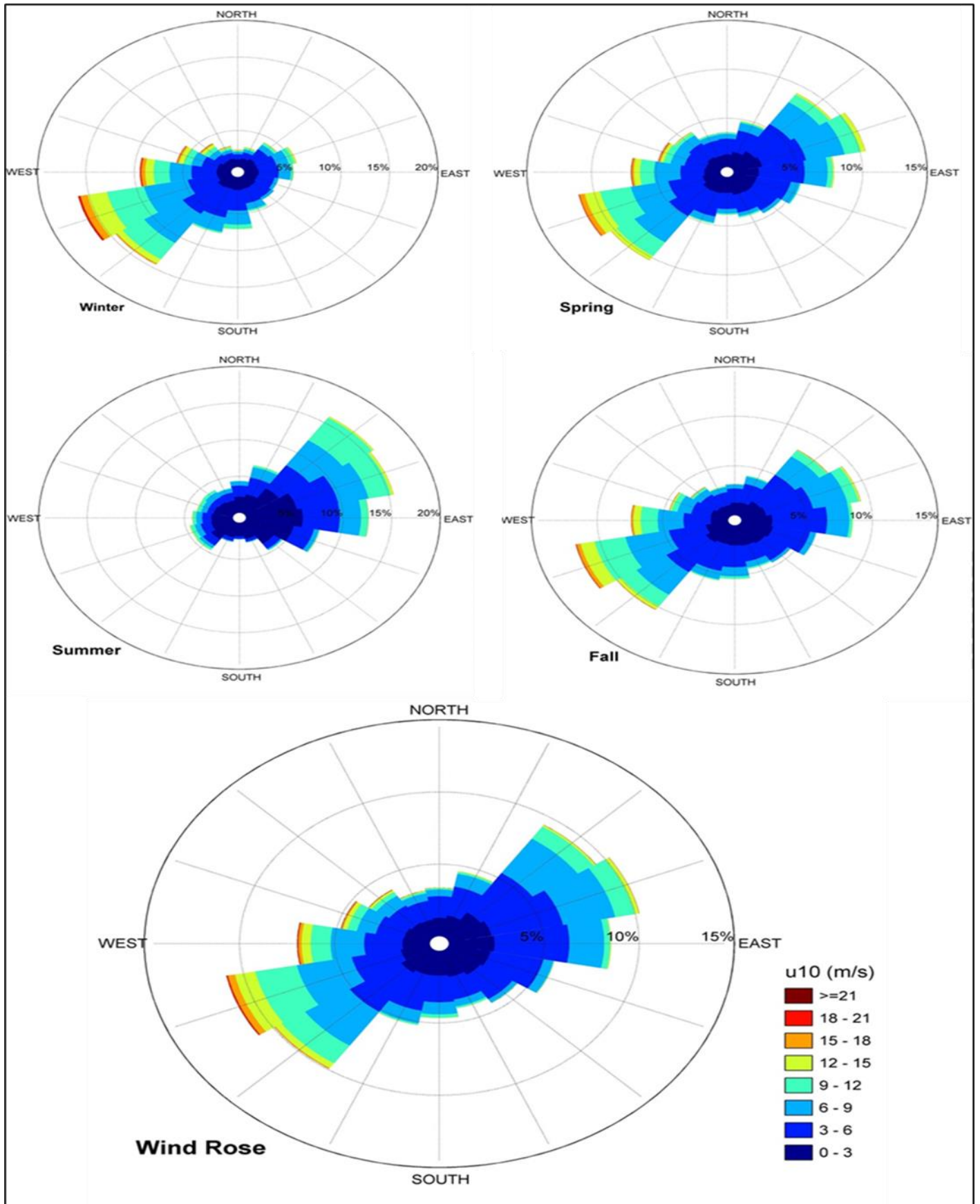


Figure 9: Rose des vents au large de la côte de Cherchell (Infoplaza, 2017). (SALEM CHÉRIF,2023)

I.6.4. La houle :

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**).

Au large des côtes de la zone d'étude, la rose annuelle des houles, montre que les agitations qui touchent le site proviennent principalement des secteurs Ouest et Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives 33 % et 22 %.

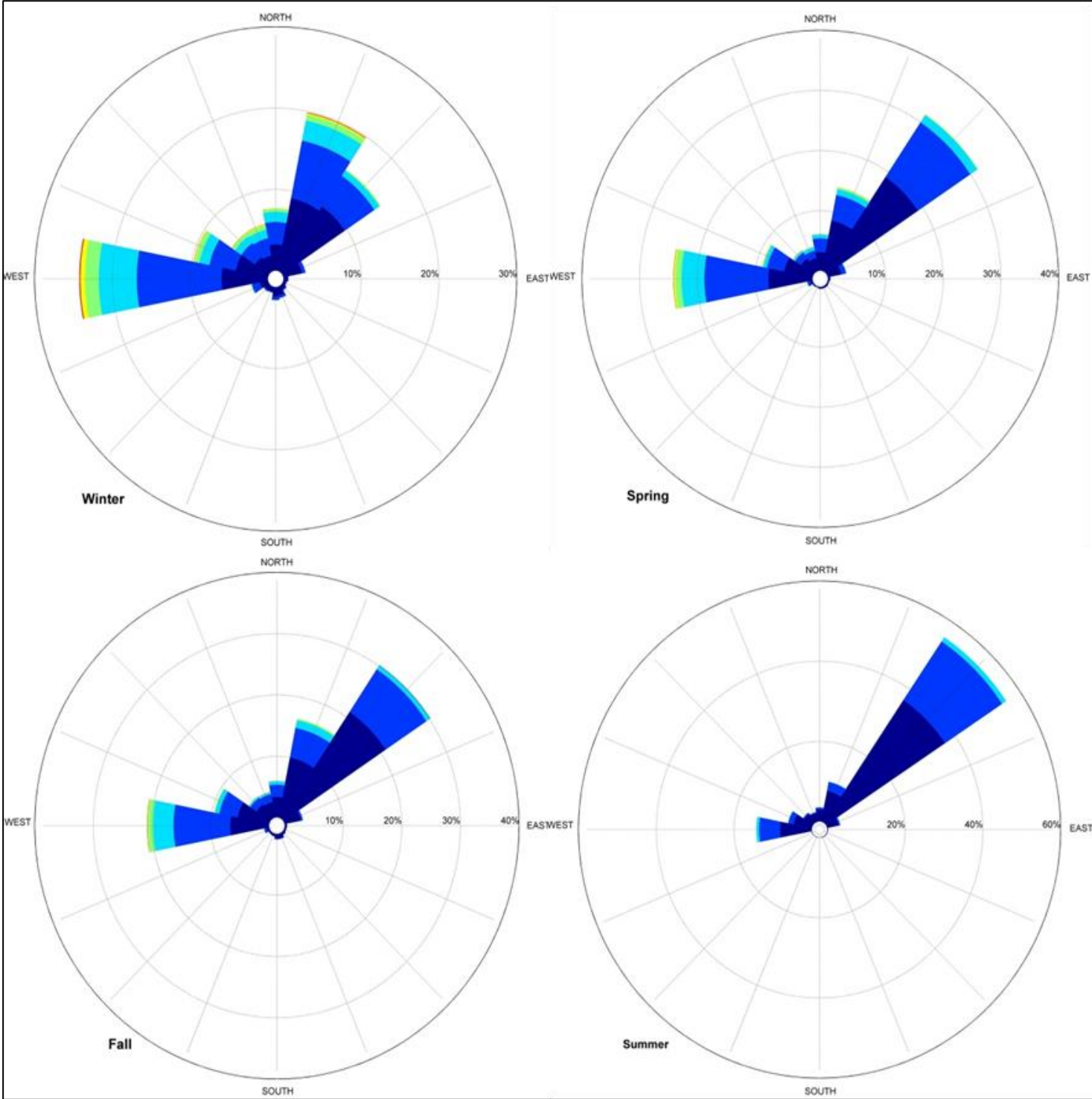
Par ailleurs, l'interprétation des roses trimestrielles fait ressortir les constatations suivantes :

En hiver, le secteur le plus fréquent est le secteur Ouest, avec des taux respectifs de 20% et 15% pour les NNE et les NE. Les houles sont en moyenne de 1 mètre, avec 81% des enregistrements inférieurs à 2 mètres, et la durée moyenne est de 7 secondes. Le record enregistré est une houle avec une hauteur maximale de 6,16 mètres et une période de pic de 10,9 secondes dans le secteur O. (janvier). Le rythme mensuel en hiver est identique en décembre et en janvier, avec une légère variation en février, où le secteur NNE et NE présente la même fréquence d'apparition. La rose des houles apparaît au printemps avec la même apparence que la rose récapitulante.

L'ensemble du climat des houles. Les domaines clés sont le NE (environ 32%) et l'O. Avec une participation de 24%. Les houles ont une hauteur moyenne de 0,95 m, avec 89 % d'entre elles inférieures à 2 m, dont 54 % inférieures à 1 m. Au printemps, la durée moyenne des houles est de 6,5 secondes ; 79% des périodes sont inférieures à 8 secondes. Au mois de mars, on a enregistré le maximum des houles au printemps, avec une hauteur de 6,93 m, ce qui correspond à la tempête enregistrée le 8 mars 2007. La rose des houles de mars ressemble à la rose de saison. Le secteur O et NE ont une dominante approximative en avril, avec un maximum enregistré en hauteur de 4,81 m. Au cours du mois.

En été, les houles ne dépassent que rarement les 3 mètres dans le large de Cherchell au cours des 27 dernières années. 70 % des hauteurs sont inférieures à 1 mètre et 2,2% dépassent les 2 mètres, avec une moyenne de 0,77 mètre. En ce qui concerne les temps, 93% des houles ont une durée inférieure à 8 secondes, avec une moyenne de 5,8 secondes. La majorité des houles proviennent du secteur NE (70%).

Au cours de l'automne, le climat varie également comme au printemps, avec une tendance similaire à la prédominance du secteur de houle, avec 30% de houles provenant du NE, 22% de l'O., 16% du NNE et environ 10% du secteur ONW. La période et la hauteur moyenne sont respectivement de 0,86 m et 6,4 s, avec 81% des houles ayant une période inférieure à 8 s et 90% une hauteur inférieure à 2 m. En septembre, le climat de houle est principalement estival, avec une prédominance du secteur NE (à 45%) avec 30% des hauteurs inférieures à 1m. Nous constatons une augmentation des fréquences de houle dans les secteurs O. par rapport à la saison estivale, avec une augmentation d'environ 17% et une hauteur maximale de 3,63 m.



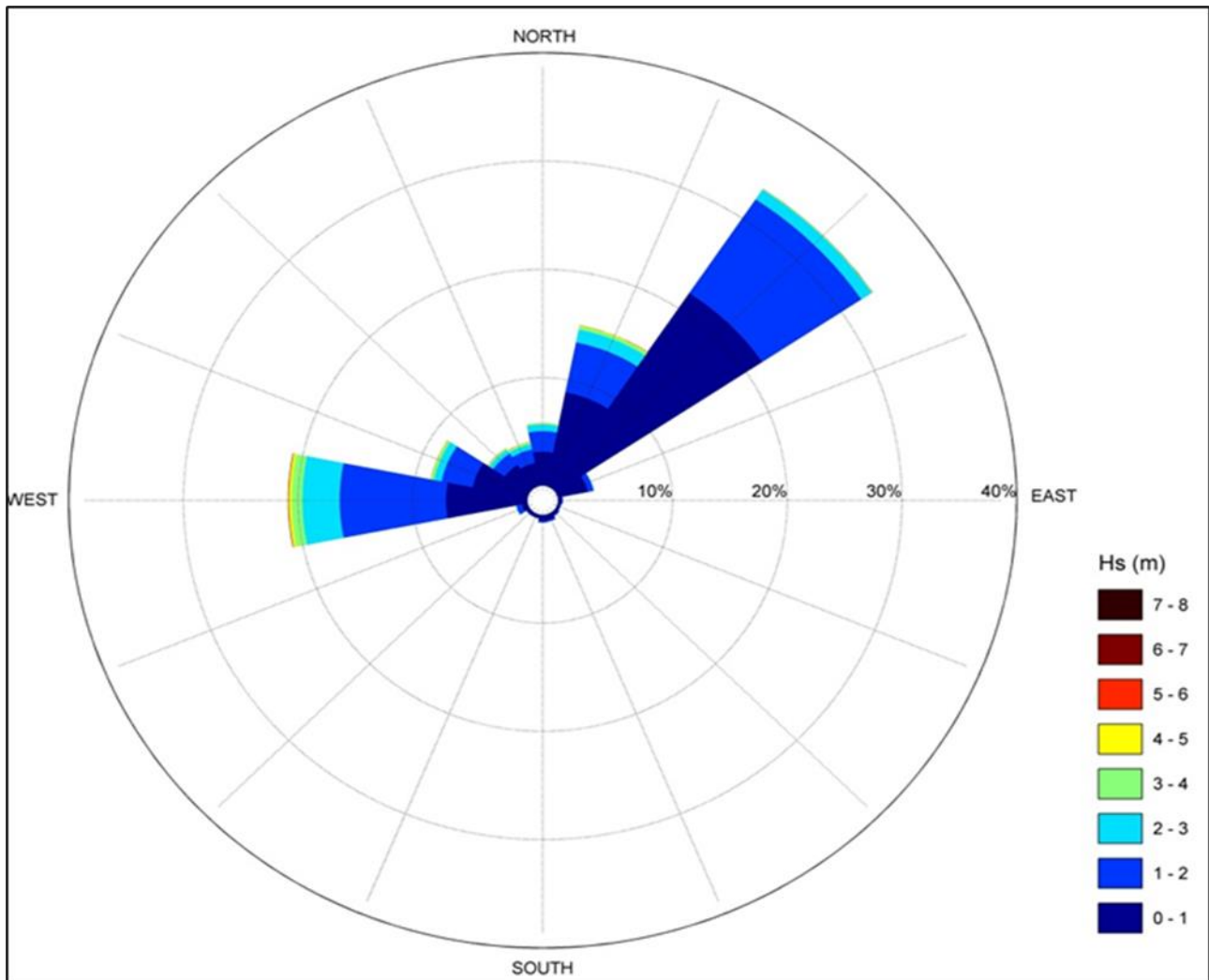


Figure 10: Les roses de houle au large de Cherchell Chlef (SALEM CHÉRIF,2023)

I.6.5. Les courants :

Un courant par définition est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée. Les courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments (érosion, transport et sédimentation) (OTMANI, 2014).

Les vitesses du courant général des eaux atlantiques venant de Gibraltar vers l'Est restent généralement dans un ordre de grandeur de 0.5 à 1m /s au large des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis, en prenant le nom « courant Algérien » (BENZOHRRA, 1993).

La courantologie considérée pour le forçage dans la cadre de cette étude repose sur un modèle couplé (voir chapitre 3)

I.6.6. La Marée :

La marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (BOUGIS, 2003). Bien que le littoral algérien soit de type micro tidal, il est recommandé de prendre en considération le marnage, en cas d'étude des risques, notamment pour l'amplification des phénomènes d'inondation, mais pas autant pour l'étude hydrodynamique.

Dans les côtes algériennes, l'amplitude de la marée est généralement faible (de l'ordre Moyen de 30 cm) (Amarouche 2015). La principale source pour obtenir des estimations Actuelles des marées astronomiques est le service hydrographique du port d'Alger (SALLAYE ,2021) (Fig 11).

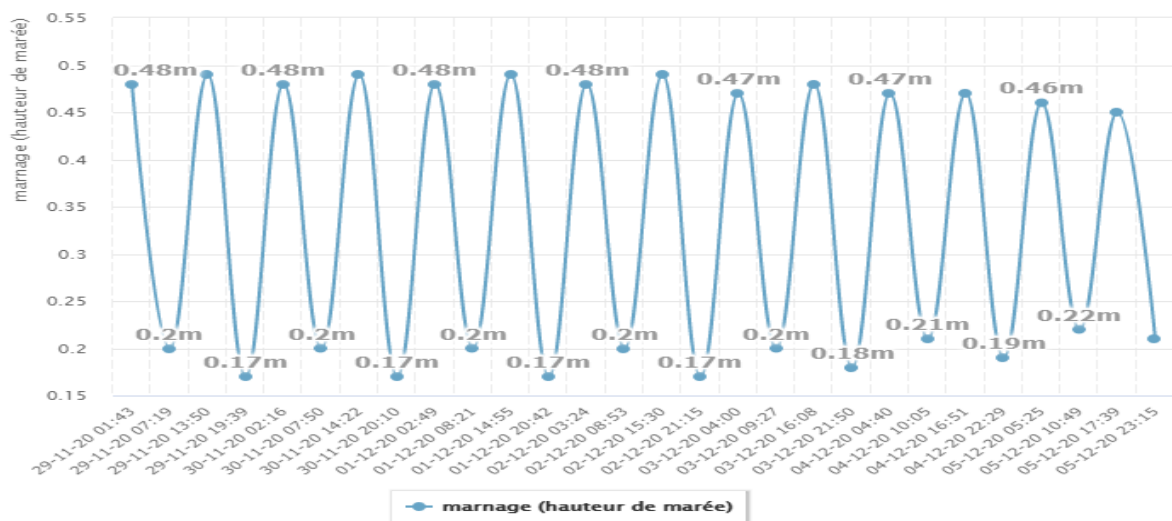


Figure 11: Niveau de la marée au niveau du port d'Alger Source : www.opalesurcasting.net (sallaye,2021).

I.7.Risques géologiques

I.7.1. Les séismes :

Les communes côtières de la wilaya de Chlef se trouvent sur la chaîne littorale du Dahra. C'est un massif plissé puis morcelé dans les temps géologiques anciens. Les dépôts plissés qui ont résulté se sont effondrés lors de la transgression (crétacé – éocène – cartésien : 3 périodes). Ténès est un exemple car on y trouve de ces dépôts en quantité remarquable s'étalant tant en hauteur qu'en superficie. Puis la région a été soumise à des phases de plissement, de dislocation, de sédimentation et de régression (miocène), puis à nouveau un effondrement a formé une dépression encadrée par des fractures (pliocène). Au quaternaire, il y a eu un soulèvement puis à nouveau un morcellement que l'on retrouve actuellement. La région a donc subi une tectonique intense qui se réactive lors des séismes locaux, continentaux ou marins (CNERU,2004).

De nombreux épïcêtres se trouvent à Ténès, Cavaignac, Cherchell sur la côte, mais aussi à Chlef, O. Fodda dans la région sud du site d'étude. Les magnitudes ont été de 7.3 avec des intensités de 10. La proximité de la région sismique de Cherchell et de Tipaza accroît la vulnérabilité de la zone côtière de Chlef.

Un effondrement a eu lieu et a engendré la faille de Ténès et l'apparition de contacts anormaux qui séparent l'anticlinal du Dahra de la montagne de l'arrière-pays. La zone Cartennienne à l'est de Ténès correspond à une cuvette synclinale où s'écoule des oueds intermittents. On a ainsi une morphologie tourmentée.

On peut citer certains séismes qui ont eu lieu dans la région tels que ceux d'Orléanville en 1954, et de Chlef en 1980 dont la magnitude était de 6.7 à 7.3 sur l'échelle de Richter. Ce dernier est le plus violent séisme qu'ait connu les pays de la Méditerranée.

I.7.2. Les éboulements :

Les éboulements proviennent dans les régions escarpées où la pente d'équilibre est rompue et où le matériau qui compose le versant est très disloqué et diaclasé ; les grès calcaires et les calcaires, les schistes sont les plus disposés à s'ébouler (diacalse + forte pente). La morphologie côtière faite de caps et de kefs l'illustre bien. On constate aussi des éboulis sur les versants ouest du Dahra et près de la carrière de Sidi Marouane près de Ténès. Pour cette dernière ce sont des éboulis liés aux déjections de matériaux provenant de celle-ci.

Des éboulis de pentes constitués de débris de calcaires liasiques cimentés forment une brèche compacte aux abords de Cap Ténès (CNERU,2004).

I.7.3. Les glissements :

Les glissements affectent les zones argileuses propices à fluer en coulées ou en nappes pour les pentes supérieures à 12%. La superficie craquelée en été est soumise ainsi à une fragmentation, puis à une humidification où les précipitations remplissent les fentes de retrait et enfin lors des pluies suivantes, on assiste à un décapement de la couche superficielle qui glisse le long du versant. L'effet de ces glissements est surtout présent le long des versants qui bordent les chaussées sur les berges des oueds et sur la face sud du Cap Ténès. Les glissements sont dus à la nature hétérogène de terrains capables de fluer en nappe le long des versants. La présence de l'argile le fragilise et le soumet aux intempéries. On assiste à un craquellement du terrain et à l'apparition de fentes de retrait pendant la période sèche de l'été.

Les premières pluies s'engouffrent dans les vides puis les suivantes décapent la couche superficielle qui se transforme en une masse homogène qui va fluer à la base du versant.

La nature géologique locale des basses terrasses, formées d'alluvions sablo- limoneuses, souvent argileuses peuvent subir une érosion régressive par la base jusqu'à la désintégration complète du pan de terrasse.

I.8.Facteurs anthropiques :

Les agglomérations de la wilaya se concentrent beaucoup plus le long de l'axe RN 4 traversant la vallée du Cheliff, autour du chef-lieu de wilaya et le long de l'axe RN 19 reliant le chef-lieu de wilaya à l'agglomération côtière et son port Ténès.

Ténès est la commune la plus peuplée, elle totalise 37,3 % de la population des communes côtières.

En effet l'agglomération de Ténès est la plus importante sur la bande littorale, c'est un pôle urbain structurant l'espace wilaya, elle est dotée en équipements structurants qui lui ont permis de jouer ce rôle.

Les agglomérations de Beni Haoua, Oued Goussine et Sidi Abderrahmane sont implantées sur des terres agricoles à très hautes potentialités, l'extension du tissu est complétement bloquée. Qui peut aggraver l'équilibre du littoral dans notre région d'étude.

Le recul du trait de côte est vraiment marqué par ces interventions humaines remarquables.

I.9.Les structures portuaires :

Les ports sont sites aménagés sur la côte pour l'exercice permanent de fonctions liées aux activités maritimes. Des ouvrages de protection délimitent le port (digues, jetées, brise lame) et le protègent contre les facteurs hydrodynamiques qui perturbent le fonctionnement sédimentologique.

Port de Beni Haoua : Le port de Beni-Haoua a été conçu spécialement pour la pêche qui reste encore au stade artisanal et ne nécessite pas des équipements importants. Il est localisé à l'Ouest de la plage de Beni Haoua.

Port de Ténès :

Le port de Ténès est le seul port commercial de la wilaya de Chlef, il est considéré comme un port de moyenne importance et dessert un hinterland de 08 wilayas avec une capacité de l'ordre de 0.4 MT/an.

Port El Marsa :

Le port d'El Marsa est un port en plein construction qui servira d'abri, de base de départ et de replie à une Flottille de pêche de petite taille.

Port de sidi Abderrahmane :

Un abri de pêche qui a été installé en 2011.

I.9.1. Endiguement :

Un système de gabionnage délimite l'arrière des plages ci-dessous afin d'une part de freiner l'action de la houle en période de tempête, et d'autre part d'arrêter les coulées de solifluxion (terrains argileux) ceci concernant les plages suivantes : plage dattier Oued Zeboudj, Kef Kalla, Oued Melh, plage Guitone.

I.10. Identification des zones ayant subi des extractions :

Les sorties effectuées sur le terrain nous ont permis de constater que les zones ayant subi des extractions sont très réduites et ne se limitent qu'aux points suivants :

- l'extraction illicite de sable nous a été signalée par des citoyens au niveau de la plage Marina de la commune de Ténès pour des besoins en construction et la plage Dechria dans la commune de Dahra.

- extraction autorisée auparavant du tout venant de l'Oued Allala qui alimente la plage de Ténès en apports solides, mais interdite aujourd'hui

I.11. L'urbanisation anarchique près de cote :

La construction près de la cote laisse une marque sur la vulnérabilité de la cote qui entraîne une surexploitation des réserves côtier (sable, eau, ...), et il constitue un obstacle réfléchissant pour les houles, permet aussi de diminuer le couvert végétale et la dégradation des dunes, le surpeuplement de la zone et l'implantation des usine provoque par les rejets liquides et solides en mer la déséquilibre l'écosystème côtier , surtout que la grande partie de littoral du Chlef sont des zone rocheuses Ya une minorité des plages.

I.12. La fréquentation touristique

La wilaya de Chlef possède un potentiel touristique important localisé sur la bande côtière, cette région recèle des ressources naturelles exceptionnelles.

La côte de la wilaya de Chlef exerce un attrait certain sur les estivants des wilayas de l'intérieur, dépourvues, elles, de potentialités. Certains sites Chélifiens méritent d'être mis en valeur.

Cette région est pourvue d'une côte de 130 km de longueur et des plages d'une longueur totale de 20 km ce qui représente une capacité d'accueil de 52.000 baigneurs. Cependant ces

potentialités touristiques sont insuffisamment exploitées comme l'atteste la faiblesse des équipements touristiques.

Ce potentiel qui provoque une vulnérabilité importante de notre zone côtière.

I.13.Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a examiné en détail les notions de géomorphologie ainsi la géologie et l'activité sismique dans notre zone d'étude mais aussi le climat des houles et des vents sur le littoral de Chlef afin de faciliter L'étude de vulnérabilité de notre littoral.

La région littorale de Chlef est une zone où la tectonique est très forte. L'aléas sismique est très présent (Ténès, Dahra (1922) tant sur les lieux que dans les environs à cause de sa géologie datant du plissement Alpin, relativement jeune. Orléanville 1954, Chlef 1980 La nature géologique des formations du site favorise les glissements et les éboulements sur les zones instables.

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Le littoral est un système complexe, fragile et en constante évolution. C'est le point de contact entre la terre et la mer (HZAMI,2015). En outre, le littoral subit des changements temporels et spatiaux (érosion ou accrétion) en raison de facteurs naturels et de contraintes humaines, comme les houles/vagues, les vents, les ondes de tempête, les habitations humaines, les routes, les ports, etc.

Ces dernières années, les changements de position du trait de côte sont devenus l'un des principaux problèmes environnementaux affectant les zones côtières dans le monde. En outre, l'extraction du trait de côte et la détection du taux de changement au fil des ans constituent une étape essentielle pour le développement durable de la zone côtière (Rasuly et al. 2010). En effet, les études menées au cours des dernières décennies dans différentes régions du monde indiquent que le recul des côtes sableuses est un phénomène de plus en plus alarmant (Amaro et al. 2015 ; Mahapatra et al. 2014 ; Pranziniet al. 2015 ; Harley et al. 2017 ; Ndour et al. 2018 ; Smith et Barnard 2020).

L'objectif principal de ce chapitre est de fournir un suivi spatio-temporel de l'évolution du trait de côte du littoral de Chlef entre 2004 et 2024, réalisé selon une méthode d'analyse diachronique. Après ce suivi un scénario tendanciel prévisionnel est établi pour l'horizon 2044.

II.1. Méthodologie :

Pour digitaliser les traits de côtes de différentes années du littoral de Chlef, nous avons utilisé Google Earth Pro pour accéder à des cartes datées. De plus, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour digitaliser les différents traits de côte, qui ont été associés à l'extension DSAS (un système digital de l'analyse du trait de côte) pour quantifier leur évolution. Avec cette combinaison d'outils, nous avons pu examiner de manière approfondie l'évolution de la côte (zone d'érosion et accumulation ou stable) et ses effets sur notre zone d'étude.

1/ On a commencé tout d'abord par le géoréférencement de ces images par le logiciel ArcGIS 10.4 pour assurer leur positionnement géographique précis.

2/Entre 2004 et 2024, les traits de côte du littoral de Chlef seront digitalisés.

3/La variation spatiotemporelle de la ligne de rivage a été calculée par les intervalles de transects de 20 m sur les 129 km le long du littoral. 4961 transects ont été générés par DSAS et orienté perpendiculairement à la ligne de base.

4/Lancement des calculs des paramètres statistiques des vitesses d'érosion (EPR), des taux d'évolution (LRR) et aussi les distances entre la ligne de rivage la plus ancienne (2004) et la plus récente (2024) (NSM) à partir des traits de côtes

II.2. Aperçus généraux sur les outils numériques :

II.2.1. Google earth pro :

Bien qu'il ne soit pas un SIG "vrai", il permet la visualisation. Création, évaluation et superposition de données géospatiales. Pour les apprenants qui veulent en savoir plus sur les SIG et qui veulent commencer avec des processus et des outils de base, cette ressource conviviale est souvent un intermédiaire utile. De plus, Google Earth Pro peut être utilisé pour la localisation, le téléchargement de données géospatiales dans le format de fichier natif interopérable (KML) et la visualisation d'images satellite à très haute résolution.

II.2.2. Arc Gis :

Est un logiciel avec de nombreuses possibilités de manipulation, de gestion, d'analyse et d'édition de données spatiales. ArcGIS for Desktop propose des applications SIG professionnelles complètes qui prennent en charge une variété de tâches SIG, telles que la cartographie, la compilation de données, l'analyse, la gestion des données géographiques et des images et le partage d'informations géographiques. Le lien spatial, c'est-à-dire l'appartenance au même espace géographique et au même système de coordonnées, est le seul lien qui relie ces différentes couches. Trois applications principales ArcCatalog, ArcMap et ArcToolbox font partie du logiciel Arc GIS 10.4.

- **ArcCatalog**: C'est un explorateur de données tabulaires et cartographiques qui propose des outils de gestion et d'organisation similaires à ceux des systèmes d'exploitation tels que WINDOWS ou DOS, avec des fonctionnalités telles que copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc. En plus, il offre la possibilité de visualiser les données tabulaires et les couches géographiques tout en permettant leur exploration.
- **ArcMap** : L'application principale du logiciel ArcGIS est centré autour d'une boîte à outils comprenant des modules indépendants, appelés extensions. Ces extensions facilitent la gestion, la manipulation, l'analyse et l'édition des diverses couches d'informations présentes dans la base de données.
- **ArcToolbox** : C'est une boîte à outils qui facilite les conversions, les transferts de format, ainsi que les projections de données (ASBAI, 2013 in NADIR M., 2016).

II.2.3. Le DSAS (Digital Shoreline Analysis System) :

L'outil DSAS, basé sur les SIG, est développé par United States Geological Survey (USGS), c'est une extension conçue pour le logiciel ArcGIS (Thieler et al., 2009) et elle est disponible gratuitement. Elle permet de calculer des statistiques du taux de changement à travers plusieurs positions historiques du littoral :

- NSM indique la distance entre les traits de côte les plus anciens et les plus récents pour chaque transect.
- EPR, un taux calculé en divisant la distance du changement de trait de côte par le temps s'écoulant entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent
- LRR est la pente de la ligne de régression positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distances entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés.

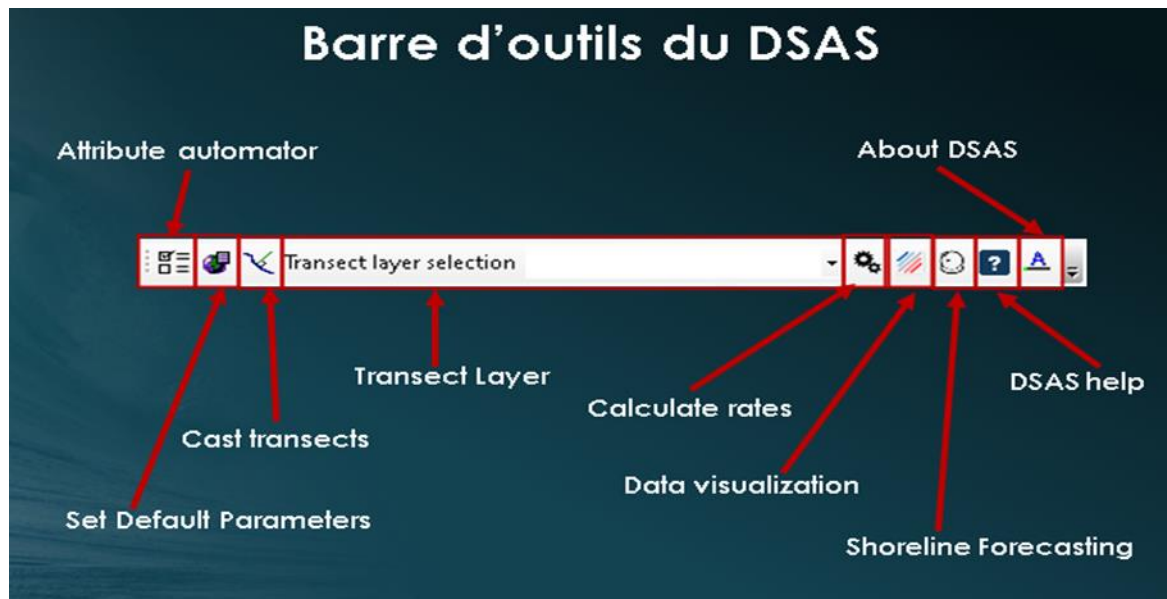


Figure 12: barre d'outils du DSAS

L'utilisation de l'extension DSAS nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géo-data base personnelle dans ArcCatalog et la numérisation d'une ligne de base imaginaire à partir de laquelle DSAS crée des transects qui viendront couper les différents traits de côtes.

