



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

Mémoire de fin d'études

Présenté par

BENDANI Mostefa Arslan et BELKHELFA Wiam

Pour l'obtention du diplôme de

Master en hydrobiologie marine et continentale

Spécialité : Bioressources marines

Thème

**Cartographie de la vulnérabilité côtière au long de
quelques plages de Mostaganem**

Soutenue le 28 / 06 / 2026

Devant le Jury

Président	BORSALI Sofia	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	BOUGHERIRA Abdeldjalil	MCB	U. Mostaganem
Examineur	TAIBI Nasr-Eddine	Professeur	U. Mostaganem
Invité	MENHOUARA Mohamed	Ingénieur et Chef d'antenne	CNL Mostaganem

Remerciement

Au terme de ce mémoire de fin d'étude, nous remercions Allah le tout-puissant de nous avoir accordé la santé, la patience et le courage et la volonté nécessaire pour achever ce mémoire.

Nous tenons à remercier et à exprimer notre gratitude envers notre encadrant, Docteur BOUGHERIRA Abdeldjalil, pour son encadrement tout au long de ces six mois de mémoire. Son écoute, sa disponibilité, ses remarques et ses conseils avisés nous ont beaucoup aidé à progresser et à achever ce mémoire.

Nous tenons à remercier le jury d'avoir pris le temps de lire et d'évaluer ce mémoire. Vos retours constructifs vont sans doute être précieux pour améliorer ce mémoire. Pour cela, nos remerciements d'adressent particulièrement à :

Docteur BORSALI Sofia d'avoir accepté de présider ce jury, mais aussi pour tous les enseignements qu'elle nous a transmis lors de notre cursus.

Professeur TAIBI Nasr-Eddine d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour toutes les notions d'hydrogéologie et de plongée sous-marine qu'il nous a transmis lors de notre cursus.

Nous remercierons également M. MENHOUARA Mohammed, chef d'antenne du commissariat national du littoral au niveau de Mostaganem, de nous avoir fait l'honneur d'assister à notre soutenance.

Enfin, nous remercions toutes personnes ayant contribué de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

Finalement, merci à vous, lecteurs, pour l'intérêt que vous portez à ce manuscrit.

Dédicaces

« Je profite de l'occasion pour dédier ce modeste travail à mes chers parents, que Dieu les protège. Sans leur amour indéfectible et leur soutien inconditionnel, je n'aurais jamais pu atteindre ce niveau de réussite. Je leur serai éternellement reconnaissant, et aussi à mon frère et ma sœur, et à toutes ma famille, ainsi qu'à mes défunt grands parents. ».

« BENDANI Mostefa Arslan »

« Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, à mes frères et sœurs ».

« BELKHELFA Wiam »

Résumé

Le littoral de la wilaya de Mostaganem constitue un espace particulièrement sensible aux phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine. Sous l'effet du changement climatique et de l'élévation progressive du niveau de la mer, ces aléas sont susceptibles de s'intensifier et de menacer davantage les milieux naturels ainsi que les activités humaines implantées sur le littoral. Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer la vulnérabilité côtière physique du secteur compris entre l'embouchure de la Macta et celle de l'oued Cheliff, à l'aide de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) développé par Thieler et Hammar-Klose.

L'évaluation repose sur l'intégration de sept variables physiques : la géologie, la géomorphologie, la pente côtière, l'évolution du trait de côte, le marnage, la hauteur significative des vagues et l'élévation du niveau marin. Les données ont été traitées à l'aide des Systèmes d'Information Géographique (SIG), permettant la réalisation de cartes thématiques et de la carte de vulnérabilité côtière.

Les résultats montrent une forte variabilité spatiale de la vulnérabilité le long des **33 km** du littoral étudié. Les secteurs présentant des plages sableuses, des formations sédimentaires meubles et de faibles pentes apparaissent comme les plus vulnérables, notamment au niveau de Stidia, Ouréah, Salamandre, Sidi Majdoub et Sonaghter. À l'inverse, les secteurs constitués de formations rocheuses et de falaises présentent une vulnérabilité plus faible grâce à leur meilleure résistance aux processus d'érosion marine.

L'analyse spatiale révèle que les secteurs classés en vulnérabilité **élevée** et **très élevée** représentent **24,20 km**, soit **73,33 %** du linéaire côtier étudié. Les secteurs de vulnérabilité **modérée** couvrent environ **3,70 km (11,21 %)**, tandis que les secteurs de **faible vulnérabilité** représentent **5,10 km (15,45 %)**. La comparaison avec les travaux de Bengoufa et al. (2021) met en évidence une proportion plus importante de secteurs fortement vulnérables, traduisant une caractérisation plus détaillée de la vulnérabilité physique grâce à l'intégration d'un plus grand nombre de variables environnementales.

Cette étude confirme l'intérêt des Systèmes d'Information Géographique comme outil d'aide à la décision pour l'évaluation des risques côtiers et la gestion intégrée du littoral. Elle souligne également la nécessité de mettre en œuvre des mesures d'adaptation, telles que l'installation de ganivelles, le rechargement artificiel des plages, la mise en place de récifs artificiels et, lorsque cela s'avère nécessaire, la réalisation d'ouvrages de protection lourds afin de renforcer la résilience du littoral face aux changements environnementaux futurs.

Mots-clés : Vulnérabilité côtière, Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC), SIG, érosion côtière, submersion marine, Mostaganem, adaptation côtière.

Abstract

The coastline of Mostaganem Province is particularly vulnerable to coastal erosion and marine flooding. Climate change and the continuous rise in sea level are expected to intensify these hazards, threatening both natural ecosystems and human activities located along the coast. In this context, the present study aims to assess the **physical coastal vulnerability** of the coastal sector extending from the Macta estuary to the Cheliff estuary using the **Coastal Vulnerability Index (CVI)** developed by Thieler and Hammar-Klose.

The assessment is based on the integration of seven physical variables: geology, geomorphology, coastal slope, shoreline change, tidal range, significant wave height, and sea-level rise. Geographic Information Systems (GIS) were used to process the data and produce thematic maps as well as the coastal vulnerability map.

The results reveal a significant spatial variability in vulnerability along the **33 km** of coastline investigated. Sandy beaches, unconsolidated sediments, and gently sloping coastal areas exhibit the highest levels of vulnerability, particularly in Stidia, Ouréah, Salamandre, Sidi Majdoub, and Sonaghter. In contrast, rocky coasts and cliffed areas display lower vulnerability due to their greater resistance to marine erosion.

Spatial analysis indicates that **high and very high vulnerability** sectors account for **24.20 km**, representing **73.33%** of the studied coastline. **Moderate vulnerability** covers approximately **3.70 km (11.21%)**, while **low vulnerability** represents **5.10 km (15.45%)**. Comparison with the study conducted by Bengoufa et al. (2021) highlights a higher proportion of highly vulnerable sectors, reflecting a more detailed assessment achieved through the integration of a larger number of physical environmental variables.

This study confirms the value of Geographic Information Systems as an effective decision-support tool for coastal risk assessment and integrated coastal zone management. It also emphasizes the need to implement adaptation measures such as sand fences, artificial beach nourishment, artificial reefs, and, where necessary, hard coastal protection structures to enhance the resilience of the coastline against future environmental changes.

Keywords: Coastal vulnerability, Coastal Vulnerability Index (CVI), GIS, coastal erosion, marine flooding, Mostaganem, coastal adaptation.

ملخص

يُعد الساحل المدروس بولاية مستغانم من المناطق الأكثر عرضة لظاهرتي التعرية الساحلية والغمر البحري. ومن المتوقع أن يؤدي تغير المناخ والارتفاع التدريجي في مستوى سطح البحر إلى تفاقم هذه المخاطر، مما يهدد النظم البيئية الساحلية والأنشطة البشرية المقامة على الشريط الساحلي. في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الهشاشة الساحلية الفيزيائية للقطاع الممتد بين مصب وادي المقطع ومصب وادي الشلف، بالاعتماد على مؤشر الهشاشة الساحلية (CVI) الذي طوره **Thieler وHammar-Klose**.

اعتمدت الدراسة على سبع متغيرات فيزيائية هي: الجيولوجيا، والجيومورفولوجيا، وانحدار الساحل، وتطور خط الساحل، والمد والجزر، وارتفاع الأمواج، وارتفاع مستوى سطح البحر. وتمت معالجة البيانات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإعداد الخرائط الموضوعية وخريطة الهشاشة الساحلية.

أظهرت النتائج وجود تباين مكاني واضح في مستوى الهشاشة على طول 33 كيلومتراً من الساحل المدروس. وتُعد الشواطئ الرملية والرواسب المفككة والمناطق ذات الانحدار الضعيف الأكثر عرضة للهشاشة، خاصة في مناطق سطيدية، أوريا، السلامندر، سيدي مجدوب وسوناكتر. في المقابل، تتميز السواحل الصخرية والجروف البحرية بدرجة هشاشة منخفضة بفضل مقاومتها الأكبر لعمليات التعرية البحرية.

كما أظهرت نتائج التحليل المكاني أن المناطق المصنفة ضمن الهشاشة المرتفعة والمرتفعة جداً تمتد على طول 24.20 كيلومتراً، أي ما يعادل 73.33% من إجمالي الساحل المدروس، في حين تمثل المناطق ذات الهشاشة المتوسطة حوالي 3.70 كيلومتراً (11.21%)، أما المناطق ذات الهشاشة المنخفضة فتتمدد على 5.10 كيلومتراً (15.45%). (كما أظهرت المقارنة مع دراسة Bengoufa وآخرين (2021) نسبة أكبر من المناطق ذات الهشاشة المرتفعة، وهو ما يعكس تقييماً أكثر تفصيلاً للهشاشة الفيزيائية بفضل إدماج عدد أكبر من المتغيرات البيئية).

تؤكد هذه الدراسة أهمية نظم المعلومات الجغرافية كأداة فعالة لتقييم المخاطر الساحلية ودعم الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية، كما تؤكد ضرورة اعتماد إجراءات للتكيف، مثل تثبيت الكثبان الرملية، والتغذية الاصطناعية للشواطئ، وإنشاء الشعاب الاصطناعية، وعند الضرورة إقامة منشآت حماية ساحلية، بهدف تعزيز قدرة الساحل على مواجهة التغيرات البيئية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: الهشاشة الساحلية، مؤشر الهشاشة الساحلية (CVI)، نظم المعلومات الجغرافية، التعرية الساحلية، الغمر البحري، مستغانم، التكيف الساحلي

Table des matières

Remerciement	2
Dédicaces	3
Résumé	4
Abstract	5
ملخص	6
Table des matières	7
Liste des figures	11
Liste des tableaux	12
Liste des captures d'écran	12
Liste des photos	13
INTRODUCTION	15
Chapitre I : Synthèse Bibliographique	16
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	17
1. Cadre conceptuel et état des connaissances sur la vulnérabilité côtière	17
1.1 Fonctionnement morpho-dynamique du littoral	17
1.2 Importance écologique et socio-économique des zones côtière	18
1.3 Contraintes naturelles et pressions anthropiques exercées sur le littoral	20
2 Définitions des concepts de vulnérabilité et risques côtiers et des notions connexes	21
2.1 Définition et évolution du concept de vulnérabilité	21
2.2 Composantes de la vulnérabilité côtière (exposition, capacité d'adaptation)	21
2.3 Composantes du risque côtiers	21
2.4 Notions d'adaptation et de résilience	22
L'adaptation :	22
La résilience :	22
3 Importance de l'évaluation de la vulnérabilité dans la gestion et la protection du littoral 22	
3.1 Aléas côtiers et leurs impacts	22
3.1.1 Erosion côtière	22
3.1.2 Submersion marine	22
3.1.3 Ensablement	23
3.2 Méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité côtière	23

3.2.1	Approche basée sur les indices de vulnérabilité côtière (CVI).....	23
	Chapitre II : Matériels et Méthodes	25
	Chapitre 2 : Matériel et méthode	26
1	Présentation de la zone d'étude.....	26
1.1.	Contexte géomorphologique et hydrographique	27
1.1.1.	Les vallées.....	27
1.1.2.	Le plateau de Mostaganem	27
1.1.3.	Les Monts de Dahra	28
1.2.	Contexte climatique et hydrodynamique	28
1.2.1.	Contexte climatique.....	28
1.2.1.1.	Température.....	28
1.1.1	Précipitations	29
1.2.1.2.	Le vent	30
1.2.2.	Contexte hydrodynamique	30
1.2.2.1.	La houle	30
1.2.2.2.	Marée.....	33
1.2.2.3.	Le niveau marin.....	33
1.3.	Contexte socio-économique	33
1.3.1.	La construction des barrages	34
1.3.2.	Aménagement portuaire et maritime.....	34
1.3.3.	L'urbanisation désordonnée près de la cote	35
1.3.4.	Le tourisme sur le littoral	35
2	Méthode d'évaluation de la vulnérabilité côtière	36
2.1	L'Indice de vulnérabilité côtière physique (IVCphysique).....	36
2.2	Méthodologie d'évaluation.....	37
2.3	La géologie.....	38
2.3.1	Données utilisées	38
2.3.2	Techniques utilisées	39
2.3.3	Méthode de traitement.....	39
2.4	La géomorphologie :.....	39
2.4.1	Données utilisées	39
2.4.2	Techniques utilisées	40

2.4.3	Méthode de traitement	40
2.5	Pente côtière	41
2.5.1	Données utilisées	41
2.5.2	Techniques utilisées	42
2.5.3	Méthode de traitement	42
2.6	L'élévation du niveau de la mer	43
2.6.1	Données utilisées	43
2.6.2	Techniques utilisées	43
2.6.3	Méthode de traitement	43
2.7	L'évolution du trait de cote	44
2.7.1	Données utilisées	44
2.7.2	Techniques utilisées	44
2.7.3	Méthode de traitement	45
2.8	Le marnage	46
2.8.1	Données utilisées	46
2.8.2	Techniques utilisées	46
2.8.3	Méthode de traitement	46
2.9	La hauteur des vagues	46
2.9.1	Données utilisées	46
2.9.2	Techniques utilisées	46
2.9.3	Méthode de traitement	47
Chapitre III : Résultats et Discussion		48
Chapitre 3 : Résultats et discussion		49
1.	Variables de vulnérabilité côtière physique	49
1.1.	Géologie de la côte	49
1.2.	Géomorphologie côtière	50
1.3.	Pente côtière	52
1.4.	Elévation du niveau de la mer	53
1.5.	Evolution du trait de côte	54
1.6.	Marnage	56
2.10	Résultats et interprétations	56
1.7.	La hauteur des vagues au voisinage de la côte	57

2. Indice de vulnérabilité côtière physique.....	58
2.1. Détermination des classes de vulnérabilité	59
2.2. Résultat et interprétations	60
2.3. Comparaison avec d'autres travaux similaires	63
3. Solutions d'adaptation proposé.....	64
3.1. Les ganivelles	64
3.2. Les géotextiles	65
3.3. Le rechargement artificiel des plages	66
3.4. Les récifs artificiels.....	66
3.5. Elaboration d'un plan GIZC pour Mostaganem.....	67
CONCLUSION.....	69
Bibliographie.....	71
Annexe 1 : Scores de vulnérabilité côtières physique.....	74

Liste des figures

Figure 1 Profil 2D de plage sableuse micro tidale à barres sédimentaires dans la zone littorale d'étude.....	17
Figure 2 : Principaux éléments intégrés dans l'approche morphodynamique suivie dans l'étude du système littoral d'une plage sableuse microtidale (D'après Cowell and Thom, 1994 modifié par Masselink, 2018).	18
Figure 3 : Schéma conceptuel du système socio-écologique.	19
Figure 4 Cadre d'évaluation pour l'analyse socio-économique des activités humaines dans les ZAJN. Source : Elaboré à partir de HELCOM (2018).....	20
Figure 5 : Aléas, Enjeux et Risques selon la définition classique (Henaff A et Philippe M, 2014).	21
Figure 6 Les variables utilisées pour un IVC multi-échelle en Ireland du Nord (McLaughlin et Cooper, 2010).	24
Figure 7 Carte de délimitation de la zone d'étude.	26
Figure 8 Position des différentes unités géologique des Maghrébides (Domzig et al.2006) (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021).....	27
Figure 9 Histogramme des précipitations mensuelles de Climate research unit time séries https://sites.uea.ac.uk/cru/ entre 1901 et 2019. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021).....	29
Figure 10 la fréquence d'apparition des houles au large.	31
Figure 11 les roses annuelles et trimestrielles des houles. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021).....	32
Figure 12 Carte d'évolution régionale des risques pour la méditerranée basée sur la méthode CRI-Med. (Source : Satta et al.2016).....	33
Figure 13 Image satellitaire du port de pêche de la salamandre et le grand port de Mostaganem.	34
Figure 14 L'urbanisation du littoral de la willaya de Mostaganem.....	35
Figure 15 La plage de Sidi Mejdoub Mostaganem.....	36
Figure 16 Carte géologique de l'Algérie (3 ^e édition, 1900) (Gallica 2025).....	38
Figure 17 Carte géologique de la zone d'étude.	38
Figure 18 Carte de vulnérabilité côtière selon à la géologie de la côte de Mostaganem.....	50
Figure 19 Carte de la vulnérabilité côtière selon à la géomorphologie de la côte.....	51
Figure 20 Carte de vulnérabilité côtière selon à la pente côtière.....	53
Figure 21 Carte de la vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau de la mer de Mostaganem.	54
Figure 22 Carte de la vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte de Mostaganem. ...	55
Figure 23 Carte de vulnérabilité côtière selon le marnage.	56
Figure 24 Carte de vulnérabilité côtière selon la hauteur des vagues au niveau de la côte.....	57
Figure 25 Courbe des fréquences cumulées de l'IVC.	59
Figure 26 Carte de vulnérabilité côtière physique de Mostaganem.	61
Figure 27 Les différentes vulnérabilités du linéaire côtier.	62
Figure 28 Installation de ganivelles (source : B Monginoux, www.photo-paysage.com /) (CHAIB W. 2021)	65

Figure 29 Epi en géotextile (source : [http://www.novintiss.com/fr/geotextile-anti erosion.html](http://www.novintiss.com/fr/geotextile-anti%20erosion.html)) (CHAIB W. 2021).....65

Figure 30 Récif artificiel expérimental au Parc national de Port-Cros. © Alexis Rosenfeld . **Error! Bookmark not defined.**

Liste des tableaux

Tableau 1 Distribution des températures moyennes mensuelles https://sites.uea.ac.uk/cru/ pour la période entre 1901-2019.(BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)	28
Tableau 2 La distribution des moyennes mensuelles des précipitations au niveau de Climate research unit time series https://sites.uea.ac.uk/cru/ (1901-2019).(BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021).....	29
Tableau 3 Distribution des fréquences d'apparition annuelle et saisonnière du vent par direction entre 1992 à 2020, (Infoplaza Marine Weather) (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)	30
Tableau 4 La distribution fréquentielle de Hs selon le traitement des données « Info Plaza Marine Weather» de 1992 à 2020. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021).....	31
Tableau 5 Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique. (Thieler et Hammar-Klose, 1999, 2000a et 2000b).....	36
Tableau 6 Comparaison des niveaux de pente en % aux niveaux de vulnérabilité.	42
Tableau 7 Classes de vulnérabilité selon les valeurs de l'IVCphy.....	59
Tableau 8 Scores de vulnérabilité côtière physique.	74

Liste des captures d'écran

Capture d'écran 1 Utilisation de l'outil georeferencing sur ArcMap.....	39
Capture d'écran 2 Utilisation de la table attributaire pour insérer les variables de vulnérabilités.	39
Capture d'écran 3 Localisé la zone d'étude sur « Google Earth Pro »	40
Capture d'écran 4 Photos satellitaire prise sur « Google Earth Pro » pour différencier deux genre de géomorphologie.	40
Capture d'écran 5 Géoréférencé la carte satellitaire et la carte géologiques pour déterminer les variables de vulnérabilité.....	41
Capture d'écran 6 Aller sur le site « USGS EarthExplorer » pour télécharger les fichiers MNT pour déterminer la pente cotière de notre zone d'étude.	41
Capture d'écran 7 Convertir les fichiers MNT en fichier « slope » via les outils disponibles sur ArcMap.....	42
Capture d'écran 8 Insertion des variables de vulnérabilités lier à la pente.....	43
Capture d'écran 9 Insertion des variables de vulnérabilités lier à la pente.....	44
Capture d'écran 10 Evolution du trait de côte.	45
Capture d'écran 11 Intégration des informations via le code couleur pour intégration dans la table attributaire	45

Capture d'écran 12	Insertion des variables liées au marnage dans la colonne Scr_Tide.....	46
Capture d'écran 13	Insertion des variables dans la colonne Scr_Hs.	47
Capture d'écran 14	La longueur totale des zones à vulnérabilités Elevée et Très élevée.....	60

Liste des photos

Photographie 2	Plage de Materba.....	58
Photographie 3	Plage Sablette, Protégée par la technique d'enrochements pour limiter l'érosion du trait de côte	58
Photographie 4	Plage de Sonagher.....	62

Introduction

INTRODUCTION

Le littoral est défini comme étant la zone de contact entre terre et mer. Les zones côtières étant plus complexes et les frontières sont distinctes (eau douce, salée) sont alors définies comme étant “l'espace dans lequel les environnements terrestres influencent les milieux marins (ou lacustres) et vice versa” (Carter, 1988). Plusieurs définitions sont attribuées à la côte; néanmoins deux ingrédients indispensables sont essentiels : les sédiments et les vagues. La zone littorale peut être aussi définie comme étant “Toute accumulation de sédiments par la houle entre la base de l'action des vagues sur le fond -modal wave base- et la limite supérieure de la zone de swash, où la base de la vague est la profondeur maximale à partir de laquelle les vagues peuvent transporter les matériaux de la plage vers le littoral, et la limite supérieure de la zone de swash est marquée par la limite supérieure du haut de plage aérienne atteinte lors des hautes marées et par le transport sédimentaire ” (Short, 1999). La zone littorale à délimitation physique spatiale impossible dans la mesure où elle marque le continuum terre-mer, est un espace variable dans l'espace et dans le temps. Elle est soumise à des agents de forçages naturels marins en occurrence les vagues, les marées, l'élévation du niveau marin et terrestres notamment les apports fluviaux. Le littoral est un espace riche en ressources naturelles qui offrent des habitats en milieu tempérés à écosystèmes diversifiés. Cet espace est convoité depuis l'aire de civilisation par les activités humaines qui se sont intensifiées depuis le dernier siècle.

Par ailleurs, cette zone est marquée par une vulnérabilité à l'interaction humaine et naturelle, les processus morpho dynamiques, comme l'érosion, transport et le dépôt des sédiments ont un rôle important dans évolution du trait de côte. Qui s'ajoutent à plusieurs aléas naturels, tel que la houle, les tempêtes et élévation de niveau de la mer qui peut accentuer ce phénomène

La gestion des risques côtiers implique l'évaluation de la vulnérabilité dans les milieux naturels et humains. Pour cela plusieurs méthodes ont été développées afin d'évaluer le degré de vulnérabilité. Dans notre travail trois questions de base se posent :

- Quelle méthode peut-on prendre pour évaluer la vulnérabilité de Mostaganem ?
- Comment peut-on évaluer la vulnérabilité côtière de Mostaganem ?
- Quelles mesures peut-on prendre pour s'adapter ou atténuer les dégâts que puissent provoquer une élévation du niveau de la mer ?

Le présent travail, consiste à suivre une démarche afin de répondre aux questions précédentes. Pour cela, un indice de vulnérabilité côtière a été élaboré, pour évaluer le degré de vulnérabilité de notre zone d'étude.

Ce mémoire est subdivisé en trois grands chapitres, qui se déroulent comme suit :

Chapitre 1 : Cadre conceptuel et état des connaissances sur la vulnérabilité côtière.

Chapitre 2 : Matériel et méthode divisé en deux grands contextes : physique et socioéconomique.

Chapitre 3 : Résultats, discussion sur l'adaptabilité de ses méthodes sur notre zone d'étude et les stratégies adaptatives pour y remédier.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.2 Cadre conceptuel et état des connaissances sur la vulnérabilité côtière

1.2.1 Fonctionnement morpho-dynamique du littoral

La définition établie par Short 1999 et ajustée par Davidson-Arnott 2010 délimite la frange côtière en trois zones : le large, le littoral et la plage (Fig. 1).