En sortie, l'extension DSAS fournit 2 fichiers l'un contient les caractéristiques des points d'intersection « Transects intersect » et l'autre contient les statistiques d'évolution « Transects rate » (EPR, NSM et LRR).

II.3. Analyse diachronique de la cinématique de la ligne de rivage :

L'analyse des données a permis de définir la cinématique du trait de côte de l'ensemble du littoral de Chlef avec une marge d'erreur estimée par +/- 10 m liée principalement à la résolution des images google earth utilisé dans ce traitement et aussi à la digitalisation.

On a projeté les résultats statistiques des indicateurs EPR, NSM et LRR pour créer des cartes d'évolution représentatives de cette tendance selon les périodes suivantes afin de bien comprendre la dynamique de ces différents rivages selon l'échelle spatiotemporelle.

Pour une analyse diachronique complète, la zone d'étude est segmentée en 6 cellules :

- A l'ouest la première cellule qui se localise entre Oued Aborri à Oued el Guelta englobe de 1 à 583 transects.
- La deuxième cellule qui se localise entre Oued el Guelta à Oued Messout englobe de 584 à 961 transects.
- La cellule 3 se localise entre Oued Messout à Oued Taghzout englobe de 962 à 1569 transects.
- Au centre la quatrième cellule s'étend d'oued Taghzout à Oued Allala ; il couvre les transects allant de 1570 à 3021.

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

- A l'est la cinquième cellule se localise entre l'Oued Allala à Oued Boucheghal couvre des transects de 3022 à 3744.
- La sixième cellule se localise entre Oued Boucheghal à Oued Damous englobe de 3745 à 4961 transects

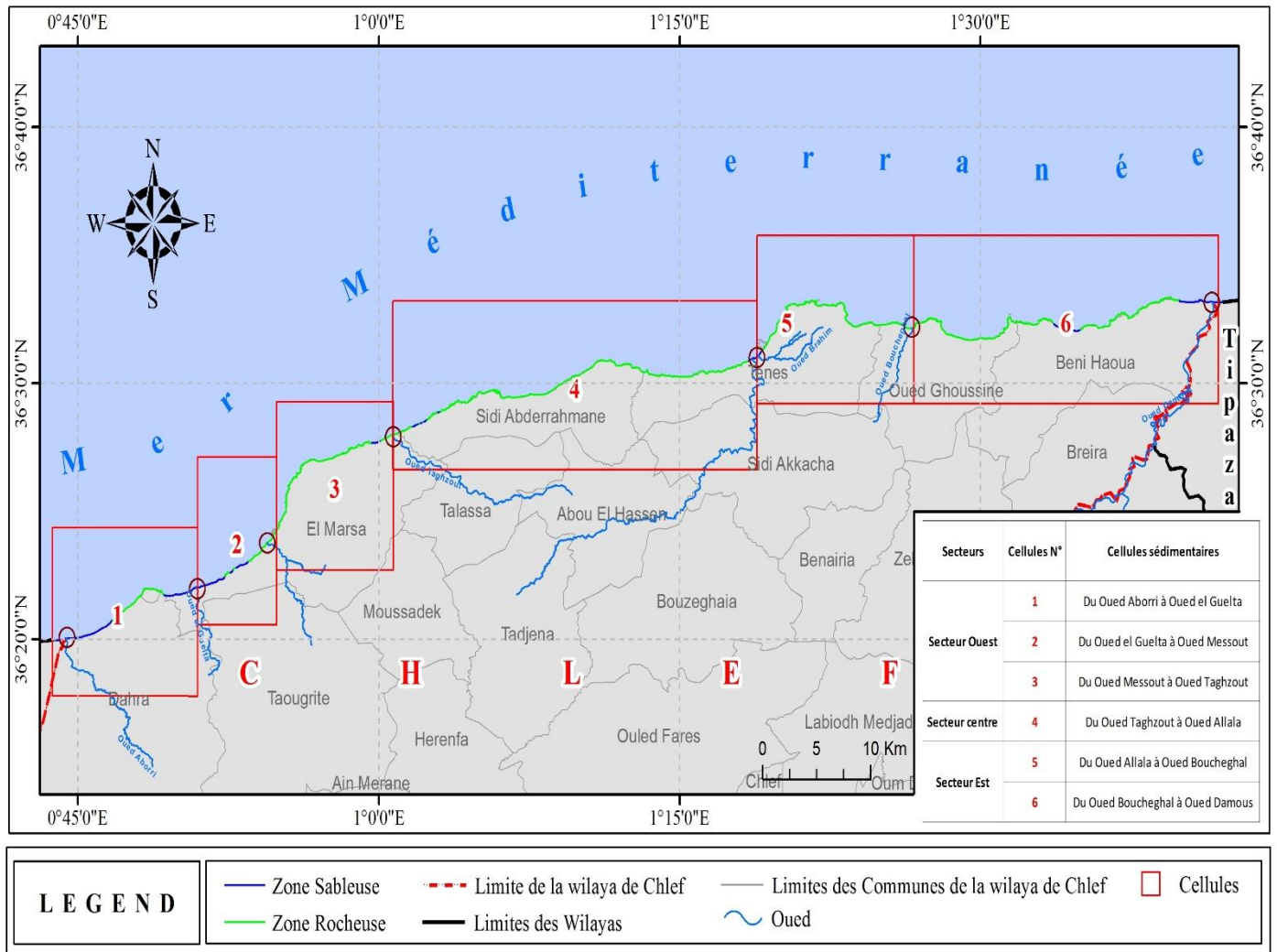


Figure 13: Carte qui montre les différentes cellules étudiées dans évolution spatiotemporelle du trait de cote

II.3.1. Evolution totale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2024 :

Les résultats de l'analyse de l'évolution globale des changements de la position du rivage de littoral de Chlef sur une période mi séculaire (2004-2024) sont étudiés à partir des résultats des deux paramètres : Net shoreline movement (NSM) et End point rate (EPR), ces résultats montrent une position du rivage qui varie entre phase de recul et d'autre en pro gradation selon les secteurs, les secteurs stables sont observés majoritairement au niveau des falaises rocheuses.

Dans la partie est de littoral, des accumulations ont été constaté de la zone côtière De l'Oued Aborri à Oued el Guelta et celui de l'Oued Messout à Oued Taghzout avec une un taux moyen d'accumulation est de +0,05 et +0,52 m/an

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Ce qui indique une évolution positive qui peuvent être dues aux flux sédimentaires engendré par les 2 principaux oueds. Par ailleurs, une érosion est également constatée au niveau de la zone côtière entre Oued el Guelta à Oued Messout avec taux de $-0,23\text{m/an}$.

Dans la zone centrale, le taux de l'érosion côtière est de $-0,34\text{ m/an}$ les plage située dans cette partie centrale, allant de la plage Taghzout à l'oued Allala ont subi des niveaux d'érosion plus ou moins importants.

Dans la partie ouest, la plage Boucheghal a oued Allala ont connu une érosion de $-0,37\text{m/an}$ et les plages de boucheghal jusqu'à les plages de damous ont subi une accumulation de $+0,20\text{m/an}$ engendré par le flux sédimentaire d'oued boucheghal.

II.3.2. Evolution du trait de côte de littoral de Chlef entre 2004 et 2024 :

Table 2: Evolution du trait de côte de littoral de Chlef entre 2004 et 2024

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des transects N°		Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Ouest	1	De l'Oued Aborri à Oued el Guelta	1	583	-49,6	-2,5	0,52
			583		46,8	2,3	
	2	De l'Oued el Guelta à Oued Messout	584	378	-222,3	-11,1	-0,23
			961		27,2	1,4	
	3	De l'Oued Messout à Oued Taghzout	962	608	-56,6	-2,8	0,05
			1569		123,9	6,2	
Secteur centre	4	De l'Oued Taghzout à Oued Allala	1570	1452	-110,2	-5,5	-0,34
			3021		200,0	10,0	
Secteur Est	5	De l'Oued Allala à Oued Boucheghal	3022	723	-152,4	-7,6	-0,37
			3744		258,7	12,9	
	6	De l'Oued Boucheghal à Oued Damous	3745	1217	-209,6	-10,5	0,20
			4961		253,5	12,7	
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							-0,03

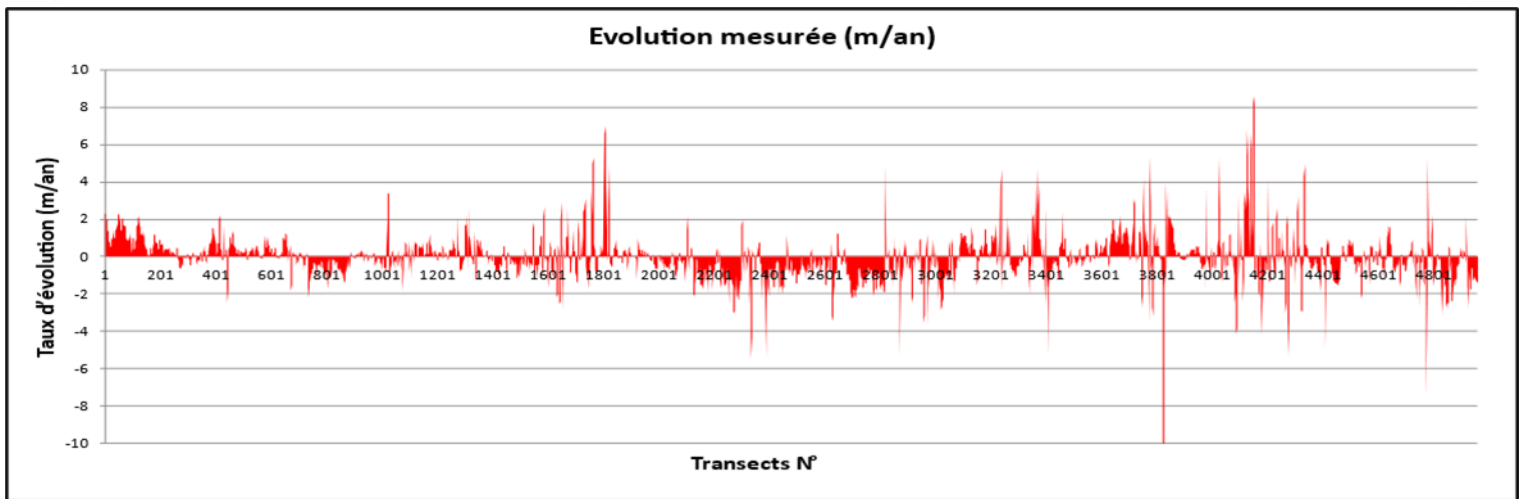
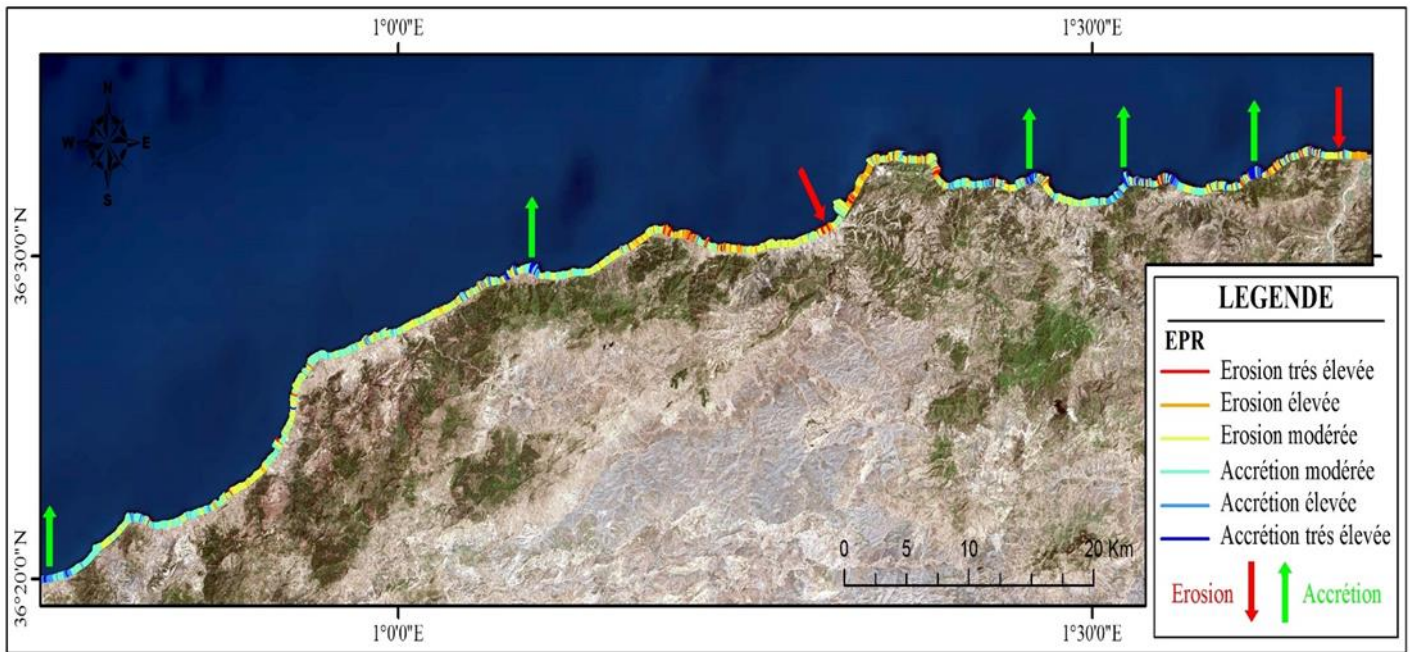


Figure 14: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2004-2024) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)

II.3.2. Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2008 :

Durant cette période l'évolution de la ligne du rivage du littoral de Chlef affiche une position de recul/avancée le long du littoral avec un EPR moyen de -0.61(érosion modéré) m/an.

Le rivage du secteur ouest (du transect 1 à 1569) marque un recul avec des taux d'EPR qui varient respectivement de -1.09 m/an et -2.69 m/an et un avancé dans la zone côtière de l'Oued Aborri à Oued el Guelta avec un EPR de 0.25 m/an , cependant les transects du secteur Est (du transect 3022 à 4961) ont enregistré un recul dans la zone de l'Oued Allala à Oued Boucheghal de -0,54 et une avancée du trait de côte dans les zone de De l'Oued Boucheghal à Oued Damous avec des taux d'EPR de 0.05 m/an.

Les plages du secteur centre (du transect 1570 à 3021) sont en état d'avancé avec des vitesses de 0.35 m/an. (Accrétion modérée).

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Table 3: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2004 et 2008

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des transects N°		Letaux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Ouest	1	De l'Oued Aborri à Oued el Guelta	1	583	-39,6	-9,9	0,25
			583		36,0	9,0	
	2	De l'Oued el Guelta à Oued Messout	584	378	-	-	-1,09
			961		238,4	59,4	
	3	De l'Oued Messout à Oued Taghzout	962	608	-	-	-2,69
			1569		130,6	32,5	
Secteur centre	4	De l'Oued Taghzout à Oued Allala	1570	1452	-96,0	-	0,35
			3021		23,9	190,2	
Secteur Est	5	De l'Oued Allala à Oued Boucheghal	3022	723	-77,6	-	-0,54
			3744		19,3	67,9	
	6	De l'Oued Boucheghal à Oued Damous	3745	1217	-	-	0,05
			4961		168,1	41,9	
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							-0,61

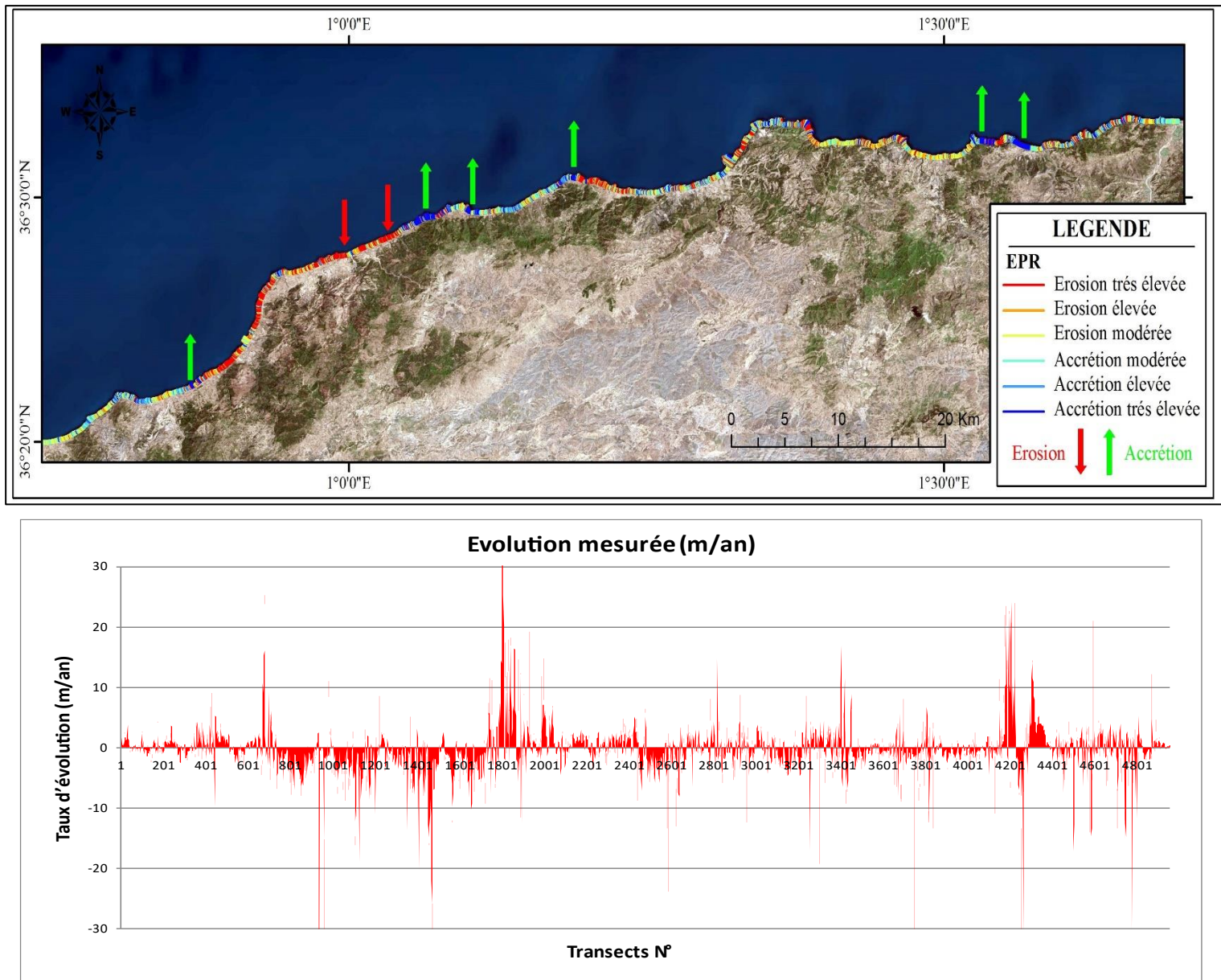


Figure 15: Évolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2004-2008) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)

II.3.3. Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2008 et 2014 :

Selon les résultats obtenus pendant cette période, il ressort que la côte a connu un état d'avancée tout au long de l'étude avec un EPR moyen de 0,47m/an (accrétion modérée).

Dans le secteur ouest (transect 1 à 1569) marque un important recul avec une moyenne d'EPR qui est égale à 1m/an.

La cote de secteur centre est délimitée par l'Oued Taghzout à Oued Allala (transect 1570 à 3021) enregistre une érosion modérée avec une valeur d'EPR de -0,25m/an concernant le secteur Est entre l'Oued Allala à Oued Damous (transect 3022 à 4961), il Ya une accrétion modérée de 0.14 m/an peut être justifier par les apports de principal oued Boucheghal et oued Damous.

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Table 4: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2008 et 2014

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des transects N°		Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Ouest	1	De l'Oued Aborri à Oued el Guelta	1 583	583	-39,7 41,1	-6,6 6,9	0,72
	2	De l'Oued el Guelta à Oued Messout	584 961	378	-84,9 251,5	-14,2 42,0	0,02
	3	De l'Oued Messout à Oued Taghzout	962 1569	608	-32,8 142,5	-5,5 23,8	2,05
Secteur centre	4	De l'Oued Taghzout à Oued Allala	1570 3021	1452	- 196,8 205,4	-32,9 34,3	-0,25
Secteur Est	5	De l'Oued Allala à Oued Boucheghal	3022 3744	723	- 173,3 240,5	-28,9 40,2	-0,31
	6	De l'Oued Boucheghal à Oued Damous	3745 4961	1217	- 139,1 268,0	-23,2 44,8	0,59
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							0,47

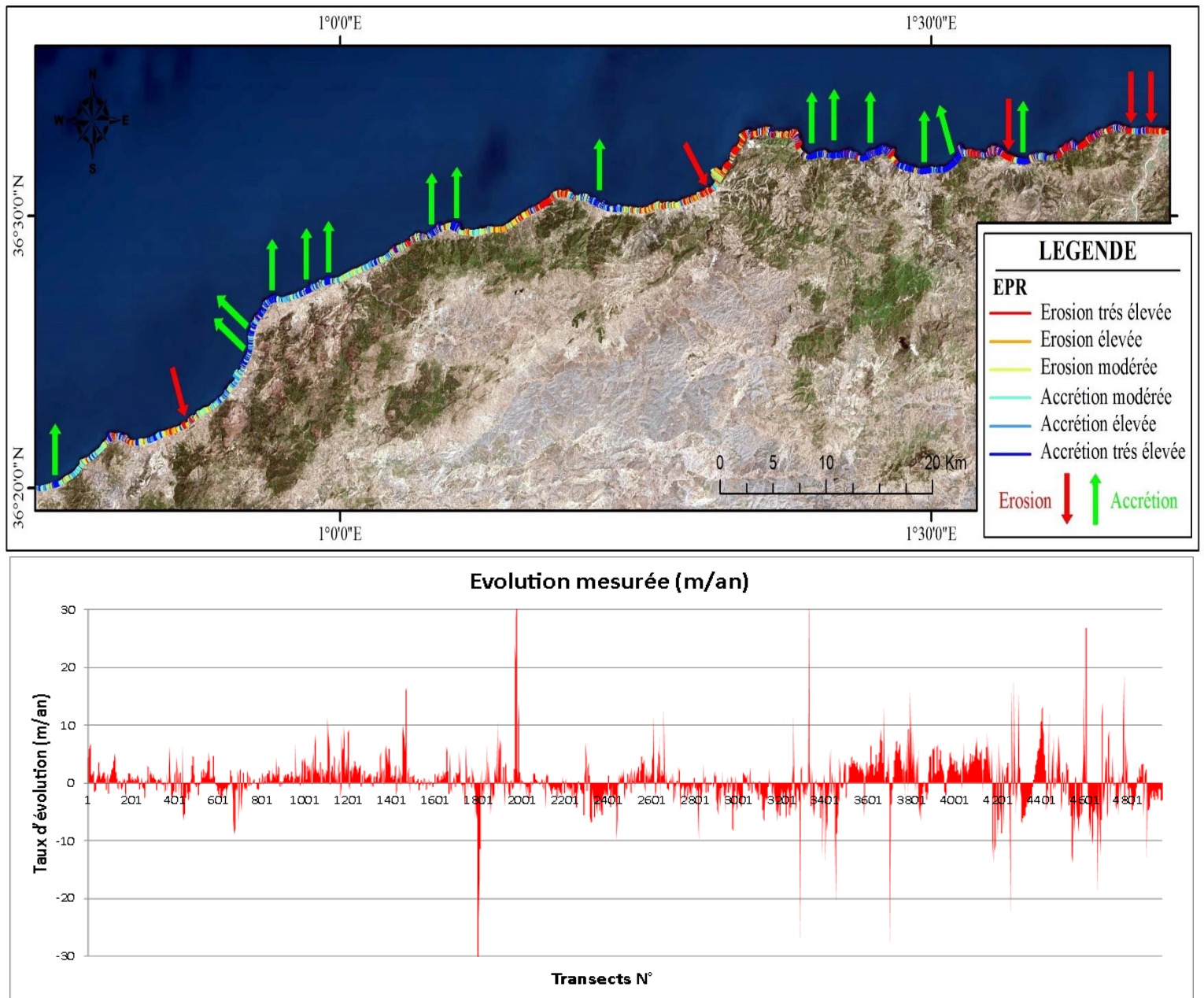


Figure 16: Évolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2008-2014) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)

II.3.4. Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2014 et 2018 :

Le trait de cote connaît une position recul avancée tout au long de la zone d'étude avec une vitesse de recul moyenne de l'ordre de 0.67m/an (accrétion modérée).

Le rivage du secteur ouest (transect 1 à 1569) marque un important recul avec une moyenne DEPR de 0.62m/an. Le niveau d'érosion se trouve au niveau du transect 962 avec un recul égal a -0,53m/an. La cote du secteur centre est délimitée par l'Oued Taghzout à Oued Allala (transect 1570 à 3021), enregistre une érosion avec une valeur d'EPR de -0,70 m/an.

Concernant le secteur Est entre l'Oued Allala a oued Damous (transect 3022 à 4961), il y a une accrétion plus au moins élevée de 1.90m/an et 0.95m/an qui peut être justifier par les apports d'oued Damous et oued Bouchehal.

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Table 5: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2014 et 2018

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des transects N°		Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Ouest	1	De l'Oued Aborri à Oued el Guelta	1 583	583	-48,5 39,2	-12,1 9,8	1,23
	2	De l'Oued el Guelta à Oued Messout	584 961	378	-241,2 40,3	-60,0 10,0	1,17
	3	De l'Oued Messout à Oued Taghzout	962 1569	608	-130,9 59,9	-32,6 14,9	-0,53
Secteur centre	4	De l'Oued Taghzout à Oued Allala	1570 3021	1452	-142,3 84,4	-35,4 21,0	-0,70
Secteur Est	5	De l'Oued Allala à Oued Boucheghal	3022 3744	723	-234,2 284,7	-58,3 70,8	1,90
	6	De l'Oued Boucheghal à Oued Damous	3745 4961	1217	-147,9 104,6	-36,8 26,0	0,95
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							0,67

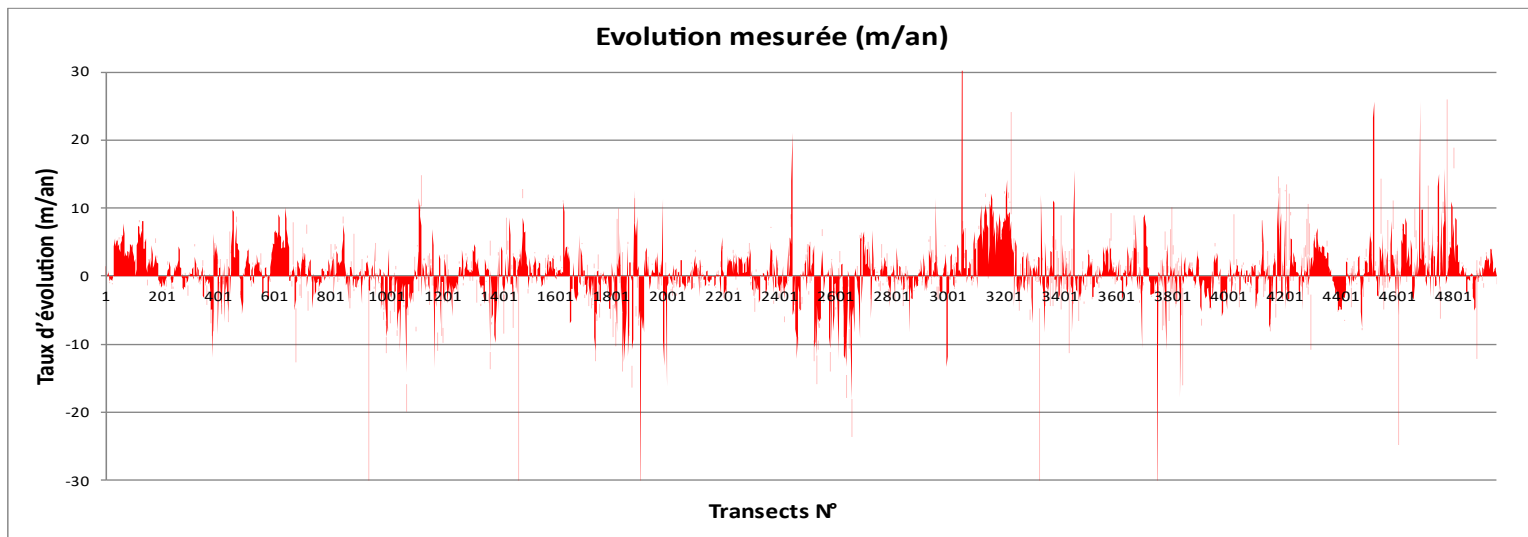
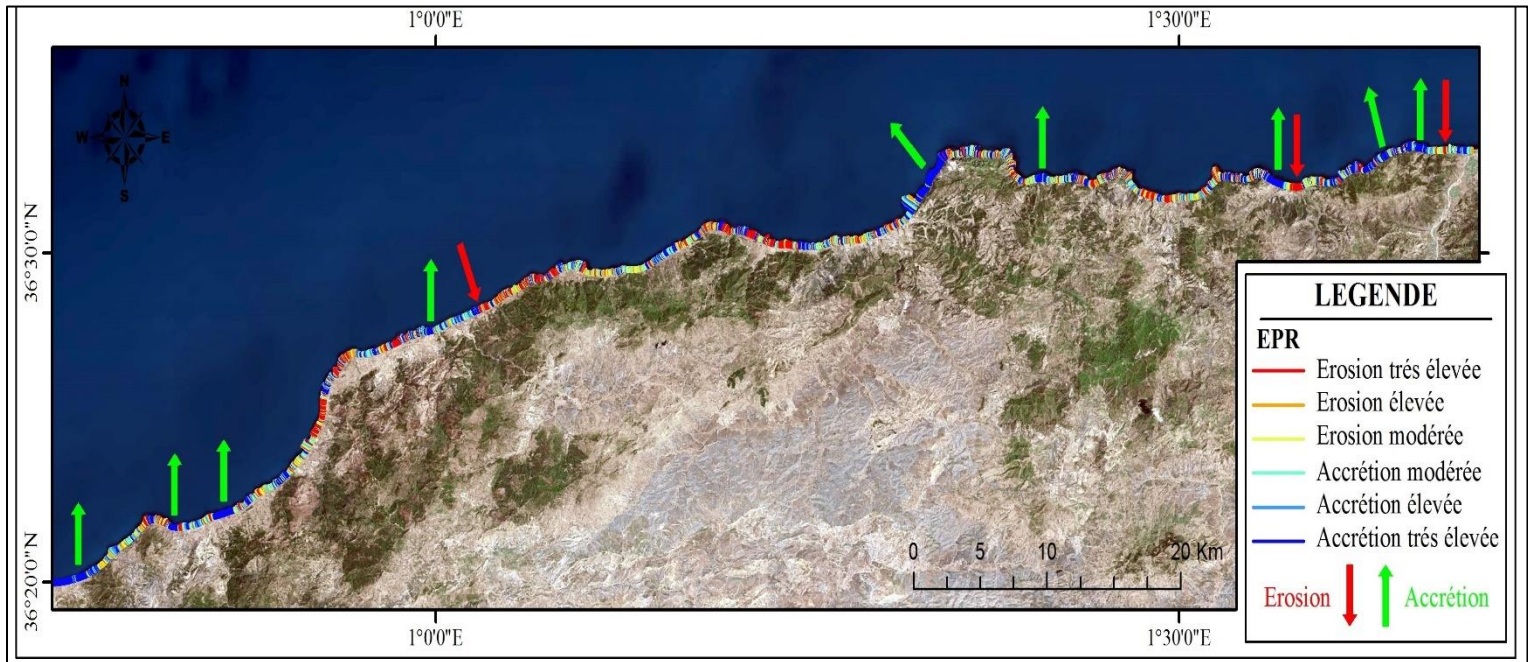


Figure 17: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2014-2018) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)

II.3.5. Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2018 et 2024 :

Durant cette période notre zone d'étude a subi une érosion plus ou moins importante le long de son rivage avec une vitesse de recul moyenne de -0.61 m/an.

Le secteur Ouest (transect 3 à 1569) marque une érosion avec un taux d'EPR de -0.86 m/an. Cependant les régions près d'oued Messout à Oued Taghzout et Oued Aborri à Oued el Guelta enregistre une avancée du trait de côte de taux d'EPR respectivement varie entre 0,03m/an et 0.28m/an. Cette avancée est expliquée par la présence des digues du port qui favorisent l'accumulation en aval.

Le secteur centre (transect 1570 à 3021) est marqué par une phase d'érosion avec un EPR de -0,65m/an.

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

Le secteur Est (du transect 3022 à 4961), les plages de ce secteur ont connu une forte érosion avec une vitesse moyenne de -1.88 m/an aussi pour la région de Oued Boucheghal à Oued Damous qui enregistre une érosion modérée avec un EPR de -0,59m/an). Les forçages hydrodynamiques frontales que subit notre zone d'étude avec des houles leur rendre très vulnérable ce qui traduit par une érosion importante sur la majorité des plages de la baie avec un taux maximal de recul.

Table 6: Evolution quadriennale de la ligne de rivage de littoral de Chlef entre 2018 et 2024

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des transects N°		Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Ouest	1	De l'Oued Aborri à Oued el Guelta	1 583	583	-23,5 40,6	-3,9 6,8	0,03
	2	De l'Oued el Guelta à Oued Messout	584 961	378	-45,8 30,4	-7,7 5,1	-0,86
	3	De l'Oued Messout à Oued Taghzout	962 1569	608	-62,5 122,0	-10,5 20,4	0,28
Secteur centre	4	De l'Oued Taghzout à Oued Allala	1570 3021	1452	-94,9 115,0	-15,9 19,2	-0,65
Secteur Est	5	De l'Oued Allala à Oued Boucheghal	3022 3744	723	- 176,3 235,3	-29,5 39,3	-1,88
	6	De l'Oued Boucheghal à Oued Damous	3745 4961	1217	- 108,6 184,3	-18,2 30,8	-0,59
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							-0,61

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

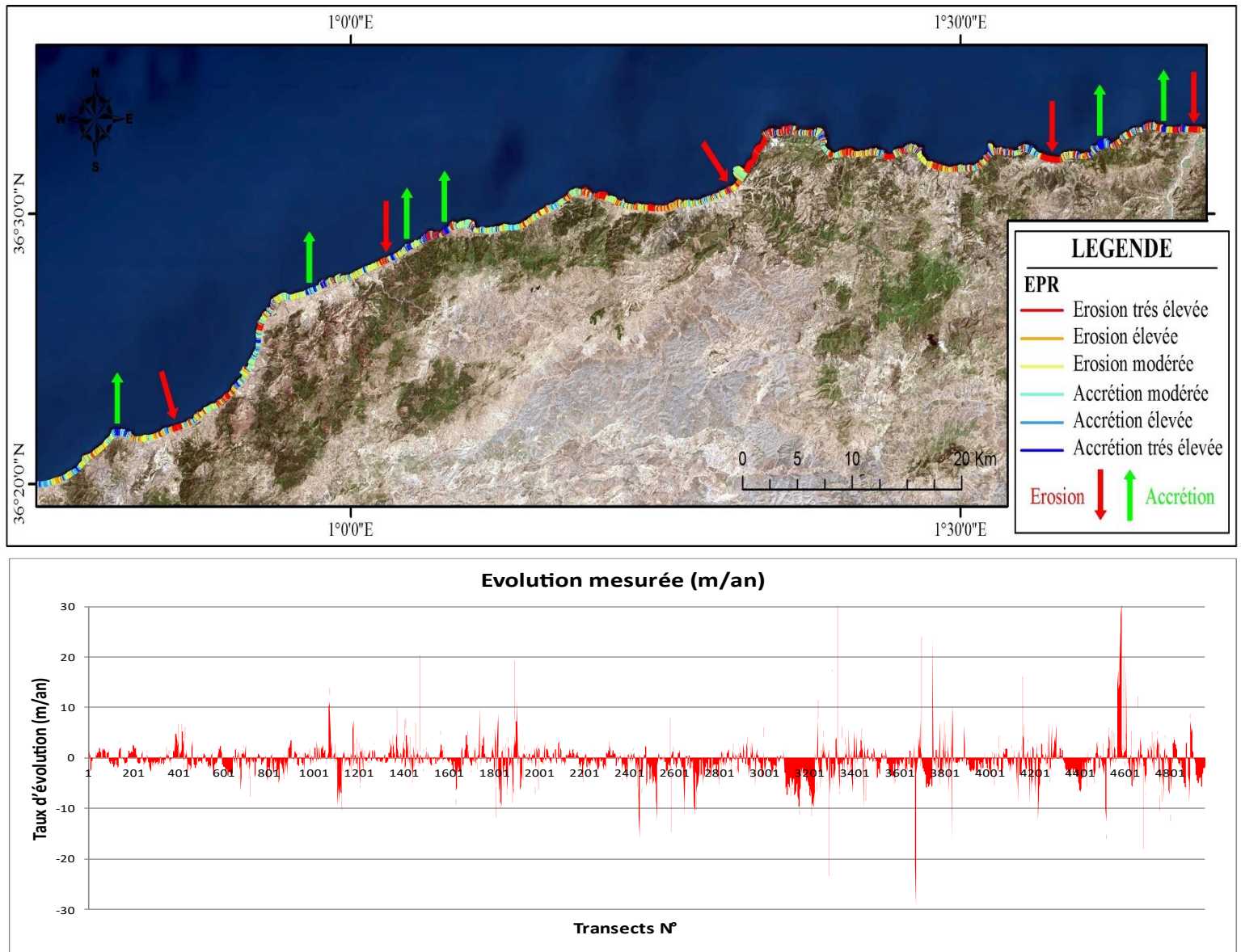
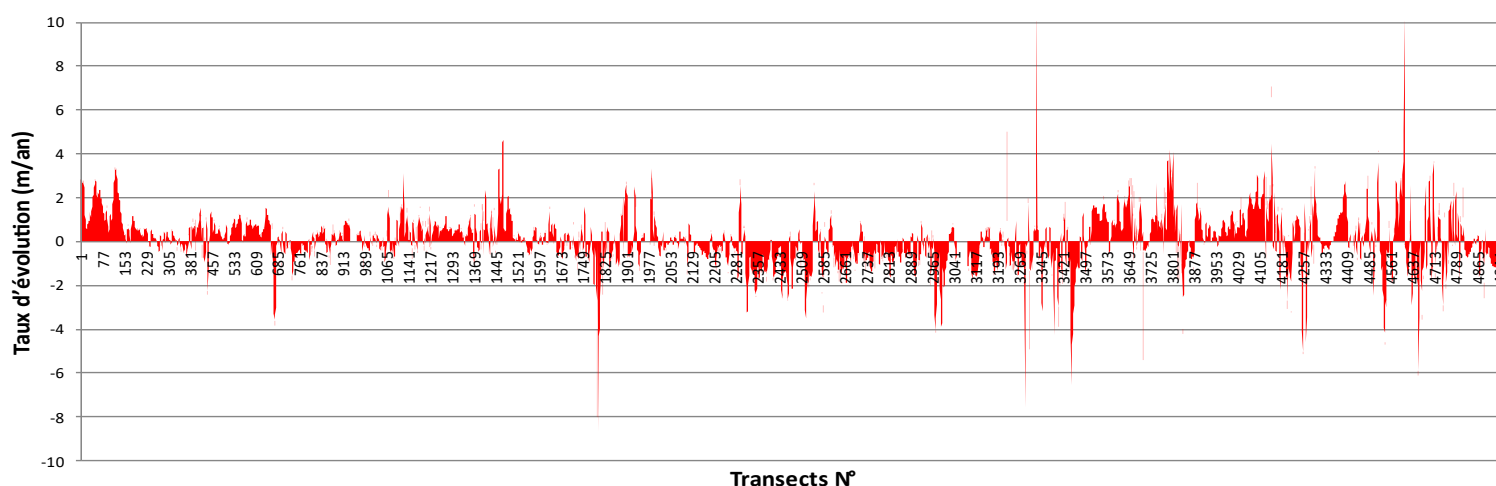


Figure 18: Évolution spatiotemporelle du trait de côte de littoral de Chlef (2018-2024) : carte de répartition (haut) et histogramme du taux d'évolution par transect (bas)

II.3.6. Evolution prévisionnelle à l'horizon 2044 :

Secteurs	Cellules N°	Cellules sédimentaires	Nombres des		Le taux moyen d'évolution		Moyenne (EPR)
			Numéro	Nombre	NSM	EPR	
Secteur Est	1	Du Oued Aborri à Oued el Guelta	1	583	-48,9	-2,4	0,68
			583		68,1	3,4	
	2	Du Oued el Guelta à Oued Messout	584	378	-76,9	-3,8	0,04
			961		31,1	1,6	
	3	Du Oued Messout à Oued Taghzout	962	608	-24,5	-1,2	0,46
			1569		93,0	4,7	
Secteur centre	4	Du Oued Taghzout à Oued Allala	1570	1452	-172,8	-8,6	-0,46
			3021		66,5	3,3	
Secteur Ouest	5	Du Oued Allala à Oued Boucheghal	3022	723	-152,0	-7,6	-0,06
			3744		245,9	12,3	
	6	Du Oued Boucheghal à Oued Damous	3745	1217	-122,5	-6,1	0,28
			4961		205,0	10,2	
La moyenne totale de l'évolution (EPR)							0,16

Evolution mesurée (m/an)



Histogramme du taux d'évolution par transect du trait de côte de littoral de Chlef (2024-2044)

Le trait de côte à échéance 2044 est défini comme étant la limite maximale en amont ou des instabilités peuvent se reproduire. La position future du trait de côte peut être prédite à partir des modèles mathématiques non linéaires basés sur la fonction temps, taux d'érosion et d'accumulation ou l'élévation du niveau

De la mer. Parmi ces derniers, les modèles du taux du point extrême (EPR) et celui de la régression linéaire (LRR) restent les plus utilisés.

Dans le cas de cette étude la position future du trait de côte pour l'horizon 2044 a été calculée à l'aide de l'extension DSAS qui suit tenant compte le taux de changement du trait de côte (EPR).

Chapitre II : Evolution spatio-temporelle du trait de côte de littoral de Chlef

A l'horizon de 2044, Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un avancé moyen d'EPR d'environ 0.16 m/an sur la quasi-totalité de la ligne du rivage. Dans la partie centrale de cette portion côtière les résultats obtenus affichent des zones en érosion avec des taux de progradation de -0.46 m/an, ainsi dans la partie ouest avec un taux d'EPR de -0.06m/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 centre et Ouest de littoral sont dues principalement aux effets répétés de changement climatique due à l'élévation de la température 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 requises pour l'essor urbain dans le futur proche.

II.4. Conclusion :

La détermination de l'évolution spatiotemporelle du trait de cote a l'échelle locale est basée sur l'utilisation des images satellitaires. Les données ont été projetées dans le système de projection UTM/WGS84 zone 31 Nord. La numérisation des lignes de rivages a été effectuée et les lignes obtenues ont été introduites dans une base d'informations géographiques afin d'être analysées.

L'analyse spatio-temporelle de l'évolution du trait de cote de littoral de Chlef entre 2004 et 2024 a montré une situation d'avancé du trait de côte, particulièrement dans la partie centre et une partie de Ouest. Cette variation a été mesurée par trois approches (EPR, LRR, NSM).

Chapitre III : Modélisation numérique

III.1. Introduction :

La modélisation numérique marine est cruciale pour la simulation et la prévision des phénomènes maritimes. Divers logiciels développés par des institutions académiques et des entreprises privées sont disponibles. (J. Ahn et al, 2019) ;(A. Symonds et al, 2017) (in TAMAZIRT,2023). En effet, les modèles numériques permettent la prédiction des marées, des courants et des processus côtiers.

Dans notre cas on a choisi le modèle DHI Mike 21 comme outil pour faire les simulations numériques afin d'étudier la propagation des houles, du large vers la cote, pour des scenarios de houles moyennes et extrêmes. Les résultats issus de cette étude seront exploités dans l'évaluation de la vulnérabilité et la submersion marine de cette zone côtière étudiée.

III.2. Présentation du modèle utilisé :

Le MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D d'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans, développée par l'institut hydraulique Danois DHI Water & Environnement. Le produit MIKE 21 est un ensemble modulaire de moteurs de simulation conçu pour répondre à divers besoins applicatifs. Ces moteurs incluent la modélisation de flux de marée, de vagues de tempête, du transport de sédiments, du transport de sable, des perturbations portuaires et des états de mer dans les domaines offshore et onshore. (DHI, 2014). Néanmoins, les simulations nécessitent la création d'une maille (Mesh). Dans ce but, l'outil de génération de mailles (Mesh Generator) du logiciel Mike-Zero a été utilisé.

III.2.1. Mesh Generator :

Le Mesh Generator est un outil fait partie de la suite MIKE Zéro ; offre la possibilité d'importation et visualisation des données bathymétriques puis la création d'un maillage (Mesh) à l'aide du module « MeshGenerator ».

L'outil offre deux options d'interpolation pour les éléments triangulaires, le voisin naturel et l'interpolation linéaire, qui peuvent être utilisées indépendamment du type de maillage. De plus, la fonction d'imbrication de maillages est disponible (c. a d. : créer un maillage avec une augmentation de résolution guidée par l'utilisateur) (DHI, 2014).

III.2.2. Mike 21 ondes spectrales (SW) :

Le modèle numérique SW peut être utilisé pour simuler la propagation des vagues en eaux profondes et peu profondes. Cette simulation inclut la réfraction des vagues, la dissipation par les vagues et/ou la friction du fond, l'interaction non linéaire des vagues et l'interaction vague-courant (DHI 2014). Le module de vagues spectrales est basé sur l'équation de conservation de l'action des vagues (Komenet al. 1994).

III.2.3. MIKE 21 HD :

La modélisation hydrodynamique est utilisée principalement dans le domaine marin, chaque modèle peut être manié seul ou en mode couplé avec un ou plusieurs modèles de transport.

Le module hydrodynamique (HD) de MIKE 21 résout les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement ainsi que de la salinité et de la température en réponse à diverses fonctions de forçage.

III.2.3.1. Équations en eaux peu profondes :

Le modèle est basé sur la résolution des équations tridimensionnelles incompressibles de Reynolds moyennées de Nâvier-Stokes, sous les hypothèses de Boussinesq et de pression hydrostatique. L'équation de continuité locale s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Et les deux équations d'impulsion horizontale pour les composantes x et y, sont respectivement :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \partial Z - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + Fu + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \partial Z - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + Fu + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \partial Z - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + Fv + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Les termes de contrainte horizontale sont décrits à l'aide d'une relation gradient-contrainte, qui est simplifiée en :

$$Fu = \frac{\partial}{\partial x} (2A \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A (\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}))$$

$$Fv = \frac{\partial}{\partial x} (A (\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x})) + \frac{\partial}{\partial y} (2A \frac{\partial v}{\partial y})$$

Est la viscosité horizontale.

Les conditions aux limites de surface et de fond pour u, v et w sont :

A z = η :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

A z = -d :

$$u \frac{\partial d}{\partial t} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

III.2.3.2. Équations de conservation de l'action des vagues :

L'équation fondamentale qui décrit l'action des vagues est l'équation d'équilibre, exprimée en coordonnées cartésiennes ou sphériques.

➤ **Coordonnées cartésiennes :**

L'équation de conservation de l'action des vagues peut s'écrire de la manière suivante en coordonnées cartésiennes horizontales :

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

Table 7: Symboles et leur signification

Symbole	Signification
$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$	Densité d'action des vagues.
T	Le temps
(x, y)	Les coordonnées cartésiennes.
σ	Pulsation.
S	Source pour l'équation de l'équilibre énergétique.
$\vec{v}(\vec{c}_x, \vec{c}_y, \vec{c}_\sigma, \vec{c}_\theta)$	La vitesse de propagation d'un groupe de vagues (dans l'espace de phase à quatre dimensions).
∇	L'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace x, y, σ, θ .

Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont spécifiées par les formules suivantes :

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

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

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

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

Table 8: Symboles et leur signification

Symbole	Signification
S	La coordonnée spatiale dans la direction d'onde θ .
M	Coordonnée perpendiculaire à S.
∇_x	Opérateur bidimensionnel différentiel dans l'espace \vec{x} .

En combinant l'équation de quantité de mouvement horizontale et l'équation de continuité pour la profondeur de l'eau peu profonde ($h=\eta+d$) dans le système de coordonnées cartésiennes, on obtient l'équation suivante :

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial hvu}{\partial y} = fvh - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hS$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = fuh - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yy}) + hv_s S$$

Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies comme suit :

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz$$

$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$$

Les contraintes latérales T_{ij} comprennent le frottement visqueux, l'advection différentielle et le frottement turbulent. Ils sont estimés à l'aide d'une viscosité turbulente sur la base de la formulation des gradients de vitesse moyenne de la profondeur :

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial u}{\partial x'}$$

$$T_{xy} = A \left(\frac{\partial u}{\partial y'} + \frac{\partial v}{\partial x'} \right)$$

$$T_{yy} = 2A \frac{\partial v}{\partial y}$$

Table 9: Symboles et leur signification

Symbole	Signification	Symbole	Signification
T	Temps	A	La viscosité horizontale.
Pa	La pression atmosphérique	G	L'accélération de gravité
x, y et z	L'élévation de la surface	ρw	La densité de l'eau
H	L'élévation de la surface	S_{xx}, S_y, x et S_{yy}	Composantes du tenseur de Rayonnement
D	La profondeur d'eau	vt	Viscosités turbulentes verticale
$h = \eta + d$	La profondeur d'eau totale	ρ_0	La densité de référence de l'eau
u, v et w	La vitesse composante dans les Directions x, y et z	S	Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles
(us, vs)	La vitesse à laquelle l'eau est Rejetée dans l'eau ambiante	$f = 2\Omega \sin\Phi$	Paramètre de Coriolis (Latitude Géographique)
	La barre décrit une valeur Moyenne	Ω	Vitesse angulaire de révolution
(τ_{sx}, τ_{sy})	Les composantes x et y des Contraintes de cisaillement du vent de surface	(τ_{bx}, τ_{by})	Les composantes x et y des Contraintes de cisaillement du vent De fond.
u, v	u, v : Les vitesses des courants à la Profondeur moyenne	T_{ij}	Les contraintes latérales
Θ	Latitude géographique		

III.3. Méthodologie de travail :

III.3.1. Génération de la Mesh :

Afin de pouvoir commencer les simulations, la génération d'une mesh est indispensable.

La création de la Mesh avec le module « Mesh Generator » nécessite :

- La détermination du système de projection adapté à la zone d'étude, dans notre cas c'est le « WGS 84 UTM ZONE 31 ».
- Les limites terrestres (trait de côte) et la bathymétrie de la zone d'étude préalablement enregistré dans un fichiers. Xyz.

Cette plateforme nous facilite le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images satellitaires peuvent être importées et

superposées aux données bathymétriques pour une meilleure présentation à condition qu'elles soient géo référencées à l'aide de l'extension « Image Rectifier ». Plusieurs méthodes ont été destinées pour l'interpolation des valeurs de la bathymétrie (Krigging, Natural Neighbourhood...etc.).

Dès que la bathymétrie est prête, on peut utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie sous différents formats.

Un maillage imbriqué permet d'avoir des résultats de bonne résolution dans nos zones d'intérêt d'une part, d'autre part, il permet d'optimiser les coups de calcul.

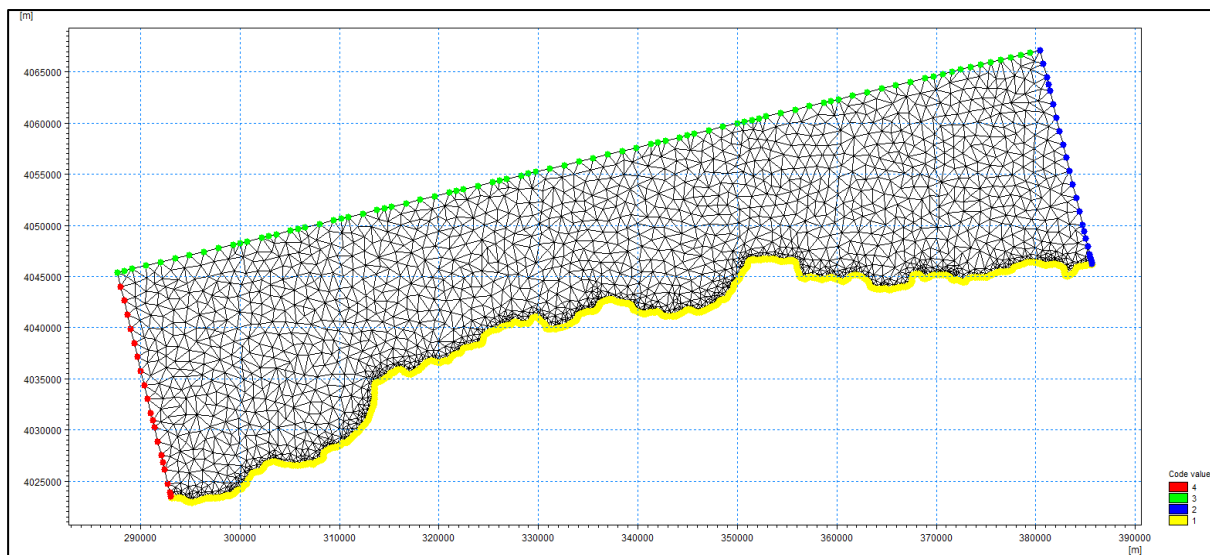


Figure 19: Emprise du maillage

Remarque : Dans notre étude nous avons utilisé deux grilles dont la résolution du maillage est la même ; mais dont l'orientation des bouderies (limites) diffère. Ceci a été fait dans le but d'éviter les instabilités du modèle induits aux limites et causées par l'angle d'incidence de la houle aux limites.

III.3.2. Etude bathymétrique :

La carte bathymétrique constitue un document de base essentiel pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine ; et surtout pour toute étude hydrodynamique.

Pour effectuer cette carte bathymétrique on a fait une interpolation linéaire d'après la carte marine obtenue par INCT.

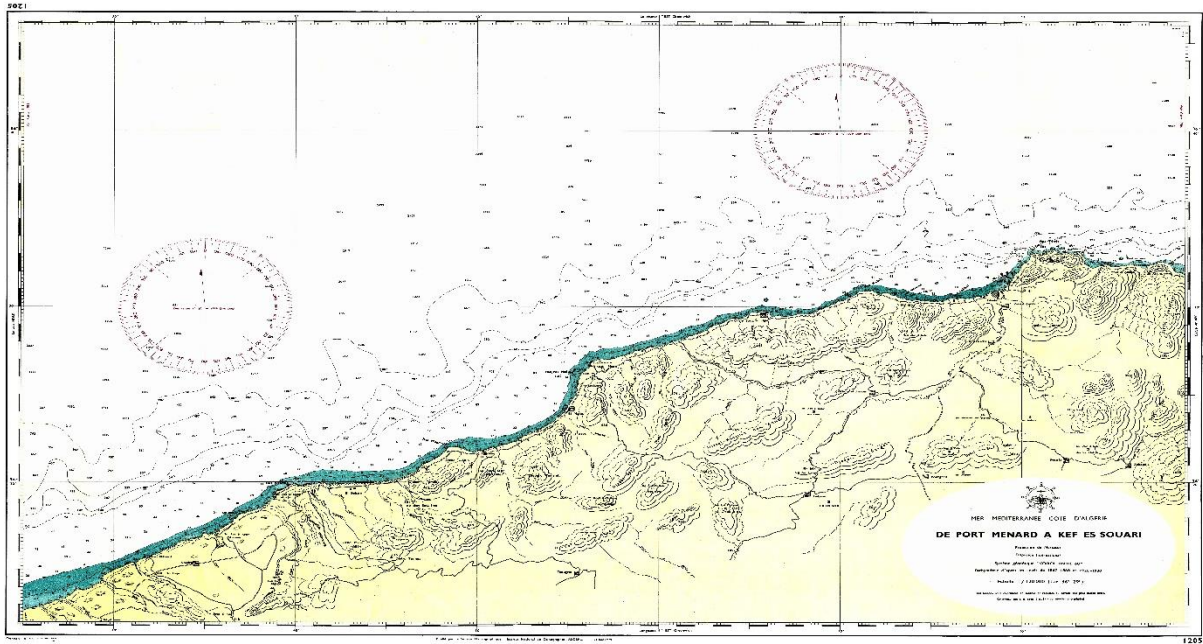


Figure 20 : la carte marine (INCT)

L'analyse de la carte bathymétrique du littoral de Chlef montre des isobathes de forme irrégulière cela est due généralement à morphologie complexe des fonds et la réduction de la largeur du plateau. Elles sont très serrées entre -1 et -50 m, ce qui indiquerait une pente abrupte. Au large de Chlef, la bathymétrie présente des isobathes espacées au-delà du plateau continental dont la rupture se situe au rapprochement des courbes des 100 m et 500 m de profondeur qui se traduit par une pente douce.

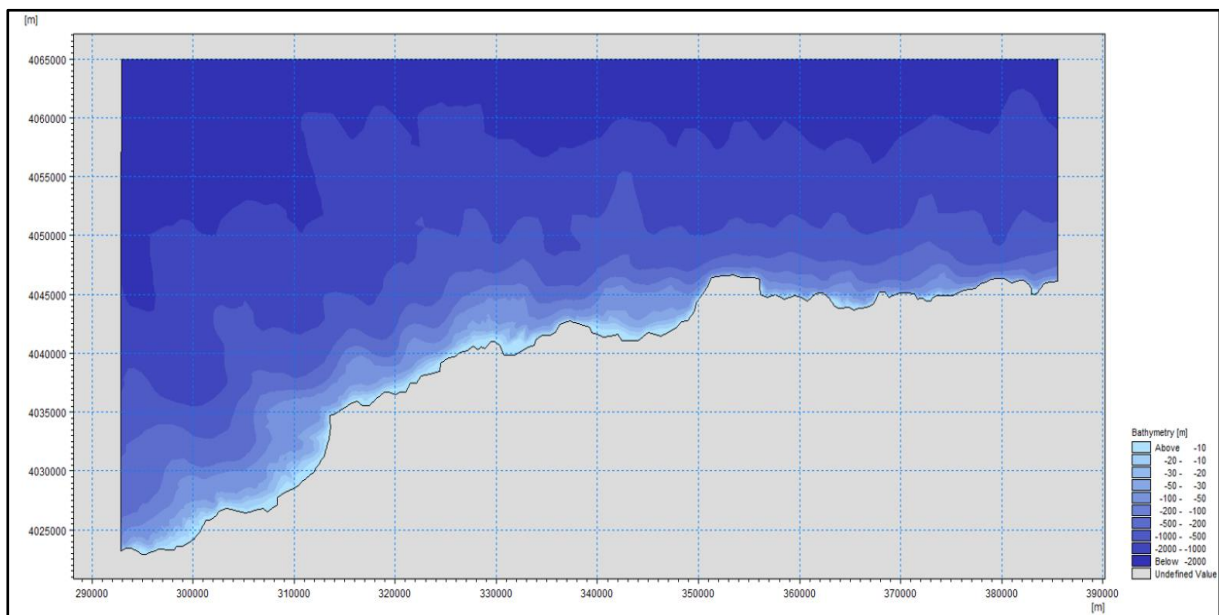


Figure 21: La carte bathymétrique du littoral de Chlef

III.3.3. Scénarios de simulation :

Pour effectuer les simulations numériques de la propagation de la houle, nous avons réalisé un scénario de d'une houle moyenne de 1,5m. le résultat sera exploité dans le chapitre vulnérabilité.

Nous avons réalisé, aussi, une étude hydrodynamique pour des scénarios de houles extrêmes dont les périodes de retours sont : 2, 5, 10, 30, 50,100 ans afin d'étudier la submersion marine.

Pour établir les scenarios, nous avons utilisé la méthode des événements extrêmes et plus spécifiquement la méthode POT (Peaks Over Thershold). Cette méthode consiste à conserver toutes les observations qui dépassent un seuil choisi et à ajuster la loi GPD (Generalized Pareto Distribution) à ces dépassements pour modéliser les événements extrêmes. Cette méthode permet de conserver plus d'information sur les événements extrêmes et peut être utilisée même dans le cas d'un nombre de données plus faible. (Cornel Stander, 2015) in (TAMAZIRT,2023).

Dans notre étude ; nous avons travaillé avec les résultats obtenus dans le cadre des travaux de pour la zone de Cherchell ; en se basant sur l'hypothèse de la proximité des 2 sites d'études.

Table 10: Hauteurs de houles issues de la méthode POT en omnidirectionnel dans la zone de Cherchell (SALEM CHERIF, 2023)

Zone	Seuil μ (m)	Période de retour					
		2	5	10	30	50	100
Cherchell	4,1	5,32	6,03	6,45	7,1	7,26	7,56

Les paramètres utilisés pour lancer les scénarios sont résumés dans le tableau suivant :

Table 11: Des inputs des simulations pour l'ensemble les déférentes période de retour

Scenarios	Période de retour	Directions/Vent	Hs (m)	TP (s)	Vitesse vent (m/s)
1	Annuelle	W	1.5	8	10
2		NW			
3		N			
4		NE			
5	2	W	5.32	9	14
6		NW			
7		N			
8		NE			
9	10	W	6.45	10	16
10		NW			
11		N			
12		NE			
13	30	W	7.1	11	18

14		NW			
15		N			
16		NE			
17	50	W	7.26	12	20
18		NW			
19		N			
20		NE			
21	100	W	7.56	12	23
22		NW			
23		N			
24		NE			

III.4. Résultats des simulations :

III.4.1. Propagation de la houle moyenne de 1.5 m :

La figure ci-dessous montre le plan de propagation de la houle moyenne de 1.5 m depuis la direction pénalisante le nord-ouest, la houle commence a perdre ces caractéristique jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.5 mètre de hauteur prêt de la cote due généralement a la diffraction de la houle ce qui entraine cette perte d'énergie.

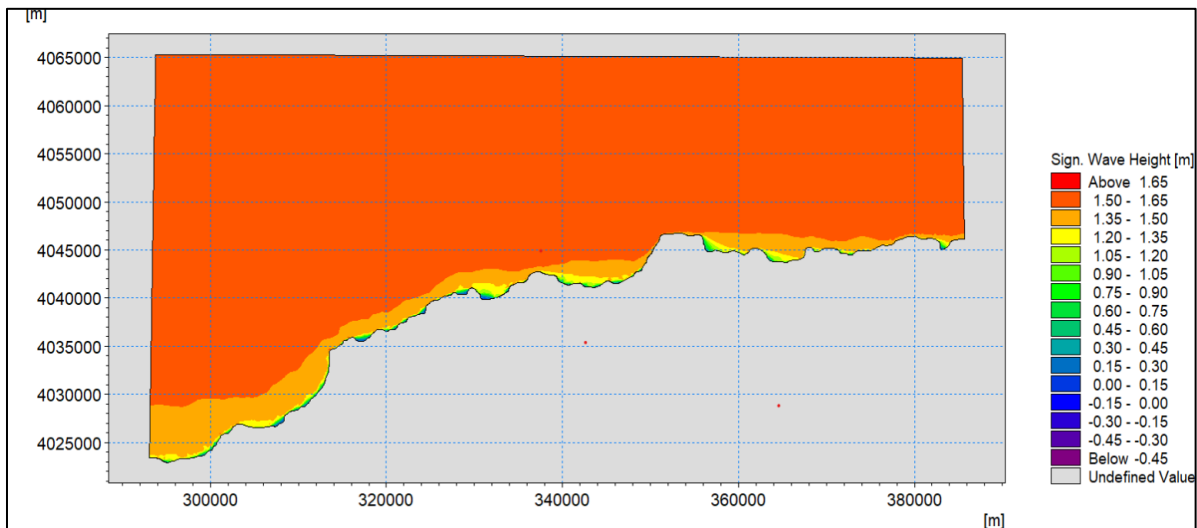


Figure 22: Carte qui représente la propagation de la houle moyenne de 1.5m

III.4.2. Propagation de la houle de la période de retour 2 ans :

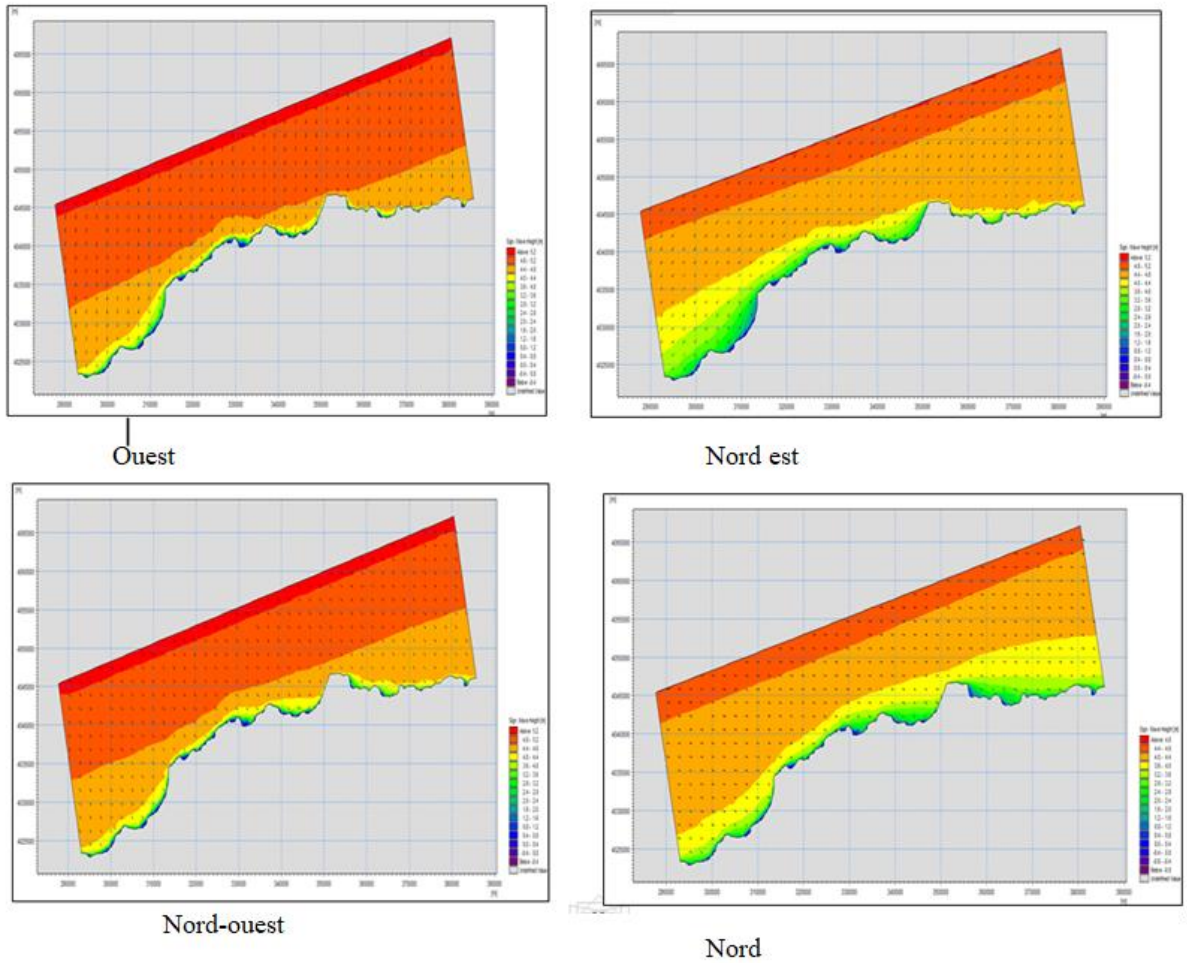


Figure 23: Propagation de la houle de la période de retour 2 ans

Au large, les houles de direction nord, nord-est, nord-ouest et l'Ouest changent et ne conservent pas leurs caractéristiques initiales, la hauteur des houles diminue au fur et à mesure qu'elles se rapprochent vers la côte et commencent à ressentir l'effet de fond. Elles arrivent à une inclinaison par rapport au rivage, dérivent parallèlement au rivage, et reviennent en sens inverse. Au voisinage des côtes et selon la morphologie du fond, les hauteurs de houle enregistrées comprises entre 0 m et 0,5 m.