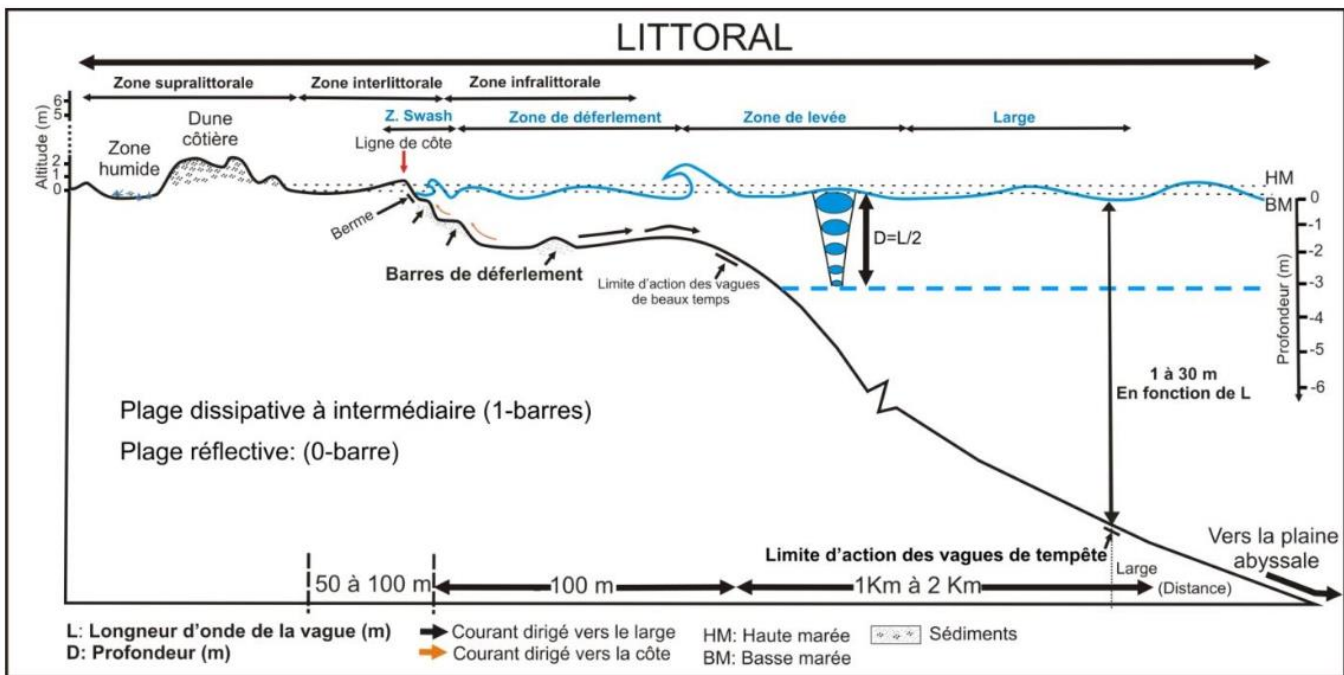


Figure 1 Profil 2D de plage sableuse micro tidale à barres sédimentaires dans la zone littorale d'étude.

La largeur de la plage dépend de l'étendue de la marée de quelques mètres (régime microtidale) à quelques centaines de mètres (régime méso à microtidale). Les côtes ou plages sont des systèmes d'interface qui se délimitent en deux types de dimensions spatiales 1- Le profil de plage 2D et 2- la dimension 3.

L'étude des processus morpho dynamiques se prête parfaitement à une approche systémique. Il existe une interaction entre les différentes composantes du système littoral. En effet, l'évolution topographique d'un corps sédimentaire modifie directement la dynamique du fluide qui, à son tour la contrôle. Les objets morphologiques considérés peuvent être de dimensions extrêmement variées, de la plus petite forme, une ride de sable par exemple, à la plus grande, le tracé d'un trait de côte à une échelle régionale. L'évolution de ces formes du littoral peut s'apparenter à un ajustement de la topographie à un nouvel environnement hydrodynamique, ou à l'origine de conditions de transport différentes. Ce sont donc les mouvements sédimentaires, dépendant du temps, qui sont à l'origine de ces évolutions morphologiques (Fig. 2) (Masselink 2018).

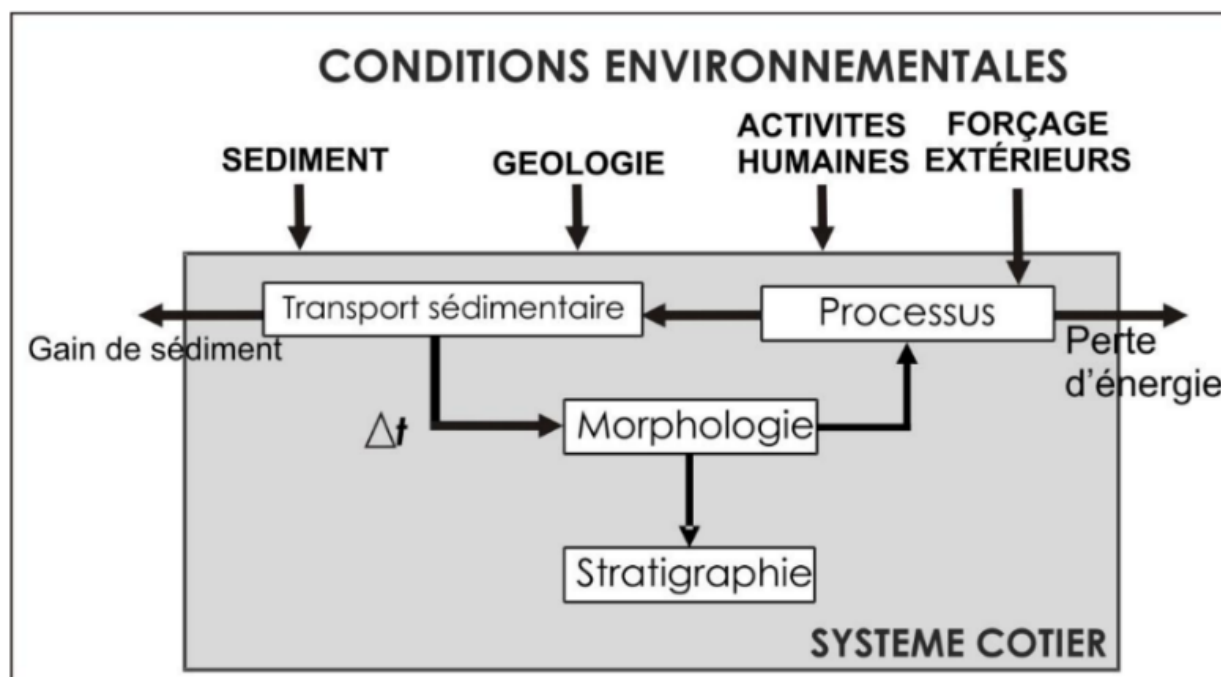


Figure 2 : Principaux éléments intégrés dans l'approche morphodynamique suivie dans l'étude du système littoral d'une plage sableuse microtidale (D'après Cowell and Thom, 1994 modifié par Masselink, 2018).

1.2.2 Importance écologique et socio-économique des zones côtière

Pour penser les interactions entre les hommes et leur environnement il est possible de considérer le fonctionnement du monde comme un système (Ostrom 2009, Folke et al. 2010) où les interactions peuvent être de nature physique, écologique ou sociale. Le concept de système socio-écologique a été créé pour exprimer le fait que les interactions sociales et écologiques sont liées et qu'il est indispensable de les intégrer pour comprendre puis gérer le système qu'elles forment (Mathevet et Bousquet 2014). L'écologue Fikret Berkes et l'économiste suédois Carl Folke, définissent un système socio-écologique comme un assemblage de systèmes complexes dans lesquels les hommes font partie intégrante de la nature (Berkes et al. 2003). Ce système se rapproche de la notion de « territoire », utilisée par les géographes, dans lequel les caractéristiques et la dynamique sont issues des interactions entre acteurs et composantes de leur espace géographique. Ainsi un système socio-écologique se compose d'éléments physiques naturels (espèces, habitats, eau...), des produits des activités humaines ainsi que des formes d'interactions existant entre les hommes ou entre eux et leur environnement (Gunderson et Holling 2002) (Figure 3).

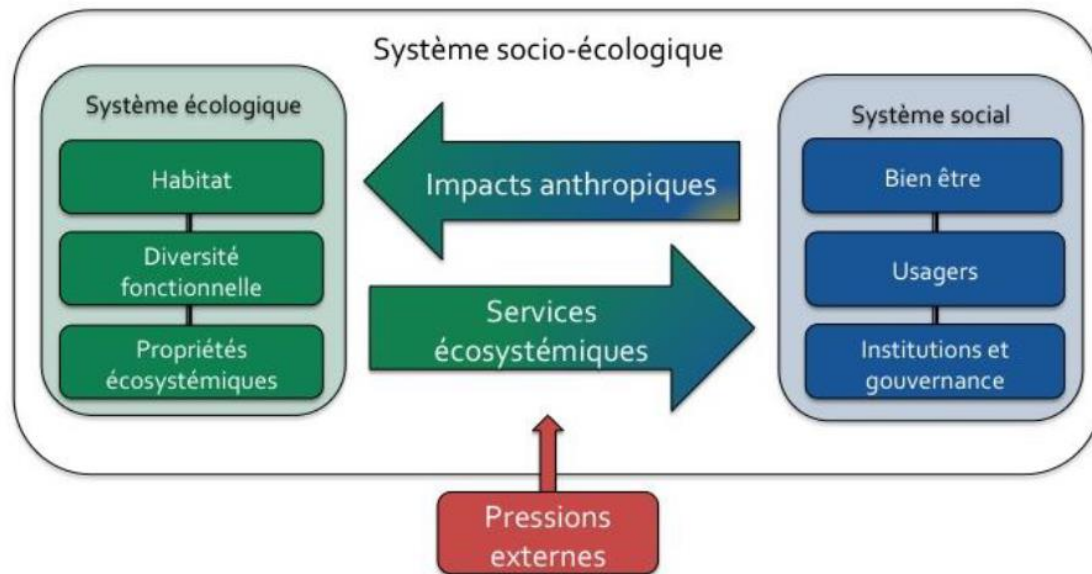


Figure 3 : Schéma conceptuel du système socio-écologique.

Pour explorer les différentes facettes de l’approche socio-écologique, il est nécessaire de disposer d’une vision transdisciplinaire du système étudié afin de mieux comprendre les dynamiques socio-écologiques qui découlent d’usages ou de pratiques de gestion des milieux naturels. L’analyse des systèmes socio-écologiques se trouve à la croisée des sciences naturelles et des sciences de l’homme et de la société privilégiant aussi bien des perspectives fonctionnelles (des écosystèmes), les intérêts des parties prenantes que des systèmes de valeurs.

- L’approche socio-écologique connaît actuellement un fort développement au sein de la littérature scientifique. La première étape consiste à décrire les limites d’un système et ses règles de fonctionnement, à quantifier certains de ses éléments (biomasses, valeurs) et à étudier les variables qui influencent ses dynamiques socio écologiques.
- La deuxième étape consiste à étudier les interactions entre les variables et entre les différents niveaux d’organisation.
- La troisième étape consiste à analyser la gouvernance : qui sont les acteurs, quels jeux de pouvoir sont à l’œuvre ? Quelles sont les règles de gestion ? Quels sont les réseaux ? Le but est de soutenir la capacité du système à fournir des services à la société.
- La dernière étape consiste à comprendre la dynamique du système étudié ainsi que les composantes de sa résilience : quels états différents peut-il prendre ? Quelles variables le feront passer d’un état à l’autre et selon quels seuils ? L’approche socio-écologique consiste donc à assembler les données culturelles, sociales, économiques et écologiques qui nous révèlent les changements de ces systèmes ; cela consiste également à modéliser pour mieux comprendre les forces qui pilotent les dynamiques socio-écologiques et à mettre en place une gestion grâce à de nouveaux outils.

Les origines du concept d’économie bleue remontent à la conférence Rio+ de 2012 des Nations unies et au rapport sur „l’économie verte dans un monde bleu“. S’appuyant sur un consensus mondial croissant sur la pertinence socio-économique du concept et de ses activités connexes, le terme d’économie océanique a été plus récemment adopté par des organismes internationaux, tels

que l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), les Nations unies (ONU) et la Banque mondiale. L'expression „économie des océans“ implique souvent que l'“eau douce“ et l'“eau continentale“ soient considérées comme des dimensions essentielles du secteur, en particulier lorsqu'il s'agit d'évaluer le financement d'une économie bleue durable dans les économies en développement et émergentes du monde entier. La définition de l'économie bleue reconnaît la pertinence de certaines activités économiques plus „traditionnelles“, telles que l'extraction et la commercialisation des ressources marines vivantes, le transport maritime, les activités portuaires, la construction et la réparation de navires, le tourisme côtier et maritime, etc. En outre, la définition englobe également un certain nombre d'activités innovantes émergentes mais tout aussi pertinentes, telles que l'énergie maritime (énergie éolienne offshore et énergie océanique), la biotechnologie bleue, le dessalement, etc.

Semblable à l'économie « verte », le modèle de l'économie bleue vise à améliorer le bien-être humain et l'équité sociale, tout en réduisant considérablement les risques environnementaux et les inégalités écologiques. Il prévoit un modèle inclusif dans lequel les États côtiers - qui n'ont parfois pas la capacité de gérer leurs riches ressources marines - peuvent commencer à étendre les avantages de ces ressources à tous. (Figure 4).

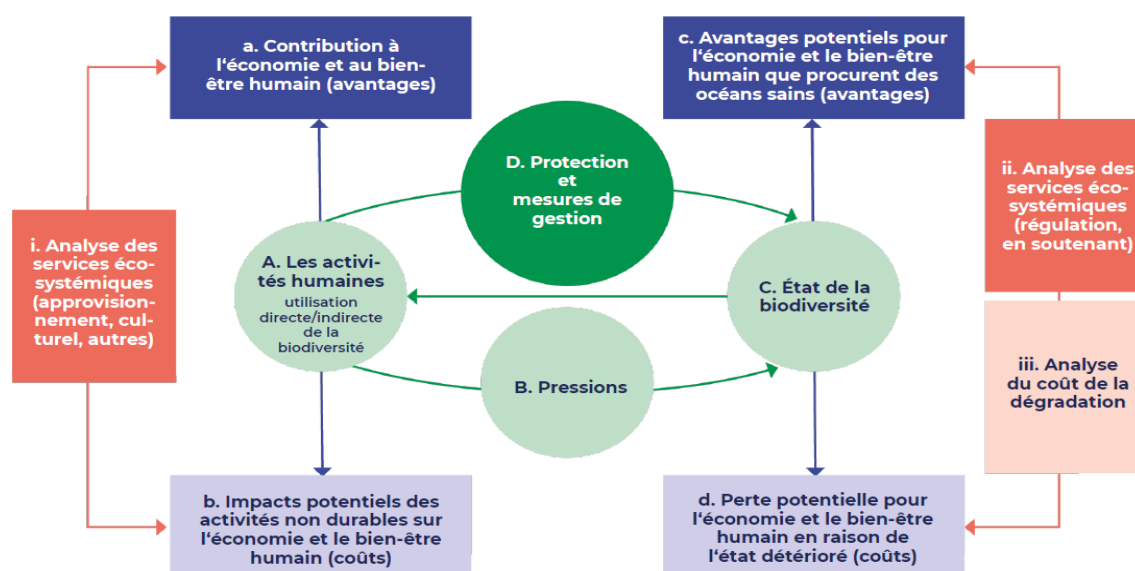


Figure 4 Cadre d'évaluation pour l'analyse socio-économique des activités humaines dans les ZAJN.
Source : Elaboré à partir de HELCOM (2018)

1.2.3 Contraintes naturelles et pressions anthropiques exercées sur le littoral

Le littoral est soumis à la fois au contrainte naturelles et anthropique, ce qui cause une grosse pression sur l'état de celui-ci, en effet parmi les contraintes naturelles, on y trouve : la houle, augmentation de niveau de la mer, les tempêtes marine, dynamique sédimentaire qui touche les côtes sableuses. Les activités anthropiques, comme l'urbanisation du littoral, extraction de sable, aménagement côtier et la pollution, perturbent les dynamiques naturelles et réduisent la capacité du littoral à se régénérer, rendant ainsi ces espaces encore plus exposés aux aléas et aux risques côtiers.

Parmi les risques qui peuvent survenir sur le littoral, nous citons l'extension urbaine ou l'artificialisation des sols qui favorise le phénomène de l'inondation et l'érosion des sols et qui entraîne par conséquent une diminution de la superficie des plages et la pollution du milieu marin de proximité (Moussi, 2023).

1.3 Définitions des concepts de vulnérabilité et risques côtiers et des notions connexes

1.3.1 Définition et évolution du concept de vulnérabilité

Le terme de vulnérabilité est très complexe. Il n'est pas absolu et diffère selon l'utilisation que nous souhaiterions en faire. Cela veut dire que le système ou l'élément peut être vulnérable à certains aléas et autres non. La vulnérabilité, exprimée sur une échelle de 0 (aucune perte) à 1 (perte totale), permet d'estimer ou de mesurer les conséquences potentielles de l'aléa sur les enjeux socioéconomiques (Glade, 2003)

1.3.2 Composantes de la vulnérabilité côtière (exposition, capacité d'adaptation)

L'Exposition : est la probabilité qu'un aléa puisse atteindre des enjeux socioéconomiques et d'en subir les conséquences (Dow, 1993).

La capacité d'adaptation : La capacité des systèmes, des institutions, des êtres humains et d'autres organismes à s'adapter à des dommages potentiels, à tirer parti d'opportunités ou à faire face aux conséquences. GTIII

1.3.3 Composantes du risque côtiers

Par définition, un risque est la combinaison entre une menace (aléa côtier) et des biens ou personnes exposés (enjeux). On distingue trois types de menaces, ou « aléas » littoraux : la submersion marine (inondation temporaire de la zone côtière), l'érosion côtière (phénomène de recul du trait de côte) et l'ensablement (avancée du front de dune vers l'intérieur des terres) (Figure 5).

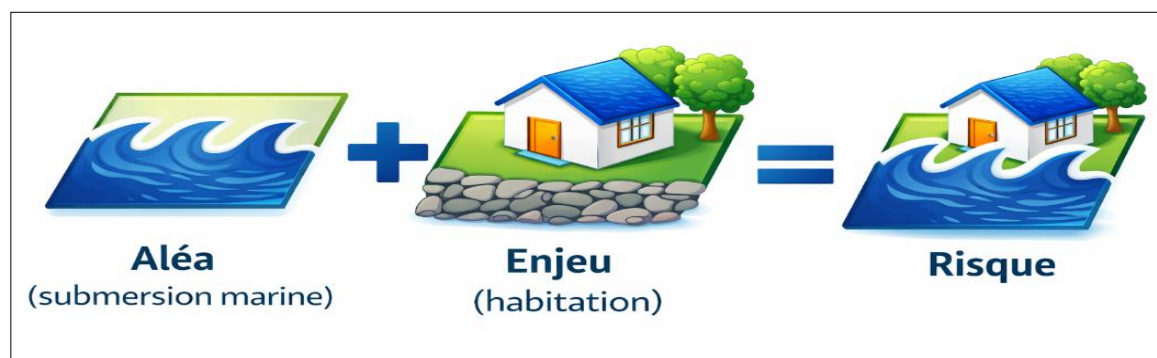


Figure 5 : Aléas, Enjeux et Risques selon la définition classique (Henaff A et Philippe M, 2014).

De la même façon, le risque majeur se caractérise par sa faible fréquence, sa gravité et l'incapacité de la société exposée à surpasser l'événement. Des actions sont dans la plupart des cas possibles pour le réduire, soit en atténuant l'intensité de l'aléa, soit en réduisant la vulnérabilité des enjeux.

Les approches peuvent différer dans la mise en équation de ces paramètres :

Risque = Aléa × Enjeux (DREAL LR, 2010)

Risque = Aléa × Vulnérabilité × Coût (VARNES & IAEG, 1984)

Un point important est donc l'analyse de la vulnérabilité, qui exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Elle caractérise la plus ou moins grande résistance d'un enjeu à un événement donné. Elle est le degré auquel un système est susceptible et incapable de faire face à un dommage ou un dégât. La sensibilité d'une communauté aux impacts des aléas dépend d'un ensemble de conditions et processus résultant de facteurs sociaux, économiques et environnementaux (MEDDTL, 2009).

1.3.4 Notions d'adaptation et de résilience

L'adaptation : Le processus d'adaptation au climat actuel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à atténuer les dommages ou à tirer parti des opportunités favorables. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat prévu et à ses effets. GTIIL. (NOAA)

La résilience : La résilience est la capacité à s'adapter à des conditions changeantes et à résister aux perturbations causées par des situations d'urgence, tout en s'en remettant rapidement. En d'autres termes, cela signifie rebondir après un événement malheureux. Cette capacité à surmonter les difficultés, ou à rebondir, est un concept qui s'applique aux individus, aux communautés, grandes ou petites, à nos infrastructures et à l'environnement. Ici, au Service océanographique national, nous nous concentrons sur la résilience côtière et océanique, car nous reconnaissons que les communautés vivant près de nos côtes sont de plus en plus vulnérables aux catastrophes, tout en étant confrontées à de nombreux autres changements environnementaux majeurs à long terme. (NOAA : national service and atmospheric administration).

1.4 Importance de l'évaluation de la vulnérabilité dans la gestion et la protection du littoral

L'objectif est d'évaluer les degrés respectifs de vulnérabilité de différents secteurs côtiers, en s'appuyant sur leurs caractéristiques propres de territoire : il s'agit d'intégrer à l'analyse des critères sur la dynamique morpho-sédimentaire, le contexte économique, la gestion des risques, la perception par les usagers. (Chaib, 2021)

1.4.1 Aléas côtiers et leurs impacts

1.4.1.1 Erosion côtière

L'érosion littorale est la perte d'une partie de la terre au profit de la mer due, essentiellement à l'effondrement des falaises ou à l'appauvrissement des dunes et plages en sable. Le phénomène d'érosion entraîne une fragilisation du bord de côte et un recul des terres au profit de la mer, cette érosion touche 24% des côtes sableuses dans le monde (Chaib, 2021)

1.4.1.2 Submersion marine

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et marégraphiques sévères

provoquant des ondes de tempête. Elles envahissent en général des terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers, mais aussi parfois au-dessus si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection, les submersions sont dues (Garry, 1997):

- À la rupture ou à la destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion intensive.
- Au débordement ou à la rupture de digues ou d'ouvrages de protection, ou encore à leur franchissement exceptionnel par des « paquets de mer »
- À des vagues de forte amplitude provoquées par des glissements sous-marins (en particulier sur la façade méditerranéenne) (Garry, 1997).

Les côtes algériennes subissent les risques de l'érosion et de la submersion marine qui augmente avec l'occupation du sol qui est très importantes dans les villes côtières (Chaib, 2021).

1.4.1.3 Ensablement

Les accumulations sableuses ou dunes, en se déplaçant, ensevelissent sous leur masse les cultures, les habitations, les voies de communication, les réseaux d'adduction d'eau. Les dégâts matériels et socio-économiques ainsi causés peuvent devenir tellement graves que la fixation de ces dunes devient alors un objectif prioritaire. Mais pour bien comprendre l'utilisation des moyens de lutte il faut d'abord distinguer les deux facteurs qui contribuent à la formation et au déplacement des masses sableuses : le vent et le sol.

1.4.2 Méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité côtière

1.4.2.1 Approche basée sur les indices de vulnérabilité côtière (CVI)

L'indice de vulnérabilité côtière « IVC » : L'IVC développé par Abuodha et Woodroffe (2010) est un indice de vulnérabilité qui utilise uniquement des variables physiques pour évaluer la vulnérabilité d'une zone côtière (altitude, déplacement de la côte, hauteur des vagues, etc.).

1.4.2.2 Indice de vulnérabilité côtière pour l'élévation du niveau de la mer « IVC SLR »

Özyurt et al. (2009) a développé un indice de vulnérabilité côtière pour évaluer les impacts induits par l'élévation du niveau de la mer. L'indice est déterminé par l'intégration de 5 sous-indices, chacun correspondant à un impact spécifique à une éventuelle élévation du niveau de la mer.

1.4.2.3 Indice de vulnérabilité côtière composé

Szlafsztein et Sterr (2007) ont formulé un indice combinant un certain nombre de variables distinctes qui reflètent les caractéristiques naturelles et socio-économiques qui contribuent à la vulnérabilité côtière due aux risques naturels. La méthode de classification utilisée est l'algorithme de pauses naturelles de Jenks. Par conséquent, chacune de ces variables est pondérée en fonction de son importance dans la détermination de la vulnérabilité des zones côtières aux risques naturels.