Les houles importantes du ouest et nord-ouest ont des hauteurs plus élevées que les autres directions.

III.4.3. La propagation de houle de la période de retour 10 ans :

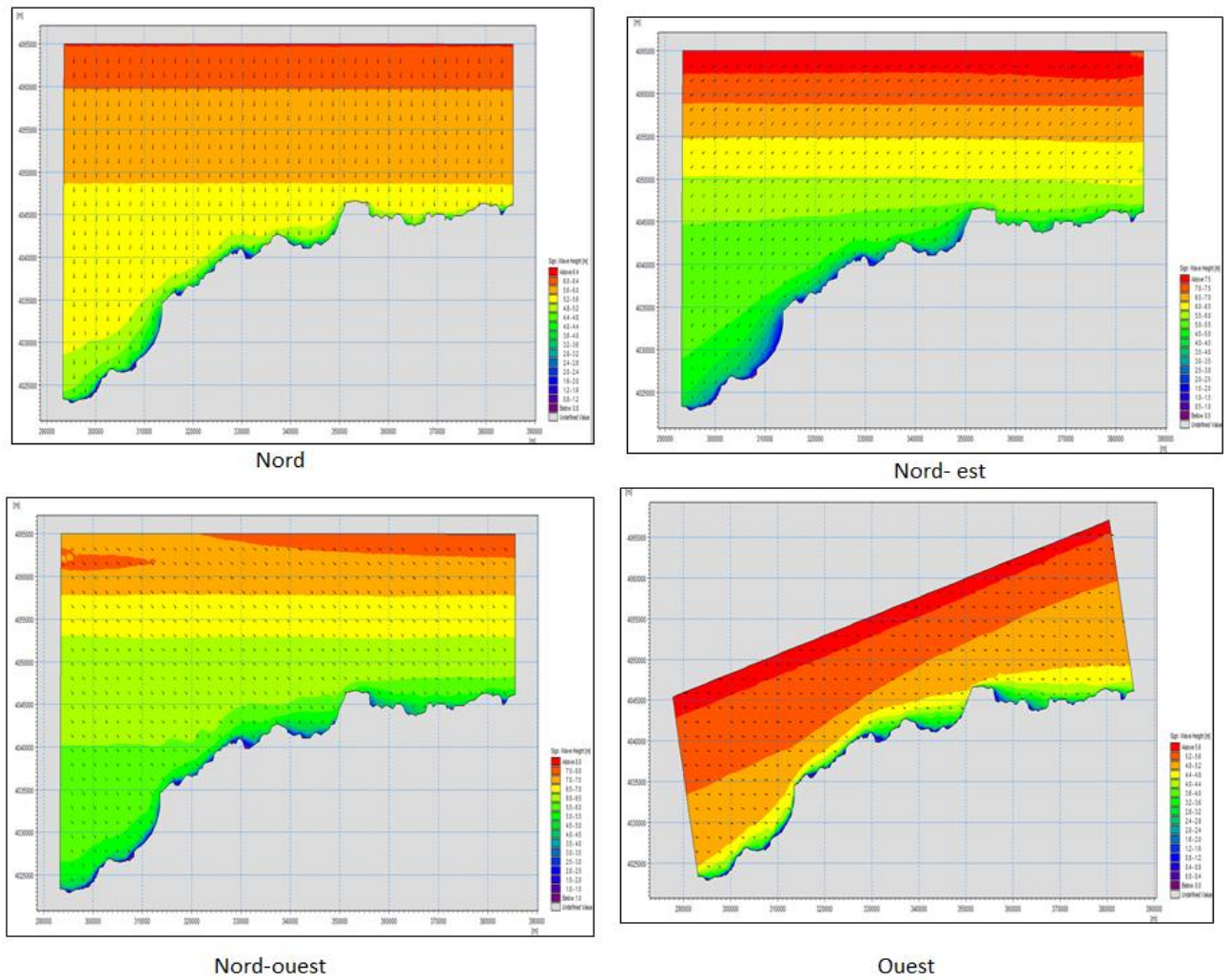


Figure 24: La propagation de houle de la période de retour 10 ans

Les vagues de cette période de retour ont tendance à arriver avec une grande énergie et conservent une partie de leur énergie au voisinage de la côte. Les vagues atteignent la côte, avec des hauteurs allant de 2 m à 3 m, ce qui rend vulnérables les régions du l’Ouest et de nord-ouest. Pour la direction nord et nord-est les houles arrivent avec des hauteurs plus basses (0 m et 0,4 m).

III.4.4. Propagation de la houle de la période de retour 30 ans :

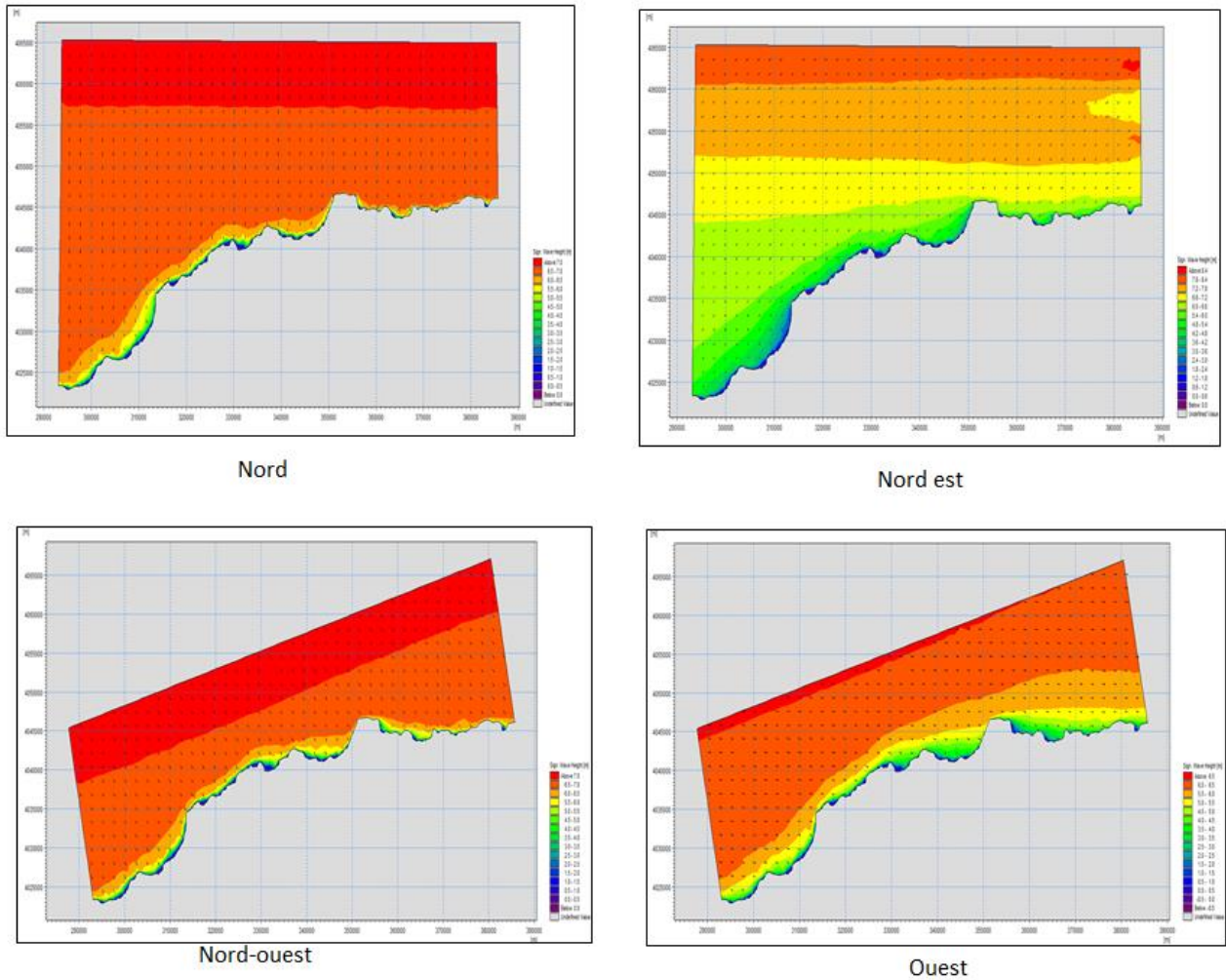


Figure 25: Propagation de la houle de la période de retour 30 ans

La figure ci-dessous montre le plan de propagation de la houle depuis des 4 directions nord, nord-est, nord-ouest jusqu'à rivage. Une rotation comprise entre 20° et 40° se produit lorsque la ligne orthogonale de la vague se rapproche du rivage en gardant presque sa totalité d'énergie en arrivant à la cote. Ces houles êtres sous a une réfraction moyenne peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

III.4.5. La propagation de la houle de période de retour 50 ans :

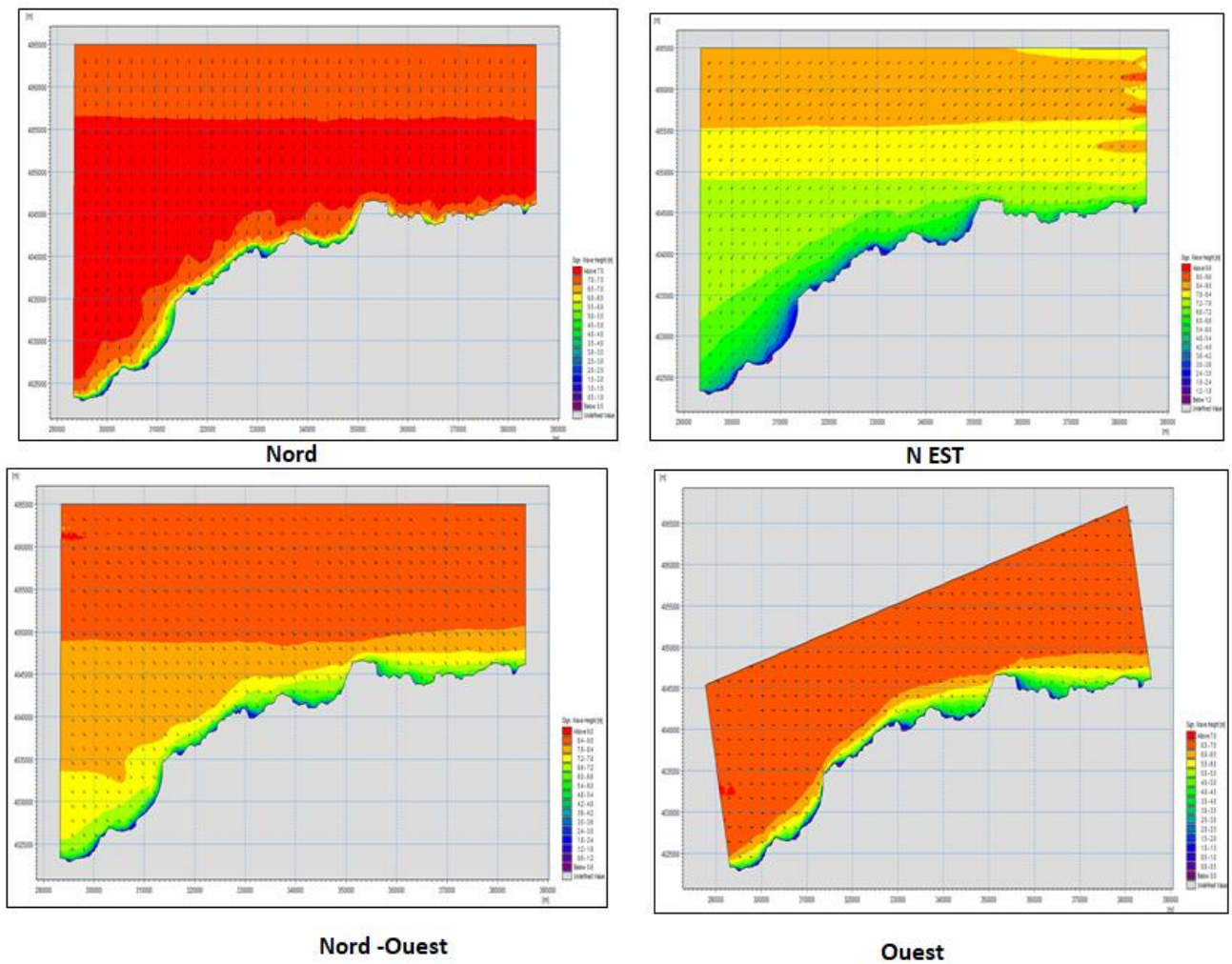


Figure 26: La propagation de la houle de période de retour 50 ans

La figure ci-dessous montre le plan de propagation de la houle depuis une période de retour de 50 ans. Elles subissent une forte déviation due à la réfraction et a la diffraction de la houle lorsqu'elles rencontrent des obstacles ce qui entraine la perte de son énergie.

III.4.6. La propagation de la houle de période de retour 100 ans :

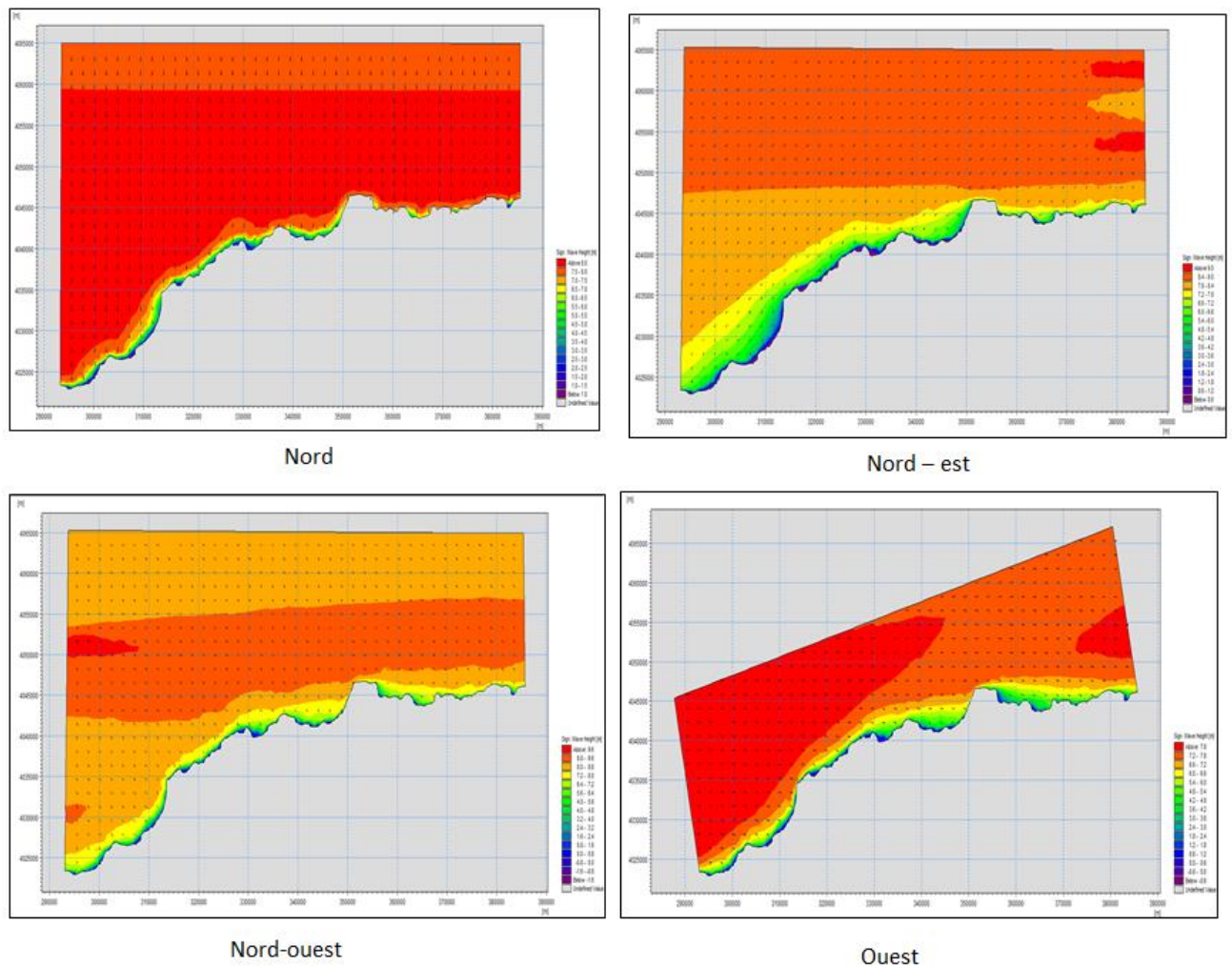


Figure 27: La propagation de la houle de période de retour 100 ans

D'après les résultats obtenus ; on observe que les houles au voisinage de la cote ; arrivent perpendiculairement à la côte, gardant la quasi-totalité de leur énergie au large. Cependant, les houles importantes du ouest (entre 0.5 m et 3,8 m) ont des hauteurs plus élevées que les autres directions.

III.5. Conclusion :

Grâce à la modélisation numérique, nous avons pu observer l'évolution et l'impact de houles des 04 directions les plus défavorables, à savoir le Nord, Nord-Ouest, le Nord-Est et l'Ouest.

La morphologie du littoral de Chlef a été observée comme étant un facteur essentiel dans la diminution importante des hauteurs de houle qui atteignent les structures côtières.

Ce chapitre va donc nous permettre de mener à bien notre étude d'évaluation de la vulnérabilité du littoral de Chlef face aux risques de vulnérabilité et de submersion.

Chapitre IV : La submersion marine

IV.1. Introduction :

Le risque de submersion marine est considéré comme étant un risque majeur dont la probabilité d'occurrence augmente en fonction de l'élévation attendue du niveau de la mer (GIEC, 2014), de l'évolution démographique en zones littorales (Lutz et Samir, 2010) et de la concentration des enjeux dans ces mêmes zones (Meur-Ferec et al., 2008) in (Marie, 2019)

Plusieurs zones côtières ont subi déjà des problèmes environnementaux tels que l'érosion côtière, la dégradation des dunes, la pollution, et l'intrusion saline. L'élévation plus rapide du niveau de la mer amplifie le degré de pression sur ces zones, provoquant ainsi l'inondation des basses côtes, la destruction des zones humides côtières, l'érosion des plages (SALLAYE, 2023).

Afin de pouvoir détecter les risques présents dans le littoral de Chlef on a évalué la vulnérabilité de cette zone par rapport à l'érosion, l'élévation de niveau de la mer mais aussi la cartographie de la submersion marine.

IV.2. La submersion marine :

« Le phénomène de submersion marine se définit par une inondation temporaire des terres par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques intenses » (Mercier et al., 2013) in (HACHICHI, 2023).

Ce phénomène est lié à une élévation temporaire du niveau de la mer qui peut avoir une origine géologique ou météorologique (JEAN-FRANCOIS, 2015). Cette élévation peut être générée par un tsunami ayant pour origine un tremblement de terre sous-marin dans, une éruption volcanique ou un glissement de terrain dans le cas exceptionnel. Mais aussi la conséquence d'une surcote liée à une tempête (JEAN-FRANCOIS 2015).

Dans notre travail nous intéressons aux submersions marines générées par des facteurs météorologiques

IV.2.1. Les différents types de submersions marines :

Il est possible de différencier trois types de submersions (JEAN-FRANCOIS 2015) :

- La submersion par franchissement concerne les inondations provoquées par le déversement de paquets de mer qui franchissent l'ouvrage de protection ou le cordon littoral et inondent les terres basses situées en arrière (Mercier et al., 2013).

- La submersion par débordement survient quand le niveau d'eau est supérieur à la hauteur de l'ouvrage de protection ou du cordon littoral (Cariolet 2011 ; Mercier et al., 2013). Le niveau d'eau est déterminé par la hauteur de la surcote liée aux vagues (Wave set up).

- Une submersion marine peut être également provoquée par la rupture de l'ouvrage de protection ou du cordon dunaire suite à l'attaque des vagues de run up (Mercier et al., 2013) et à l'augmentation du niveau d'eau par le phénomène de set up. Se forme alors une brèche par laquelle l'eau s'engouffre. Les submersions par rupture sont extrêmement dangereuses, car de vastes zones peuvent être inondées et l'eau peut mettre un temps conséquent à s'évacuer par écoulement gravitaire (Mercier et al., 2013).

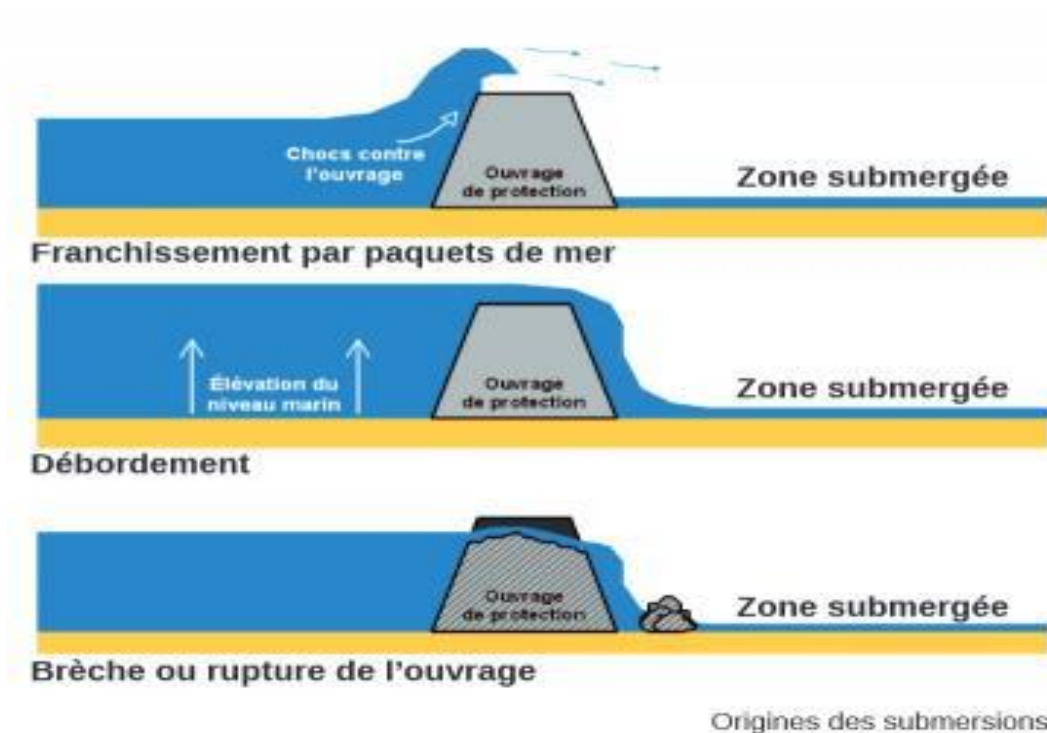


Figure 28: Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage) (HAUTE-CORSE, SERVICE ETAT, 202)(in HACHICHI,2023).

IV.2.2. Le phénomène responsable de ces submersions marines d'origine météorologique : La surcote

Les surcotes ou ondes de tempêtes (« Storm surges ») peuvent être définies comme des élévations anormales de la mer provoquées par une perturbation d'origine météorologique de courte durée comme un cyclone ou une tempête (BENALLOU,2020).

Plusieurs composantes interviennent dans les surcotes :

- La chute de pression atmosphérique qui implique une élévation du plan d'eau, le vent qui pousse les masses d'eau et les vagues qui déferlent à la côte, avec les phénomènes de setup, jet de rive et runup.
- Le setup des vagues peut être défini comme une déformation du plan d'eau entre la zone de déferlement et le rivage. Cette déformation élève la surface du plan d'eau dans les zones de déferlement, cet effet étant croissant en se rapprochant du rivage.
- Le jet de rive correspond à la nappe d'eau lancée vers la plage par chaque vague y déferlant. Le runup est défini comme la différence entre le niveau maximum atteint par le jet de rive et le niveau moyen qu'aurait la surface de la mer en l'absence de vagues, c'est-à-dire également en l'absence de setup. Ainsi, le setup est compris dans le runup. Cependant, runup et jet de rive étant des augmentations très rapides du niveau de la mer, ils ne peuvent pas être considérés comme de la surcote.

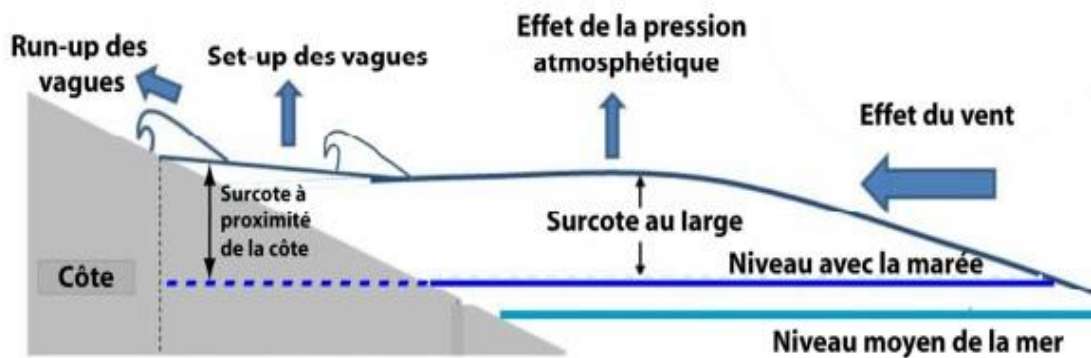


Figure 29: Représentation schématique des différents paramètres rentrant en compte ou non dans l'estimation des surcotes (JEAN-FRANCOIS 2015).

IV.3. Méthodologie de simulation de submersion marine :

Dans le cadre de cette étude prospective, Les terres à risque de submersion dans la côte de la zone d'étude sont caractérisées et cartographiées en se basant sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, modélisés à l'aide du logiciel de cartographie « ArcGIS 10.4 ». Cette étude vise à prévenir les submersions d'ici cinq échéances temporelles, à savoir 2026, 2034, 2054, 2074 et 2124.

Dans le cadre de cette recherche, la méthode choisie pour l'estimation de l'aléa de submersion marine est celle utilisée par monsieur Sallaye (SALLAYE,2021).

IV.3.1. Scénarios de niveaux d'eau extrêmes :

La première conséquence de l'élévation du niveau de la mer est le risque d'augmentation des inondations liée aux ondes de tempête dans les côtes basses (Nicholls et al. 1999). En manque des données sur les surcotes et décotes, une méthode empirique a été adoptée pour l'estimation des niveaux d'eau extrêmes à l'aide de la formule (Hoozemans et al. 1993) (SALLAYE,2021) :

$$D_{ft} = MHW + S_t + W_f + P_f$$

Où :

- MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;
- S_t : Élévation relative du niveau de la mer ;
- W_f : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;
- P_f : Élévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.

IV.3.2. Désignation des houles extrêmes à la côte :

D'après les résultats de simulation des houles extrêmes à la cote ; on a pris la moyenne des hauteurs de houles au point de profondeur de fermeture. Elles sont calculées par la formule suivante : $d_c = 1,57 H_{s12}$ in(Reeve et al., 2018).

Les profondeurs des fermetures calculés par la formule sont les suivants : 8.35m pour la période de retour 2 ans, 10m pour la période de retour 10 ans et 12 m pour les périodes de retours 30,50,100 ans.

On prend la direction NW comme étant la plus défavorables pour le site d'étude, ces simulations sont représentées dans le tableau suivant :

Table 12: Les hauteurs de houle aux profondeurs de fermeture de différentes directions

Période de retour	N	NE	NW	W
Houle biennale (2 ans)	3,99	3,18	3.78	2,60
Houle Décennale (10 ans)	4,57	3,76	4.56	3,26
Houle vicennale (30 ans)	3,26	3,26	5.52	3,9
Houle cinquantennal (50ans)	6,21	6,21	6 .21	4,30
Houle centennal (100 ans)	6,66	5,27	5.27	5,27

IV.3.3. Scénarios d'inondations :

À la base d'un model numérique de terrain MNT plusieurs traitements ont été fait, ce qui nous a permis d'établir des cartes pour l'aléa de submersion marine à des différents niveaux extrêmes d'inondation.

Table 13: niveaux d'inondations extrêmes

Période de retour	MHW	St	Wf	Pf	Dft
2 ans	0.34m	2.5mm	3.99m	0.63m	4 .96m
10 ans	0.34m	2.5mm	4.57m	0.63m	5 .72m
30 ans	0.34m	2.5mm	5.52m	0.63m	6.49m
50 ans	0.34m	2.5mm	6.21m	0.63m	7.18m
100 ans	0.34m	2.5mm	6.66m	0.63m	7.63m

IV.3.4. Les zones à risque d'inondation :

L'élévation du niveau de la mer ferait monter le niveau d'attaque des vagues, car un niveau marin plus haut fournirait une plus haute base pour les mouvements puissants des tempêtes (WASA Group. 1998 in NIAZI, 2007)(in BENALLOU,2020).

Cela entraînerait la submersion des terres basses et des modifications de la morphologie côtière.Les conséquences potentielles de ce phénomène dépendent du taux d'élévation du niveau de la mer, de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, ainsi que de la sensibilité de la côte à la submersion, qui est influencée par la morphologie et la topographie de la zone côtière.

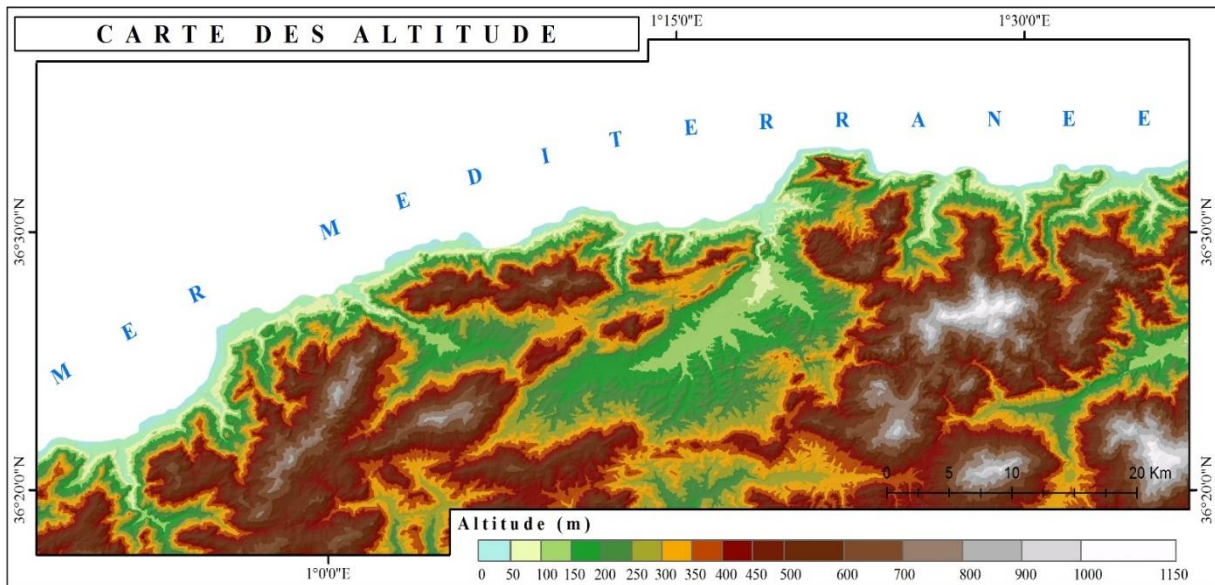


Figure 30: carte des altitudes

Le littoral de Chlef est caractérisé par une topographie très avantageuse, avec des altitudes extrêmement élevées qui atteignent les 1150 m.

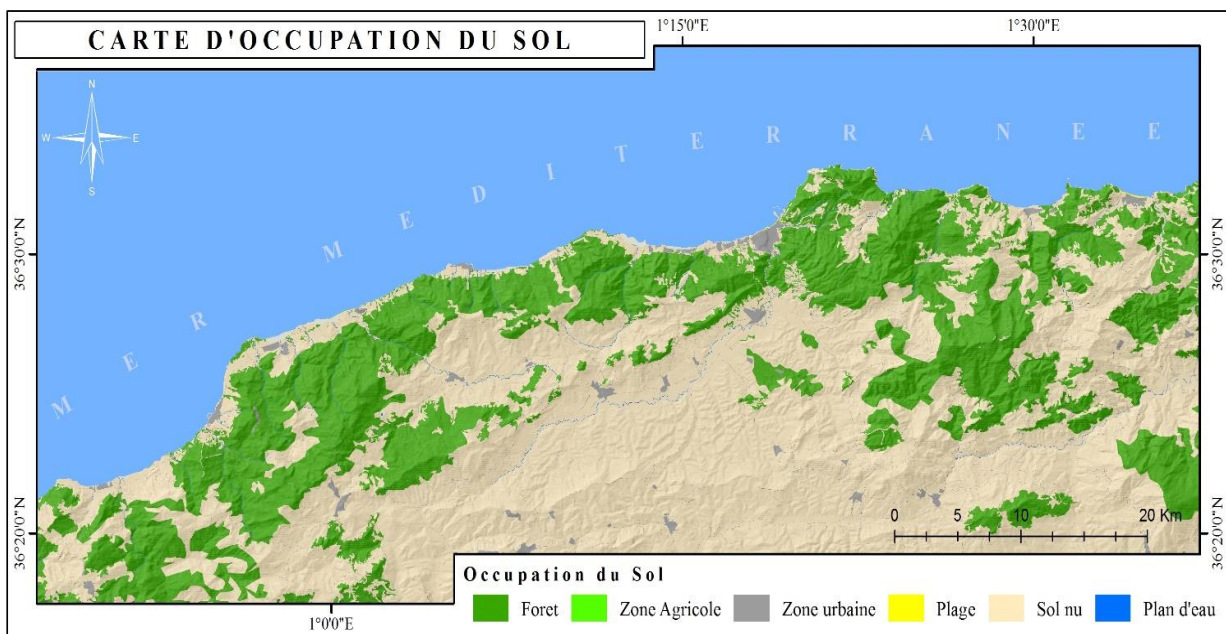


Figure 31: carte d'occupation du sol

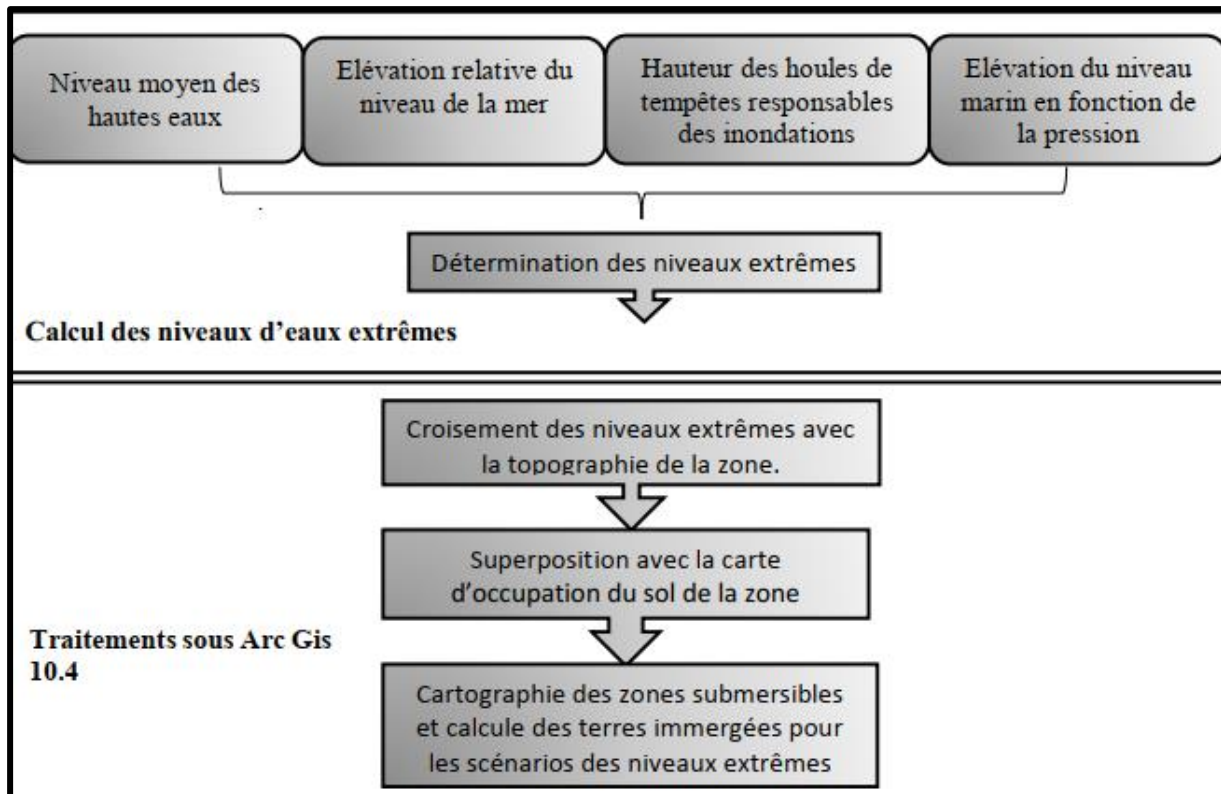


Figure 32: Synthèse de la méthodologie adoptée pour la cartographie de l'aléa de submersion marine (BENALLOU,2020).

IV.4. Interprétation des résultats :

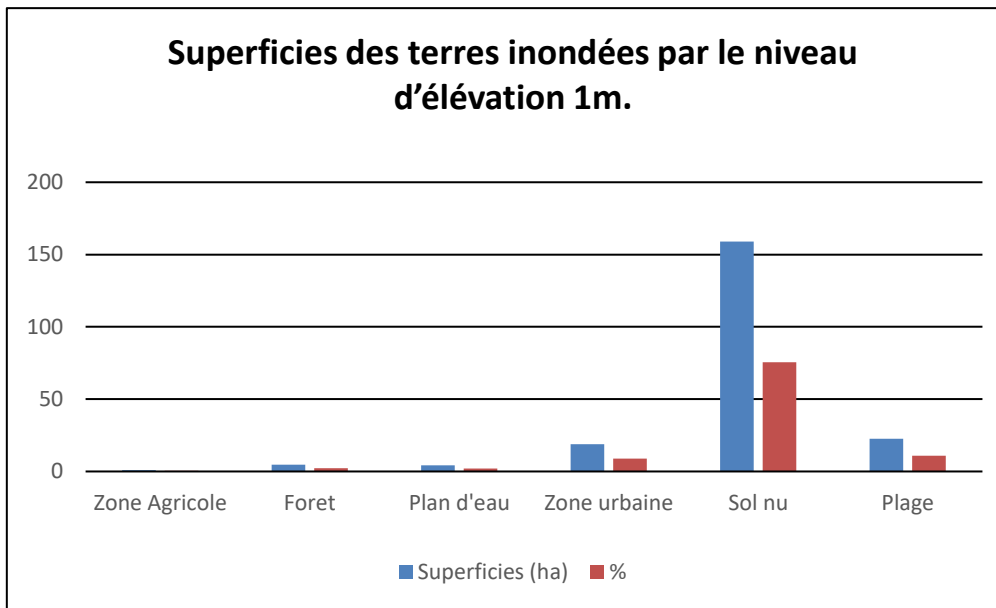
Après l'étude de phénomène d'érosion dans le chapitre 2 et la vulnérabilité côtière dans le chapitre 3, pour compléter cette étude on a cartographié l'aléa de submersion marine en s'appuyant sur les facteurs des risques d'inondation météorologiques (une topographie basse, un climat de vagues de forte énergie, une hausse des niveaux moyens de la mer et une augmentation de la fréquence de tempêtes violentes) favoriseraient l'extension des zones submergées.

Dans notre recherche, nous avons choisi de commencer la cartographie de cette aléa à partir d'un niveau d'élévation de 1m afin de mener une étude approfondie et complète.

IV.4.1. Submersion à 1 m :

D'après la carte on remarque non seulement que la partie Est du littoral de Chlef (au niveau de Beni Hawa) est la plus affectée par le niveau d'inondation de 1 m mais aussi au niveau de la petite baie de Boucheghal aussi pour le littoral de Ténès et pour l'ouest au niveau de El Marsa.

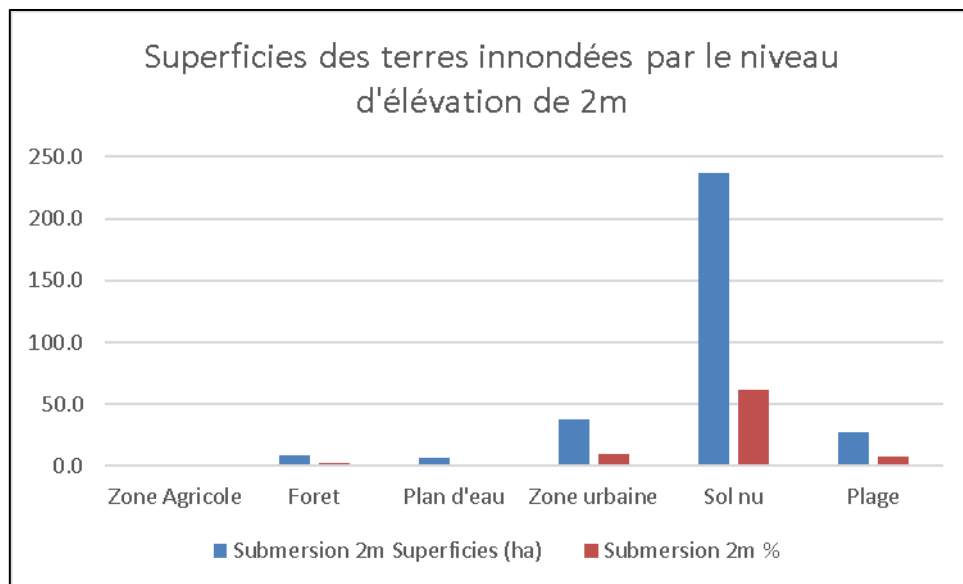
Ces inondations touchent presque 22.7 ha des plages, 159 ha des terrains nus, 1 ha des terres agricoles, 4.7 ha des forêts, 18.9 ha des zones urbanisées.



IV.4.2. Submersion à 2 m :

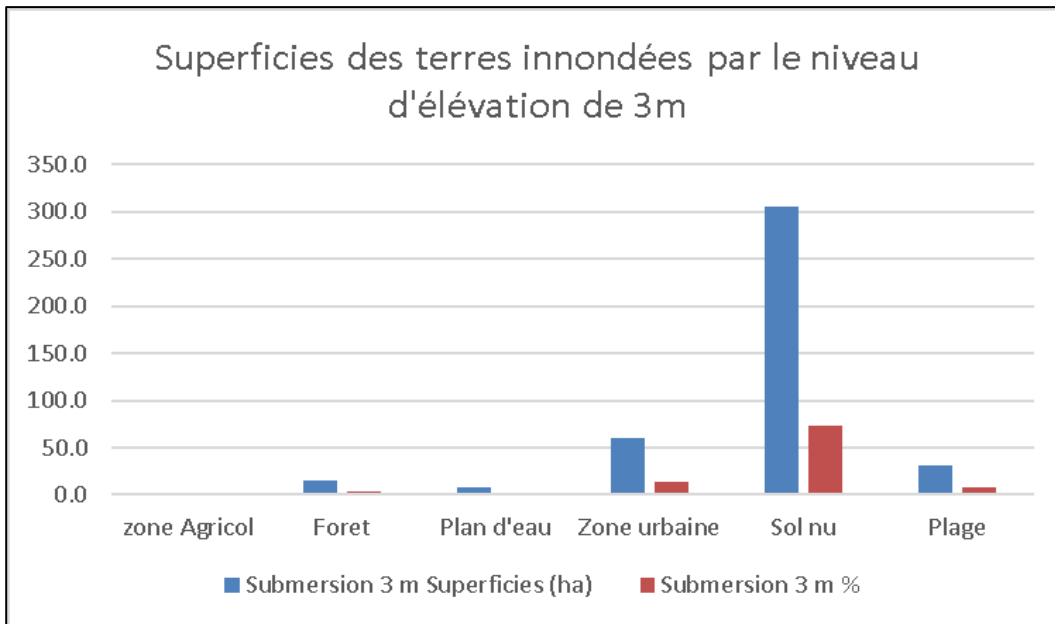
Les 4 zones de ce littoral sont touchées par un niveau d'inondations de 2 mètres, comme le montre la carte de submersion marine. Cela est dû à la morphologie plus ou moins faible de ces zones, ainsi qu'à la présence de réseaux hydrographiques.

Ces inondations touchent presque 1 ha zone agricole, 27.9 ha de plage, 9.2 ha des forêts, 37.4 ha des zones urbanisées, 6.2 ha de plans d'eau et 236.8 ha de sol nu et cela est exprimé par le graphe suivant :



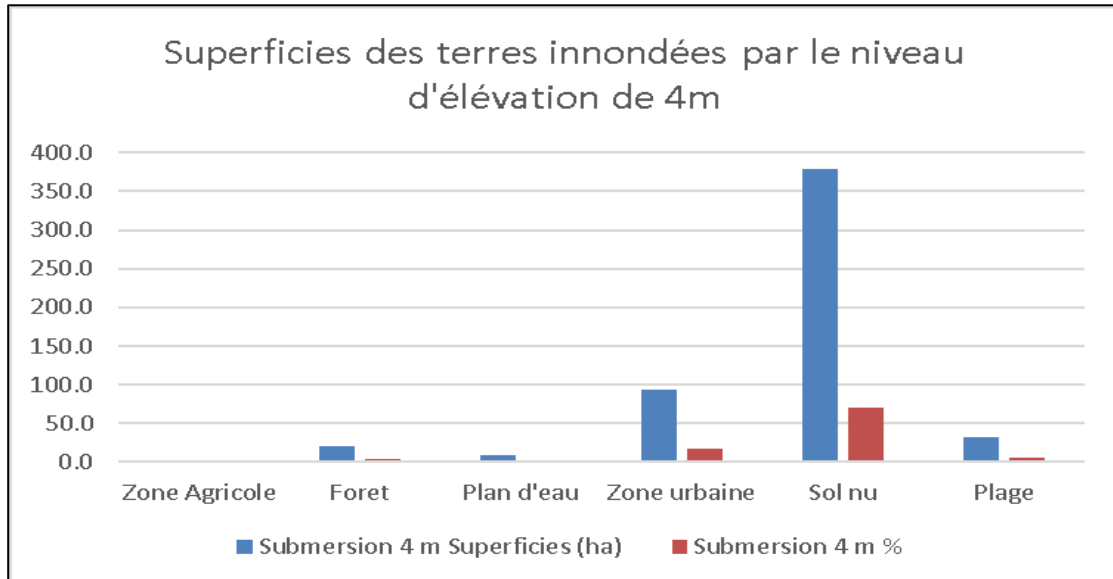
IV.4.3. Submersion à 3m :

Les inondations causées par les houles de direction Nord-Ouest pour une période de retour de 100 ans pour la zone d'étude occupent une surface totale 30.9 ha de plages, 14.6 ha de forêts, 60 ha des zones urbaines, 7.8 ha des plans d'eau et 306 ha de sol nu.



IV.4.4. Submersion à 4m :

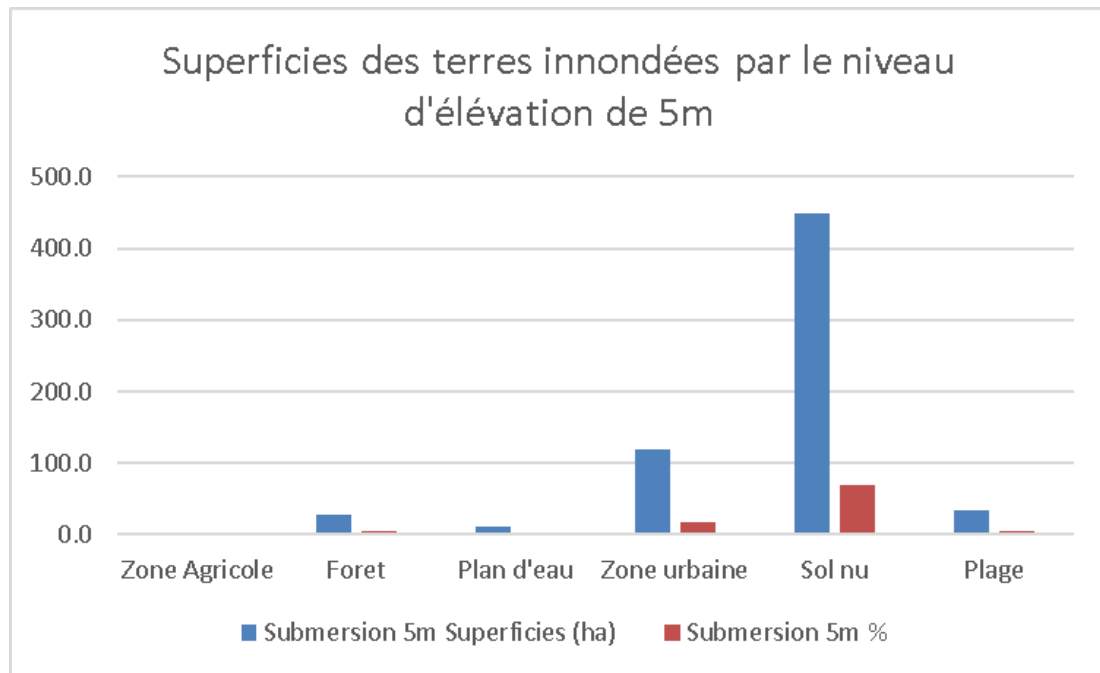
Le niveau marin de 4m provoque une inondation sur zone la d'étude et couvre une surface totale de 583 ha, tout en touchant : 379.7 ha des terrains nus, 21.5 ha des forêts, 1 ha des terres agricoles, 9.8 ha des plans d'eau et 93.6 ha des zones urbaines.



IV.4.5. Submersion à 5m :

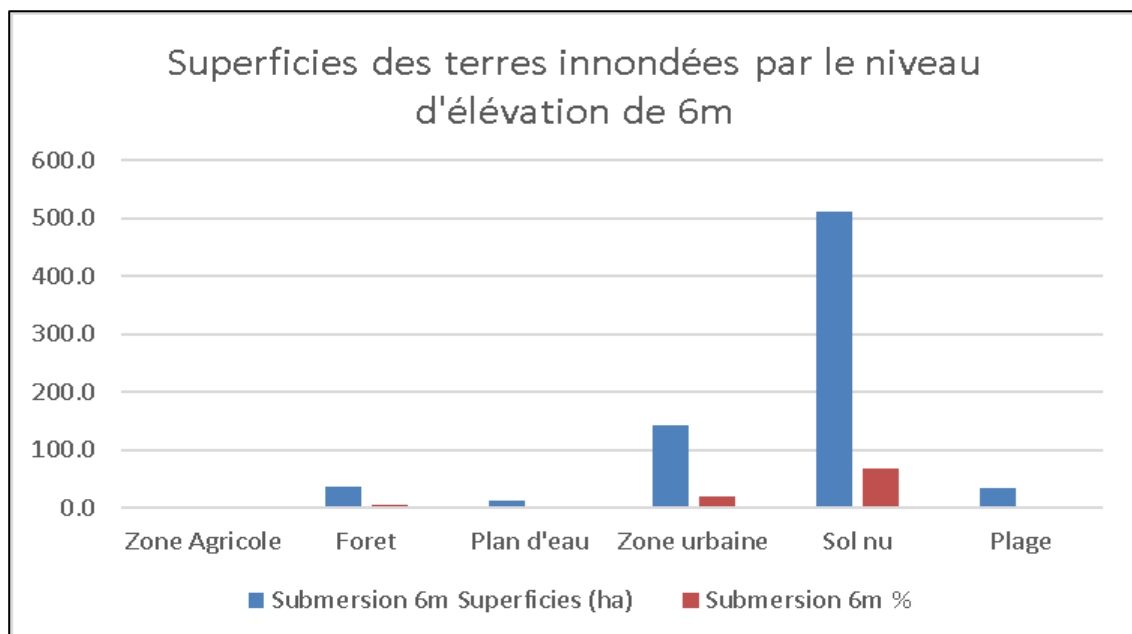
Les résultats montrent des inondations spectaculaires au niveau de Beni Hawa et le littoral de Ténès mais aussi pour les plages de Boucheghal. Cette tendance est expliquée par l'aspect morphologique.

Les eaux occupent une surface totale 642 ha de la zone d'étude out en Touchant : 448 ha des terrains nus, 28.7 ha des forêts, 11 ha de plan d'eau ,33.7 ha de plages et 119.6 ha des zones urbanisées. Ces résultats sont exprimés dans la figure suivante :



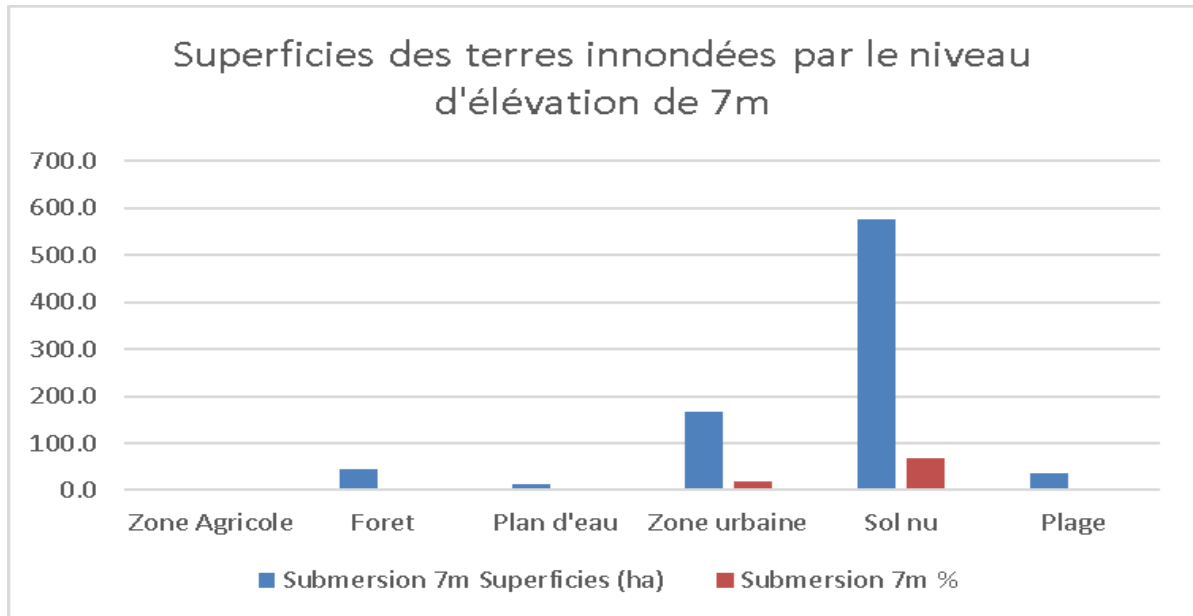
IV.4.6. Submersion à 6m :

Les zones côtières de Beni Hawa et Ténès sont particulièrement touchées par les inondations de niveau d'élévation de 6m, qui affectent une superficie de 793 ha tout en touchant :44.2 ha de forêts, 12.5 ha de plan d'eau ,144.1 ha des zones urbanisées,34.7 ha des plages et 510 ha de sols nus. Ces résultats sont mentionnés dans le graphe suivant :



IV.4.7. Submersion à 7m :

Le niveau marin de 7m provoque une inondation sur zone la d'étude et couvre une surface totale de 873.9 ha, tout en touchant : 575.7 ha des terrains nus, 44.2 ha des forêts, 1 ha des terres agricoles, 14 ha des plans d'eau et 167.6 ha des zones urbaines.



IV.4.8. Submersion à 8m :

Sur une superficie totale de 943.9 ha des terres inondées par l'élévation du niveau de la mer de 8m, tout en touchant : 53.3 ha des forêts, 16.3 ha des plans d'eau, 193.1 ha des zones urbaines, 644.4 ha des sols nus et 35.8 ha des plages.

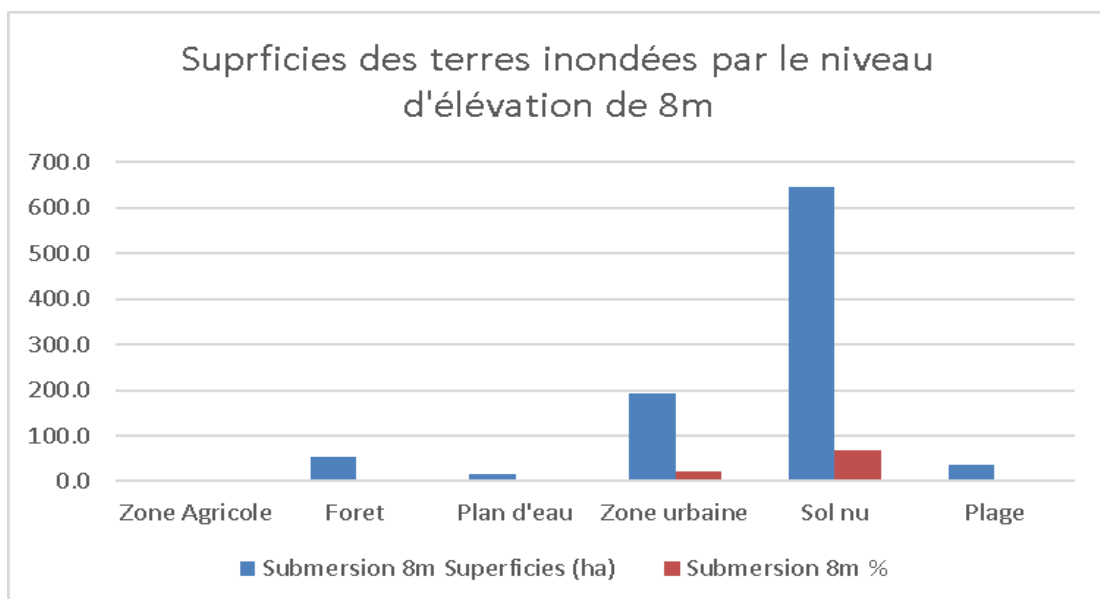


Figure 33: suprficies des terres inondées par le niveau d'élévation de 8m

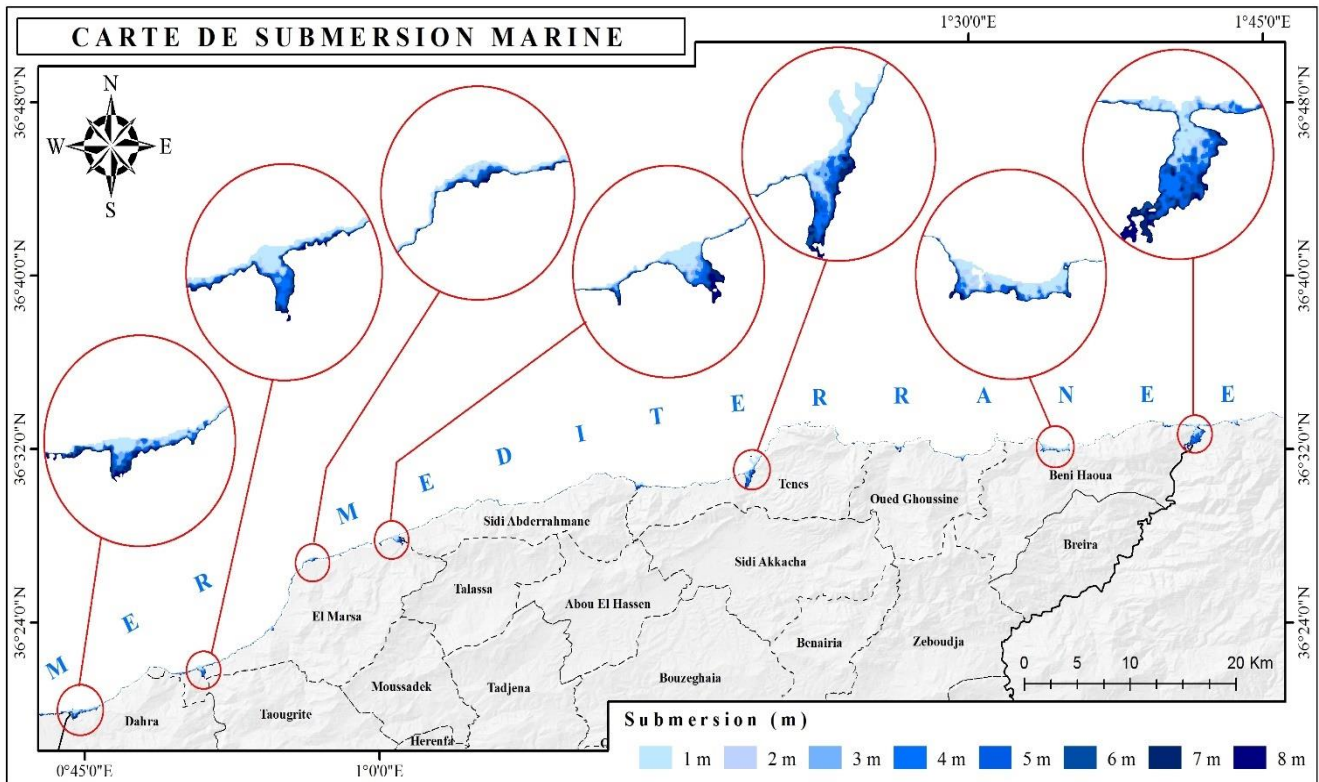


Figure 50: Carte qui montre la submersion marine à différents niveaux d'élévation de niveau de la mer

Table 14: Superficies des terres inondées par les différents niveaux d'élévation

Type d'occupation du Sol+A:M	Submersion à 1m		Submersion à 2m		Submersion à 3m		Submersion à 4m		Submersion à 5m		Submersion à 6m		Submersion à 7m		Submersion à 8m	
	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%	S(ha)	%
Foret	4,7	2,2	9,2	2,41	14,6	3,47	21,5	3,99	28,7	4,47	36,1	4,88	44,2	5,27	53,3	5,65
Plan d'eau	4,3	2	6,2	1,62	7,8	1,85	9,8	1,82	11	1,71	1,5	1,69	14	1,67	16,3	1,73
Zone urbaine	18,9	9	37,4	9,8	60	14,27	93,6	17,93	199,6	18,62	24,5	19,49	167,6	20	193,1	20,48
Sol nu	159	75,5	236,8	62,07	306	72,82	379,7	70,57	448	69,78	62,5	69	575,5	69,7	644,4	68,34
Plage	22,7	10,8	27,9	7,31	30,8	7,32	32,5	6,04	33,7	5,24	34,7	4,69	35,4	4,22	35,8	3,80
Total	210,6	100	318,5	100	420,2	100	583	100	642	100	793	100	837,9	100	942,9	100

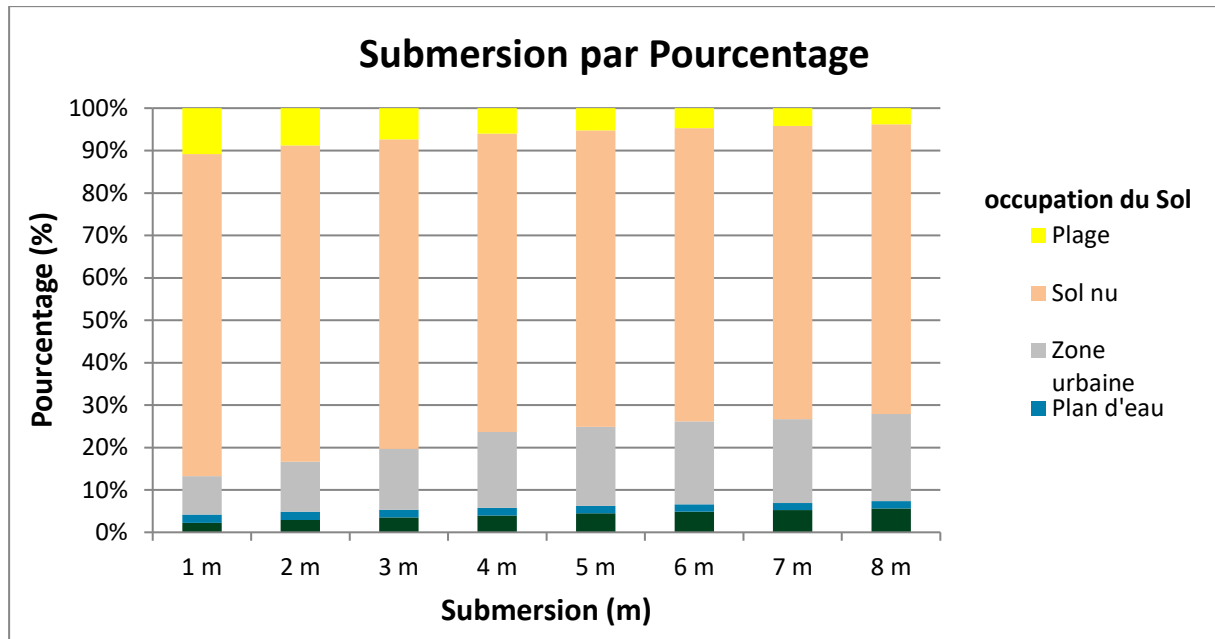


Figure 34: Superficies des terres inondées par les différents niveaux d'élévation

IV.5. Conclusion :

Pour répondre au problématique abordé : quel est le taux de littoral de Chlef face aux Géorisques coutiers et pour arriver à des résultats approfondis on a cartographie la submersion marine au différent niveau d'élévation. La côte Est (Beni haoua et bouchegha) et Ouest (Sidi abd el rahhman ,El Marsa et Dahra) sont les plus vulnérables aux inondations, en raison de la faible topographie de la zone.