1.4.2.4 Indice de vulnérabilité côtière multi-échelle « CVI multi-scale »

McLaughlin et Cooper (2010) ont développé un IVC multi-échelle. L'indice intègre trois sous-indices : (1) un sous-indice caractéristique côtière, décrivant la résilience et la vulnérabilité du littoral à l'érosion, (2) un sous-indice de forçage côtier, caractérisant les variables de forçage qui contribuent à l'érosion côtière induite par les vagues, (3) et un sous-indice socio-économique, décrivant des cibles potentiellement à risque.

Le calcul de chaque sous-indice est déterminé sur la base de diverses variables, dont l'identification spécifique (nombre et typologie) dépend de l'échelle de l'application considérée. La figure 6 illustre les variables utilisées pour calculer les trois sous-indices.

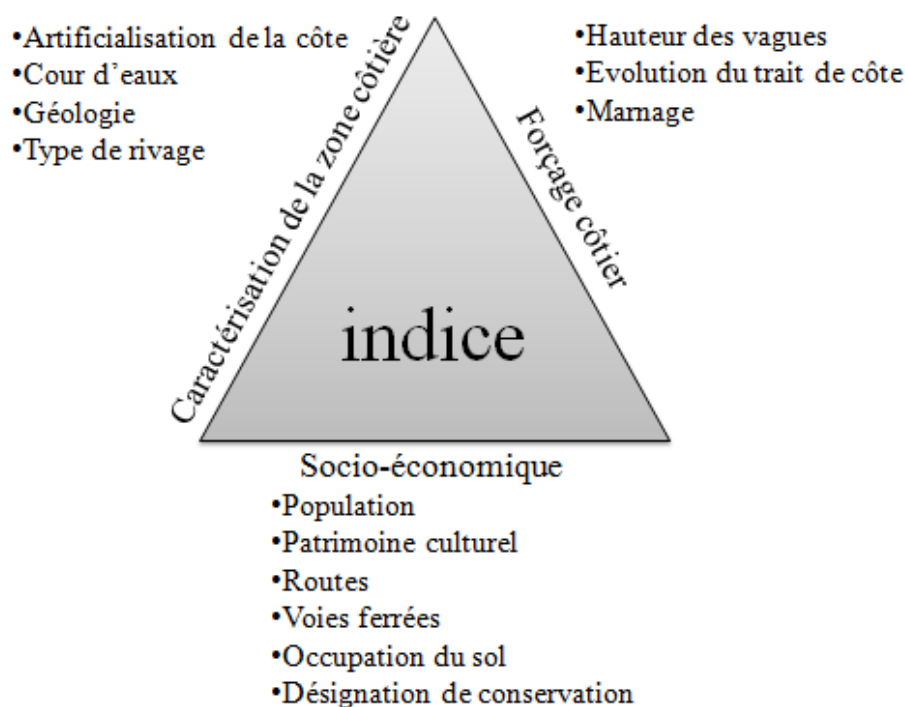


Figure 6 Les variables utilisées pour un IVC multi-échelle en Irlande du Nord (McLaughlin et Cooper, 2010).

Les variables identifiées sont ensuite classées selon une échelle 1-5 (selon Gornitz, 1990) L'IVC finale est calculé par la moyenne des trois valeurs de sous-index, comme indiqué dans la formule ci-dessous :

$$\text{IVC} = (\text{Sous-indice de caractérisation de la zone côtière} + \text{sous-indice des forçages côtiers} + \text{sous-indice socio- économique}) / 3$$

1.4.2.5 Apport des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection dans l'analyse spatiale de la vulnérabilité

Le principal avantage de l'utilisation de SIG, combiné à d'autres méthodologies, est leur capacité à stocker, modifier et récupérer de grands ensembles de données d'origine hétérogène et à les représenter dans un format visuel (Omar H., et *al.*, 2019 ; Krause G., et *al.*, 2004). L'utilisation de ces outils dépend de la qualité, de la disponibilité et de l'exactitude des données, et il est nécessaire de prendre en compte ces aspects afin de maintenir une base scientifique solide afin de ne pas mettre en péril tout travail provenant de telles sources de SIG pour évaluer, cartographier et quantifier l'ensemble des variables qui contribuent à l'érosion des zones à risque.

Une méthodologie intégrée d'évaluation des risques régionale (RRA) a été développée et inclus dans la décision système de soutien basé sur le SIG pour l'évaluation des incidences des changements climatiques des zones côtières (Torresan et al., 2008).

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Chapitre 2 : Matériel et méthode

1 Présentation de la zone d'étude

Sur plus de 1600 km de linéaire côtier algérien, Mostaganem en compte environ 128 km dont une centaine formée uniquement de plages sableuses. Se trouvant au Nord-Ouest de l'Algérie à 350 Km à l'Ouest d'Alger, la wilaya de Mostaganem est limitée à l'Est par la wilaya de Chlef, au sud par celles de Relizane et Mascara, à l'Ouest par la wilaya d'Oran et au Nord par la mer Méditerranée (Fig.7). Elle se caractérise par une vocation touristique totalement inexploitée et une zone de pêche s'étendant environ sur 2679 Km² faisant d'elle la plus grande zone de pêche en Algérie. (Bouguessa et Khadari, 2020).

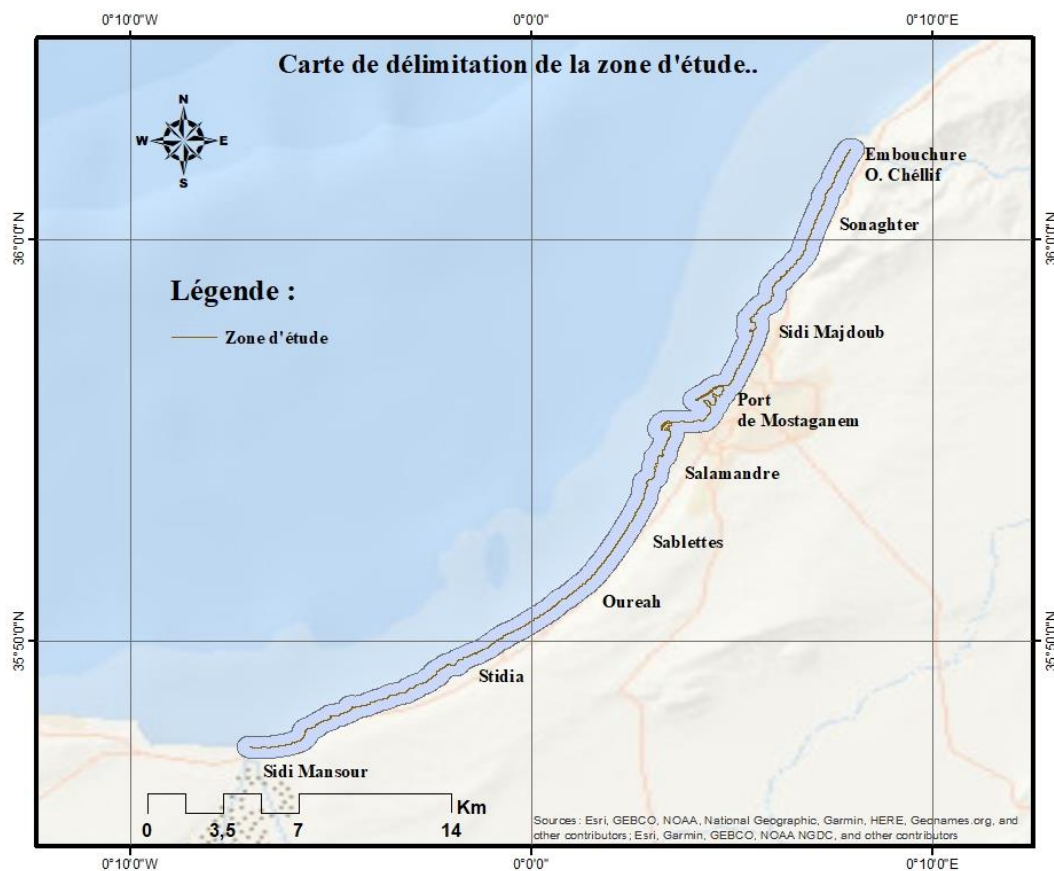


Figure 7 Carte de délimitation de la zone d'étude.

Le relief de la Wilaya de Mostaganem se divise en quatre unités morphologiques appartenant à deux régions distinctes, les plateaux de Mostaganem et Dahra (Fig.9) :

- Les vallées basses de l'Ouest englobent les communes : Hassi Mameche, Mazagran, Stidia, Ain Nouissy, El Hasiane, Farnaka, Sidi Ali, Ouled Maallah, Tazgait, Nekmaria, Kheireddine, Ain Boudinar et Safsaf.

- Les monts du Dahra englobent les communes : Sidi Belattar, Oued Cheliff
- Le plateau de Mostaganem englobe les communes : Mostaganem, Ain Tedles, Sour, Bouguirat, Sirat, Souafliya, Mesra, Aïn Sidi Cherif, Mansourah, Touahria et Sayada.
- Les vallées de l'Est englobent les communes : Achaacha, Khadra, Ouled Boughalem, Sidi Lakhdar, Hadjadj et Abdelmalek Ramdane (Belabiod, 2019).

La zone d'étude s'étend de l'embouchure de Oued Chéllif jusqu'à Mactaa, sur un linéaire côtier de 33 km.

1.1. Contexte géomorphologique et hydrographique

La géomorphologie de la wilaya de Mostaganem apparait sous une morphologie plate, formée par un relief peu accidenté ; selon Domzig et *al.*, (2006) elle appartient à la chaîne des Maghrébides (Figure 8).

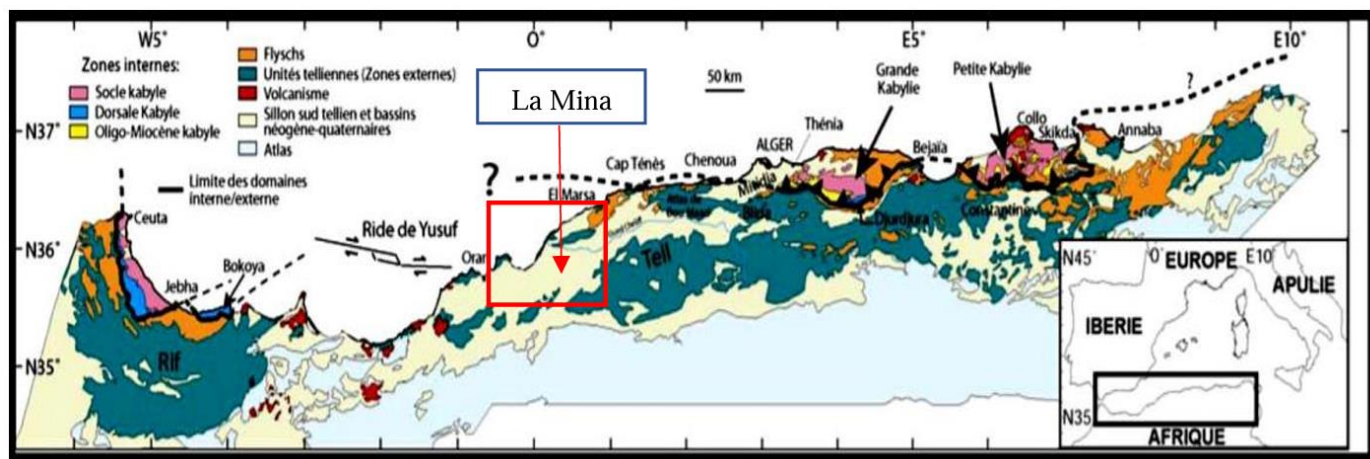


Figure 8 Position des différentes unités géologique des Maghrébides (Domzig et al.2006) (**BRAHIMI et CHIKHAOU** 2021)

La Wilaya de Mostaganem est divisée en trois principales unités :

1.1.1. Les vallées

Les vallées basses de l'ouest se situent à l'ouest du plateau de Mostaganem, appartenant au domaine de la plaine d'El Habra sur environ 100m d'altitude. La vallée de l'est se situe au nord de la région des monts de Dahra, complètement dénudée et fortement ouverte sur la mer, sous une altitude moins de 200m. (Dahra, Encyclopédie berbère,1991).

1.1.2. Le plateau de Mostaganem

S'étendant sur une superficie de 750 Km² et englobant 13 communes, La morphologie du plateau se divise en deux secteurs :

- Une frange littorale : représentée par une côte ardue très élevée sur 242m d'altitude, qui apparait sous la forme d'un arc formé par des structures ondulatoires, résultant de l'action des vents dominants, formant ainsi des dunes littorales.

- Le plateau proprement dit : Il est formé par des dunes continentales, et nous distinguons ainsi une partie plus basse et peu accidentée marquée par de faibles sinuosités, séparées par des vallées en forme de rochet, qui s'étale jusqu'à la dépression de la Macta.

1.1.3. Les Monts de Dahra

Les monts de Dahra font partie de la chaîne tellienne (altitude maximale 1000 m), sa partie moyenne qui commence de la rive droite du Cheliff jusqu'au confluent de la Mina, occupe une grande portion du territoire de Mostaganem, englobant les communes déjà citées, caractérisée par une topographie accidentée sur 700m d'altitude fortement confrontée à l'érosion hydrique accentuée par l'absence du couvert végétal. Ce large plateau ondulé, remarquable par sa nudité, s'étale au sud pour former le plateau de Mostaganem, et au nord celui d'Ouillis près d'Achâacha.(Dahra, Encyclopédie berbère,1991)

1.2. Contexte climatique et hydrodynamique

1.2.1. Contexte climatique

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par deux saisons bien distinctes, celle des pluies et celle de la sécheresse. L'influence du nord - ouest apporte des courants froids et humides, et celle du sud est beaucoup plus liée à des courants chauds et secs. La région de Mostaganem se caractérise par un climat semi-aride à hiver tempéré avec une pluviométrie qui varie entre 350mm et 400mm, les deux éléments principaux du climat (précipitations et températures) conditionnent tous les rythmes d'irrégularités.

1.2.1.1. Température

L'étude de la variation des températures est basée sur le traitement des résultats d'analyse des températures mensuelles calculées à partir des enregistrements effectués régulièrement par « Climate research unit time series » couvrant une période de plus d'un siècle allant de Janvier 1901 à Décembre 2019 les résultats portés sur le tableau 1 montrent deux périodes distinctes :

- Une période hivernale relativement froide qui s'étale sur une période de 6 mois allant de mois de Novembre au mois d'avril avec un minimum moyen de 7,9 C° est enregistré au mois de Janvier.
- Une période estivale relativement chaude qui s'étale sur une période de 6 mois. Notant que des moyennes de température qui peuvent atteindre 28,8 C° sont enregistrées au mois d'Aout.

Tableau 1 Distribution des températures moyennes mensuelles <https://sites.uea.ac.uk/cru/> pour la période entre 1901-2019.(BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moyens mensuels(C°) Max	14,5	16,2	16,9	18,5	21,6	26	28,5	28,8	26,5	22,5	17,4	14,6
Moyens mensuels(C°) Min	7,9	8,9	10,6	13,9	16,4	20,3	21,8	23,5	21,2	16,5	12,6	8,9

Moyennes mensuelles(C°)	10,4	10,9	13,1	14,8	16,7	21,9	25,1	26,3	22,3	18,3	14,7	11,8
-------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

1.1.1 Précipitations

Les traitements statistiques des données acquises de « Climate research unit time series ». Le tableau 2 couvrant une période allant de 1901 à 2019 nous a permis de tracer l'histogramme des moyennes mensuelles des précipitations dans notre zone d'étude, ces traitements montrent que la région se caractérise par deux périodes distinctes :

- Période hivernale relativement pluvieuse dont les pluies se concentrent entre le mois d'octobre et le mois d'Mai, elle atteint son maximum en mois de Novembre avec 75mm.
- Période estivale sèche s'étale du mois de juin jusqu'au Septembre avec son minimum enregistré au mois de Juillet avec 1mm.

Tableau 2 La distribution des moyennes mensuelles des précipitations au niveau de Climate research unit time series <https://sites.uea.ac.uk/cru/> (1901-2019).(BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

Les mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Anné
Moyenne mensuelle (mm)	53	35	33	26	28	5	1	3	13	34	75	65	381

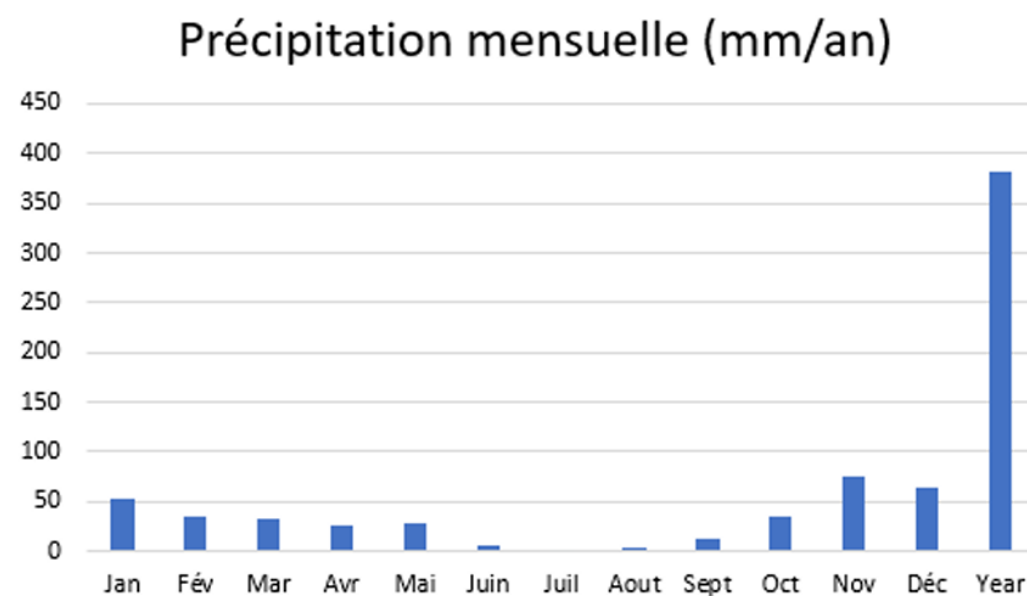


Figure 9 Histogramme des précipitations mensuelles de Climate research unit time série <https://sites.uea.ac.uk/cru/> entre 1901 et 2019. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

1.2.1.2. Le vent

Les mouvements de l'air et de l'eau provoquent l'érosion et la sédimentation le long du littoral. L'action du vent sur la surface de l'eau génère les vagues ; sur la plage il déplace les particules pour les déposer ailleurs. Il peut aussi mobiliser des quantités considérables du sable des plages et édifier les dunes qui caractérisent certaines côtes.

Dans ce présent travail on a utilisé la base des données de « Infoplaza Marine Weather », couvrant une période de 28 ans allant de 1992 jusqu'à 2020. Les données sont présentées dans le tableau 3.

L'analyse statique de ces données de vent montre que les directions les plus dominantes sont :

- Période printanier et automnale : Une prédominance des vents de secteur compris entre Nord-Nord-Est et Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives de 18.92% et 20,72%. Les vents de cette direction ont des vitesses supérieures à 17 m/s.
- Période hivernale : les vents qui proviennent de secteur Ouest-Sud-Ouest possèdent une grande fréquence qui est de 33.29% avec une vitesse comprise entre 17 et 19 m/s. Les autres directions sont moins fréquentes avec des fréquences relativement faibles.
- Période estivale : les vents les plus dominants sont ceux des deux directions Nord et surtout la direction Nord-Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives de 17.53% et 24.82%. Les directions du vent Nord-Ouest et Ouest existent mais avec une prédominance moins remarquable.
- Fréquence annuelle : nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent du Nord, Nord-Est, Nord-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest avec des fréquences d'apparition respectivement estimées par 12,53% ,18.05%, 19,87% et 21,38%.

Tableau 3 Distribution des fréquences d'apparition annuelle et saisonnière du vent par direction entre 1992 à 2020, (Infoplaza Marine Weather) (**BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021**)

Direction	Annuelle	Hiver	Été	Automne	Printemps
NNE	19,87 %	11,81 %	24,82 %	25,94 %	18,92 %
W	9,77 %	12,05 %	8,45 %	9,75 %	9,61 %
N	12,53 %	7,52 %	17,53 %	10,84 %	10,91 %
WSW	21,38 %	33,29 %	12,61 %	18,69 %	22,56 %
WNW	6,42 %	6,12 %	6,87 %	6,25 %	6,27 %
NNW	6,44 %	6,23 %	7,49 %	6,16 %	5,57 %
NW	5,54 %	5,56 %	5,89 %	5,21 %	5,44 %

1.2.2. Contexte hydrodynamique

1.2.2.1. La houle

Les données utilisées sont extraites à partir de la base des données météorologiques « Info Plaza Marine Weather », couvrant une période de 28 ans allant du 1992 à 2020. L'analyse statistique des directions de houles au large nous a permis de tracer les roses annuelles et trimestrielles des houles ainsi que déduire la fréquence d'apparition des houles au large (Figure 10) et (tableau 4).

Tableau 4 La distribution fréquentielle de Hs selon le traitement des données « Info Plaza Marine Weather» de 1992 à 2020. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

Mois/Direction	Annuel	Hiver	Été	Automne	Printemps
NNE	41,74 %	30,97 %	52,78 %	41,34 %	41,17 %
W	25,98 %	23,70 %	22,15 %	25,21 %	29,79 %
N	10,78 %	11,32 %	10,98 %	11,43 %	9,42 %
WSW	9,18 %	16,96 %	2,20 %	9,63 %	8,48 %
WNW	4,46 %	5,16 %	3,43 %	4,87 %	4,43 %
NNW	3,15 %	4,57 %	2,44 %	2,88 %	2,80 %
NW	2,56 %	3,37 %	1,94 %	2,53 %	2,46 %
NE	2,13 %	3,94 %	1,14 %	2,12 %	1,44 %

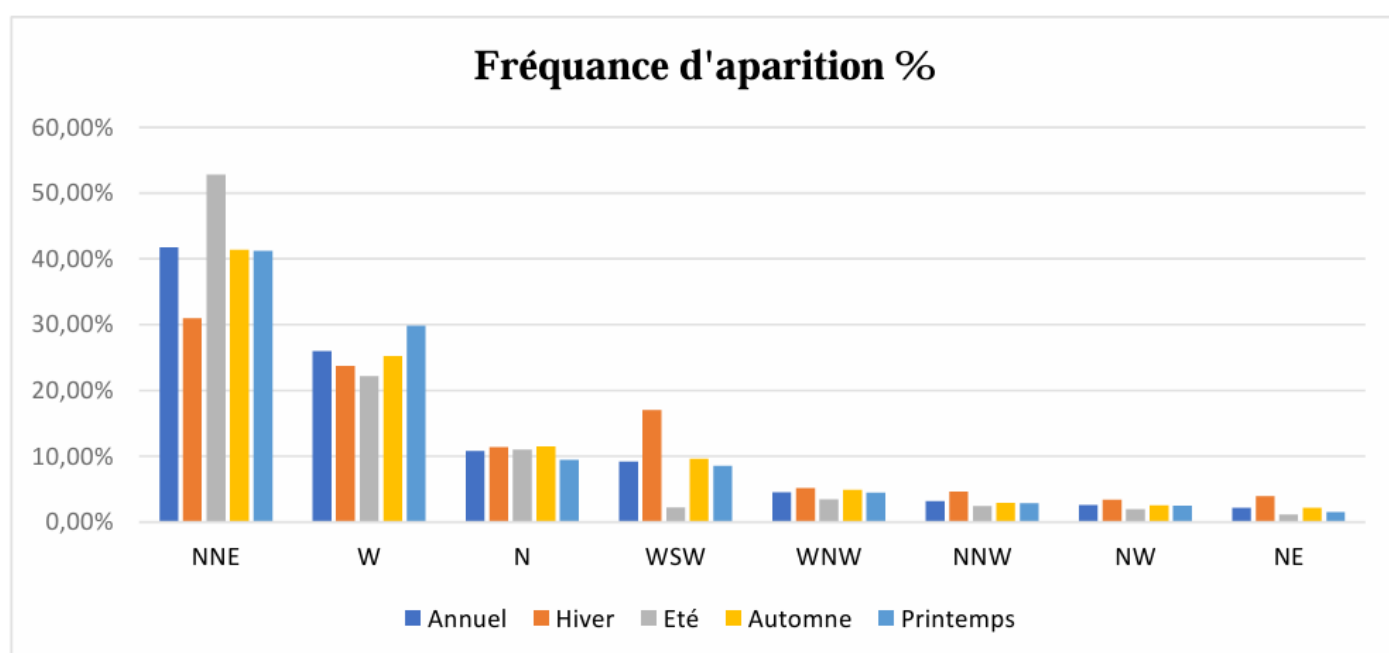


Figure 10 la fréquence d'apparition des houles au large.