La cartographie des zones inondables révèle que 1032.7 ha de sa superficie présenteraient un risque de submersion 381.5 ha avec un niveau d'inondation 2 m ; et 793.9 ha pour un niveau de submersion 6 m et 837.9 pour le niveau délévation de 7m et 943.9 ha pour un niveau maximum de 8m..

9.8 % de la superficie des zones urbaines risquent d'être endommagés lors des submersions marines avec un niveau d'eau 2 m, et 20 % en cas d'un niveau d'inondation maximum 7 m. Le risque pour les sols nus est plus élevé entre 60 % à 69 % de la superficie totale seraient touchées, respectivement, pour des niveaux d'inondation de 1m a 7m.

Chapitre V : Evaluation de la vulnérabilité du littoral de chlef**V.1. Introduction :**

Les zones côtières présentent toujours un grand intérêt dans le monde entier. Aujourd'hui les écosystèmes littoraux sont exposés à une pression continue due aux facteurs anthropiques et naturels (**Amuzu et al.2018**). Plusieurs indices témoignent de la pression exercée sur ces écosystèmes, nous citons : l'augmentation de la température atmosphérique mondiale d'environ 0.6°C (**Bernstein et al. 2008**), la variation des régimes de précipitations, intensité croissante des tempêtes, et l'élévation du niveau de la mer de 10 à 20 cm(**Team et al.2014**). Ce dernier considéré comme la préoccupation majeure de la zone côtière est dû principalement à la dilatation thermique (due au réchauffement des océans), la fonte des glaces, et une diminution du stockage de l'eau liquide sur terre.

A cet effet, les zones côtières fortement urbanisées sont très vulnérables à plusieurs aléas climatiques tels que : les inondations, la submersion marine, l'érosion côtière, l'intrusion saline et le glissement de terrain (**Hadef and Labii 2017**). Dans ce contexte, l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières s'avère indispensable pour une gestion intégrée des zones côtières (**Yin et al. 2012**).

La présente étude vise à fournir une analyse de la vulnérabilité le long de côte de Chlef. Afin de cartographier les zones côtières touchées par l'érosion et la submersion marine, et déterminer le degré de vulnérabilité des communes littorales de Chlef.

Sur un linéaire côtier de 142 km, il a été nécessaire de déterminer une méthode d'analyse de la vulnérabilité côtière face aux phénomènes de submersion marine et d'érosion côtière.

À cet effet, la vulnérabilité physique et socio-économique sur le littoral de Chlef a été évaluée en utilisant les variables les plus influentes de la vulnérabilité des zones côtières mondiale, en se basant sur la méthode de Hammar-Klose et Thieler (2001), pour l'indice de vulnérabilité physique, ainsi la méthode de McLaughlin et Cooper (2010), pour l'indice de vulnérabilité socio-économique (**AMARNI et al.,2021**).

V.2. Methodologie :**V.2.1. La vulnérabilité physique :**

La méthode que nous avons utilisée pour évaluer la vulnérabilité physique côtière vis a vis au changement climatique est de (**Görlitz et al.1994**), cette méthode a été modifiée par (**Hammar kolve and Thieler 2001a**). Ces modifications particulièrement le nombre et le type des variables utilisées.

Pour notre cas d'étude, l'indice de vulnérabilité côtière est basé sur six (6) variables physiques, qui sont les mêmes que dans l'indice de vulnérabilité établie par L'USGS (le Service géologique américain) lors de la production d'un Atlas national de vulnérabilité des côtes au changement climatique (**Hammar-Klose and Thieler 2001a**).

V.2.2. Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière physique :

Les six variables étudiées sont : la géomorphologie, la pente côtière, le taux d'érosion/accrétion du trait de côte, le taux d'élévation du niveau de la mer, la Hauteur significative de la Houle, et enfin l'amplitude des marées (**Kumar et al.2010**). L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) est

calculé par l'équation de (Gornitz et al.1994). C'est la racine carrée du produit des différentes variables par le nombre total des variables utilisées.

$$CV_{\text{physique}} = \sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f}{6}}$$

Avec : a – géomorphologie côtière ; b – pente côtière ; c – remontée relative de niveau de la mer ; d – érosion/accrétion de la ligne du rivage ; e – amplitude moyenne de la marée ; f – hauteur significative des vagues à la côte.

Les valeurs du CVI obtenues par analyse statistique des divisions par quantiles attribuées à chaque segment du littoral ont été classées en quatre catégories, avec une vérification visuelle (Theiler et Hammar-Klose, 1999). Chacune de ces catégories indique le degré de vulnérabilité physique de la côte à l'élévation de niveau de la mer :

- Faible vulnérabilité (IVC phys < 25 %)
- Vulnérabilité modérée (25 % < IVC phys < 50%)
- Vulnérabilité élevée (50 % < IVC phys < 75 %)
- Vulnérabilité très élevée (IVC phys > 75%)

Avant tout calcul et analyse statistique, une présentation graphique des cellules de calcul sont nécessaires, avec un choix optimal de dimension de ces entités virtuelles. En suivant la méthode de Hammar-Klose et Theiler, (2001)

Table 15: Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique.

CVI variable	Très faible 1	Faible 2	Modéré 3	Élevé 4	Très élevé 5
Géomorphologie.	Falaise et Côte Rocheuse	Falaise Moyenne et baie	Cote à falaise basse	Lagune	Flèche, plage Sableuse, marais, Dépôt vaseux, delta, Récifs à coraux et Mangroves
Pente côtière (%).	>12	12 – 9	9 – 6	6 – 3	<3
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Recul/Avancée du Trait de côte (m/an)	> 2,0	(+1,0) – (+2,0)	(-1,0) – (+1,0)	(-2,0) – (-1,0)	< (-2,0)
Amplitude moyenne de la marée	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0
Amplitude moyenne de la houle (m).	<0,55	0,55 – 0,8	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25

V.2.3. Résultats et discussion de la vulnérabilité physique :

➤ La variable géomorphologie :

La variable géomorphologie exprime l'érodabilité relative des différents types de relief. Cette érodabilité des reliefs est liée aux degrés de résistance des matériaux, qui les composent et aux processus érosifs qui augmentent avec l'élévation de niveau de la mer (Thieler et Hammar-Klose, 1999) (AMARNI et al.,2021).

Le secteur d'étude possède une variété des formes des reliefs due essentiellement à l'alternance des agents hydrodynamiques et la nature du terrain. Ces données sont acquises à partir cartes anciennes.

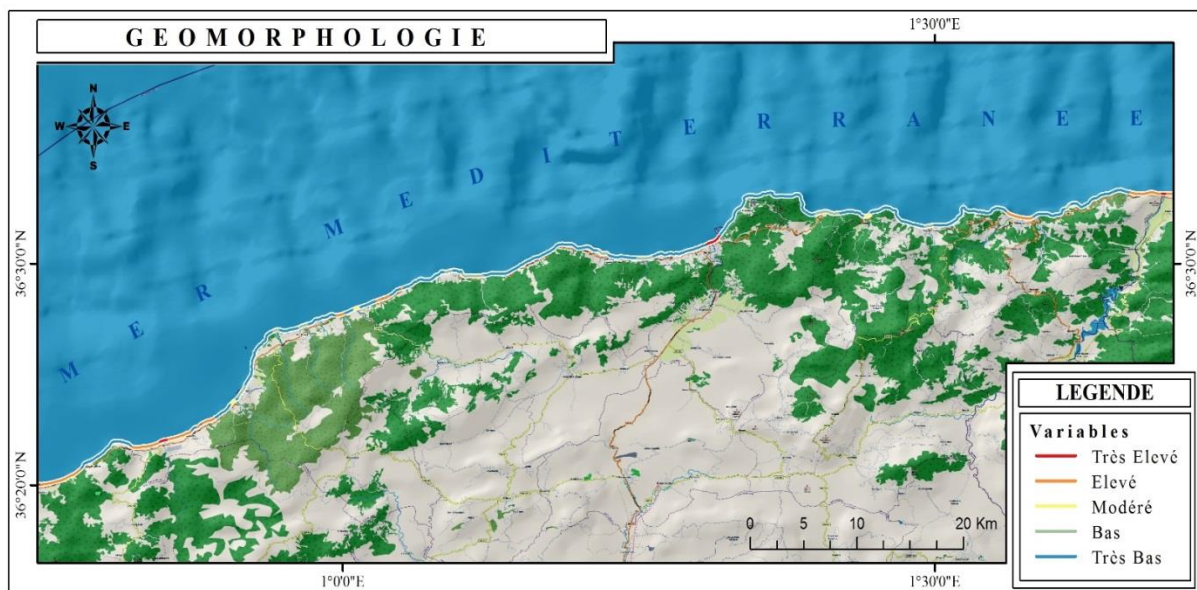


Figure 35: géomorphologie

D'après la carte de vulnérabilité selon la variable géomorphologie ; on remarque que la majorité de la cote de Chlef présentent une vulnérabilité très basse suite à leur nature rocheuse et dure surtout que les falaises représentent 70% du linéaire côtier de la zone ouest, par contre certaines régions de la partie Est du littoral présentent un degré de vulnérabilité qui oscillent entre élevée (4) et très élevée (5) respectivement majoritairement des plages sableuses comme la région de béni Hawa et Ténès . Le reste de la zone présente des degrés de vulnérabilité modérée et basse.

➤ La variable pente côtière :

Elle permet une évaluation non seulement du risque relatif à la rapidité potentielle du recul du trait de côte mais également du risque d'inondation, car les régions côtières à pente douce sont les plus touchées que les cotes en pente abrupte en cas de l'élévation du niveau de la mer. la méthode pour la carte c'est l'extraction de l'information à l'aide de SIG(SALLAYE,2021).

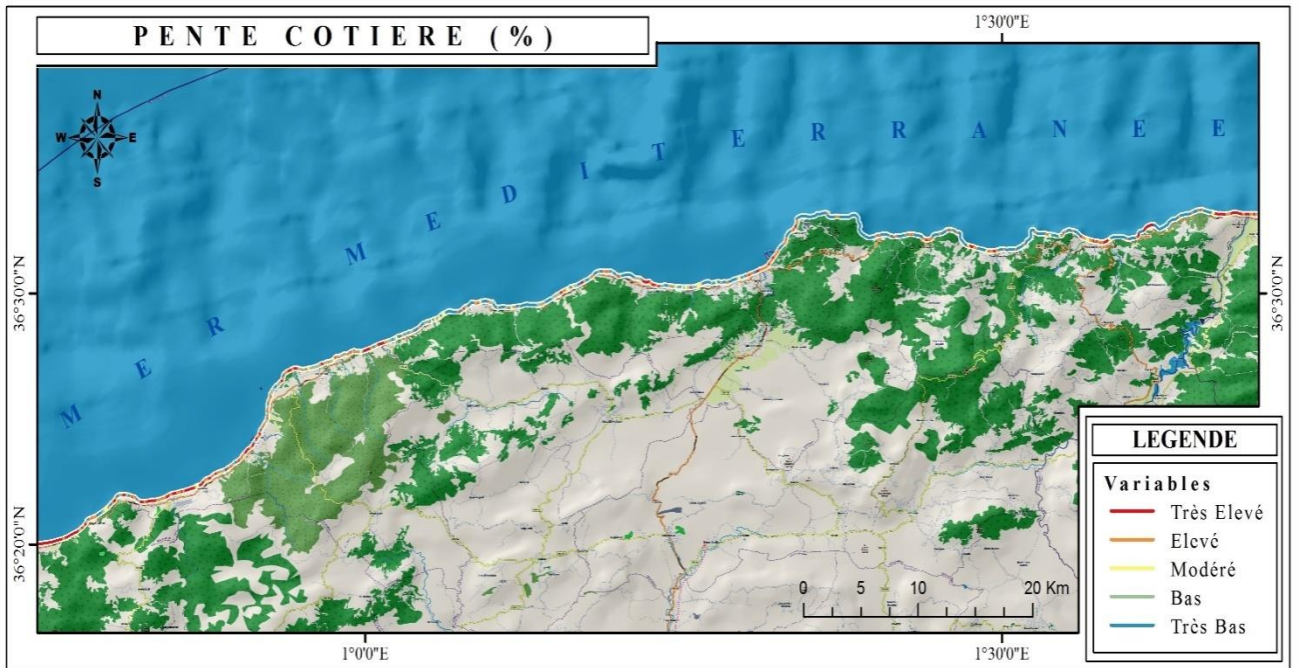


Figure 36: pente côtière (%)

Les travaux faites sur le littoral de Chlef montrent que la quasi-totalité du littoral présente généralement une pente forte au niveau des côtes rocheuses dont la vulnérabilité varie entre le niveau faible à très faible. Alors que les plus faibles inclinaisons sont notées au niveau de la baie de Boucheghal ainsi que les plages de Ténès avec un degré de vulnérabilité élevée à très élevée ainsi que dans les zones sableuses où la pente est plus ou moins faible.

➤ La variable taux d'élévation du niveau de la mer :

Comme le littoral algérien y compris celui du littoral de Chlef est soumis à la même vitesse d'élévation du niveau du bassin occidental de la Méditerranée qui est de l'ordre de 2 mm/an, pour notre cas d'étude la vulnérabilité par rapport à cette variable est basse.

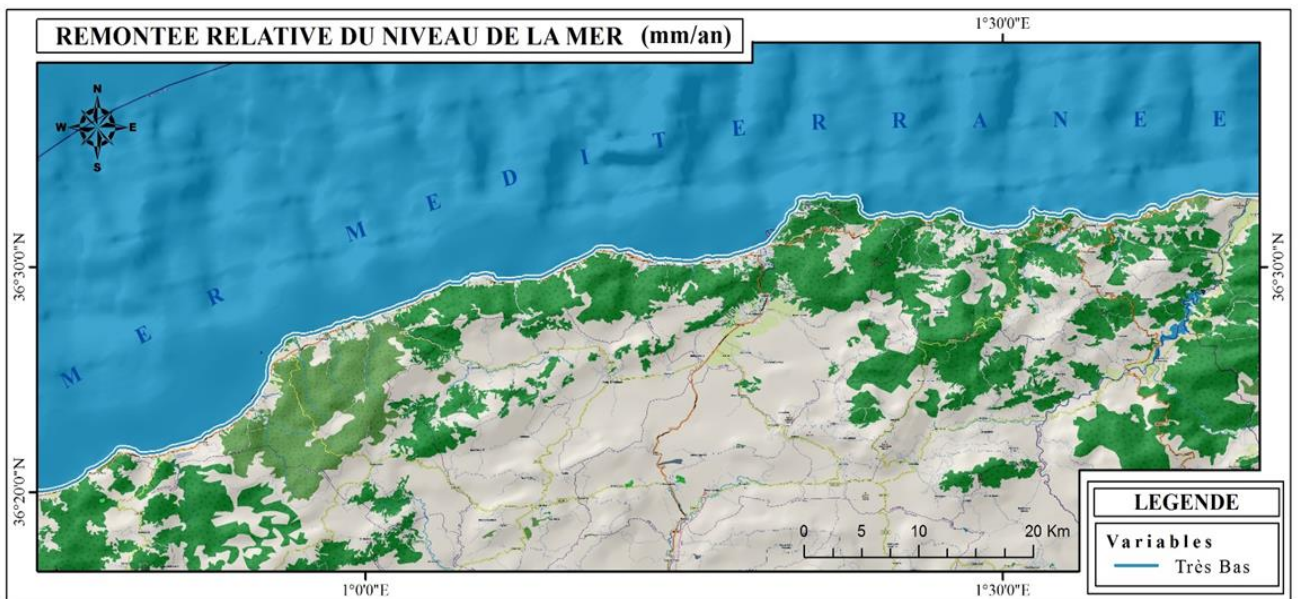


Figure 37: Remontée relative du niveau de la mer (mm/an)

➤ La variable marnage :

Selon la base de données de GORNITZ et al. (1994), la marée est de type microtidal, elle rend ce littoral à risque très élevé. La marée de type microtidale estimé par 35 cm rend le littoral de Chlef très vulnérable et fragile avec un degré de vulnérabilité d'ordre 5.

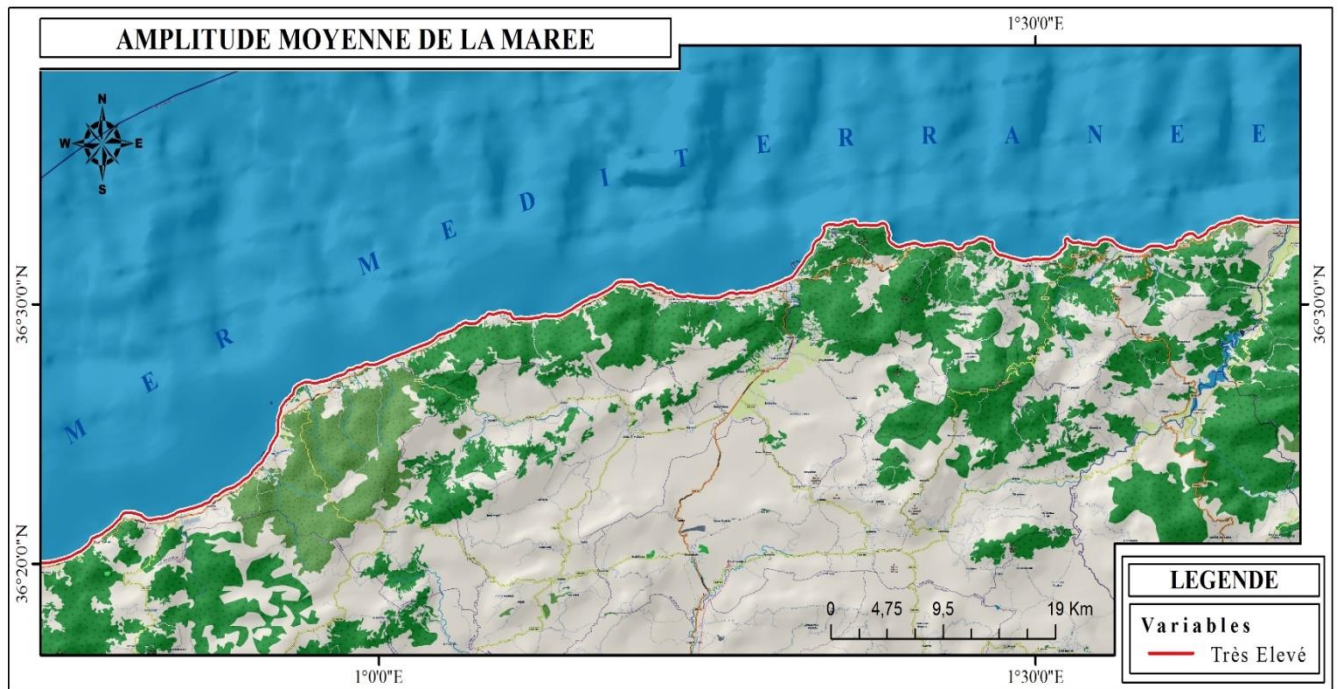


Figure 38: amplitude moyenne de la maree

➤ La variable taux érosion/accrétion :

Les zones côtières sont toujours soumises à des changements morpho-hydro-sédimentaire côtiers (Kunte et al. 2014), contrôlés par l'élévation de niveau de la mer et les caractéristiques des vagues (Kumar et al. 2010). Ces facteurs mettent en jeu le phénomène d'érosion côtière, qui a une réaction directe par l'augmentation du niveau de la mer (Yin et al. 2012). Du point de vue de l'évaluation de la vulnérabilité côtière ; les zones côtières subissant l'érosion seront plus vulnérables que les zones côtières qui subissent l'accrétion.

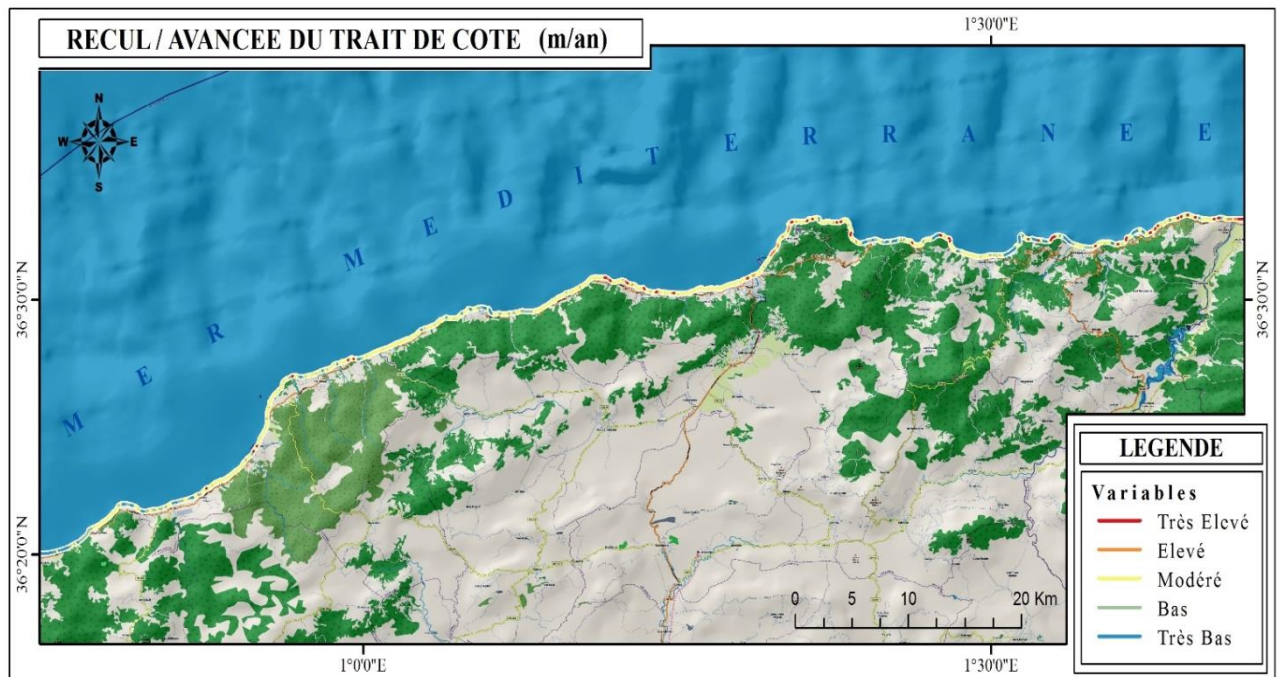


Figure 39: Recul /avancé de trait de cote (m/an)

La cartographie de la vulnérabilité physique selon le recul de trait côte a été faite à partir des résultats obtenus par le calcul DSAS dans le chapitre précédant. Ces résultats montrent que la zone côtière de Chlef enregistre un degré de vulnérabilité modéré car 70% du linéaire côtier de la zone étudiée représentent des côtes rocheuses en revanche on marque une vulnérabilité élevée et très élevée au niveau des plages non seulement à l'extraction abusive de sable à des fins de construction mais aussi à la pression anthropique exercée sur ses plages comme la zone côtière de Ténès et Beni Hawa. Les deux extrémités et le secteur centre de littoral de Chlef présentent respectivement un degré de vulnérabilité bas à très bas.

➤ La variable amplitude moyenne des houles :

La hauteur significative des vagues est le principe indicateur de l'énergie des vagues (**Gaki. Papanastasiou et al.2010**). Plusieurs études ont montré l'importance de cette variable dans l'évaluation de la vulnérabilité en raison de son influence sur l'évolution du trait de côte et la submersion marine, ce qui peut provoquer la disparition des plages et la dégradation des falaises. D'après, les résultats de la simulation de la houle du large vers la cote par le modèle numérique Mike 21.

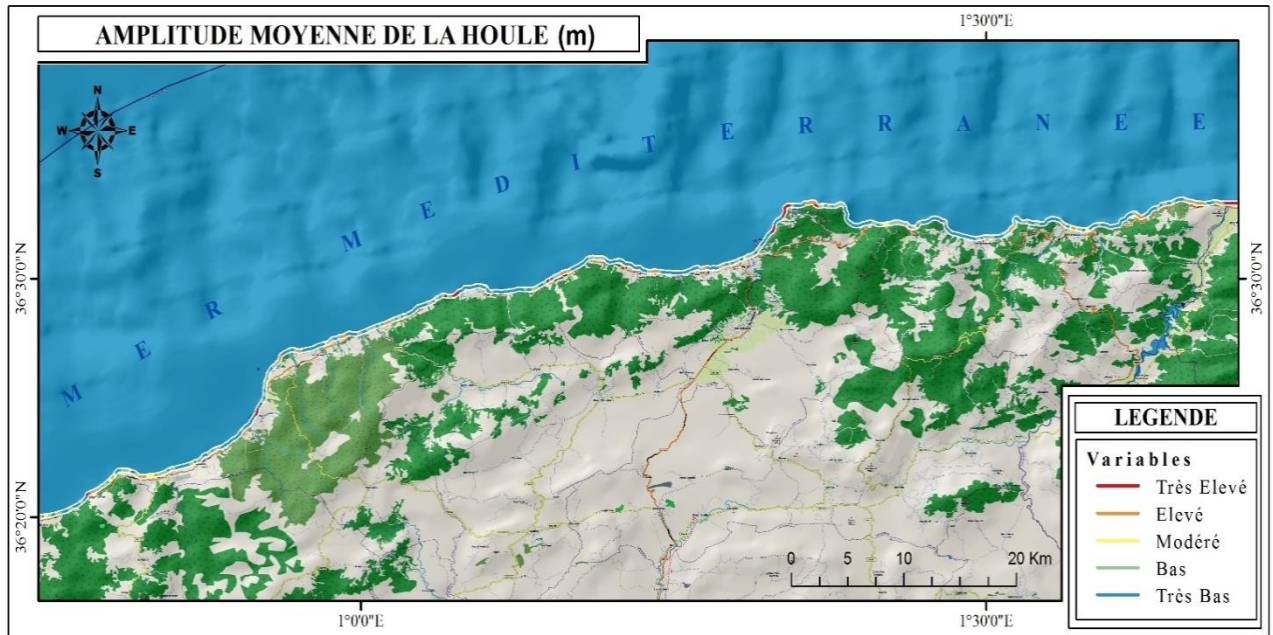


Figure 40: amplitude moyenne de la houle (m)

La zone côtière de Chlef présente un degré de risque faible (2), cependant le cap de Sidi Marouane (Ténès) est le segment le plus vulnérable en raison de leur exposition à des fortes houles de provenance multiples. Tandis que le reste du littoral est caractérisé par un degré de vulnérabilité modéré.

Le CVI physique calculé a été classé selon des intervalles et représenté graphiquement, cette représentation renseigne sur l'intensité et l'étendue de la vulnérabilité côtière de la zone, d'après le graphe, 77,4 % soit 80,08 km du linéaire côtier est caractérisé par une vulnérabilité basse.

La carte montre que ce littoral est caractérisé par un degré de vulnérabilité bas sur un linéaire côtier de 80,08 km, en effet une vulnérabilité modérée est marquée sur 18,50 km, tandis que les plages représentent une vulnérabilité élevée de 3,31 km de linéaire côtier.

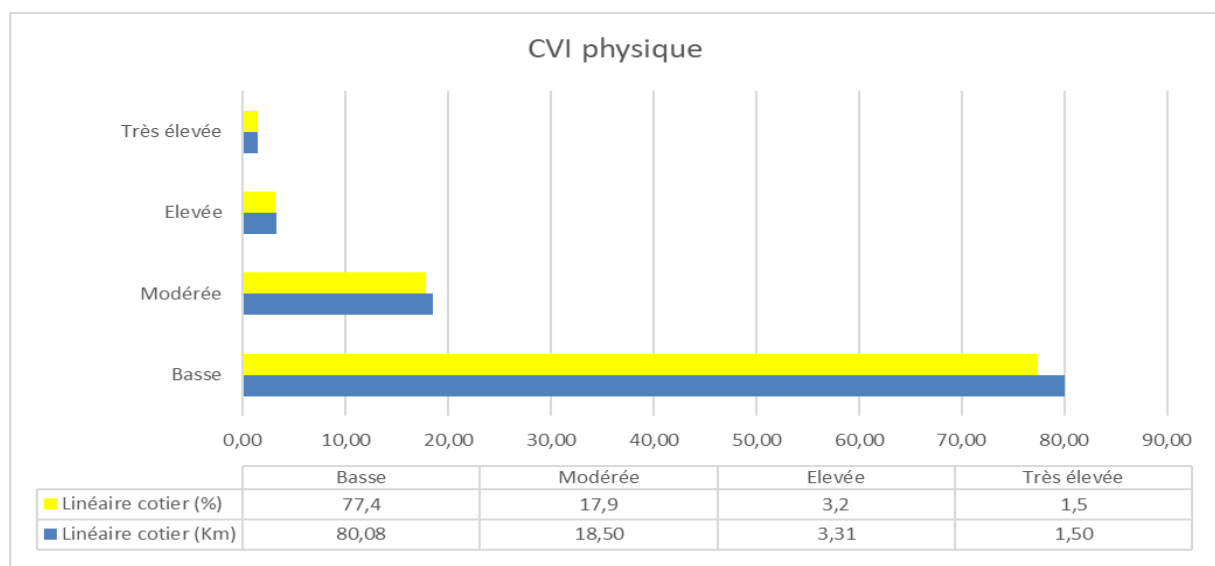


Figure 41: Pourcentage du littoral de Chlef pour chaque degré de Vulnérabilité physique



Figure 42: carte de vulnérabilité côtière physique

V.2.4. Évaluation de la vulnérabilité socio-économique (CVI socio-Eco) :

Les zones côtières sont des milieux très complexes et dynamiques, en particulier en tenant compte des composantes : physique, environnementale et socio-économique. Cette particularité fait de ces zones des espaces profondément vulnérables (Denner et al.2015).

Sur le plan socio-économique, les zones côtières montrent souvent d'autres spécificités :a) une forte densité de population, qui peut exercer une pression sur l'environnement côtier b)Un taux de tourisme élevé durant les saisons estivales; c) Une urbanisation le long du littoral (Lins-de-Barros 2017), à cet effet l'intégration de la composante socio-économique dans l'analyse de la vulnérabilité côtière vis-à-vis à l'élévation du niveau de la mer est un ajout incontournable pour l'identification des zones les plus vulnérables (Domínguez et al. 2015 ; McLaughlin et al. 2002).

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité socio-économique ; pour notre étude nous avons opté pour la méthode de (McLaughlin and Cooper 2010).

Les six variables utilisées sont la population, le patrimoine culturel, les routes, les voies ferrées, l'occupation des sols et enfin la désignation de conservation. Elles sont classées de 1 à 5 selon le degré de vulnérabilité.

Représentation des variables retenues pour le calcul du IVC socio-économique (McLaughlin et Cooper, 2010 ; McLaughlin et al., 2002)

Table 16: Représentation des variables retenues pour le calcul du IVC socio-économique (McLaughlin et Cooper, 2010 ; McLaughlin et al., 2002)

Variable	Très faible 1	Faible 2	Modéré 3	Elevée 4	Très élevée 5
Population	Absente	Village	Petite ville	Ville	Grande ville
Réseaux Routiers	Absent	-	Route	-	Autoroute
Réseaux Ferrés	Absent	-	-	-	Présent
Occupation du sol	Les plans d'eau, Espace vert roches Nues	Prairie Naturel	Forêt	Activité Agricole	Zone Urbanistique, D'infrastructure et Industriel
Patrimoine Culturel	Absent	-	-	-	Présent
Statut de Protection	Absent	-	International	-	National

V.2.5. Calcul d'indice de vulnérabilité socio-économique :

Une fois terminée la classification de ces variables selon la méthode de (McLaughlin and Cooper 2010), l'indice de vulnérabilité socioéconomique est calculé (IVCéco). C'est la somme des différentes variables, divisée par 30 puis multipliée par 100.

$$CVI \text{ eco} = \frac{(a+b+c+d+e+f)}{30} * 100$$

a : Population ; b : Patrimoine culturel ; c : Réseau routier ; d : Voies ferrées ; e : Occupation du sol ; f : Désignation de conservation

Les CVI calculés sont classés dans des intervalles égaux, afin de leurs donner des niveaux de vulnérabilité.

Table 17: Les différentes classes de la vulnérabilité côtière socio-économique.

CVI	Score	Intensité
20 – 30	2	Basse
31 – 50	3	Modéré
51 – 70	4	Elevée
71 – 80	5	Très élevée

V.2.6. Résultats et discussion :

➤ Variable de population :

La population joue un rôle très important dans l'évaluation de la vulnérabilité socioéconomique. Elle peut exercer une pression sur la zone côtière, car les zones à forte densité de population sont caractérisées souvent par un taux d'érosion plus élevé (Hegde and Reju 2007).

Sur le plan de la vulnérabilité, une côte plus fréquentée et plus peuplée est plus exposée aux risques de submersion marine et d'érosion côtière que celle moins fréquentée et moins peuplée.

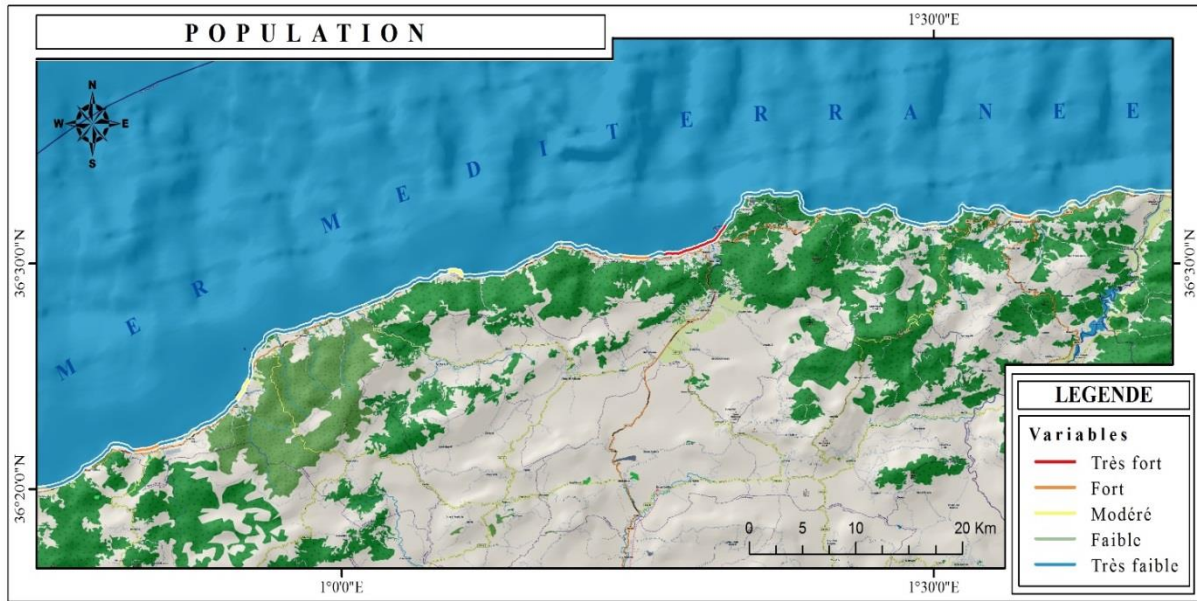


Figure 43: La population

Ténès est la seule agglomération dont le linéaire urbanisé dépasse les 03 km, il est d'environ 5,61 km donc elles représentent un degré de vulnérabilité très élevée. La commune de Beni Haoua quant à elle, a un rapport parmi les plus faibles vu que l'agglomération est limitée par des terres agricoles qui sont protégées. Dahra a le rapport le plus faible vu que les agglomérations se situent au centre du territoire communal donc en dehors du domaine littoral.

➤ **Le patrimoine culturel :**

C'est une variable moins importante en termes économiques, mais elle prend en considération la valeur culturelle et sociale. Le patrimoine culturel inclut les monuments historiques et les sites archéologiques (Niazi 2007). De point de vue de vulnérabilité, les zones côtières avec des sites historiques sont classées dans la plus haute catégorie «5 », alors que les zones sans les sites historiques sont classées dans la catégorie «1 ».

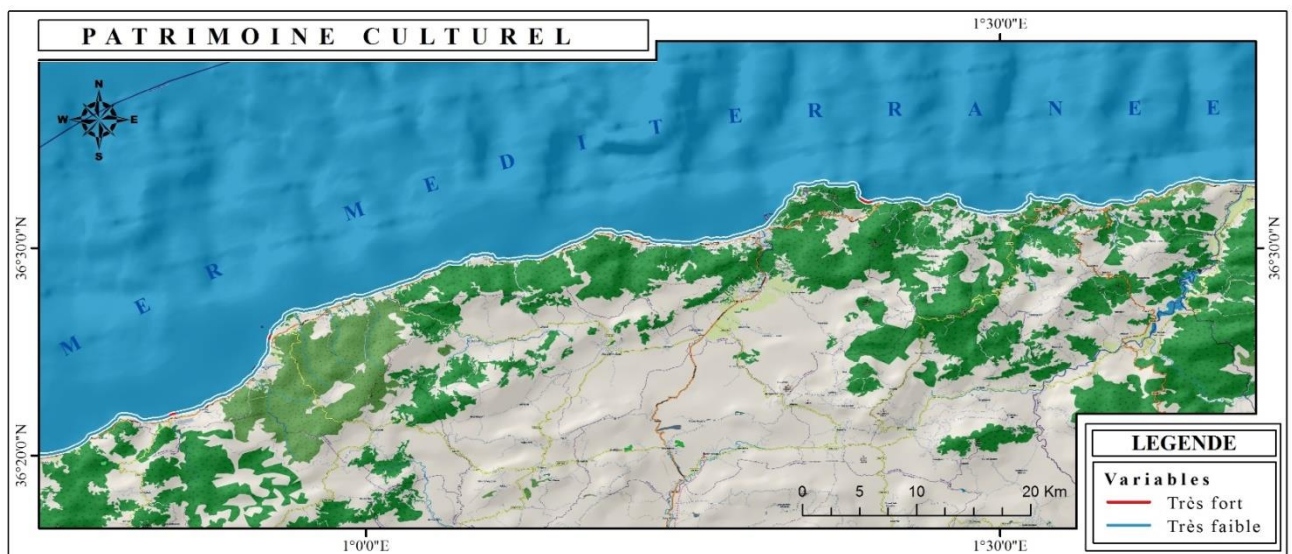


Figure 44: patrimoine culturel

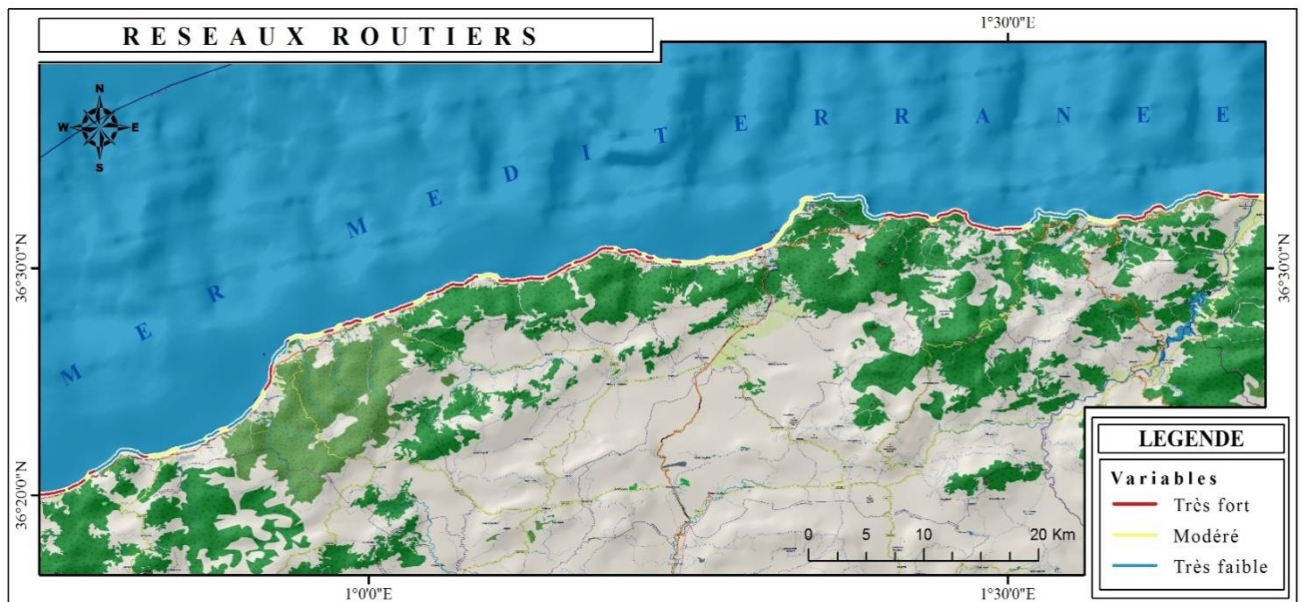
La zone d'étude présente héritage culturel important dans la commune de Ténès comme : le centre touristique les stars CTS à El Marsa, le monument historique de Ténès aussi le complexe touristique Tighza, Site archéologique Arsenaria, ou le degré de vulnérabilité est très fort et le reste du littoral représente une vulnérabilité très faible.

➤ **Variable des réseaux routiers et voies ferrées :**

Les routes et les voies ferrées jouent un rôle crucial en matière d'économie, de communication et de transport dans les zones côtières.

Sur le plan de la vulnérabilité socioéconomique, l'absence de routes ou de voies ferrées rend les zones côtières extrêmement vulnérables, tandis que leur présence définit les zones côtières à faible vulnérabilité. Dans cette étude, les informations sont extraites à partir de la carte des routes ou on remarque la présence de réseau routier (les routes nationales comme le N11) qui marque une vulnérabilité très élevée et le reste du littoral est modéré a très faible.

Pour notre cas d'étude le réseau ferrées est absent au près du littoral donc la partie côtière De littoral de Chlef est considéré comme étant faiblement vulnérable avec un degré de 1 par rapport à Cette variable.



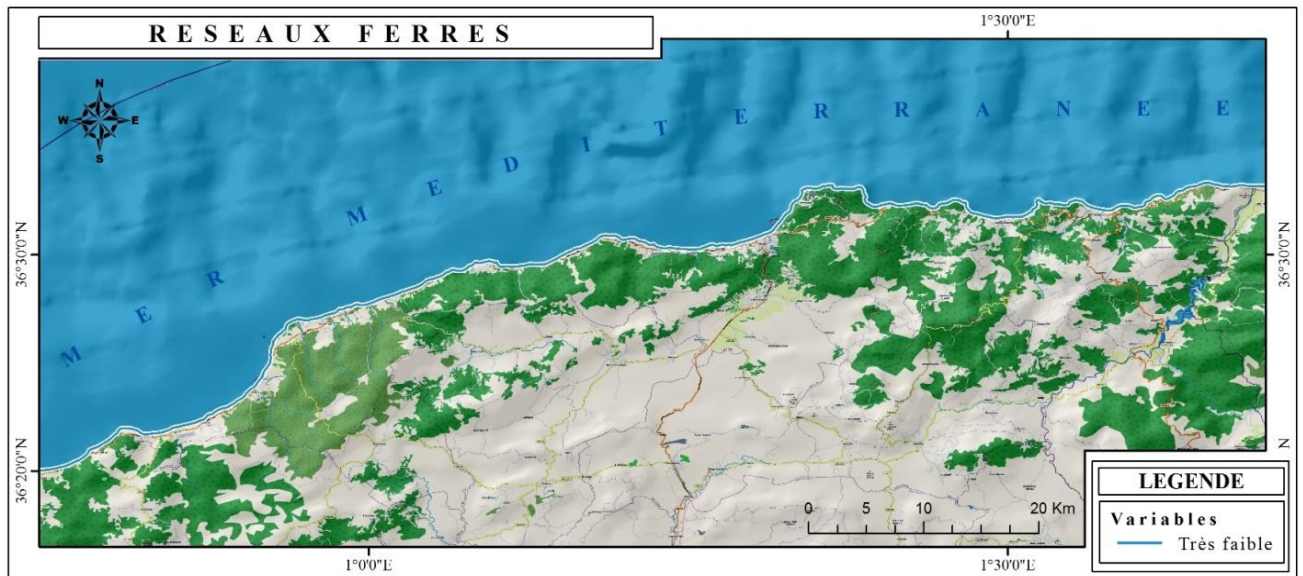


Figure 45: réseaux ferres

➤ **Variable occupation du sol :**

Selon (Mclaughlin et al.2002), les zones côtières urbanisées et industrialisées sont plus vulnérables que les zones des roches dénudées. Les données pour cette variable ont été obtenues d’une carte topographique et rapport de l’étude d’aménagement du littoral de Chlef réalisé par le CNERU.

Ténès est la commune la plus peuplée, elle totalise 37,3 % de la population des communes côtières. En effet l’agglomération de Ténès est la plus importante sur la bande littorale ou elle marque une vulnérabilité très élevée

Les agglomérations de Beni Haoua, Oued Goussine et Sidi Abderrahmane sont aussi marque une vulnérabilité importante et on marque une vulnérabilité très basse par rapport au côtes rocheuses. Aussi notre zone étude présente des richesses forestières considérable et des plans d’eau qui représente une vulnérabilité très élevée.

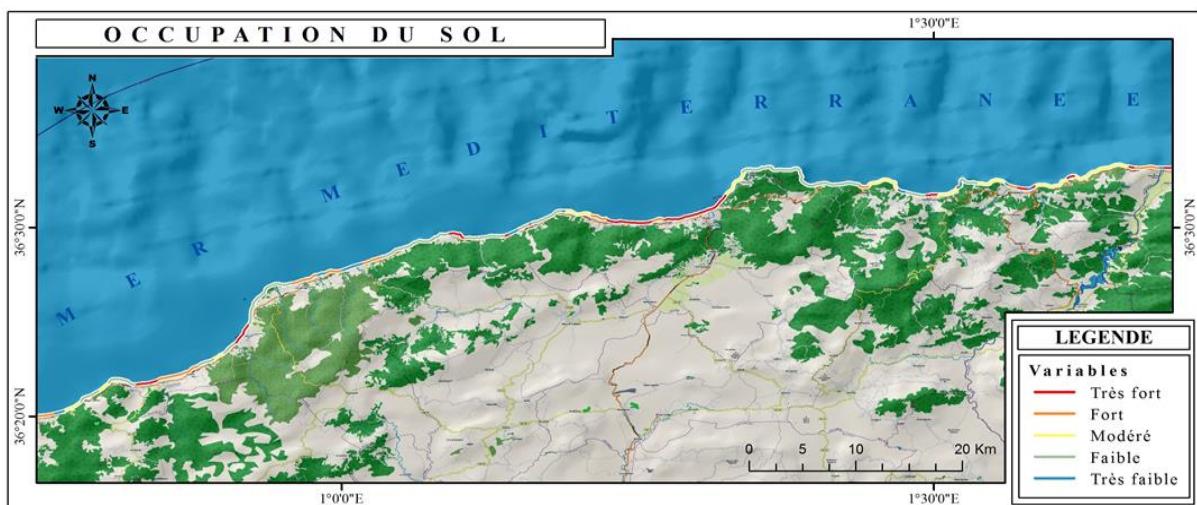


Figure 46: occupation du sol

➤ **Variable de désignation de conservation :**

Ce critère a des valeurs significatives en raison de leurs propriétés écologiques et de leur intérêt scientifique, et il est fréquemment reconnu par la législation nationale et internationale. Sur le plan de la vulnérabilité socioéconomique, les zones déclarées à conservation nationale sont plus exposées que les zones à conservation internationale.



Figure 47: statut de protection

Dans notre zone d'étude plusieurs sites écologiques qui sont préservés comme : la chaîne de Dahra, le massif de Ouarsenis, la forêt Dremla et de Tighza, aussi la plage de Tamzit, un site écologique aussi au niveau d'oued Batoumi vulnérables présente une vulnérabilité très élevée et le reste du littoral présente une vulnérabilité très faible.

D'après le calcul de CVI socioéconomique les résultats de cette étude montrent que sur cette frange littorale qui s'étale sur environ 142 km de linéaire côtier, 44% soit 45,47 km enregistre un degré de vulnérabilité modérée. 37,4% soit 38,7 km montre une vulnérabilité modérée. Seulement 1,6% sur 1,62 km qui représente une vulnérabilité très élevée dans la zone où ont un potentiel touristique et des activités anthropiques (Ténès).

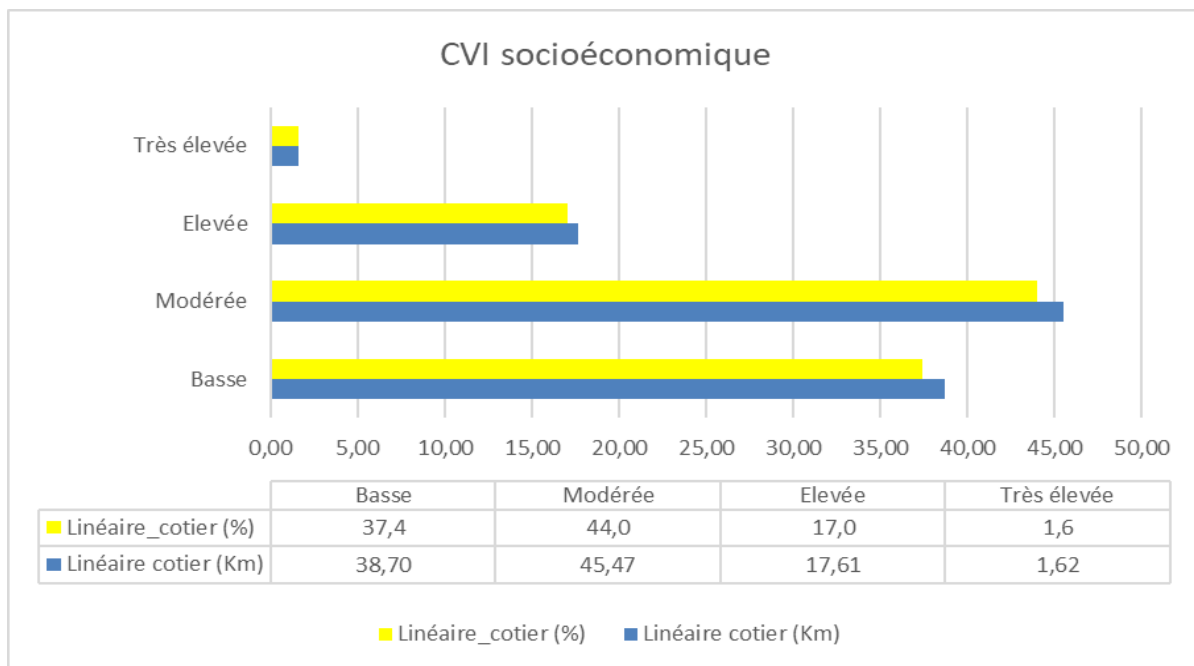
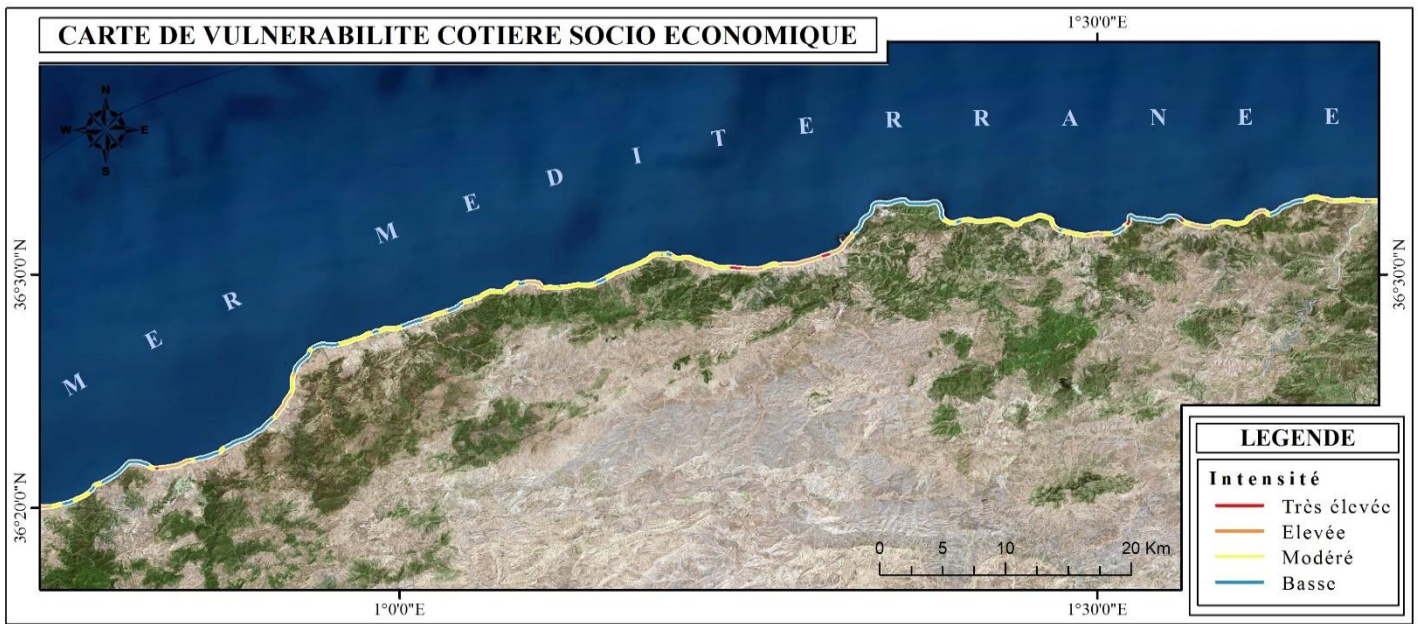


Figure 48: Pourcentage du littoral de Chlef pour chaque degré de vulnérabilité socio-économique.

V.2.7.Evaluation de la vulnérabilité physique et socio-économique du littoral de Chlef :

Le littoral de Chlef qui s’étale sur environ 142 km de linéaire côtier est soumis à La fois à des perturbations d’ordre physique et socioéconomique qui peut influencer cette bande littorale face à une élévation du niveau marin suit à un bouleversement climatique. Afin de donner des résultats finaux sur l’évaluation d’état de la zone d’étude, selon les deux volets ; une pondération des deux variables a été faite.

D'après le graphe, on peut constater que cette portion côtière possède un 61.5km de linéaire côtier une vulnérabilité modéré,30 % de cette zone côtière présente une vulnérabilité faible et uniquement 8.4 km du linéaire côtier qui représente une vulnérabilité forte

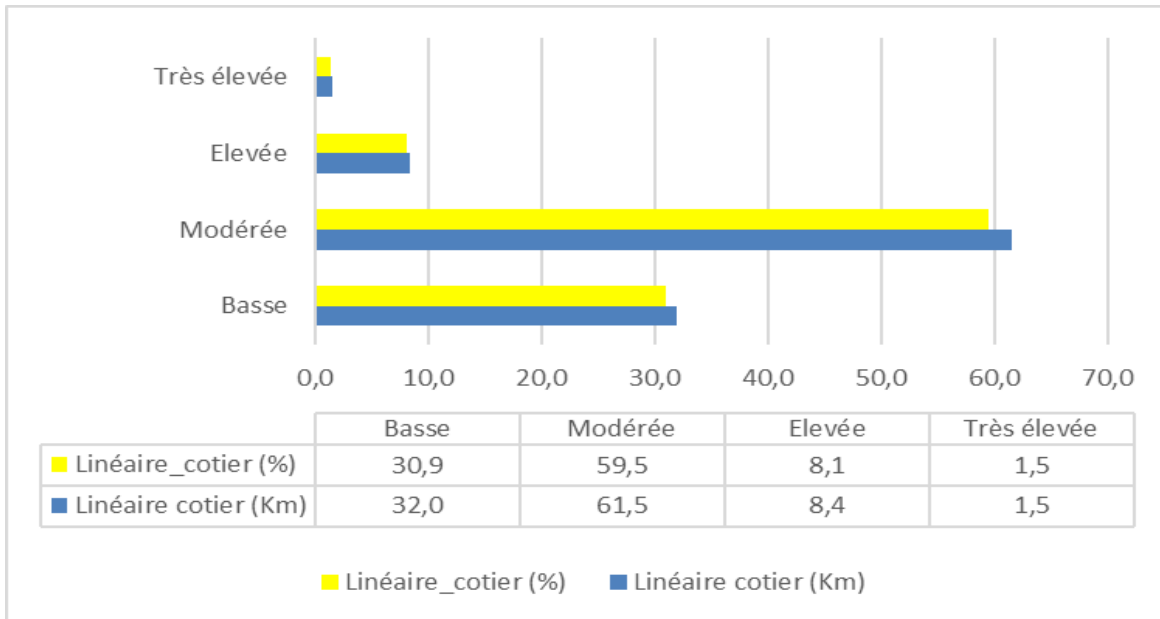


Figure 49: Pourcentage du littoral de Chlef pour la vulnérabilité physique et socio-économique.

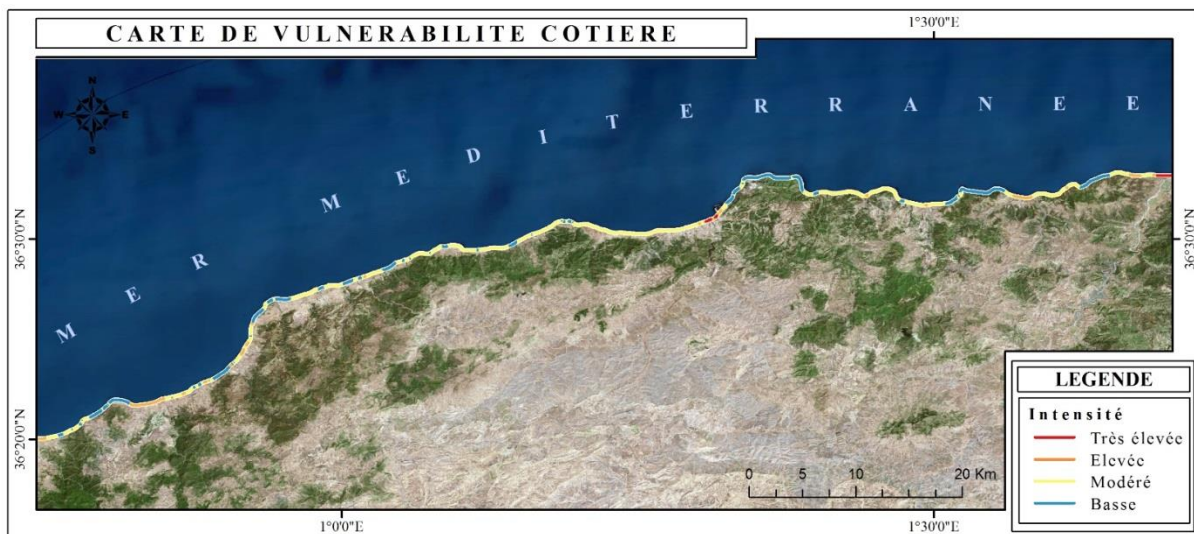


Figure 50: carte de vulnérabilité côtière

V.3. Vulnérabilité au Risque sismique :

Chaque événement qui entraîne un déplacement significatif du plancher océanique cause aussi le déplacement d'un volume d'eau équivalent, qui peut donner naissance à un tsunami. Bien qu'ils soient généralement associés aux séismes, les tsunamis peuvent aussi être déclenchés par de nombreux autres types de phénomènes, incluant les glissements de terrain sous-marins ou terrestres, les éruptions volcaniques sous-marines et terrestres, les explosions et même les impacts des bolides (ex. astéroïde, météore, comète) (Clague, 2001 ; Paine, 1999).

La majorité des tsunamis ayant eu un impact plus ou moins fort et sur une grande région ont été générés par des séismes (Roger, 2011 ; Synokis, 2004 ; Satake et Tanioka, 1999).

Historique sismique de la région de chlef :

La région de Chlef située au nord de l'Algérie a environ 200 km à l'ouest de la capitale Alger, de par sa proximité du contact des plaques continentales européenne et africaine est une zone très instable constamment soumise à une activité sismique intense. Elle a subi au cours des siècles derniers des séismes qui comptent parmi les plus destructrices (ex Orléansville, ex El-Asnam) en 1922, 1934 et 1954. Ce dernier séisme de magnitude 6.7 bien décrit par Rothé (1955), Thevenin (1955), McKenzie (1970) et McKenzie (1972), a causé la mort de 1340 personnes et d'importants dégâts sur les différents ouvrages et l'apparition des phénomènes de glissement et de liquéfaction des sols.

Les investigations de paléo sismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes (sismistes) qui ont affectées cette région (Meghraoui, 1988).

Il y a quatre 04 grandes crises séismiques qui ont touché la région de chlef

- 1- La crise déclenchée par le choc de 1922 : 25 août, 29 août, 19 novembre 1922 et qui a provoqué de sérieux dommages matériels et humains dans la région de Cavaignac, Ténès, Orléansville. (Intensité 9 sur l'échelle For-Rossi à Cavaignac).
- 2- Crise de 1934 : 5 septembre, 7 septembre, 30 septembre et 7 novembre 1934. La secousse du 7 septembre 1934 a été évaluée 9 degrés de l'échelle For-Rossi à Carnot, les Attafs et 6 degrés à Orléansville.
- 3- Crise de 1954 : 9 septembre 1954 avec la longue série de répliques jusqu'à 1957.
- 4- Crise 1980 : 10 octobre 1980 avec de très fortes répliques durant les six mois qui ont suivi.

ce qui ressort de façon évidente de cette analyse globale, c'est que la région de chlef se caractérise par des crises sismique meurtrières a des intervalles plus ou moins réguliers : 12 ans entre 1922 et 1934, 20 ans entre 1934 et 1954 et enfin 26 ans enter 1954 et 1980.(Benhallou , 1985).

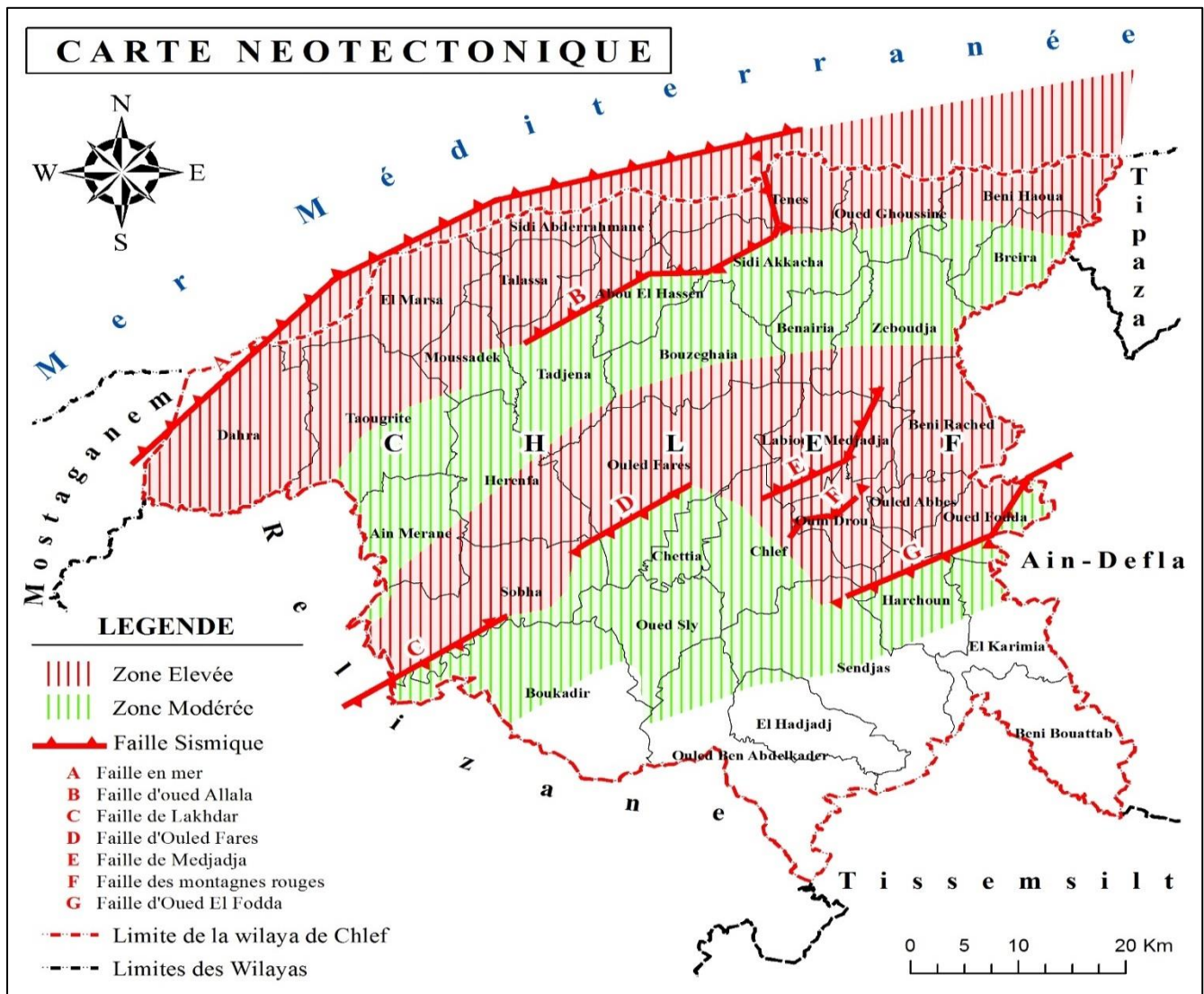


Figure 51: Une carte qui represente les zones qui marquent une activité sismique (protection civil)

La région de chlef se situé dans une région marquée par des failles et des provinces sismiques actives qui induisent une activité sismique assez élevée Les principales failles situées dans la région de Chlef sont de direction Nord Est-Sud Ouest : Faille de Ténès , Faille Abou El Hassan – Sidi Akkacha ,Faille Bouzeghaia – Zeboudja ,Faille d’Oued Fodda – Sendjas (le plis-faille de Sara El Maarouf , Faille de chlef- Béni Rached-Oued Fodda (plis faille d’el Asnam),Faille pli-faille de Boukadir, Plis- Relizane,Plis de Medjadja (Ouled Farès),Plis- Dahra et aussi des failles actives supposées, telleque la zone faillée en mer parallèlement à la côte méditerranéenne, pour laquelle il n’y a pas de preuves géologiques directes pour confirmer son existence et son âge.