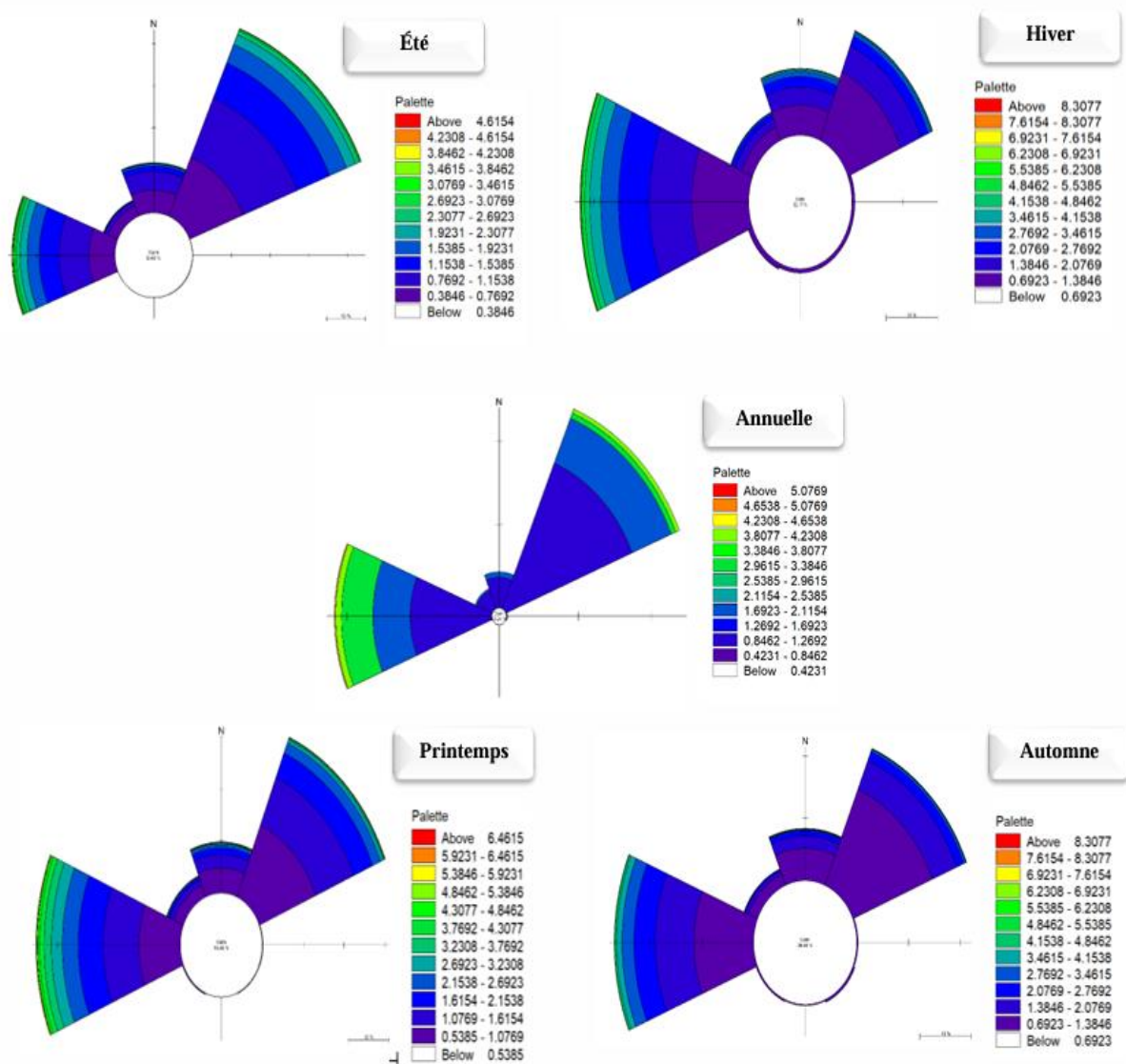


Figure 11 les roses annuelles et trimestrielles des houles. (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

Au large des côtes de la zone d'étude, la rose annuelle des houles (Figure 11) montre que les agitations qui touchent le site proviennent principalement des secteurs Ouest et Nord Nord-Est

Avec des fréquences d'apparition respectives 25,98% et 41,74%. Par ailleurs, l'interprétation des roses trimestrielles fait ressortir les constatations suivantes :

Les houles les plus dominantes sont issues des secteurs : (BRAHIMI et CHIKHAOUI 2021)

- Nord-Nord-Est avec 41,74% de fréquence annuelle qui domine principalement en été (52,78%) avec une hauteur significative ne s'excède pas 3m.
- Ouest avec 25,98% de fréquence annuelle qui domine en Printemps (29.79%), en Automne (25.21%) et aussi en Hiver (25.56%) avec une hauteur significative oscille entre 3 et 5m pour les trois trimestres.

1.2.2.2. Marée

La marée désigne le processus de variation périodique du niveau de la mer, elle est due à l'attraction lunaire, et dans une moindre mesure à l'attraction du Soleil qui module son amplitude selon la phase de la Lune et différentes périodes astronomiques. Des courants par endroit très violents sont associés aux marées dans les zones côtières. Les courants de marée jouent par ailleurs un rôle global sur le climat en contribuant au mélange vertical de l'océan, qui refroidit la surface par le contact avec l'eau profonde. (SOMMERIA, 2016) Dans les côtes algériennes et d'une façon générale, l'amplitude de la marée n'est pas importante, le marnage est de l'ordre de 80 cm à 1 m en pleine lune. (Amarouche, 2015).

1.2.2.3. Le niveau marin

Selon Le 5ème rapport du GIEC (AR5, 2014), la Méditerranée est une des régions les plus vulnérables au changement climatique, une hausse des températures de 2 à 3°C est à prévoir en région méditerranéenne à l'horizon 2050, et de 3 à 5°C à l'horizon 2100. L'augmentation du niveau de la mer Méditerranée monte à un rythme accéléré de 2,6 à 2,9 mm par an, ce qui implique une augmentation de 0,43 m à 2,5 m d'ici 2100. Cette élévation du niveau de la mer due au réchauffement climatique va accentuer l'érosion côtière, les submersions et tempêtes et s'annonce catastrophique pour un certain nombre de populations côtières (Figure 17).

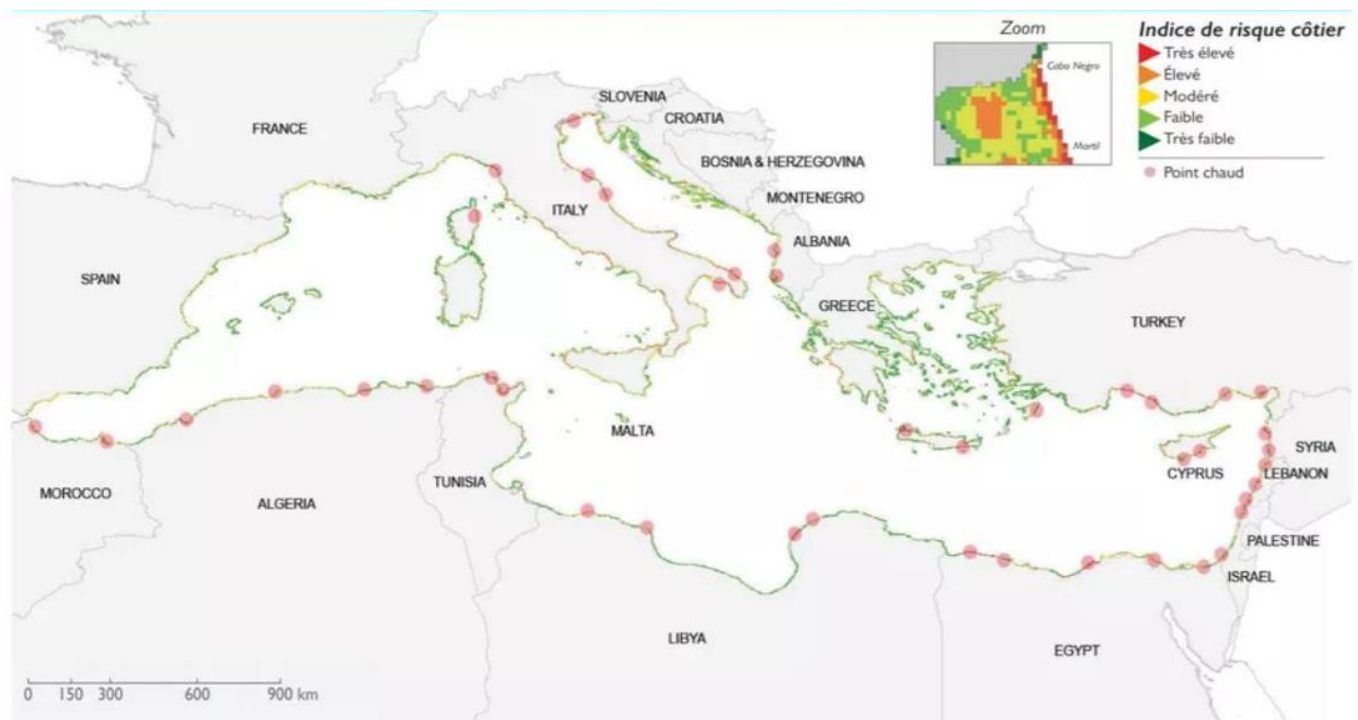


Figure 12 Carte d'évolution régionale des risques pour la méditerranée basée sur la méthode CRI-Med. (Source : Satta et al.2016).

1.3. Contexte socio-économique

Les activités humaines influencent l'évolution du littoral et peuvent provoquer l'apparition ou l'aggravation de phénomènes d'érosion, notamment si l'Homme prélève des sédiments sur ce littoral. On considère que la pénurie sédimentaire, d'origine naturelle ou non est le principal facteur

de l'érosion des plages. De fait, l'homme a souvent intervenu consciemment ou inconsciemment sur cette ressource, soit en prélevant des sédiments (sables, galets), soit en contrariant leur déplacement naturel le long de la côte. Parmi ces actions, on peut citer :

1.3.1. La construction des barrages

Les barrages sont régulièrement évoqués dans l'actualité pour leurs impacts sur la biodiversité, à juste titre, mais leur impact sur la dynamique sédimentaire, notamment leur rôle de "pièges à sédiments", est moins souvent relevé. La construction des barrages a considérablement modifié la quantité et la qualité des sédiments libérés en aval des barrages jusqu'à la mer. ; on conçoit donc que l'ensemble de ces obstacles prive l'aval de nombreuses particules de sédiments qui s'accumulent au niveau des barrages. (SICMED, 2011).

1.3.2. Aménagement portuaire et maritime

L'implantation d'un port sur le littoral a comme conséquence immédiate et irréversible la destruction de la faune et de la flore dans la zone des travaux. La création d'un port nécessite souvent le creusement de bassins et le rejet en mer de matériaux. Ces rejets ont des conséquences sur l'écosystème côtier enfouissement d'organismes benthiques, augmentation de la turbidité et donc diminution de la production primaire, colmatage des branchies. Les structures portuaires agissent comme une barrière côtière. La dérive côtière des sédiments menace de perturber les matériaux et de modifier le développement du littoral. Un port de pêche et de plaisance a été réalisé à Salamandre, en 2012. Cette infrastructure permettra aussi de désengorger le port commercial de la ville. Le Port de Mostaganem ouvert en 1904 est l'un des ports les plus importants d'Algérie et du Maghreb, car il relie de nombreuses lignes et est considéré comme un point de connexion entre l'est et l'ouest. (Figure 13).



Figure 13 Image satellitaire du port de pêche de la salamandre et le grand port de Mostaganem.

1.3.3. L'urbanisation désordonnée près de la cote

L'urbanisation du littoral donne naissance à des rapports conflictuels entre différents usagers. Les tensions ont pour objet l'appropriation du foncier littoral et suscitent l'adoption, à l'échelle de l'individu ou du groupe (Ghodbani et Bouziane, 2010). La construction à proximité du rivage (Figure 14) accélère le recul du rivage qui conduisant à une surexploitation des réserves côtières, ce qui peut également réduire le couvert végétal et causé la dégradation des dunes de sable, surpopulation de la zone, les rejets liquide en mer provenant des usines cause un déséquilibre de l'écosystème côtier.

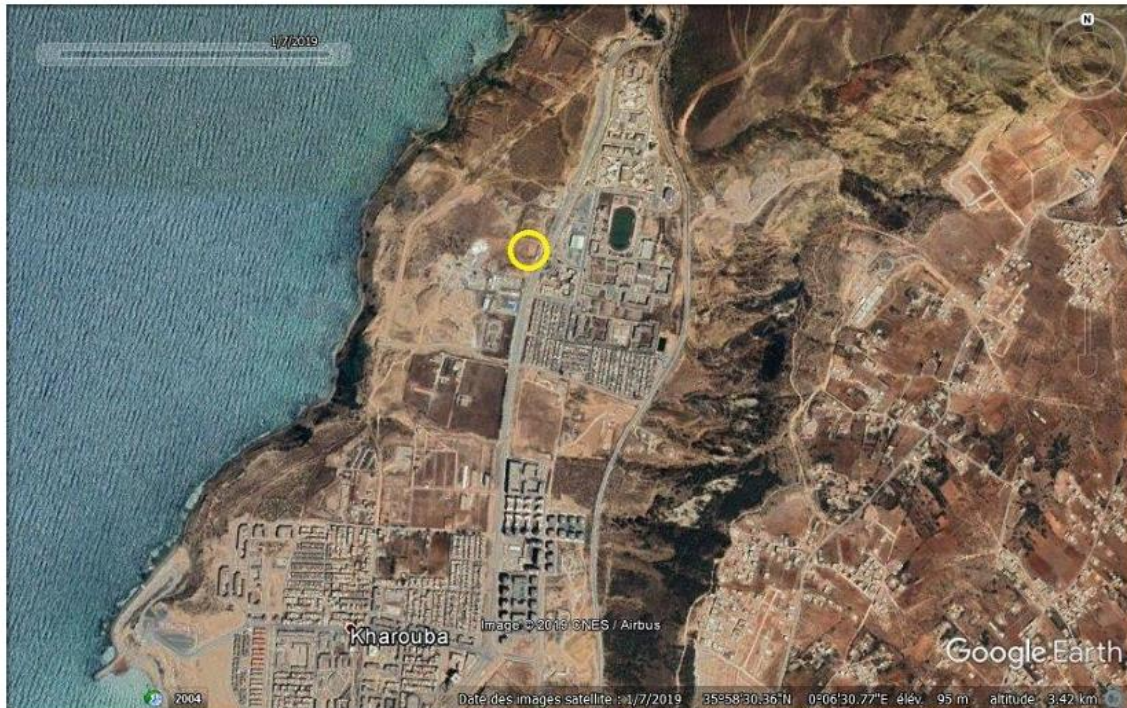


Figure 14 L'urbanisation du littoral de la wilaya de Mostaganem.

1.3.4. Le tourisme sur le littoral

Le tourisme sur le littoral nuit fortement à la préservation des espaces naturels (plage, océan...). En effet, avec de nombreux visiteurs chaque année, certains en oublient leurs bonnes habitudes et laissent leurs déchets dans la nature. Chaque année, 8 millions de tonnes de déchets plastiques sont rejetés dans l'océan. Le nombre d'estivants qui ont visité les plages de la wilaya de Mostaganem, fort de ses 124 kilomètres de côtes, durant le mois d'août 2020 (15 jours) a atteint 3 millions, en majorité à "Sidi Mansour" et "El Mectaa" (1 million d'estivants), à "Sablettes" et "Ouréah" (500.000) et à la plage de "Sidi Mejdoub" (400.000), a-t-on indiqué. (Nassima Dib, 2020) (Figure 15).



Figure 15 La plage de Sidi Mejdoub Mostaganem.

En saison estivale, les plages de Mostaganem à cause du piétinement et du carrossage subissent une perturbation de la végétation près de la cote, et il affect ainsi le cordon dunaire.

2 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité côtière

L'analyse de la vulnérabilité est une analyse prospective pour un territoire à risque qui semble être indispensable pour les décideurs. Elle permet d'avoir une idée sur les modifications probables d'un littoral suite à une remontée du niveau marin. Elle permet aussi de savoir comment agir pour pouvoir atténuer les dégâts qui peuvent surgir suite à cette remontée du niveau marin, parmi ces dégâts on cite ; l'érosion côtière (le recul du trait de côte) suivi par une avancé de la mer au détriment des terres.

2.1 L'Indice de vulnérabilité côtière physique (IVCphysique)

Dans ce contexte, la vulnérabilité signifie la susceptibilité d'une zone côtière à subir des perturbations d'ordre physique telles que l'inondation, l'érosion, la migration des plages et la déstabilisation des dunes littorales suite à une éventuelle élévation du niveau de la mer. (Niazi S, 2007)

Le long de la cote de Mostaganem, chaque segment côtier aura une responsabilité à répondre défavorablement à un risque, c'est le degré de vulnérabilité à une éventuelle remontée du niveau marin. Il est défini par l'indice de vulnérabilité côtière -IVC- (Gornitz et al.1994).

Sept variables peuvent être employées pour formuler cet indice qui est détaillée dans le tableau 5.

Tableau 5 Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique. (Thieler et Hammar-Klose, 1999, 2000a et 2000b)

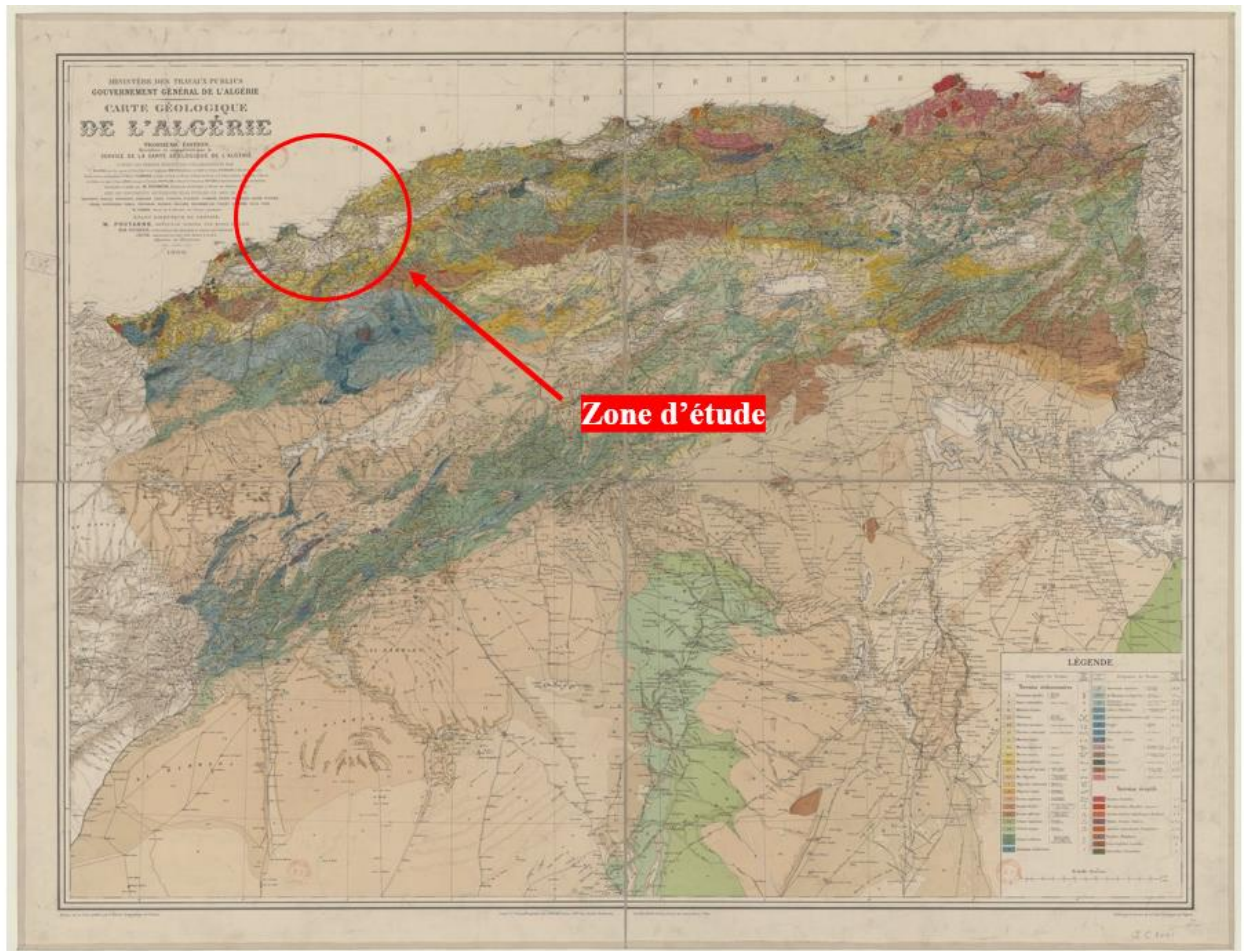
Variables	Scores de l'indice de vulnérabilité côtière physique (IVCphysique)				
	Très faible	Faibles	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Géologie	Roches métamorphiques dures ou moyennes.	Roches métamorphiques peu résistante.	Roches sédimentaire	Sédiment meubles grossiers	Sédiment meuble fins
Géomorphologie	Côtes rocheuses a falaises.	Falaises moyennes	Petites falaises	Plages de galets sableuse	Plage sableuse
Elévation du niveau de la mer (mm/an)	< 1.8	1.8 – 2.5	2.5 – 3.0	3.0 – 3.4	> 3.4
Evolution du trait de côte (m/an)	> 2.0 Accrétion	1.0 à 2.0 Accrétion	-1.0 à +1.0 Stable	-1.1 à -2.0 Erosion	< -2.0 Erosion
Marnage (m)	>6	4.1 à 6.0	2.0 à 4.0	1.0 à 1.9	< 1.0
Hauteur moyenne des vagues au voisinage de la cote (m)	<0.55	0.55 à 0.85	0.85 à 1.05	1.05 à 1.25	>1.25
Pente côtière %	> 12	12-9	9-6	6-3	< 3

2.2 Méthodologie d'évaluation

Dans le cadre de cette étude, on va retenir plusieurs paramètres physiques et la méthodologie adopté : la collecte de données, les techniques utilisées ainsi que le traitement des données, pour l'attribution de score de vulnérabilité.

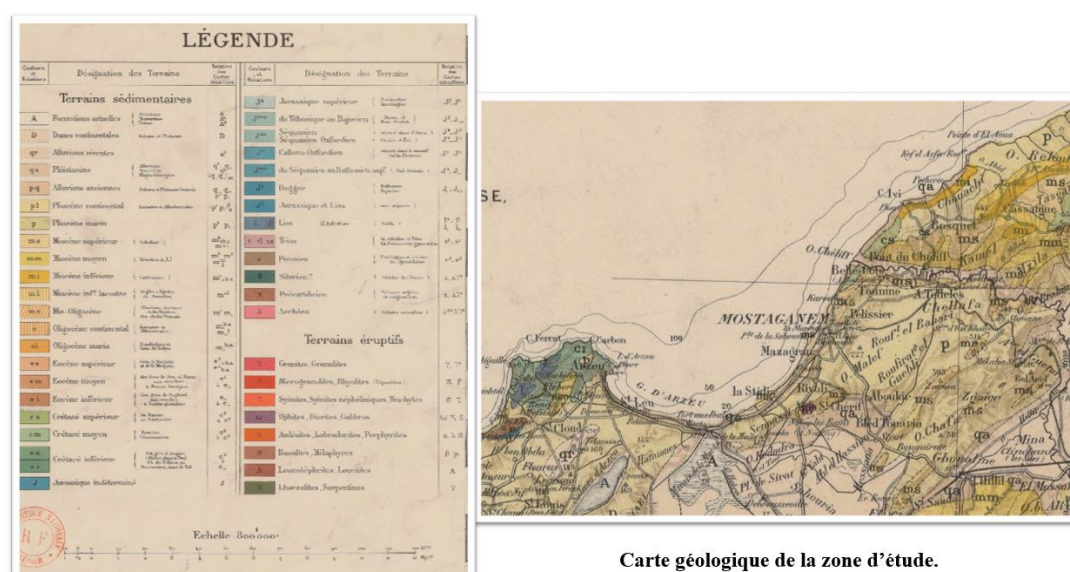
2.3 La géologie

2.3.1 Données utilisées



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 17 Carte géologique de l'Algérie (3^e édition, 1900) (Gallica 2025)



Carte géologique de la zone d'étude.

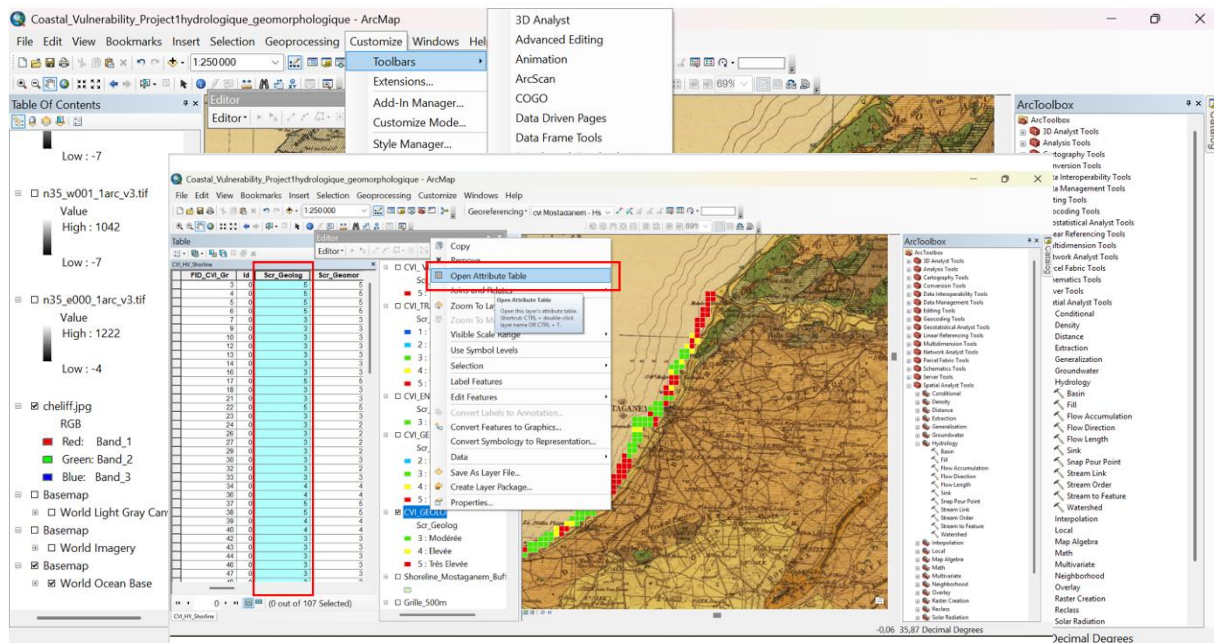
Figure 16 Carte géologique de la zone d'étude.

La carte géologique de l'Algérie à l'échelle 1 : 200 000 a été utilisée pour identifier les différentes formations géologiques du littoral de Mostaganem.

2.3.2 Techniques utilisées

La carte géologique a été géoréférencée via l'outil « Georeferencing » sous ArcGIS, puis les formations géologiques ont été numérisées et intégrées dans une base de données géographique.

2.3.3 Méthode de traitement



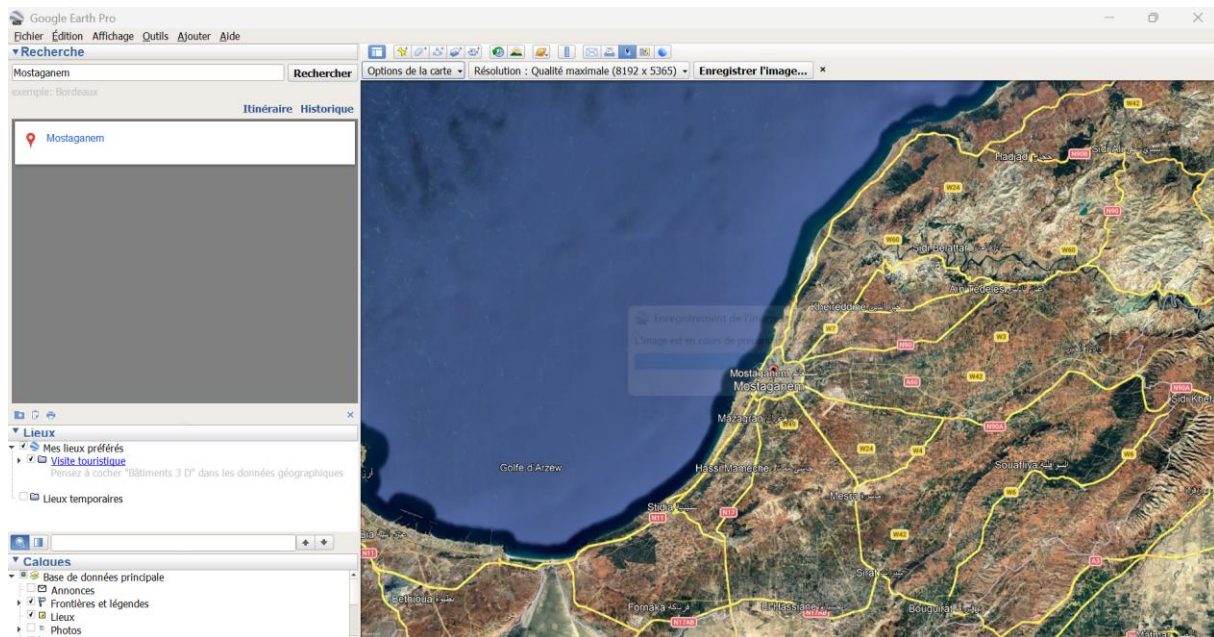
Capture d'écran 2 Utilisation de la table attributaire pour insérer les variables de vulnérabilités.

Les formations géologiques ont ensuite été regroupées selon leur degré de résistance dans la section « Table of content : Attribute Table : dans la colonne : Scr_Geolog » et reclassées en cinq niveaux de vulnérabilité, conformément à la méthode de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC).

2.4 La géomorphologie :

2.4.1 Données utilisées

L'identification des unités géomorphologiques du littoral de Mostaganem a été réalisée visuellement à partir des images satellites Google Earth.



Capture d'écran 3 Localisé la zone d'étude sur « Google Earth Pro »

2.4.2 Techniques utilisées

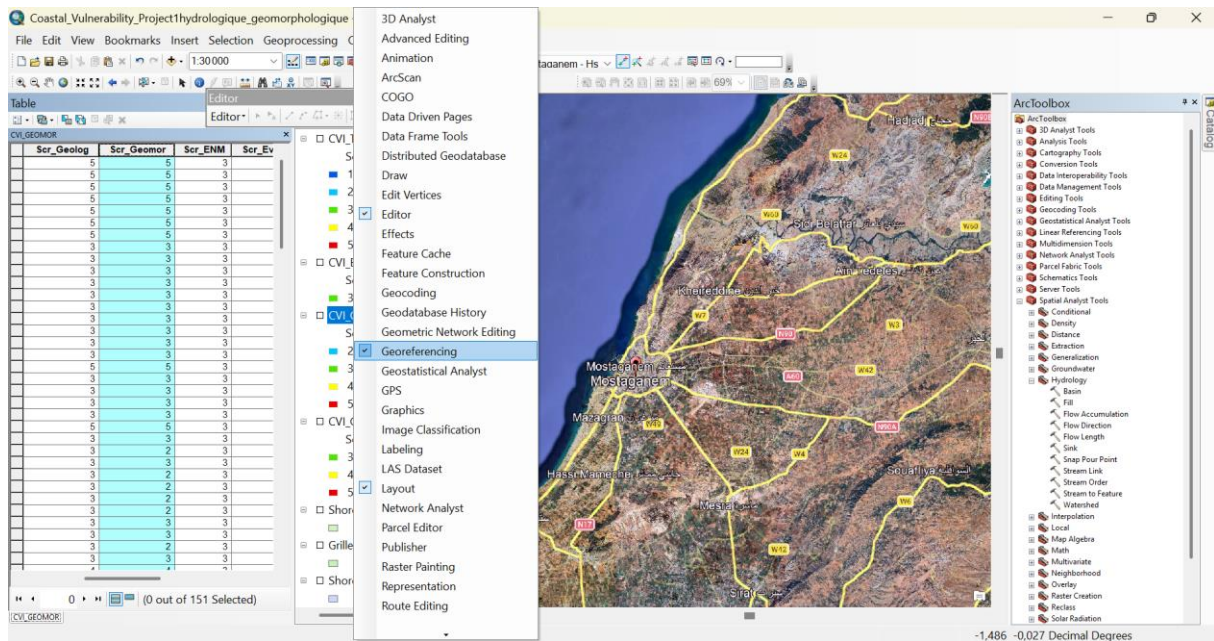
Une photo-interprétation visuelle des images satellites a été effectuée afin de distinguer les différentes formes côtières présentes dans la zone d'étude, notamment les plages sableuses, les plages de galets et les falaises.



Capture d'écran 4 Photos satellitaire prise sur « Google Earth Pro » pour différencier deux genres de géomorphologie.

2.4.3 Méthode de traitement

Les différentes unités géomorphologiques ont été numérisées sous ArcGIS via l'outil de « Georeferencing » et intégrées dans une base de données géographique via la table attributaire dans la colonne « Scr_Geomor ». Chaque unité a ensuite été reclassée selon son degré de vulnérabilité conformément à la méthode de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC), en attribuant un score variant de 1 (très faible vulnérabilité) à 5 (très forte vulnérabilité).

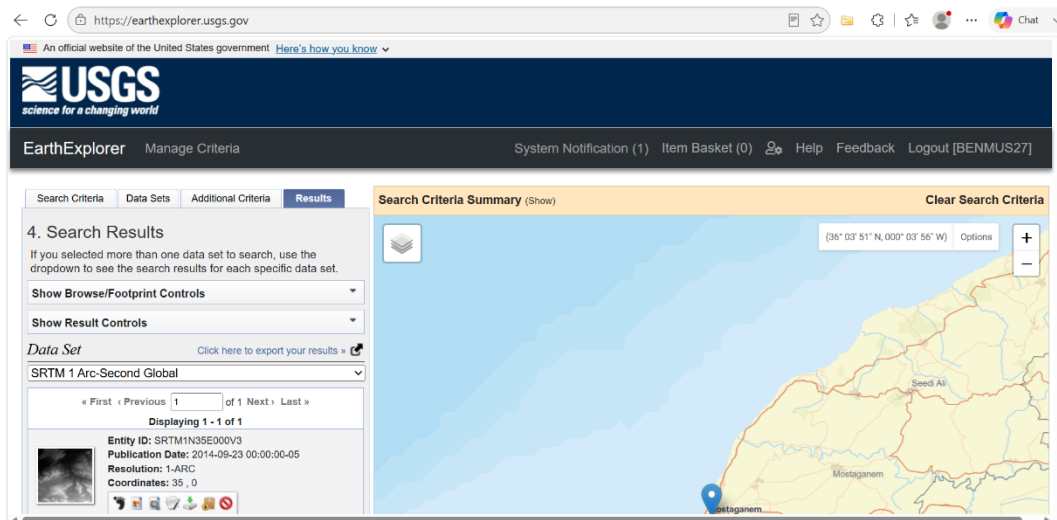


Capture d'écran 5 Géoréférencé la carte satellitaire et la carte géologiques pour déterminer les variables de vulnérabilité.

2.5 Pente côtière

2.5.1 Données utilisées

La pente côtière a été déterminée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) couvrant la zone d'étude, pour la nôtre, on va sur [EarthExplorer](https://earthexplorer.usgs.gov) pour acquérir nos MNT liés à notre zone d'étude.

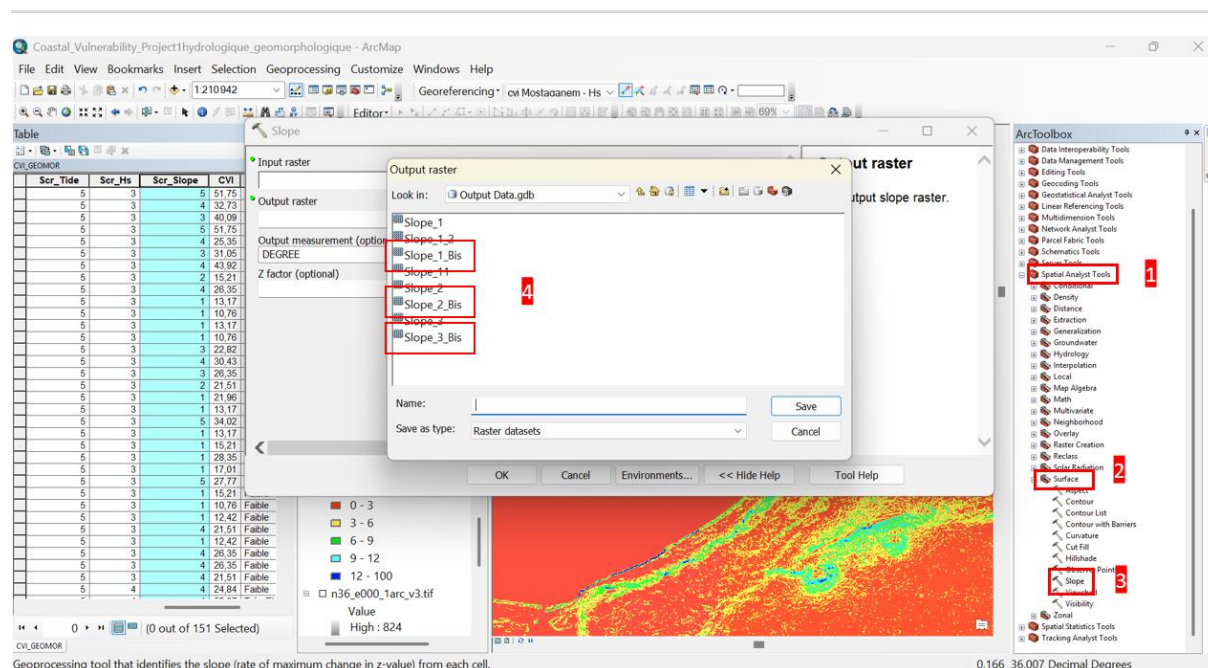


Capture d'écran 6 Aller sur le site « USGS EarthExplorer » pour télécharger les fichiers MNT pour déterminer la pente cotière de notre zone d'étude.

On ajoute sur Arcgis les fichiers MNT en .tif, puis il vont s'afficher dans la table des matières et sur la carte.

2.5.2 Techniques utilisées

Le MNT a été intégré dans ArcGIS et l'outil **Slope** (Spatial Analyst Tools → Surface → Slope) a été utilisé afin de calculer la pente en pourcentage pour l'ensemble du littoral.



Capture d'écran 7 Convertir les fichiers MNT en fichier « slope » via les outils disponibles sur ArcMap

On a trois fichiers MNT qui couvre notre littoral, qui ont été convertie en fichier **Slope_1_Bis**, **Slope_2_Bis** et **Slope_3_Bis** spécialement pour la pente côtière.

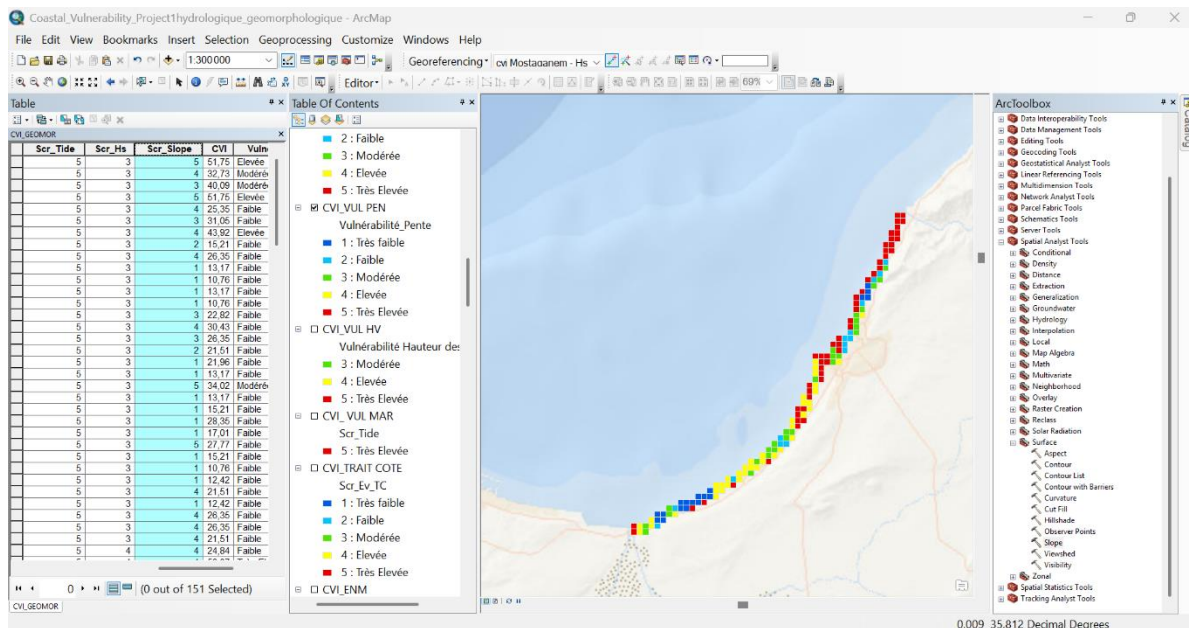
2.5.3 Méthode de traitement

Tout d'abord visuellement via les codes couleurs qui corresponde à notre carte avec les MNT.

Ensuite, la carte des pentes obtenue a ensuite été reclassée en cinq classes de vulnérabilité selon la méthode de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC)

Tableau 6 Comparaison des niveaux de pente en % aux niveaux de vulnérabilité.

Classe	Pente (%)	Niveau de vulnérabilité
1	> 12 %	Très faible
2	9 – 12 %	Faible
3	6 – 9 %	Modérée
4	3 – 6 %	Élevée
5	< 3 %	Très élevée



Capture d'écran 8 Insertion des variables de vulnérabilités liées à la pente.

2.6 L'élévation du niveau de la mer

2.6.1 Données utilisées

Les données relatives à l'élévation du niveau de la mer ont été obtenues à partir des rapports du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

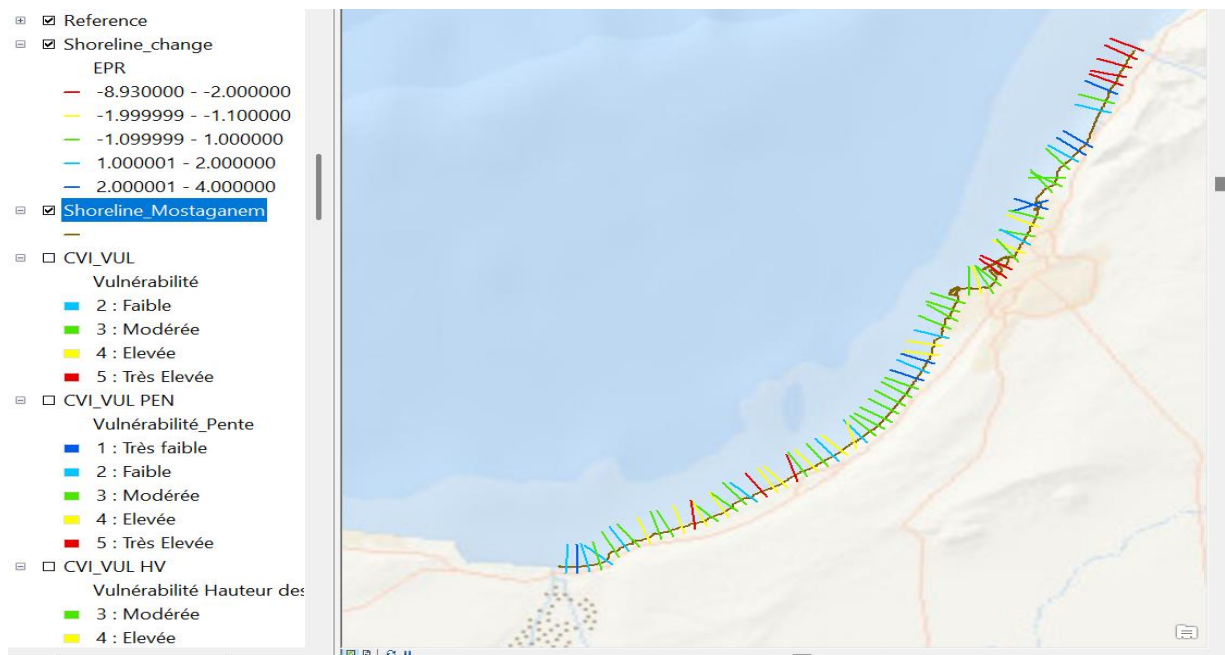
2.6.2 Techniques utilisées

Une recherche bibliographique a été réalisée afin de recueillir les informations relatives aux tendances actuelles et futures de l'élévation du niveau marin en Méditerranée.

2.6.3 Méthode de traitement

La valeur retenue pour la zone d'étude a été intégrée dans la base de données de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) et reclassée selon les cinq niveaux de vulnérabilité définis par la méthode de Thieler et Hammar-Klose (1999).

Comme l'élévation du niveau de la mer constitue un phénomène à l'échelle régionale, un même score de vulnérabilité a été attribué à l'ensemble du littoral étudié.



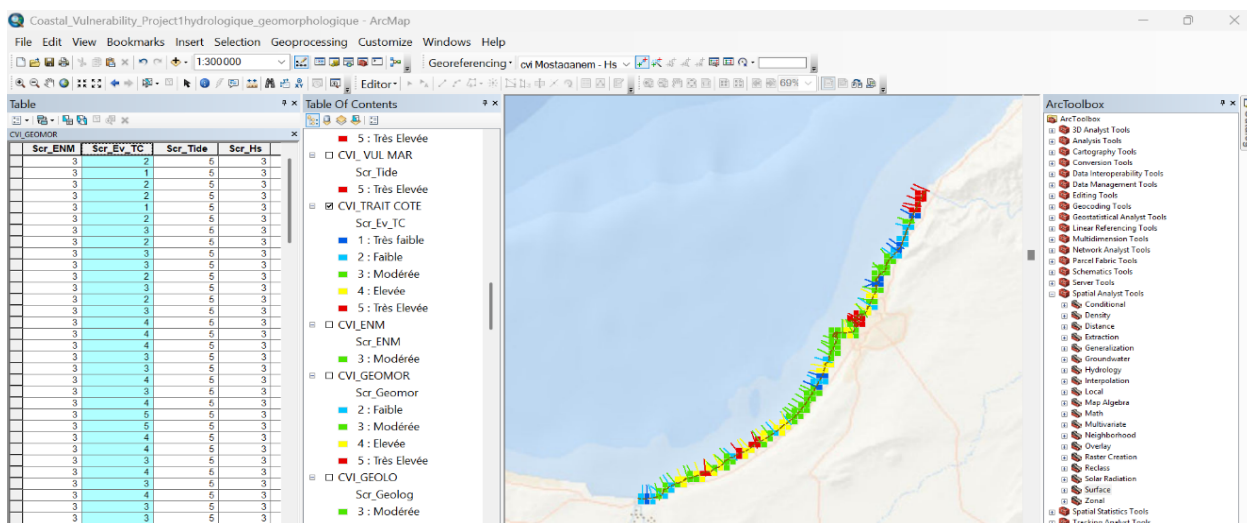
Capture d'écran 10 Evolution du trait de côte.

L'extension **Digital Shoreline Analysis System (DSAS)** a été utilisée pour générer automatiquement des transects perpendiculaires au littoral et calculer les taux d'évolution du trait de côte.

2.7.3 Méthode de traitement

L'évolution du trait de côte a été quantifiée à l'aide de l'indicateur **End Point Rate (EPR)**, qui représente le taux annuel de déplacement du trait de côte. Les valeurs positives traduisent une accrétion du littoral, tandis que les valeurs négatives indiquent une érosion.

Les résultats obtenus ont ensuite été reclassés en cinq niveaux de vulnérabilité selon la méthode de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC), afin d'identifier les secteurs les plus sensibles au recul du trait de côte.