V.4.Conclusion :

L'évaluation de la vulnérabilité du littoral de chlef au risque d'érosion et de submersion marine mais aussi aux activités sismiques est indispensable pour la mise en exergue de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), pour cela la combinaison de deux méthodes de Gournitz et MClaurang est pertinentepour identifier les zones les plus vulnérables aux phénomènes d'érosion côtière et la submersion marine. Ces approches peuvent constituer un outil d'aide à la décision soit en proposant des mesures d'adaptation aux changements climatiques notamment a ces phénomène, soit pour décider d'exploiter les littoraux qui represente une vulnérabilité faible pour diminuer la pression sur les autre côte qui sont déjà menacés. Vers la fin, l'historique de l'activité sismique et la repartition des failles dans la zone d'etude donne la possibilité de présenter une prospection sur l'impact de l'aléa sismique sur la vulnérabilité des côtes.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le littoral constitue un environnement fragile et complexe qui regorge de ressources Socio-économiques (SALEM CHERIF, 2023) pour cela l'évaluation de sa vulnérabilité face aux Géorisques est primordiale pour l'exploitation durable des ces ressources.

Au terme de ce travail nous rappelons que le choix de notre zone d'étude a été effectué, d'une part, par rapport à ses caractéristiques morphologiques et son activité sismique et d'autre part aucune étude de vulnérabilité n'a été publiée auparavant sur ce littoral. Au cours de ce travail, un manque de données a été remarqué sur cette bande littorale.

Cette étude, dont l'objectif était d'évaluer les impacts potentiels des Géorisques et les actions anthropiques ainsi l'activité sismiques sur le littoral de Chlef, pour atteindre cet objectif on a appuyé sur la démarche dévaluation de vulnérabilité côtière physique et socioéconomique en calculant les CVI a révélé une vulnérabilité physique et socioéconomique modéré de cette frange côtière face à ces impacts.

Tout d'abord, nous avons réalisé une synthèse sur la zone d'étude ainsi que sur le contexte géologique et hydrographique, puis nous avons examiné les paramètres climatiques et océanographiques. Le littoral de Chlef est caractérisé par une côte rocheuse à 80% dont l'orientation moyenne est OSO-ENE ; cette caractéristique la laisse vulnérable principalement aux houles de secteur NO.

Après le suivi spatiotemporel de l'évolution du tait de côte du littoral de Chlef entre 2004 et 2024, réalisé selon une méthode d'analyse diachronique. Apres ce suivi un scénario tendanciel prévisionnel est établi pour l'horizon 2044 on peut constater que notre littoral n'est pas vulnérable par rapport au phénomène d'érosion.

Après avoir effectué la caractérisation de notre site d'étude par rapport aux paramètres considérés pour le calculer de CVI physique et le CVI socio-économique ; nous avons réalisé deux cartes de vulnérabilité pour chacun des deux indices. On a pu constater que le littoral de Chlef présente 77.4% une vulnérabilité physique basse et 59.5% une vulnérabilité socio-économique modérée.

En plus de la CVI ; une évaluation de la vulnérabilité a l'aléa de submersion marine a été cartographié. Pour ce faire ; nous avons élaboré des scénarios de simulation des évènements extrêmes de la houle. Ces scénarios ont été réalisés par rapport à quatre directions (nord, nord-

Conclusion générale

est, nord-ouest et ouest). La houle de Nord-Ouest étant le plus défavorable a donc été choisie pour la désignation du niveau de submersion.

Après avoir cartographier la submersion marine, 210.6 ha des terres perdus avec une élévation de niveau de la mer de 1 m, 318.5 ha avec une élévation de 2 m et 793 ha par rapport au niveau d'élévation de 6 m et 943.9 ha par le niveau d'élévation maximum de 8m.

Suite à ce travail, il est possible de conclure que le littoral de Chlef est peu vulnérable à l'érosion et à la submersion marine, ce qui lui permettrait d'être exploité de manière mesurée.

Perspectives :

Cette étude sur le littoral de Chlef a certes fourni des résultats importants sur le taux de vulnérabilité de ce littoral face à l'élévation du niveau de la mer et aux actions anthropiques, mais pour faire une étude plus approfondie et plus critique, cela nécessiterait la disponibilité :

- D'une base de données sur le climat des houles au large et à la cote.
- Des cartes bathymétriques et des levées topographiques plus précis et plus récents qui permettent d'élaborer un modèle numérique de terrain, outil indispensable pour une meilleure précision des scénarios d'inondation.
- Des vérités terrain.
- Promouvoir le partage des informations dans le contexte de la recherche scientifique.

Référence bibliographie

- **AGGOUN saci, sofiane. (2013).** Impact des aménagements sur l'environnement de la marge littoral de wilaya de mostaganem. Mémoire de master. Aménagement régionale. Mostaganem : université faculté des sciences de la terre de la géographie de l'aménagement de territoire.
- **Allemand, P. (2014).** Gestion des risques dérosion et de submersion marines.
- **AMARNI, N., FERNANE, L., & BELKESSA, R. (2021).** Évaluation de la vulnérabilité côtière du littoral centre ouest algérien (Cherchell), sous l'angle de la géomatique.
- **AMOURA, M. (2022).** Contribution à l'analyse de la performance d'un système d'irrigation de cultures dans la région de Chlef. Thèse de doctorat. Géniechimie. Chlef : Université Hassiba Benbouali de Chlef Faculté de Technologie Département de Génie des Procédés.
- **BECHEIKH, K. (2022).** Approche critique de la littoralisation sur le changement environnemental : Cas du littoral de la région de Mostaganem (Nord-Ouest, Algérie). Mémoire de master. Biodiversité et environnement. Mostaganem : Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie.
- **Benlagha, N. (2009).** Les sinistres graves en assurance automobile : Une nouvelle approche par la théorie des valeurs extrêmes.
- **Bessières, L. (2007).** Impact des marées sur la circulation générale océanique dans une perspective climatique. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : université paul sabatier Toulouse 3.
- **Charland, J. (2015).** Modélisation de la propagation de la houle en présence d'un courant inhomogène et au-dessus d'une topographie variable. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : institue méditerranée d'océanologie.

Référence bibliographique

- **Chiu, Y. M. (2017).** Approches de modélisation des extrêmes dans l'étude des relations entre la santé et la météo. Thèse de doctorat. Océanographie physique. Canada : institue nationale de la recherche scientifique centre eaux terre envirement.
- **Décamps, H. (Éd.). (2010).** Événements climatiques extrêmes : Réduire les vulnérabilités des systèmes écologiques et sociaux. France : EDP science.
- **Drejza, S. (2010).** Impacts et efficacité des zonages des risques côtiers dans un contexte de changements climatiques. Mémoire de mster. Changement cimatique. Canada : université de Percé, Québec.
- **Duff, M. L. (2021).** Les risques naturels côtiers en Nouvelle-Calédonie : Contribution pour une gestion intégrée : De la caractérisation du risque à la participation citoyenne, quelques perspectives pour la prévention des risques aux îles Loyauté. Thèse de doctorat. Calédonie : institue de science exacte et appliquée.
- **FEKIH, F. (2020).** Apport de la Géomatique pour l'étude de la dynamique des feux de forêts à Chlef. Mémoire de master. Écologie, gestion et conservation de la biodiversité : Tlemcen : faculté de science de la nature et de la vie et science de la terre et de univers.
- **Geneste, D. (2023).** Des évènements extrêmes de dissipation aux évènements extrêmes de dispersion, une empreinte des singularités : Approche expérimentale. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : faculté de science d'orsay.
- **Gicquel, R. (1992).** Modèles numériques et Environnements de Modélisation : Des outils pour mobiliser efficacement les connaissances scientifiques.
- **Guillaume, M. (2021).** Projet Résilience côtière : Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion.
- **Guivarch, C., & Taconet, N. (2020).** Inégalités mondiales et changement climatique. Revue de l'OFCE, 165(1), 35-70.

Référence bibliographique

- **HADEF, R. (2014a).** Gouvernance et vulnérabilité des espaces littoraux : Approche d'aide à la réflexion pour une gestion intégrée de la zone de la zone côtière de Skikda. Thèse de doctorat. Architecture et d'urbanisme. Skikda : université d'architecture.
- **Hamon, K. (2014).** Étude de la morphodynamique et du profil d'équilibre d'une plage de poche macrotidale. Mémoire de master. Géologie. France.
- **Hellequin, A.-P., Flanquart, H., Meur-Ferec, C., & Rulleau, B. (2013).** Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien : Contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière. Natures Sciences Sociétés.
- **Hzami, A. (2024).** Etude morphodynamique de système littoral face aux changements climatiques et à l'élévation de niveau de la mer. Thèse de doctorat. Université de Tunis El Manar. Faculté des Sciences de Tunis.
- **Idris, M., Dimitri, M., Nicolas, M., Marc, M., & Pierre, M. (2018).** Modélisation d'extrêmes de séries temporelles : Une étude empirique. Mémoire de master. Modélisation. France : institut de la recherche scientifique.
- **Zohra, B. (2013).** La gestion du risque sismique dans la ville de Chlef -Algérie. mémoire de master. Génie civil. Chlef : école nationale des travaux publics de l'état.
- **Imen, B. (2021).** Evaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri : Vulnérabilité et Adaptation. mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Alger : école supérieure de science de la mer et aménagement du littoral.
- **Laffitte, E. (2015).** Modélisation de la propagation de la houle en présence de courants cisailés et par bathymétrie variable. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : institut méditerranéen d'océanologie.
- **Lardy, R. (2013).** Calcul intensif pour l'évaluation de la vulnérabilité en utilisant une approche d'Ingénierie Dirigée par les Modèles : Application à la vulnérabilité des prairies au

Référence bibliographie

changement climatique sous contraintes de plans d'expériences. Thèse de doctorat. Informatique. France : université blaise pascale.

- **Laurent, G. (2020).** Théorie des valeurs extrêmes.
- **Lieutaud, A., Pateau, M., Billiere, C., Reghezza-Zitt, M., Eckert, N., Grandjean, G., & Richard, D. (2019).** Risque et catastrophe naturel.
- **Meriem, M., & Samira, M. (2019).** Estimation de l'indice des valeurs extrêmes Application en hydrologie. Mémoire master. Mathématique. Jijel : université de science exacte et informatique.
- **Meriem, T. (2023).** Modélisation des effets de la houle sur la stabilité et franchissement des ouvrages maritimes. Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Alger : école supérieur de science de la mer et aménagement du littoral.
- **Nasri, B. (2013).** Estimation des événement extrême par modèle GEVB SPLINES. Étude de cas : précipitations extremes a la station randsburg en Californie.mémoire de master. Canada : Université du Québec Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement.
- **Perherin, C., Roche, A., Pons, F., Roux, I., Desire, G., & Boura, C. (2010).** Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux. Mémoire de master. Génie civil. France : université des sables d'olonne.
- **Raggad, B. (2009).** Fondements de la théorie des valeurs extrêmes, ses principales applications et son apport à la gestion des risques du marché pétrolier. Mathématiques et sciences humaines.
- **Romieu et Vinchon, E. (2009).**Evaluation de la vulnérabilité de la zone côtière : État de l'art et analyse critique.

Référence bibliographie

- **SALHI, hamida. (2019).** Valeur alimentaire des espèces spontanées de la plaine du moyen Cheliff. Thèse de doctorat. Comportement alimentaire et nutrition animale. Chlef : université de Hassiba Ben Bouali.
- **Stander, C. (2015).** Analysis of Extreme Events in the Coastal Engineering Environment. mémoire de master. environnement. France: faculté de la science et l'océanographie.
- **Toulemonde, G. (2008).** Estimation et tests en théorie des valeurs extrêmes. Thèse de doctorat. Statistique mathématique. France : école de doctorat de science mathématique de paris centre.
- **Triay, L. (2022).** Vulnérabilité systémique actuelle et trajectoire prospective du risque littoral aux Saintes-Maries-de-la-Mer.
- **Aoudj, C., Mezouar, K., Guerfi, M., Sallaye, M., Salem Cherif, Y., Dahmani, A. E. A., & Boukhennaf, A. (2020).** Évolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral centre Algérien : Cas de la baie de Zemmouri. XVIèmes Journées.
- **Yousra, S. (2023).** Dynamique et évolution morphosédimentaire des plages sableuses : de l'étude des processus à la modélisation. Application sur trois sites du littoral algérois. Thèse de doctorat. Gestion et protection de littoral. Alger : école supérieur de science de la mer et aménagement u littoral.
- **Milloud, S. (2021).** Processus mis en jeu dans l'évolution morpho-dynamique de la baie de Zemmouri : modélisation hydro-sédimentaire et cinématique du trait de côte. Thèse de doctorat. Gestion et protection du littoral. Alger : école supérieur de science de la mer et aménagement u littoral.
- **Hadjer, H. (2023).** Impact des événements météo-océaniques extrêmes sur l'évolution spatiotemporelle des côtes sableuses de la baie de Bou Ismail. mémoire d'ingénieur. Gestion

Référence bibliographie

et protection de littoral. Alger : école supérieur de science de la mer et aménagement du littoral.

ANNEXE :

BUSINESS MODEL CANVAS

Après la réalisation de notre projet de fin d'étude dans le cadre d'obtention de diplôme d'ingénieur en gestion et protection du littoral, et à travers une étude approfondie sur la thématique de l'évaluation de la vulnérabilité côtière mais aussi l'intérêt de cette démarche pour la protection de nos bandes littorales qui sont menacé par les phénomènes d'érosion et de submersion marine ainsi par l'activité anthropique. Ces données indiquent qu'il faut réfléchir à offrir des services qui occupent de ces études pour aider les décideurs de proposer des mesures de protection.

Notre entreprise se distinguera de la concurrence par la proposition d'une combinaison unique d'expertise dans le domaine d'aménagement du littoral et de la cartographie basés sur l'Intelligence Artificielle. Cette approche une nouvelle démarche qui n'existe pas encore au niveau de notre marché. L'entreprise vise également à fournir des formations à la carte ainsi que des solutions de veille technologique.

Cette approche innovante et attractive sera particulièrement intéressante pour les clients à la recherche de solutions de pointe de gestion des risques et de développement côtier.

Notre activité c'est de faire un bureau d'étude dans le domaine de génie côtier sous le code d'activité : 607085.

Nos propositions de valeur pour les clients incluent les éléments suivants :

- La proposition de solutions avancées basées sur la démarche de vulnérabilité pour la gestion des risques côtiers.
- La prédiction et la modélisation précise des processus côtiers.
- L'amélioration de l'évaluation des risques côtiers et des stratégies de réduction des risques en appuyant sur l'évaluation de la vulnérabilité côtières et faire l'analyse des Géorisques vers la fin.
- L'amélioration de l'efficacité de la recherche de solutions dans des délais optimaux.
- Etude et modélisation dans la construction ou la réhabilitation d'infrastructures portuaires
Et d'aménagement du littoral
- Traitement et analyses des bases de données dans le domaine de géomorphologie et de cadre.
- Notre étude s'intéresse à intégrer l'évaluation de l'aléa sismique comme facteur dans la démarche de vulnérabilité.

2/Analyse stratégique du marché :

Après avoir effectué une étude de marché, on a sélectionné ces clients cibles :

Délégation Nationale aux Risques Majeurs :

Elle serait intéressée par nos services pour renforcer les capacités nationales de prévention et de gestion des risques côtiers. En effet cela va améliorer la préparation aux situations d'urgence, la coordination des mesures de réponse et la réduction des pertes humaines et économiques causées par les événements côtiers extrêmes.

Agence Nationale des Changements Climatiques :

Elle serait intéressée par nos services pour disposer de modèles prédictifs et de données sur le franchissement des vagues et les submersions marines liées aux changements climatiques. De plus, cela permettrait d'évaluer les impacts futurs du changement climatique sur les zones côtières, d'élaborer des stratégies d'adaptation et de fournir des recommandations pour la gestion durable des écosystèmes côtiers.

Directions de travaux publics :

Elle s'intéresse à nos services pour améliorer l'évaluation des risques côtiers dans le cadre de la planification et de la gestion des infrastructures publiques. Cela leur permettrait également de prendre des décisions éclairées concernant la construction, l'entretien et la réparation des ouvrages côtiers. Ces décisions les aideraient à minimiser les risques d'inondation et de dommages causés par les événements côtiers.

Étudiants, chercheurs et ingénieurs dans le domaine côtier :

Ils seront intéressés par nos services pour développer leurs compétences dans logiciels spécialisés en cartographie et SIG. En effet cela va améliorer leur expertise dans le domaine du génie côtier, de la modélisation des phénomènes côtiers et de la gestion des risques. Ces formations seront bénéfiques pour leur carrière professionnelle et leurs projets de recherche.

Ministère de l'environnement et des énergies renouvelables :

Ils seront intéressés par nos services pour prendre en considération les risques environnementaux majeurs exercés dans l'environnement côtiers afin d'agir plus vite pour assurer la durabilité de cette richesse non renouvelable.

Annexe

Agence national d'aménagement du tiretoire :

Pour communiquer avec nos clients et leur fournira ses services, notre entreprise propose des moyens de distribution suivants :

- La participation aux conférences et aux salons professionnels pour faire la publicité à nos services.
- De participer à l'appel d'offre pour avoir plus d'opportunité à notre entreprise.
- Utiliser emailing pour communiquer et rester au courant au évènements Programmé par les entreprises gouvernementales ciblées.
- Utiliser le LinkedIn pour faire connaitre nos services.
- Utiliser un site web informatif.

Pour maintenir une relation durable avec nos clients, notre entreprise met l'accent sur une collaboration étroite avec les clients. On proposera des consultations personnalisées pour comprendre les besoins spécifiques des clients et leur offrir des solutions adaptées. Des mises à jour régulières sur les nouvelles technologies et de cartographie dans le domaine seront fournies aux clients afin de les maintenir informés des dernières avancées. de les faire des formations gratuites à nos clients aussi notre entreprise ferra des réductions de 30 de prix de services si

Le client pris 2 services mais aussi notre entreprise s'intéresse à faire des suivis après-vente pour orienter nos cibles.

Plan de production et d'organisation :

Pour la réalisation de cette entreprise et afin d'offrir nos services on a suivi une démarche de vulnérabilité qui a été déjà mentionné dans notre PFE. Donc on peut dire on a effectué un service prototype dans notre projet de fin d'étude. On résume notre stratégie dans les lignes suivantes :

- La création de la base de données solide sur la géomorphologie la pente aussi pour les climats des houles.
- L'étude de suivi diachronique du trait de côte afin d'évaluer le phénomène d'érosion qui dégrade non côte.
- Appuyer sur la méthode d'événement extrêmes pour donne les hauteurs des houles dans des période de retours précises.
- On a effectué un scénario moyen afin de faire la carte de la houle de vulnérabilité et des scénarios d'événement extrême pour étudier la submersion marine en utilisant le logiciel

Annexe

MIKE 21.

- Après la réalisation de tous ces parties on calcule les indices de vulnérabilité cvi et sortir avec des cartes et des graphes qui représente tous les risques qui menaces la cote étudiée.
- Intégrer le cadre sismique pour effectuer la démarche de vulnérabilité dans nos études.

Pour élaborer cette entreprise et assurer leur fonctionnement. Les ressources nécessaires au bon fonctionnement de notre entreprise Sont :

- Ingénieur expérimenté en SIG.
- Matériel informatique puissant et performant.
- Distributeurs et grossistes de la fourniture nécessaire (papier, stylos, marqueurs, etc.).
- Base de données de cartographies.

Le Tableau 1 détaille les ressources essentielles avec leurs coûts pour créer et mettre au point notre entreprise.

Besoin	Nombre	Prix
Local (50m ²)	1	450,000DA/an
Matériels informatiques :		
Pc	2	500,000DA
Imprimante scanner	1	600,000DA
Licence pour Logiciels (ArcGIS/ Mike 21/ python)		100,000DA
Fourniture :		
Papiers	6ram/an	4,000 DA/an
Ancre	48 cartouches/an	6,000DA/an
Stylos/marqueurs/registres		9,000DA/an
Matériels bureautiques :		
Bureaux	3	63,000 DA
Chaises	3	42,000 DA
Armoires	1	25,000 DA
Tableau	1	8,000 DA

Annexe

Autres:		
Climatiseurs	1	70,000 DA
Électricité/eau	/	En moyenne 60000 DA/an
Internet	/	15,000 DA/an
Ingénieurs	3	Salaire brute 60000 DA à chaque ingénieur
Création de plateforme pour vente de service	1	150,000 DA
Site web d'entreprise	1	120,000 DA
Total		2,327 ,000 DA

Le Tableau 2 présente la production envisagée de notre bureau d'étude sur les trois premières années, tandis que le Tableau 3 expose les prix fixés pour nos services après avoir calculé les coûts engagés pour la réalisation de chaque service.

Période	Etude	Formation	Vente de carte	Location d'un pc puissant
1 année	5 études	6	16	5
2 années	7 études	12	20	10
3 années	12 études	20	30	15

Tableau 2 : Production envisagée les trois premières années

Service	Prix	Nombre	Total de la 1
---------	------	--------	---------------

Annexe

			année
Etude	200000 DA	5	1000000 DA
Formation	20000 DA	6	120000 DA
Carte	3000 DA	16	48000 DA
Location	2000 DA	5	10000 DA

Tableau 3 : Prix fixé pour chaque service.

Pour renforcer le modèle d'affaires de notre entreprise on a collaboré avec des partenaires suivants :

- Laboratoire de recherche d'école supérieur de science de la mer et aménagement du littoral (ENSSMAL) : on a utilisé les compétences de cette laboratoire informatique pour faire notre étude.
- Laboratoire d'étude maritime (LEM) : on a pris des données et des modèles pour effectuer l'analyse des risques.
- INCT (institut nationale de cartographie et télédétection) : on a utilisé l'institut pour avoir la donnée par rapport à la cinématique de trait de côte pour évaluer l'érosion.
- Commissariat national du littoral (CNL) : on a utilisé l'institut pour avoir les données concernant l'occupation du sol.
- Agence national d'aménagement du tiretoire : on a pris les rapports détaillés des littoraux pour effectuer les différentes cartes.
- Des entreprises de surveillance environnementale : on utilise ces entreprises pour le contrôle par rapport au coté environnementale.

Plan financier :

Avant de concevoir le plan financier, il est essentiel de connaître toutes les sources de revenus que notre entreprise peut réaliser. Ces sources sont :

- Ventes directes d'analyse de démarche de vulnérabilité des problèmes côtiers aux agences gouvernementales, entreprises de construction et organisations environnementales.
- Vente de services de cartographie et de modélisation des zones côtières à risques élevés.
- Vente de cartes pour diverses applications.
- Formations en programmation et en logiciels spécialisés en cartographie et SIG

Annexe

- Location de PC performants pour les simulations d'opérations complexes
- Revenus publicitaires sur la plateforme en ligne.

Structure des coûts :

Cette composante concerne les coûts associés à l'exploitation de l'entreprise. Cela comprend les coûts fixes et les coûts variables.

Coûts fixes :

- Loyer
- Assurance
- Salaires et charges sociales du personnel
- Eau et électricité
- Internet

Coûts variables :

- Réparation et maintenance du matériel bureautique et informatique
- Publicité
- Distribution
- Fourniture
- Frais d'exploitation et de maintenance de la plateforme

Prototype expérimental :

Dans notre projet de fin d'étude on a déjà réalisé une étude Complete avec toutes les étapes nécessaires de cette démarche. Donc on peut dire que notre pfe est un prototype réalisé sur le littoral de Chlef.

Voici les résultats de notre prototype :

Annexe

<p><u>Les partenaires clés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Collaborateur LEM (laboratoire d'étude maritime). - Collaborateur INCT (institut nationale de cartographie et télédétection). - Blue stras incubateur (BSI) - Commissariat national du littoral (CNL). - Agence national d'aménagement du tiretoire. - Des entreprises de surveillance environnementale. - Laboratoires d'école supérieur de science de la mer et aménagement du littoral (ENSSMAL). 	<p><u>Les activités clés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -La création de la base de données solide sur la géomorphologie la pente aussi pour les climats des houles. -L'étude de suivi diachronique du trait de côte -Appuyer sur la méthode d'événement extrêmes pour donner les hauteurs des houles dans des période de retours précises. -faire des scénarii moyens et de houle extrême. -calculer d'indice de cvj physique et socioéconomique. -évaluer le cadre sismique <p><u>Les ressources clés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Les Logiciels (Mike 21, SIG, python, ArcGIS). -Les matériels (équipement informatique et bureautique, local.) -2 ingénieurs en SIG -1spécialiste en marketing 	<p><u>La proposition de valeur :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -La proposition de solutions avancées basées sur la démarche de vulnérabilité pour la gestion des risques côtiers. -La prédiction et la modélisation précise des processus côtiers. -L'amélioration de l'évaluation des risques côtiers et des stratégies de réduction des risques en appuyant sur l'évaluation de la vulnérabilité côtières et faire l'analyse des Géorisques vers la fin. - L'amélioration de l'efficacité de la recherche de solutions dans des délais optimaux. -Traitement et analyses des bases de données dans le domaine de géomorphologie et de cadre. - Amélioration de l'efficacité de recherche de solutions dans des période de temps optimale. -Notre étude s'intéresse à intégrer l'évaluation de l'aléa sismique comme facteur dans la démarche de vulnérabilité. 	<p><u>Les relations avec Les clients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Des réunions de suivi régulières. -Des rapports détaillés sur les résultats de vos études -Une assistance technique continue. -Consultation personnalisée avec le client pour comprendre le besoin de client et leur offrir des solutions adaptées. <p><u>Canaux de distribution potentiels</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Participation aux appels d'offre professionnels. -Assister aux conférences et aux salon professionnels. -Utiliser emailing pour rester au courant avec l'activité Professionnelle. -Plateforme de freelance spécialisées. -Partenariat avec des agences gouvernementales et des organisations environnementales. 	<p><u>Les segments de clientèle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Agence national des changements climatique. -Etudiants chercheurs et ingénieurs dans le domaine maritime. -Ministère de l'environnement et des énergies renouvelables. -Ministère de l'intérieure des collectivités locales et de l'aménagement du territoire. -Ministère des travaux publics et des infrastructures de base. -Ministère de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville. -Laboratoire maritimes (LEM). -Agence national d'aménagement du tiretoire (ANNAT).
<p><u>Coûts :</u></p> <p><u>Coûts fixes :</u></p> <p>Loyer - assurance - Salaires et charges sociales du personnel - Distribution- Eau et électricité- Internet.</p> <p><u>Coûts Variables :</u></p> <p>Réparation et maintenance du matériel bureautique et informatique - Publicité- Fourniture- Frais d'exploitation et de maintenance de la plateforme- distribution</p>		<p><u>Revenus :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vente de services de cartographie et de modélisation des zones côtières à risques élevés - Vente de formations en programmation et en logiciels spécialisés en cartographie et SIG - Location de PC performants pour les simulations d'opérations complexes. - Vente de cartes pour diverses applications. - Revenu publicitaire sur la plateforme enligne 		

Résumé

Résumé :

l'élévation de niveau de la mer est devenue une préoccupation majeure pour la communauté scientifique et les décideurs . De nombreuses études qui portent sur la vulnérabilité côtière ont été effectuées dans la plupart des pays pour anticiper les effets de l'élévation de niveau de la mer sur leurs côtes. Cependant, les études menées pour l'évaluation de la vulnérabilité côtière en Algérie sont rares, principalement en raison du manque des données, et aucune étude n'est encore menée sur le littoral de Chlef.

Les résultats obtenus nous ont permis de faire un constat sur l'état de la vulnérabilité de la côte. En ce qui concerne la vulnérabilité physique, 77.4% du littoral de Chlef n' est pas vulnérable aux risques d'érosion et de submersion, étant constitué essentiellement de falaises et des côtes rocheuses. 17% du littoral possèdent une vulnérabilité faible à modérée, étant constitué essentiellement de zones d'accumulations sableuses,

Par contre, la vulnérabilité socio-économique a révélé (44%) du littoral présente une vulnérabilité modéré.

Des scenarios réalisés pour la propagation de la houle en se basant sur quatre directions principales de la houle , dont celle de Nord Ouest, qui est la plus défavorable.

Sur la superficie totale de 318.5 ha, un risque de submersion est présent avec un niveau d'inondation de 2 mètres, tandis que sur hectares 843.9, le niveau de submersion maximum atteint 8 mètres.

Mots clés: élévation du niveau de la mer, vulnérabilité ,littoral de chlef,submersion, Changement Climatique,géorisques.

Résumé

Abstract :

Sea-level rise has become a major concern for the scientific community and decision-makers. Numerous studies on coastal vulnerability have been carried out in most countries to anticipate the effects of sea-level rise on their coasts. However, studies carried out to assess coastal vulnerability in Algeria are rare, mainly due to a lack of data, and no study has yet been carried out on the Chlef coastline.

The results obtained have enabled us to assess the state of coastal vulnerability. In terms of physical vulnerability, 77.4% of Chlef's coastline is not vulnerable to the risks of erosion and submersion, being made up mainly of cliffs and rocky coasts. 17% of the coastline has low to moderate vulnerability, consisting mainly of sandy areas, On the other hand, socio-economic vulnerability revealed that 44% of the coastline is moderately vulnerable.

Swell propagation scenarios based on four main swell directions, of which the north-westerly direction is the most unfavourable.

On the total surface area of 318.5 ha, there is a risk of submersion with a flood level of 2 metres, while on hectares 837.9, the maximum submersion level reaches 7 metres.

Keywords : sea level rise, vulnerability, chlef coastline, submersion, climate change, geohazards.

الملخص:

أصبح ارتفاع مستوى سطح البحر مصدر قلق كبير للمجتمع العلمي وواضعي السياسات. تم إجراء العديد من الدراسات التي تركز على الضعف الساحلي في معظم البلدان للتنبؤ بآثار ارتفاع مستوى سطح البحر على سواحلها. ومع ذلك، فإن الدراسات التي أجريت لتقييم مدى هشاشة السواحل في الجزائر نادرة، ويرجع ذلك أساساً إلى نقص البيانات، ولم يتم إجراء أي دراسة حتى الآن على ساحل الشلف.

أتاحت لنا النتائج التي تم الحصول عليها إجراء ملاحظة حول حالة ضعف الساحل. وفيما يتعلق بالضعف المادي، فإن 77,4% من ساحل الشلف غير معرض لمخاطر التآكل والغمر، حيث يتكون أساساً من المنحدرات والسواحل الصخرية. يعاني 17% من الخط الساحلي من ضعف منخفض إلى متوسط، ويتكون أساساً من مناطق تراكمات رملية، من ناحية أخرى، فإن الضعف الاجتماعي والاقتصادي الذي تم الكشف عنه (44%) من الخط الساحلي يمثل ضعفاً معتدلاً.

تم تنفيذ السيناريوهات لانتشار الأمواج بناءً على أربعة اتجاهات رئيسية للموجة، بما في ذلك اتجاه الشمال الغربي، وهو الاتجاه الأكثر سلبية على مساحة إجمالية قدرها 318.5 هكتار، يوجد خطر الغمر مع منسوب فيضان يبلغ 2 متر، بينما على مساحة 837.9 هكتار، يصل الحد الأقصى لمستوى الغمر إلى 7 أمتار.

الكلمات المفتاحية:

ارتفاع مستوى سطح البحر، ال-هشاشة، ساحل الشلف، الغمر، تغير المناخ، المخاطر الجيولوجية