Capture d'écran 11 Intégration des informations via le code couleur pour intégration dans la table attributaire

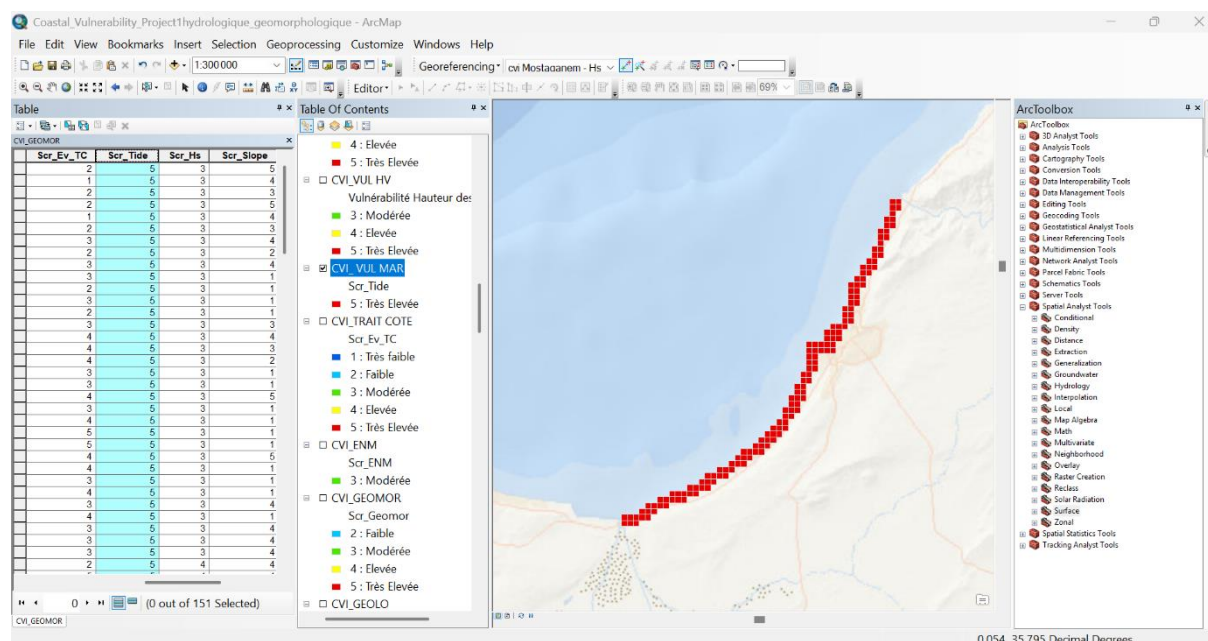
2.8 Le marnage

2.8.1 Données utilisées

Les données relatives au marnage ont été obtenues à partir des données océanographiques disponibles pour le littoral algérien et le bassin méditerranéen.

2.8.2 Techniques utilisées

L'amplitude moyenne du marnage au niveau du littoral de Mostaganem a été intégré dans la table des attributs dans la colonne « Scr_Tide ».



Capture d'écran 12 Insertion des variables liées au marnage dans la colonne Scr_Tide

2.8.3 Méthode de traitement

La valeur du marnage retenue pour la zone d'étude a été intégrée dans la base de données de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC). D'après la méthode de Thieler et Hammar-Klose (1999), le marnage a été reclassé en cinq niveaux de vulnérabilité. Étant donné que le littoral de Mostaganem est situé dans le bassin méditerranéen, un même score de vulnérabilité a été attribué à l'ensemble du linéaire côtier.

2.9 La hauteur des vagues

2.9.1 Données utilisées

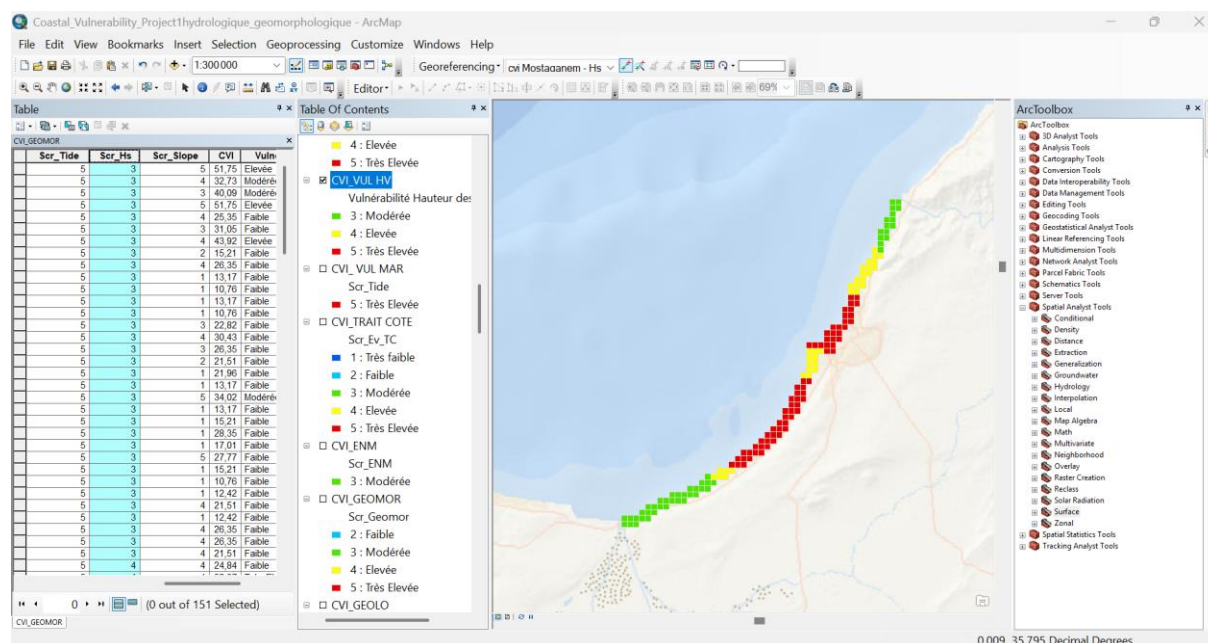
Les données relatives à la hauteur des vagues ont été obtenues à partir de la base de données **Infoplaza Marine Weather**, qui fournit des informations sur les conditions de houle au niveau du littoral de Mostaganem.

2.9.2 Techniques utilisées

Les données de houle ont été collectées afin de déterminer les hauteurs moyennes des vagues et leurs variations saisonnières. Une analyse statistique a ensuite été réalisée pour identifier les caractéristiques dominantes de la houle dans la zone d'étude.

2.9.3 Méthode de traitement

Les valeurs de hauteur moyenne des vagues ont été intégrées dans la base de données de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) puis reclassées en cinq niveaux de vulnérabilité selon la méthode de Thieler et Hammar-Klose (1999) dans le tableau attributaire via la colonne « Scr_Hs ».



Capture d'écran 13 Insertion des variables dans la colonne Scr_Hs.

Les secteurs soumis à des vagues plus énergétiques « Rouge » ont été considérés comme plus vulnérables en raison de leur plus forte exposition aux phénomènes d'érosion et de submersion marine.

Chapitre III : Résultats et Discussion

Chapitre 3 : Résultats et discussion

1. Variables de vulnérabilité côtière physique

1.1. Géologie de la côte

L'érosion des côtes dépend en grande partie de la géologie du site étudié, car la résistance des roches ou des dépôts sédimentaires qui constituent le littoral détermine sa vulnérabilité vis-à-vis ce phénomène (Xharde R, 2007). À une extrémité de l'échelle des risques qui présente un risque très faible se trouvent les roches plutoniques ou métamorphiques résistantes (gneiss, granites durs...etc.). À l'autre extrémité qui constitue donc un risque élevé se trouvent les sédiments non consolidés qui offrent très peu de résistance à l'érosion marine ou climatique.

La détermination des scores de vulnérabilités relatives à cette variable, pour chaque cellule, se fait par une simple superposition de la carte géologique (Fig.18) et les cellules de vulnérabilité (Scores de vulnérabilité, voir l'annexe 01)

On distingue trois ensembles géologiques le long du littoral de Mostaganem :

- Un ensemble de roches sédimentaire qui domine la majeure partie du littoral, elle est observée notamment entre Sidi Mansour et Stidia, entre Stidia et Oureah, ainsi que sur plusieurs tronçons situés entre Oureah, Salamandre et Sidi Majdoub.
- Un ensemble de sédiments meubles grossiers, qui apparaît de manière localisée. Ces secteurs se rencontrent principalement aux environs de Stidia, Salamandre et de Sidi Majdoub.
- Un ensemble de sédiment meubles fins, est observée dans plusieurs portions du littoral. Elle est particulièrement présente à l'ouest de Sidi Mansour, dans certains secteurs de Oureah et de Salamandre, ainsi qu'entre Sidi Majdoub et Sonaghter, ou elle devient plus dominante.

Globalement, la répartition spatiale montre que les roches sédimentaires (classe 3) constituent la formation géologique la plus répandue entre Sidi Mansour et Sidi Majdoub, tandis que les secteurs à sédiment meubles grossiers (classe 4) et à sédiment meubles fins (classe 5) apparaissent de façon plus ponctuelle. La partie nord-est du littoral, notamment vers Sonaghter, se caractérise par une plus forte représentation des zones classées en vulnérabilité très élevée.

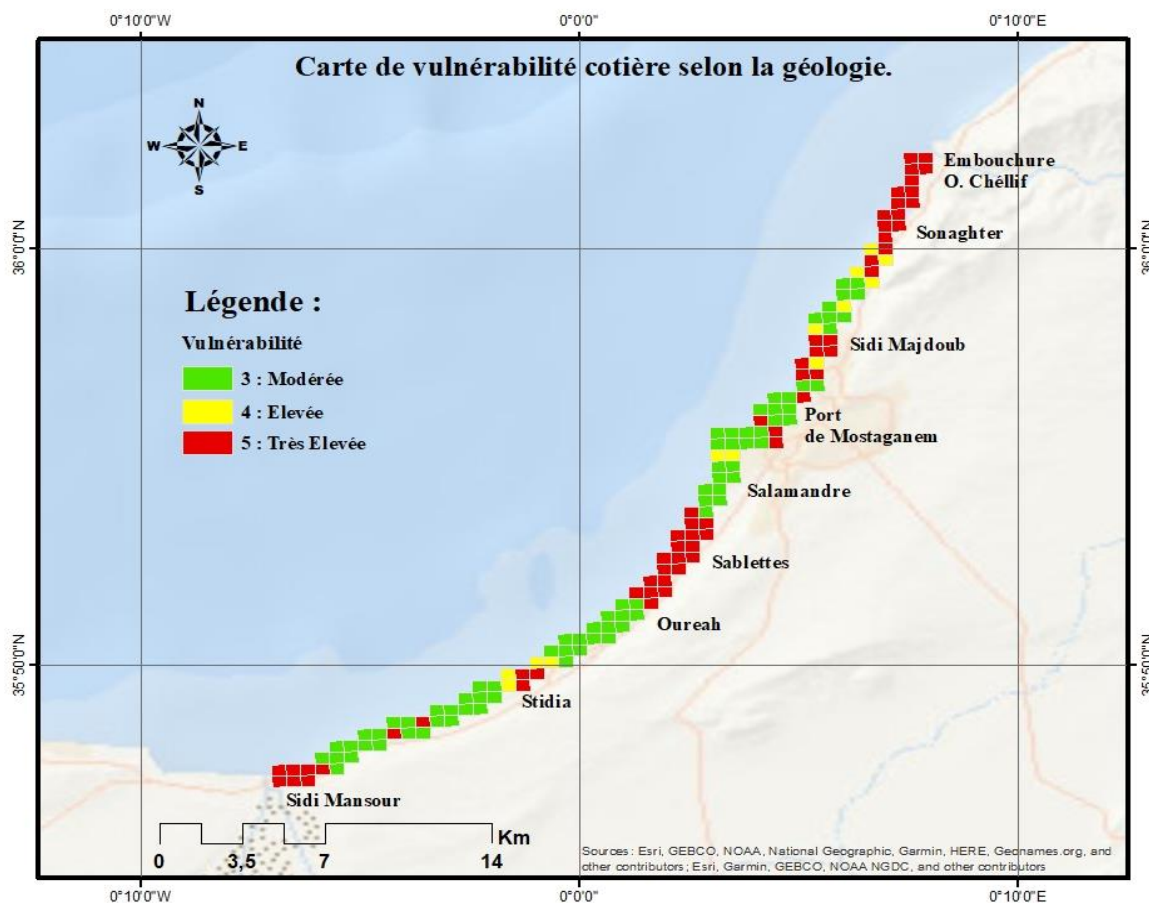


Figure 18 Carte de vulnérabilité côtière selon à la géologie de la côte de Mostaganem.

1.2. Géomorphologie côtière

Cette variable, qui est déterminée par la géologie côtière, le régime des vents, des vagues, des houles et des marées, constitue un bon indicateur de la résistance générale du littoral et de son comportement face aux différents facteurs climatiques et marins (Xharde R, 2007). Les côtes à faciès rocheux, comme les fjords ou les falaises, se regroupent dans les deux premières classes qui sont des classes de faibles risques contrairement aux plages, aux talus et les structures sédimentaires sableuses moins résistantes qui sont classées soit à risque moyen ou élevé.

Chaque cellule répond à un niveau de vulnérabilité selon sa géomorphologie locale, pour ce fait un score de vulnérabilité a été attribué selon Thieler et Hammar-Klose (1999, 2000a, 2000b) (Tab.05). (Scores de vulnérabilité, voir l'annexe 01)

Le littoral de la zone d'étude présente une diversité géomorphologique caractérisée par la présence de falaises moyenne et de petite falaise, ainsi que de plage sableuses et de plage a galets répartis le long de la cote. Cette diversité morphologique influence directement le degré de vulnérabilité côtière face aux processus d'érosion marine.

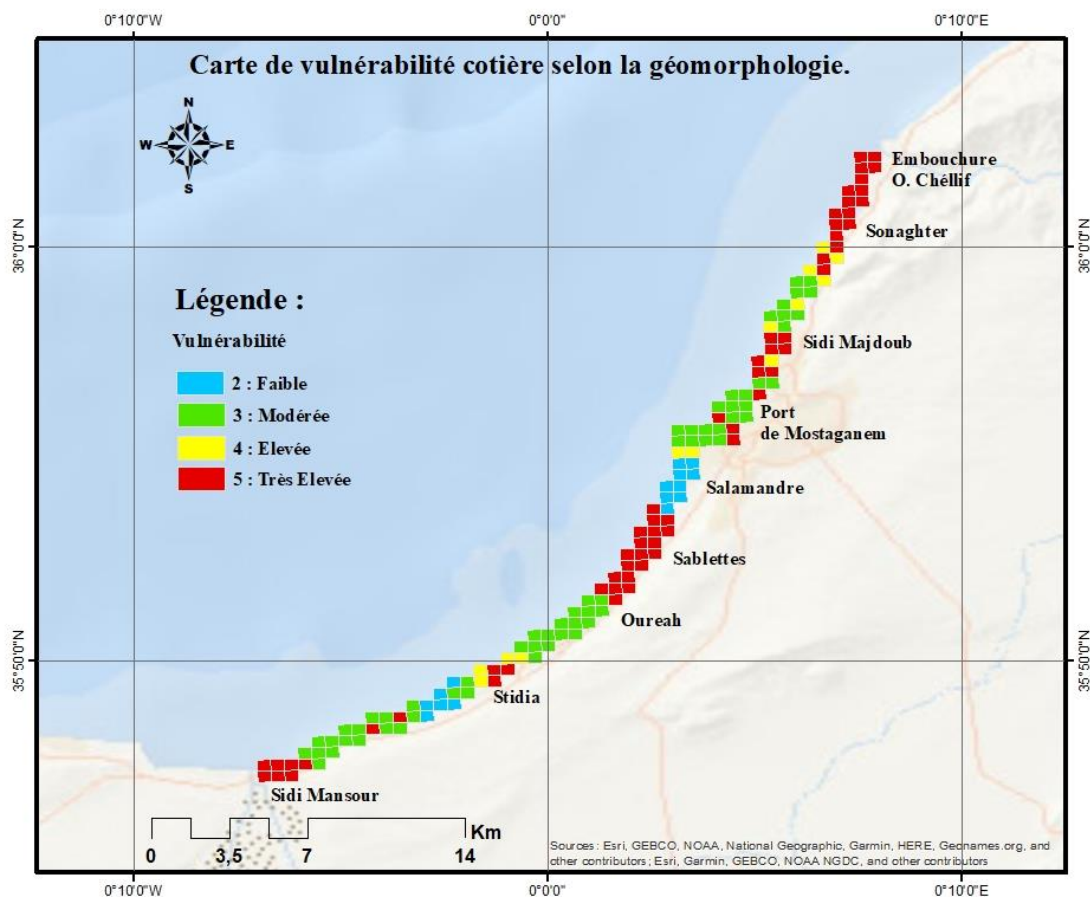


Figure 19 Carte de la vulnérabilité côtière selon à la géomorphologie de la côte.

Selon la classification de Thieler et Hammar-Kloss (1999 ; 2000), la vulnérabilité côtière liée à la géomorphologie dans la zone d'étude (Fig. 19) varie de faible à très élevée :

- Faible (score 2) au niveau des falaises moyennes, qui sont mieux résistante.
- Modérée (score 3) au niveau des petites falaises, qui sont moins résistante et moins stable.
- Elevée (score 4) au niveau des Plages de galets, qui sont plus sensibles aux phénomènes de remaniement sédimentaire.
- Très élevée (score 5) au niveau des Plages sableuse, qui sont particulièrement vulnérable à l'érosion et au recul du trait de côte.

La vulnérabilité géomorphologique varie de Faible à très élevée, les secteurs de vulnérabilité faible correspondre aux falaises moyennes observée principalement au niveau de certaines portions des régions de Stidia, Oureah et Salamandre.

Les secteurs à vulnérabilité modérée sont associés aux petites falaises qui occupent plusieurs tronçons du littoral.

Les niveaux de vulnérabilité élevée correspondent aux plages de galets localisée ponctuellement le long de la cote, notamment aux environs de Sidi Majdoub et Sonaghter.

Les secteurs présentant une vulnérabilité très élevée sont liés aux plages sableuses, largement représenté dans la zone d'étude, particulièrement au niveau de Sidi Mansour, Oureah et Salamandre.

La répartition spatiale de ces classes montre une prédominance des niveaux de vulnérabilité modérée à très élevée, traduisant une sensibilité importante de plusieurs secteurs côtiers aux phénomènes d'érosion et de recul du trait de côte.

1.3. Pente côtière

La pente côtière est un autre paramètre qui permet de déterminer la sensibilité d'une zone côtière par rapport à l'inondation et au recul du trait de côte ; par ce que les zones ayant une faible pente côtière ont tendance à se reculer plus rapidement que les zones qui ont une pente raide. (Shaji J, 2014) Les terrains qui ont des pentes douces sont exposés à une grande pénétration d'eau de mer par rapport aux terrains avec des pentes raides. Par conséquent, la perte de terres en faveur de la mer en cas d'une inondation ou d'une submersion marine est dépendante du type de la pente. Les zones côtières ayant une pente douce sont considérées comme des zones très vulnérables, et les zones à pente raide comme des zones à faible vulnérabilité.

Une fois la pente côtière est déterminée pour chaque segment du littoral de Mostaganem, (fig.20), les scores de vulnérabilité sont attribués selon les intervalles de pente de Thieler et Hammar-Klose (1999, 2000a et 2000b) (valeur de pente pour chaque cellule et les scores de vulnérabilités respectives, voir l'annexe 01)

L'analyse de la carte montre une répartition hétérogène des classes de vulnérabilité le long du littoral de Mostaganem. Les secteurs de vulnérabilité très faible et faible, associés à des pentes supérieures à 9 %, sont localisés ponctuellement au niveau de Sidi Mansour, Stidia, Salamandre et Sidi Majdoub, ces zones présentent une meilleure résistance face au phénomène de submersion marine.

Les classes de vulnérabilité modérée (9 à 6 %) sont observées de manière discontinue sur plusieurs tronçons du littoral.

En revanche les classes les plus élevées (moins de 6 %) sont largement dominantes, notamment dans les secteurs de Stidia, Oureah, Salamandre, Sidi Majdoub et Sonaghter.

Ces faibles pentes favorisent la propagation des eaux marines vers l'intérieur des terres et augmentent la sensibilité du littoral aux phénomènes d'érosion et de submersion

La carte met ainsi en évidence une prédominance des classes de vulnérabilité élevée et très élevée traduisant une forte exposition de la zone côtière de Mostaganem aux aléas marins. (Fig. 24)

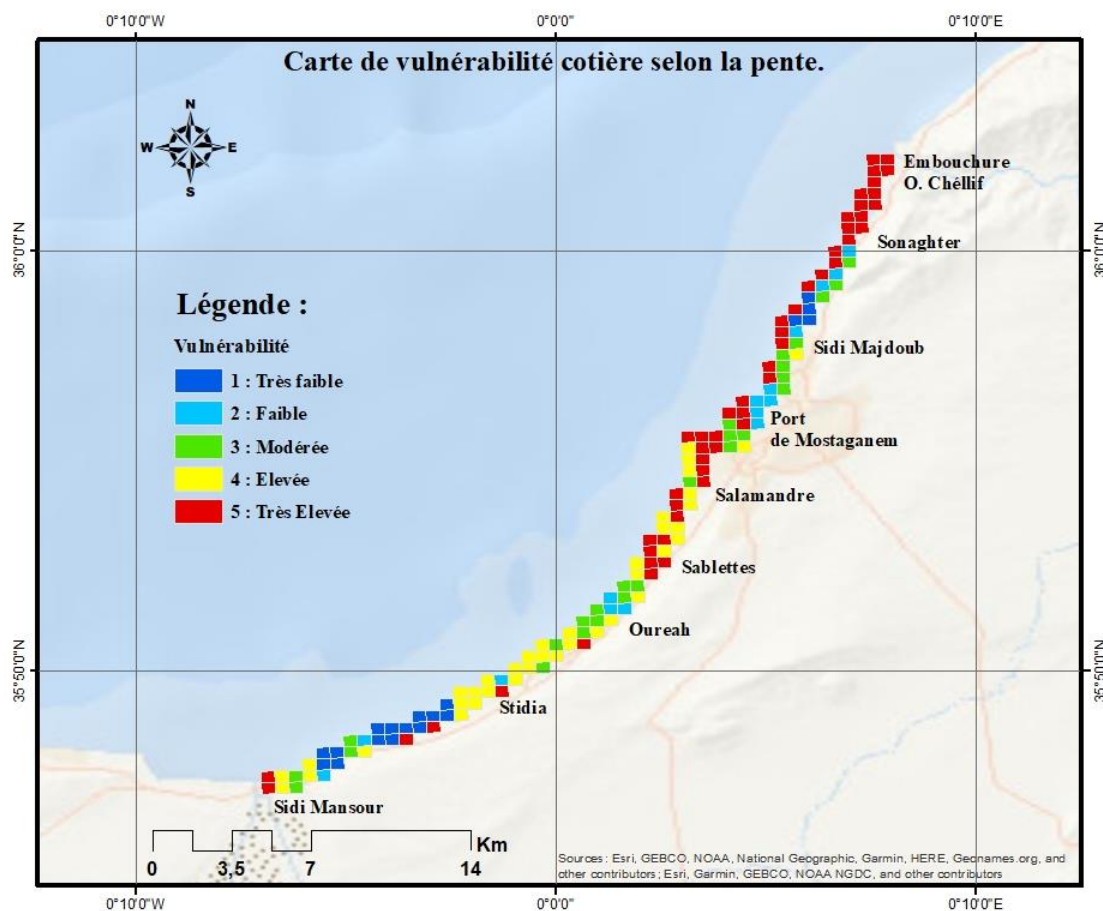


Figure 20 Carte de vulnérabilité côtière selon à la pente côtière.

1.4. Elévation du niveau de la mer

L'élévation du niveau de la mer est une conséquence importante du changement climatique. Le niveau moyen de la mer est défini comme la hauteur de la mer par rapport à un repère local, en moyenne sur une longue période pour que les fluctuations causées par les vagues et les marées soient précisément évaluées. (Shaji J, 2014) Cette variable fera un bon indice sur le recul du trait de côte à long terme. Lorsqu'on la combine avec la pente côtière elle pourra nous donner des scénarios sur la position du trait de côte dans le futur.

Selon Le 5ème rapport du GIEC (AR5, 2014), L'augmentation du niveau de la mer Méditerranée monte à un rythme accéléré de **2,6 à 2,9 mm** par an, ce qui implique une augmentation de **0,43 m** à **2,5 m** d'ici **2100**.

Comme le littoral algérien y compris celui de Mostaganem est soumis à la même vitesse d'élévation du niveau du bassin occidental de la méditerranée qui est de l'ordre de 1,6 mm/an, la vulnérabilité par rapport à cette variable est très faible selon Thieler et Hammar-Klose (1999, 2000a et 2000b). (Fig.21)

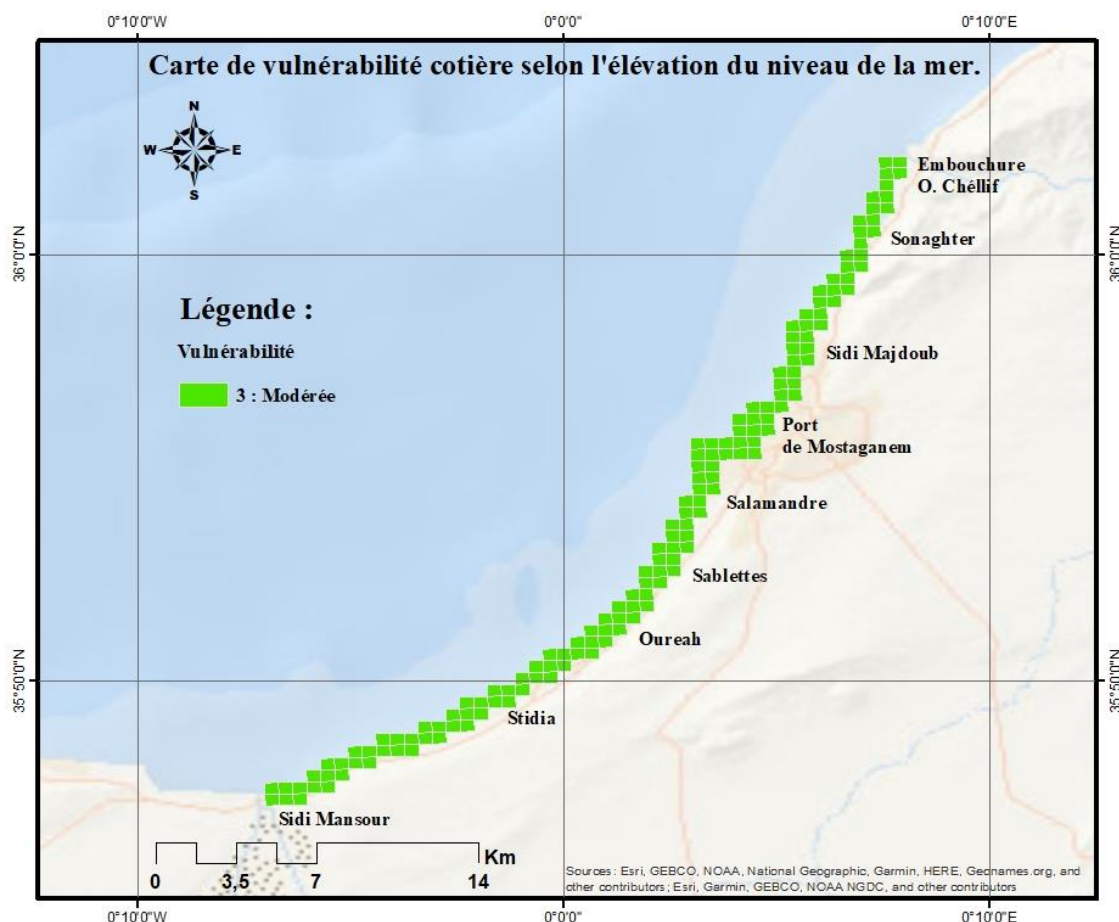


Figure 21 Carte de la vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau de la mer de Mostaganem.

1.5. Evolution du trait de côte

Ce paramètre est un des plus utilisés pour les prédictions de risque à moyen terme. Tout comme la géomorphologie côtière, il résulte à la fois de l'influence de la géologie, du vent, des vagues, des houles et des marées (Xharde R, 2007).

Cette variable constitue donc un autre bon indicateur de la résistance des côtes à l'érosion et de leurs évolutions à plus ou moins long terme. Les côtes en accrétion sont relativement moins vulnérables par rapport au côte rocheuses, tandis que les côtes caractérisées par un taux de recul inférieur à -1 m/a (en érosion) sont considérées ici comme très vulnérables.

L'analyse de la vulnérabilité côtière selon l'évolution di trait de côte met en évidence une répartition contrasté des niveaux de vulnérabilité le long du littoral de la wilaya de Mostaganem. (Fig.22)

Dans l'ensemble, la classe de vulnérabilité modérée correspond à une stabilité du trait de côte comprise entre -1.0 et +1.0 m/an, domine une grande partie du littoral étudié.

Cette situation traduit un équilibre relatif entre les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur plusieurs secteur côtiers, notamment au niveau de Stidia, Oureah, et de certaine portion de Salamandre et de Sidi Majdoub.

Les classe de vulnérabilité faible et très faible associé a une accrétion comprise entre +1.0 et +2.0 m/an ou supérieur à 2.0 m/an, apparaissent de manière localisée le long du littoral, ces secteurs témoignent d'un gain sédimentaire favorisant l'avancée du trait de côte et traduisant une dynamique côtière relativement favorable.

A l'inverse, plusieurs secteurs présentent des niveaux de vulnérabilité élevés a très élevés, correspondant à des taux d'érosion comprise entre -1.1 et -2.0 m/an ou inferieurs a -2.0 m/an, ces zones sont principalement localisées au niveau de Stidia, Salamandre, et Sonaghter, ou en plusieurs tronçon du littoral apparaissent respectivement en jaune et en rouge, connaissent un recul significatif du trait de côte et sont d'avantage exposés aux phénomènes d'érosion marine.

La concentration des classes de vulnérabilité élevée et très élevée dans certaine portion du littoral peut être lier à plusieurs facteurs tels que l'action des houles dominante, le déficit d'apports sédimentaire provenant des oueds, les aménagements côtiers ou encore l'urbanisation croissante du littoral.

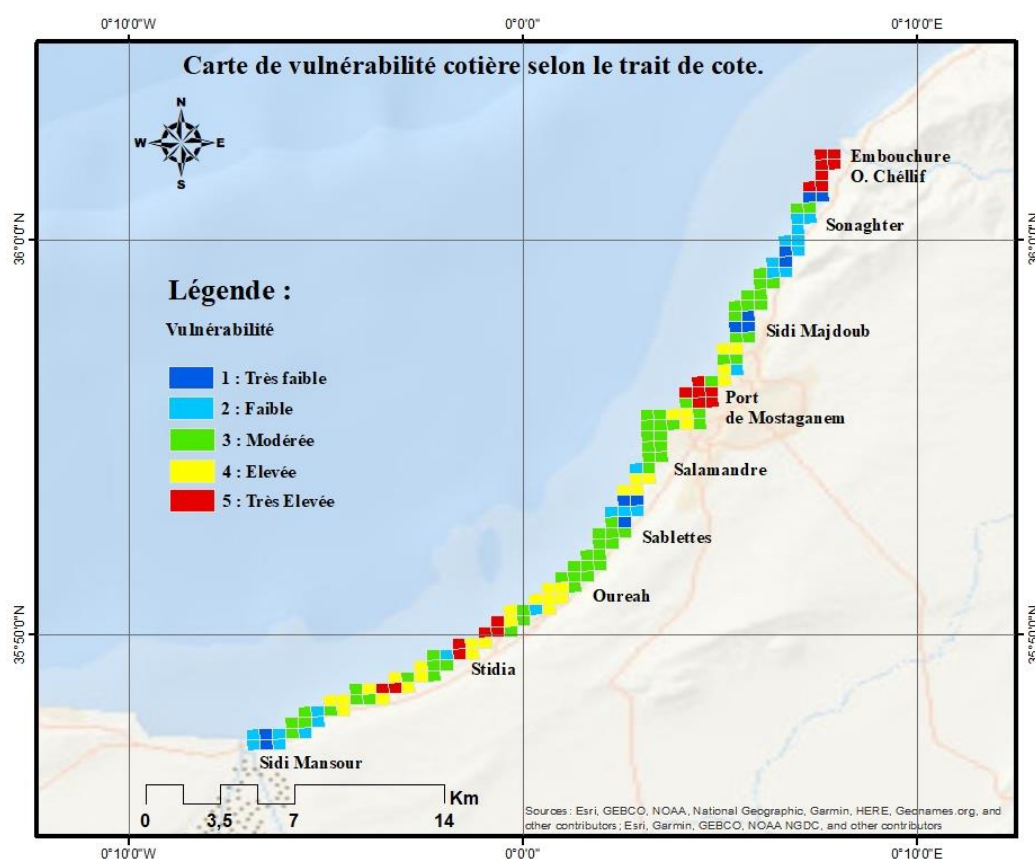


Figure 22 Carte de la vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte de Mostaganem.

Ces facteurs contribuent à accentuer le recul du trait de côte et à augmenter la sensibilité de ces secteurs face aux risques côtiers.

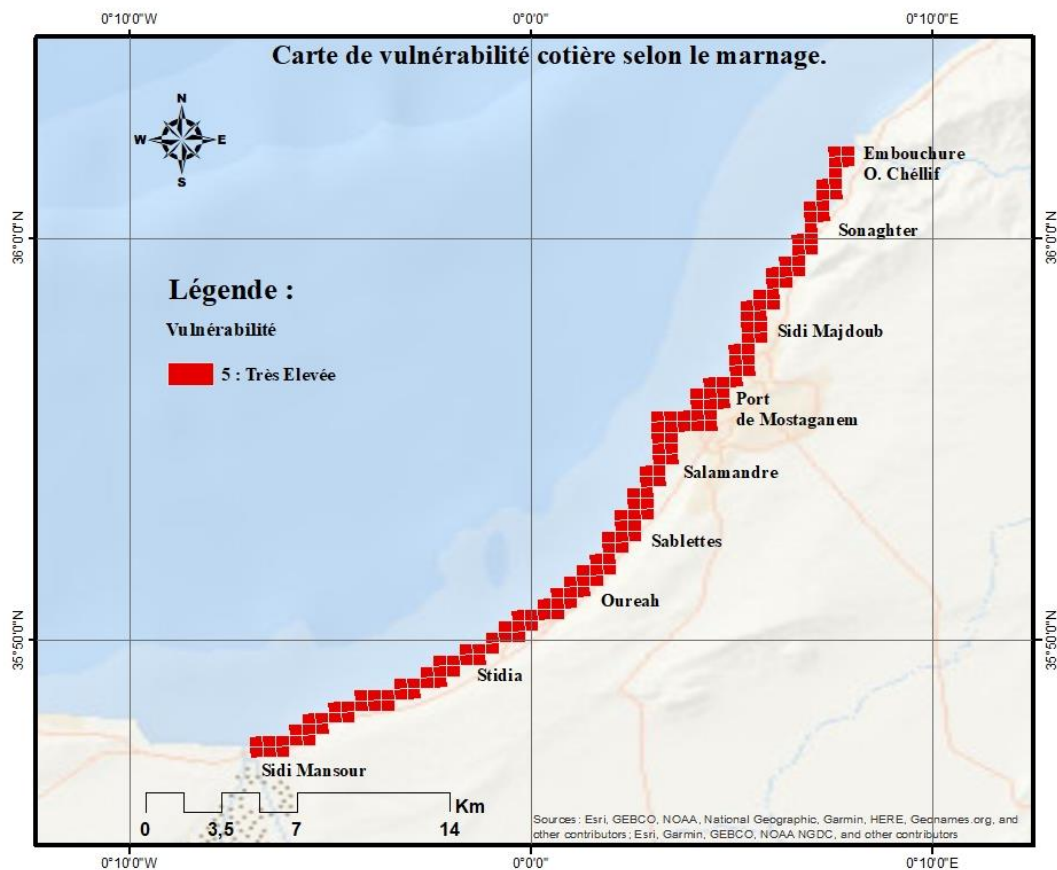
Globalement, le littoral de Mostaganem présente une prédominance des classes de vulnérabilité modérée à faible, traduisant une stabilité relative du trait de côte. Toutefois, la présence de plusieurs secteurs soumis à une érosion marquée souligne la nécessité de mettre en œuvre des mesures de suivi et de gestion durable afin de limiter les effets de la dégradation côtière.

1.6. Marnage

La marée est un phénomène périodique qui est défini par la variation verticale du niveau de la mer. Cette variable influence à la fois la vulnérabilité de la côte aux inondations et sa vulnérabilité à l'érosion (Xharde R, 2007). La mesure de cette variable s'obtient au moyen de marégraphes placés en mer. Les côtes ayant un degré de marnage très important, ont un faible degré de vulnérabilité, car l'énergie des houles et des vagues sera dissipée au fur et à mesure que la marée monte. Par contre, les côtes ayant un degré de marnage très faible, sont les plus vulnérables, car l'énergie des houles et des vagues tape tout le temps en même endroit, ce qui fragilise la côte.

2.10 Résultats et interprétations

La marée sur les côtes algériennes est très faible, elle est de l'ordre de 35cm, et donc elle est de type microtidale. Selon Thieler et Hammar-Klose (1999, 2000a et 2000b), la marée de type microtidale rend la côte de Mostaganem très vulnérable. (Fig.23)



1.7. La hauteur des vagues au voisinage de la côte

Ce paramètre est directement lié à l'énergie des vagues (Komar, 1976 in Xharde R, 2007) et constitue donc une bonne indication de leur potentiel d'érosion (Xharde R, 2007). (Fig.24)

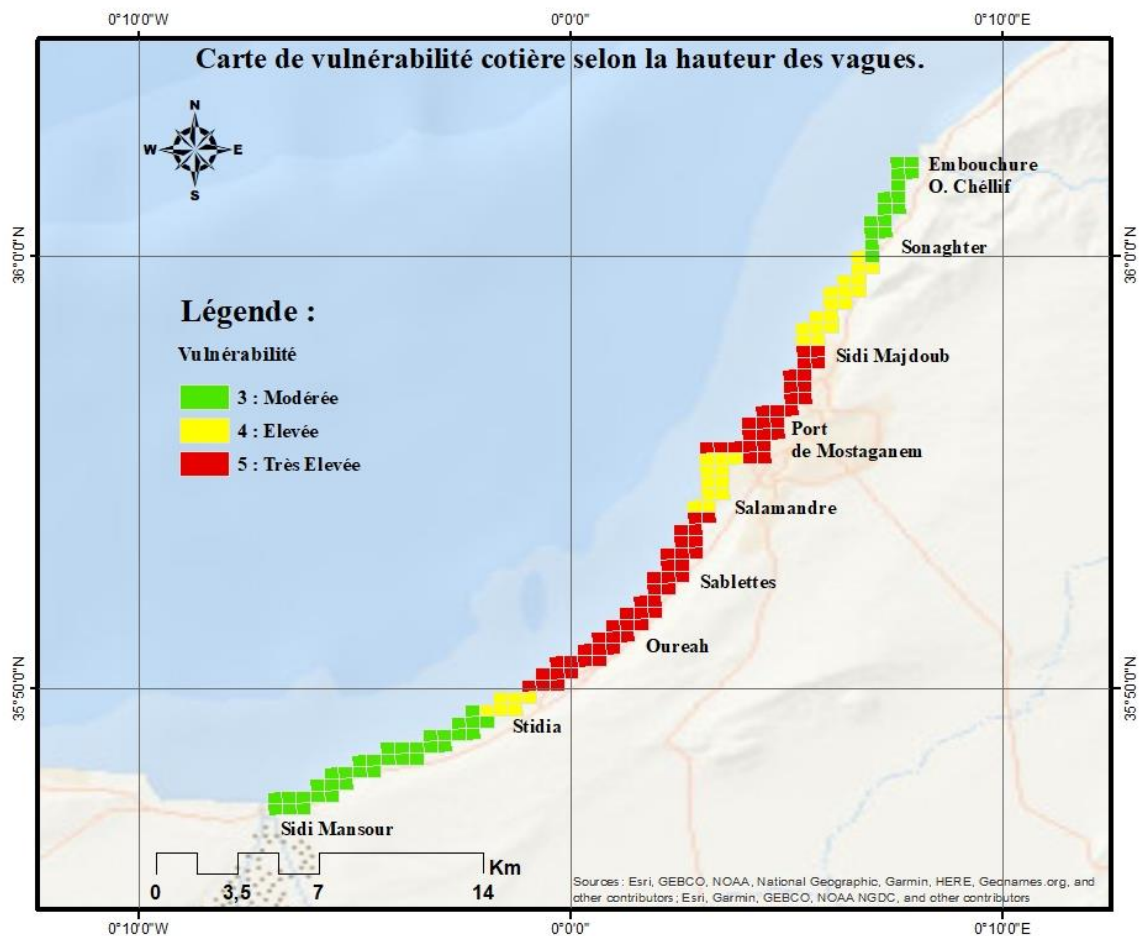


Figure 24 Carte de vulnérabilité côtière selon la hauteur des vagues au niveau de la côte.

La hauteur des vagues est directement liée au phénomène d'érosion et de submersion marine, donc les zones rouges sont les zones les plus vulnérables à l'érosion, c'est ce qu'on voit sur les photos suivantes (Photo 2 et 3).



Photographie 1 Plage de Materba.



Photographie 2 Plage Sablette, Protégé par la technique d'enrochements pour limiter l'érosion du trait de cote

2. Indice de vulnérabilité côtière physique

La combinaison des variables physiques « géo-indicateurs » permettra de déterminer la valeur de l'indice de vulnérabilité côtière selon la formule de Gornitz et al. (1994) pour chaque cellule. (Les valeurs de l'IVCphy, voir les annexes 01)

$$IVC_{phy} = \sqrt{(a * b * c * d * e * f * g) / 7}$$

Où ;

a : la géologie, **b** : la géomorphologie, **c** : la pente côtière, **d** : l'évolution du trait de côte, **e** : la vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer, **f** : le marnage, **g** : la hauteur des vagues au voisinage de la côte.

2.1. Détermination des classes de vulnérabilité

Les valeurs de l'IVC au niveau de Mostaganem, varient entre 10,76 et 73,19, avec une valeur moyenne de 37,01, et une valeur médiane de 34,02. En utilisant la méthode des lignes quartiles (25%, 50%, 75%, 100%) et par un contrôle visuel des données, les résultats de l'IVC sont divisés en quatre catégories. (Fig.25)

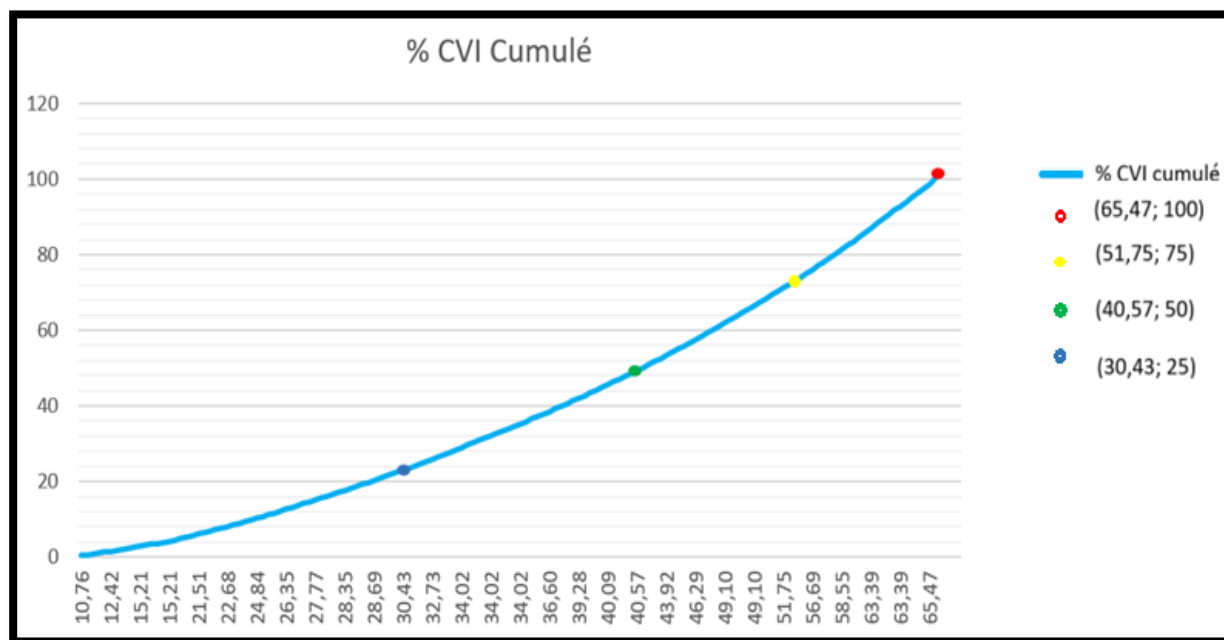
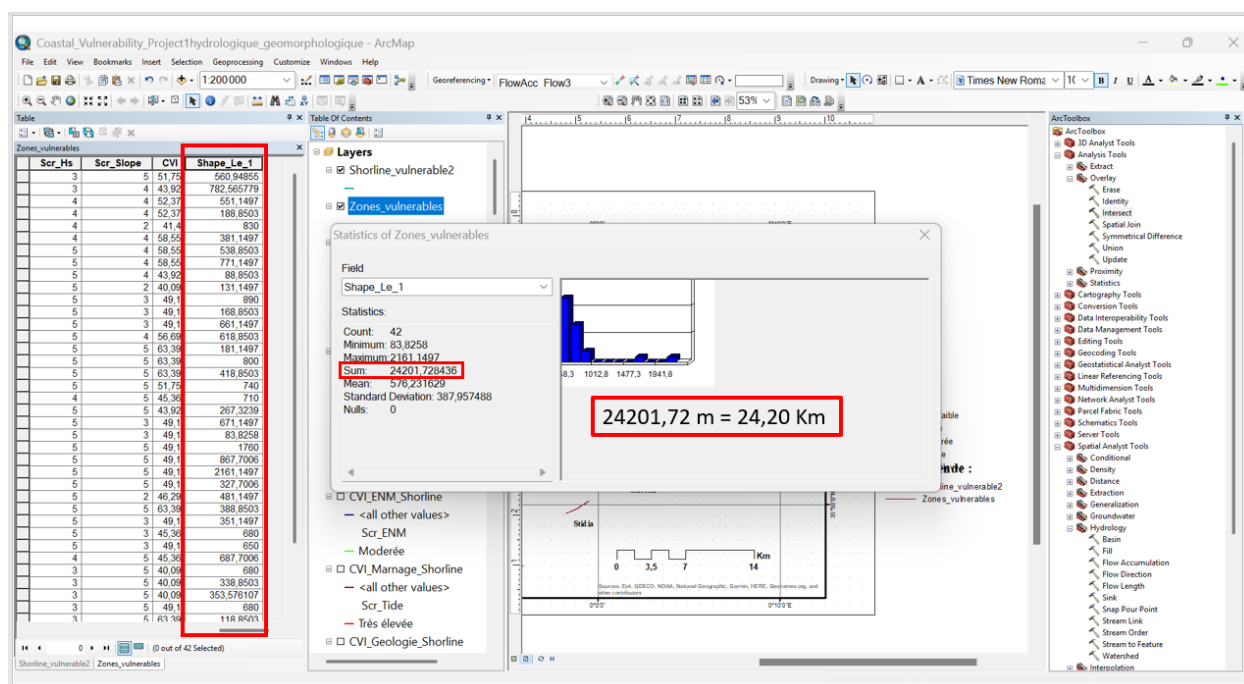


Figure 25 Courbe des fréquences cumulées de l'IVC.

Tableau 7 Classes de vulnérabilité selon les valeurs de l'IVCphy

	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
IVC	[0-30,43[	[30,43-40,57[	[40,57-51,75[	[51,75-65,47 [

Si la valeur de l'ICV dans un segment du littoral de Mostaganem est inférieure à 30,43 la vulnérabilité est faible et modérée entre 30,43 et 40,57, et dans la gamme de 40,57 et 51,75 la vulnérabilité est élevée et très élevées entre 51,75 et 65,47. (Tab.07)



Capture d'écran 14 La longueur totale des zones a vulnérabilités Elevée et Très élevée

2.2. Résultat et interprétations

La figure 29 présente la répartition spatiale de la vulnérabilité côtière physique du littoral de Mostaganem. L'analyse de cette carte met en évidence une variabilité importante du niveau de vulnérabilité le long de la cote. Globalement, les niveaux de vulnérabilité faible ont modéré dominant sur une grande partie du linéaire côtier, notamment au niveau de Sidi Mansour, Stidia et de certains secteurs situés entre Salamandre et Sidi Majdoub. Ces portions de cote semblent bénéficier de conditions morphologiques relativement stables, limitant les effets de l'érosion marine et du recul du trait de côte.

Les secteurs présentant une vulnérabilité élevée ont très élevé sont principalement localisés au niveau de Sonaghter, de certaines parties de Salamandre, Oureah ainsi que de quelque segment situé a proximité de Stidia. La forte vulnérabilité observée dans ces zones peut être attribuée à leur exposition directe à l'action des houles dominantes, a la présence de formations sableuse sensibles à l'érosion ainsi qu'à la faiblesse de l'altitude côtière, ce qui augmente le risque de submersion marine et de recul du trait de côte.

La zone de Salamandre présente une alternance de classes de vulnérabilité allant de faible a très élevée. Cette hétérogénéité traduit probablement l'influence combinée de plusieurs facteurs physique, notamment la géomorphologie du littoral, la nature des formations géologique et les variations locales de la dynamique sédimentaire.

De même, le secteur de Sidi Majdoub est caractérisé par une vulnérabilité principalement modérée a faible, avec quelques tronçons plus vulnérables liés à leur exposition accrue aux processus marins.

Enfin, les niveaux de vulnérabilité les plus élevés enregistrés dans le secteur de Sonaghter indiquent une sensibilité importante aux aléas côtiers. Cette situation pourrait être liée à une forte

dynamique érosive, a des pentes côtières relativement faibles et a une exposition marquée aux conditions hydrodynamique. Ainsi, la vulnérabilité côtière physique du littoral de Mostaganem apparait fortement dépendante de géomorphologie, de la géologie et de l'exposition aux agents marins, ce qui engendre une répartition spatiale contrastée des niveaux de risque le long de la cote (Fig. 26).

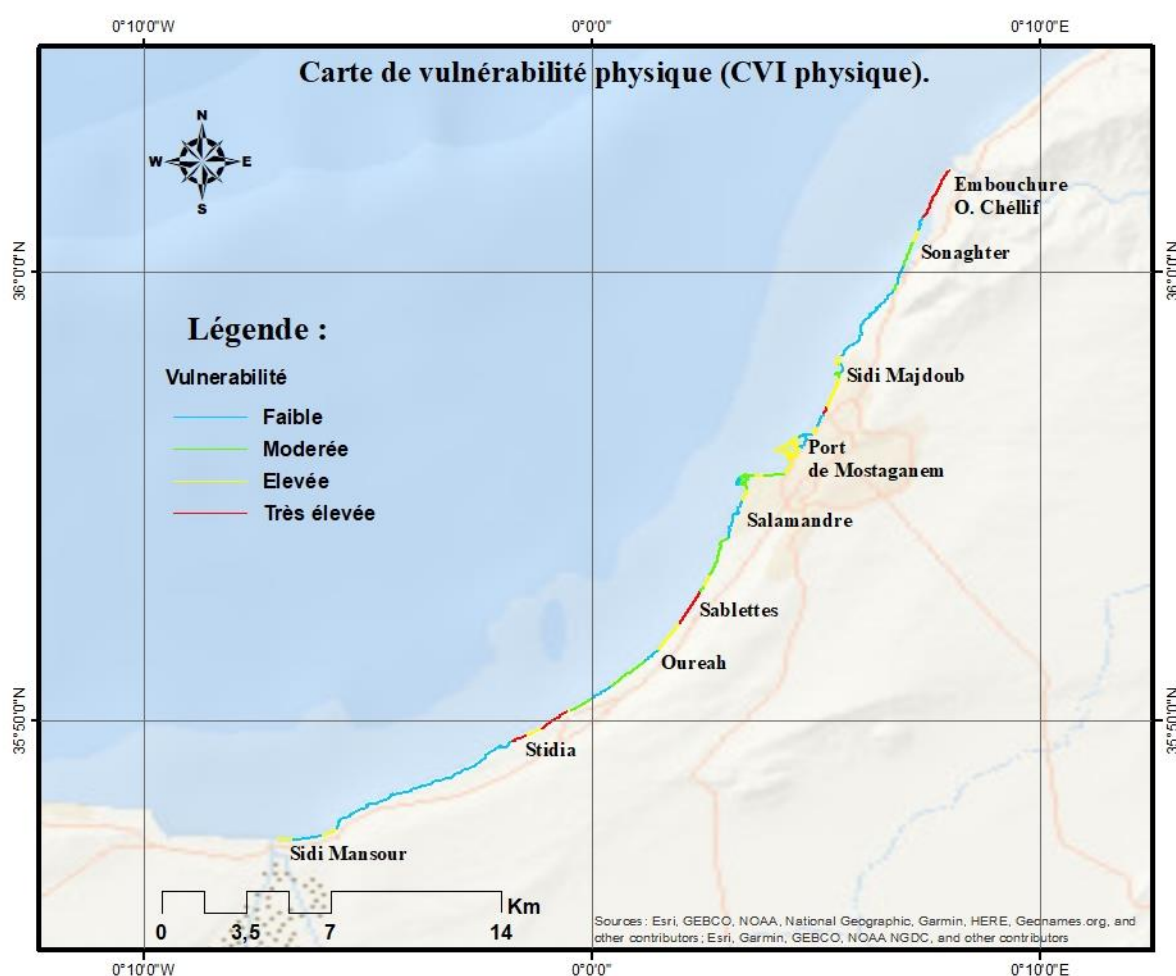


Figure 26 Carte de vulnérabilité côtière physique de Mostaganem.

L'usine du dessalement de l'eau de mer et la centrale électrique a, sont deux infrastructures industrielles stratégiques exposées aux risques côtiers notamment de l'érosion côtière et la submersion marine, de par leur emplacement très proche du trait de côte, au niveau de la plage de Sonaghter et sur la rive gauche de l'embouchure de l'Oued Chéllif. Ces deux plages sont caractérisées une vulnérabilité élevée. Ces derniers sont appelés à s'accroître sur le long terme à cause des effets du changement climatique, au regard des projections futures liées à l'élévation du niveau de la mer, comme le prévoit le dernier rapport du GIEC.



Photographie 3 Plage de Sonaghter.

L'analyse de la répartition spatiale de l'indice global de vulnérabilité côtière montre que les niveaux de vulnérabilité faible et modérée dominent le littoral de la wilaya de Mostaganem. Les secteurs de vulnérabilité faible s'étendent sur **62,30 km**, soit **48,67 %** du linéaire côtier total, tandis que les secteurs de vulnérabilité modérée représentent **41,50 km**, correspondant à **32,42 %** du littoral.

En revanche, les secteurs présentant une vulnérabilité élevée à très élevée couvrent **24,20 km**, soit **18,91 %** des **128 km** du littoral étudié. Ces secteurs sont principalement localisés au niveau de Stidia, Salamandre, Sidi Majdoub et Sonaghter, où plusieurs paramètres physiques et socio-économiques se combinent pour accroître la vulnérabilité côtière.

Ainsi, près de **81,09 %** du littoral présente un niveau de vulnérabilité faible à modéré, traduisant une sensibilité relativement limitée face aux aléas côtiers. À l'inverse, les **18,91 %** restants correspondent à des secteurs plus sensibles, nécessitant une attention particulière dans le cadre des stratégies de gestion et de protection du littoral. (Fig.27)

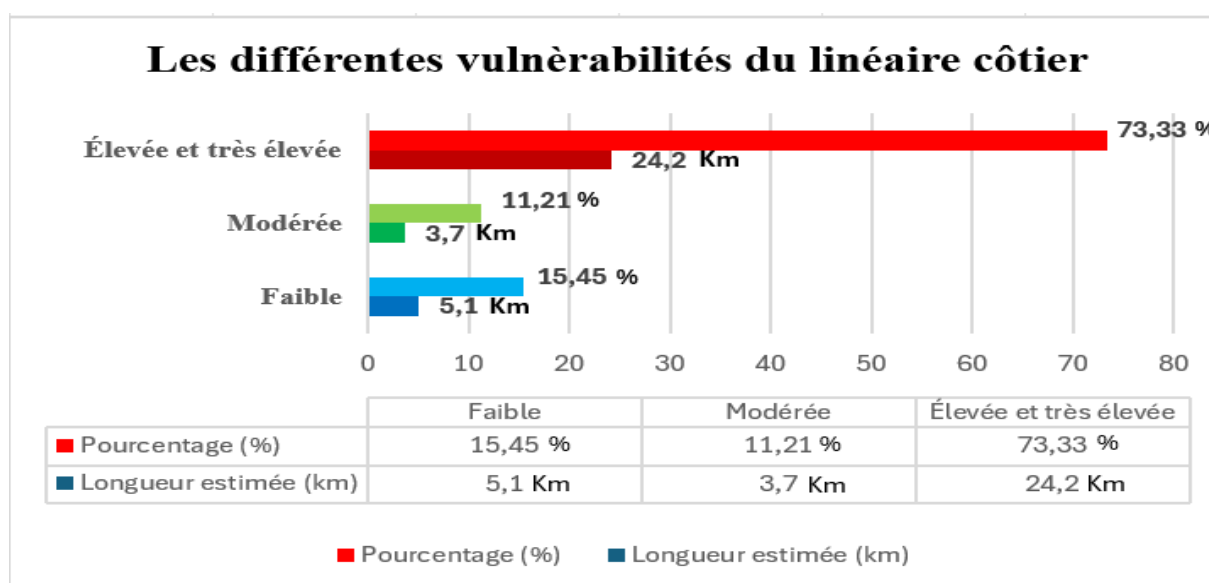


Figure 27 Les différentes vulnérabilités du linéaire côtier.

2.3. Comparaison avec d'autres travaux similaires

Afin de situer les résultats obtenus, une comparaison a été réalisée avec les travaux de **Bengoufa et al. (2021)**, qui ont évalué la vulnérabilité côtière du secteur compris entre l'embouchure de la Macta et celle de l'oued Cheliff à l'aide d'un indice de vulnérabilité côtière (IVC). Les deux études portent sur un secteur géographique similaire et reposent sur une évaluation de la vulnérabilité physique, ce qui permet une comparaison pertinente des résultats.

Les résultats de la présente étude montrent que les secteurs à **vulnérabilité élevée et très élevée** représentent **24,20 km**, soit **73,33 %** du linéaire côtier étudié. Les secteurs à **vulnérabilité modérée** couvrent **3,70 km (11,21 %)**, tandis que les secteurs à **faible vulnérabilité** représentent **5,10 km (15,45 %)**.

En comparaison, **Bengoufa et al. (2021)** ont montré que les secteurs de vulnérabilité **élevée et très élevée** couvrent **20,74 km**, soit **64,16 %** du linéaire étudié, alors que les secteurs de vulnérabilité **modérée et faible** représentent respectivement **12,62 %** et **23,20 %**.

Cette comparaison met en évidence une augmentation de **9,17 points de pourcentage** des secteurs classés en vulnérabilité élevée à très élevée dans la présente étude (73,33 % contre 64,16 %). Inversement, la proportion des secteurs faiblement vulnérables diminue de **23,20 % à 15,45 %**, traduisant une extension des zones considérées comme les plus sensibles.

Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, la présente étude repose sur un **indice de vulnérabilité physique plus complet** que celui utilisé par Bengoufa et al. Alors que leur évaluation s'appuie sur un nombre plus restreint de paramètres physiques, la présente étude intègre un ensemble plus large de variables, notamment la géologie, la géomorphologie, la pente côtière, l'évolution du trait de côte, la hauteur significative des vagues, le marnage ainsi que l'élévation du niveau marin. L'intégration de ces variables supplémentaires permet une représentation plus détaillée des processus naturels contrôlant la vulnérabilité du littoral et améliore la précision de la cartographie.

En outre, les données utilisées dans cette étude sont plus récentes que celles exploitées par Bengoufa et al. Depuis 2021, plusieurs secteurs du littoral de Mostaganem ont continué à subir les effets de l'érosion côtière, de l'évolution du trait de côte et des pressions anthropiques. Bien que la présente comparaison porte uniquement sur l'indice de vulnérabilité physique, ces évolutions environnementales peuvent avoir contribué à l'augmentation des secteurs classés en vulnérabilité élevée.

Il convient également de souligner que l'utilisation d'un plus grand nombre de variables physiques permet de mieux prendre en compte la complexité des interactions entre les différents facteurs contrôlant la vulnérabilité côtière. Ainsi, certains secteurs classés comme modérément vulnérables dans l'étude de Bengoufa et al. Sont désormais identifiés comme fortement vulnérables grâce à une meilleure représentation des conditions géologiques, géomorphologiques et hydrodynamiques.

Malgré ces différences quantitatives, les deux études convergent vers les mêmes conclusions générales. Elles mettent en évidence que les secteurs les plus vulnérables correspondent principalement aux plages sableuses, aux zones de faible altitude et aux portions du littoral

soumises à une forte dynamique marine. À l'inverse, les secteurs rocheux ou présentant des formations géologiques plus résistantes conservent une vulnérabilité relativement faible.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment les tendances mises en évidence par Bengoufa et al. (2021), tout en apportant une évaluation plus détaillée de la vulnérabilité physique grâce à l'intégration d'un plus grand nombre de paramètres environnementaux. Cette approche permet d'améliorer la précision de l'identification des secteurs les plus sensibles et constitue un outil d'aide à la décision plus performant pour la gestion durable du littoral de Mostaganem.

3. Solutions d'adaptation proposé

La carte de vulnérabilité côtière physique de Mostaganem met en évidence plusieurs secteur présentant une vulnérabilité élevée a très élevée, notamment au niveau de Stidia, Oureah, Salamandre, Sidi Majdoub et Sonaghter. Cette forte vulnérabilité résulte de la combinaison de plusieurs facteurs physique tels que la présence de plages sableuses et plages de galets, les faibles pentes côtières, l'exposition au houles dominantes ainsi que les phénomènes d'érosion observés sur certaines portions du littoral. Ces conditions favorisent le recul du trait de côte et augmentent les risques de submersion marine, particulièrement dans les zones basses.

Afin de réduire les impacts de ces aléas et d'améliorer la résilience du littoral, plusieurs stratégies d'adaptation peuvent être envisagés.

3.1. Les ganivelles

Les ganivelles constituent un moyen de protection des côtes sableuses et plus spécifiquement les dunes littorales, en effet l'utilisation d'une série de bouts de bois fixés au sable suivant le même rôle que jouent la végétation dunaire (l'oyat) permet de fixer le sédiment dunaire pour qu'il ne soit pas arraché par les vents, ainsi la plage conservera sa stabilité, les ganivelles sont aussi appelés Brise vents. (CHAIB W. 2021)



Figure 28 Installation de ganivelles (source : B Monginoux, www.photo-paysage.com/) (CHAIB W. 2021)

Les ganivelles sont implantés verticalement et en faisant face au vent dominant, cette méthode peut s'effectuer manuellement et ne nécessitent pas forcément des financements importants, et peut s'effectuer grâce à l'appui des associations environnementales ainsi qu'à l'aide fourni par la commune littorale, tout cela dans un cadre administratif et réglementaire bien défini dans les missions principales de cette dernière. (CHAIB W. 2021)

3.2. Les géotextiles

Les géotextiles constituent un moyen de protection originale de la côte, ces tissus remplis de sable et/ou de roches font office de brise lames, d'épis ou de digue de protection selon l'usage (Farnole et Lebunetel., 2011), les ouvrages en géotextiles sont donc un substitut intéressant et moins coûteux aux ouvrages en béton et en maçonnerie. (CHAIB W. 2021)



Figure 29 Epi en géotextile (source : <http://www.novintiss.com/fr/geotextile-anti-erosion.html>) (CHAIB W. 2021)

3.3. Le rechargement artificiel des plages

Le rechargement artificiel des plages consiste à alimenter les plages en sédiments afin de préserver la quantité de sédiments présente dans une plage pour la protéger de l'érosion côtière, le volume du sable à injecter ainsi que la taille moyenne des grains de sable de rechargement est calculé grâce à des abaques tout ceci en rapport avec la taille des grains de sable préexistant dans la plage dans laquelle on veut effectuer le rechargement (James., 1975; US Army Corps of Engineers., 1984 a et b).

Certaines études récentes utilisent des outils logiciels pour le calcul du volume de sable nécessaire pour diminuer l'érosion tel que le logiciel BERM-N "Bayesian EROsion Management Network" qui utilise l'équation statistique de Bayes pour le calcul du taux d'érosion en fonction de la quantité de sable (Giardino et al., 2019). (CHAIB W. 2021)

3.4. Les récifs artificiels

Une des solutions innovantes pour la protection des côtes consiste dans l'immersion des récifs artificiels, cette méthode de protection peut être classée aussi bien dans les protections lourdes (si le récif est conçu en béton) que dans les protections douces.

Le récif artificiel est un ouvrage de protection côtière immergé permettant d'atténuer l'énergie des vagues, cet ouvrage est aussi immergé pour des raisons environnementales et biologiques afin d'implanter un écosystème dans les fonds marins dans les zones dégradés et qui connaissent une pauvre biodiversité.

Donc en plus de leurs rôles dans la protection littorale en faisant rempart aux houles, les sites sont devenus un laboratoire pour l'étude des espèces marines et un atout pour le développement touristique (Achilleos et al., 2018),

Ils constituent des zones propices pour la fixation et la colonisation des algues et des abris pour différents genres de poissons, crustacés et autres espèces marines (Sene., 2008).

Les récifs artificiels peuvent être classés en trois catégories (Convention et protocole de Londres et PNUE., 2009) :

- **Récifs de production** : Cette catégorie concerne les récifs ayant une vocation de repeupler le fond marin et les fonds pauvres en biodiversité
- **Récifs de protection** : Des récifs ayant pour fonction la préservation des espèces marines du chalutage illégal.
- **Récifs récréatifs** : Aussi appelés récifs paysagers, ces récifs ont une vocation touristique en favorisant les activités de plongée pour les estivants.

Ces types de récifs peuvent aussi avoir selon leurs dimensions un rôle dans la protection côtière en permettant la réfraction de la houle. (CHAIB W. 2021)

Un récif artificiel peut être conçu et immergé dans les zones les plus vulnérables selon la cartographie de la vulnérabilité et du risque et pourra servir de moyen pour le développement de la faune et de la flore aquatique.

3.5. Elaboration d'un plan GIZC pour Mostaganem

Jusqu'à présent aucune stratégie de gestion des zones côtières en Algérie n'a été mise en œuvre.

L'élaboration et la mise en œuvre des stratégies d'adaptation dans le cadre d'un plan de GIZC, sont conditionnées par une bonne connaissance du fonctionnement de la côte et d'avoir une démarche participative et intégratrice des populations locales.

Or, l'absence de données océanographiques et le non coordination entre le pouvoir central, les collectivités locales et les différents acteurs agissants dans la zone littorale ont été le plus souvent un grand handicap pour la gestion des zones côtières. De ce fait, il faut songer à installer tout le long de la côte algérienne des instruments de mesures en continu de houles et de courants et suivre l'évolution du trait de côte et des plages à l'aide de nouvelles technologies (DGPS, Images satellitaires) pour pouvoir dégager les tendances évolutives de la côte, d'un côté, et de penser à impliquer les différents acteurs agissant sur le littoral pour pouvoir aboutir à une gestion durable et raisonnée du littoral.

Conclusion

CONCLUSION

Le présent travail a permis d'évaluer la vulnérabilité côtière physique du littoral de Mostaganem à travers l'application de l'indice de Vulnérabilité côtières (IVC) basé sur plusieurs variables physiques, à savoir la géologie, la géomorphologie, la pente côtière, l'évolution du trait de côte, l'élévation du niveau marin, le marnage et la hauteur moyenne des vagues. L'intégration de ces paramètres dans un environnement SIG a permis de spatialiser les niveaux de vulnérabilité et d'identifier les secteurs les plus exposés aux risques côtiers.

L'analyse des différentes variables montre que le littoral étudié présente une grande diversité morphologique et géologique. Les secteurs constitués de falaises et de formations rocheuses présentent généralement des niveaux de vulnérabilité faibles à modérés grâce à leur résistance face aux processus d'érosion. En revanche, les zones caractérisées par les plages sableuses ; des sédiments meubles et des faibles pentes apparaissent comme les plus vulnérables. Ces secteurs sont particulièrement sensibles à l'action des vagues à l'érosion marine et aux phénomènes de submersion.

Les résultats obtenus révèlent une prédominance des classes de vulnérabilité modérée à élevée sur une grande partie du littoral de Mostaganem, tandis que les niveaux de vulnérabilité très élevés se concentrent principalement dans certains secteurs de Stidia, Oureah, Salamandre, Sidi Majdoub et Sonaghter.

Cette situation s'explique par la combinaison de plusieurs facteurs naturels tels que la nature des formations géomorphologiques, la faiblesse des pentes côtières, l'exposition aux houles dominantes ainsi que les effets potentiels de l'élévation du niveau marin dans un contexte de changement climatique. Les activités anthropiques notamment l'urbanisation du littoral, les aménagements portuaires, l'extraction de sable et la pression touristique, contribuent également à accentuer la vulnérabilité de certains secteurs.

Cette étude met en évidence l'intérêt des Systèmes d'information géographique comme outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée des zones côtières. La cartographie de la vulnérabilité permet d'identifier les secteurs prioritaires nécessitant des actions de protection, de suivi et d'aménagement adaptés aux caractéristiques physiques du milieu.

Face aux défis liés à l'érosion côtière et aux changements climatiques, il apparaît indispensable de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation durables fondées sur la protection des plages et des dunes, la maîtrise de l'urbanisation littorale, le suivi régulier du trait de côte ainsi que la sensibilisation des acteurs locaux aux risques côtiers. L'adoption de telles mesures contribuera à renforcer la résilience du littoral de Mostaganem et à assurer une gestion durable de ses ressources naturelles.

Enfin, ce travail constitue une base scientifique pouvant être enrichie par des études futures intégrant des scénarios prospectifs d'élévation du niveau de la mer, des analyses socio-économiques détaillées et des données de terrain plus récentes afin d'améliorer la compréhension des dynamiques côtières et d'optimiser les stratégies de gestion du littoral.

Références Bibliographiques

Bibliographie

Amrouni, O. « HABILITATION UNIVERSITAIRE EN SCIENCES GEOLOGIQUES Spécialité : Sédimentologie ».

Abuodha, J. O. Z., & Woodroffe, C. D. (2010). Évaluation de la vulnérabilité des zones côtières à l'aide de variables physiques. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 123–131.

Ahlhorn F (2018) Integrated Coastal Zone Management. Status, challenges and prospects. Springer. DOI 10.1007/978-3-658-17052-3.

Ait Ouarab-Bouaouli S (2008) « Pour une équité dans l'accès à l'information en cas de catastrophes », *Communication* Vol. 26/2.

Berkes, F., & Folke, C. (2003). Naviguer dans les systèmes socio-écologiques : renforcer la résilience face à la complexité et au changement. Cambridge University Press.

Boudet L (2017) Modélisation du transport sédimentaire lié aux crues et aux tempêtes à l'embouchure du Rhône. Thèse de doctorat. Aix Marseille Université.France.

Bouderbala, M. et al. (2025) « Impacts des activités anthropiques sur l'environnement côtier. Diagnostic et perspectives d'aménagement et de protection Cas : Zone littorale de Mostaganem (Ouest algérien). »

BRAHIMI, Aymen, et Nadjib CHIKHAOUI. « Evaluation des impacts des changements climatiques sur la morphologie du littoral de la willaya de Mostaganem ». Mémoire de Fin d'étude (Ingénieur), ENSSMAL, 2021.

Brahimi, N. et Chikhaoui, A. (2021) Evaluation des impacts des changements climatiques sur la morphologie du littoral de la willaya de Mostaganem », *Geo-Eco-Trop*, 43, p. 559-5.

Carter, R. W. G. (1988). Environnements côtiers : introduction aux systèmes physiques, écologiques et culturels des littoraux. Academic Press.

Chaïb, A. (2021). Érosion et submersion marine sur les côtes algériennes.

Chance H et Noury M (2011) La gestion de la Post catastrophe. L'approche française et la stratégie internationale. Les dossiers Institut des risques majeurs.

CNIG (2020) Utilisation de la donnée géospatiale dans la gestion des risques majeurs.

Coudert E et Larid M (2006) « IMAGINE : un ensemble de méthodes et d'outils pour contribuer à la gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 7 Numéro 3 | décembre 2006.

Davidson-Arnott, R. (2010). Introduction aux processus côtiers et à la géomorphologie. Cambridge University Press.

Dickson, M. E., & Perry, G. L. W. (2016). Falaises côtières et glissements de terrain : processus et gestion. *Geomorphology*, 234, 1–15.

- Folke, C., et al. (2010). Resilience thinking: Integrating social and ecological systems. *Ecology and Society*, 15(4), 20.
- Garry, R. (1997). Risques de submersion marine et inondations côtières. *Ocean Engineering*, 24(5), 421–432.
- Ghodbani, T. et Abdeldjalil, B. (2019) « Le littoral algérien entre protection de l’environnement et impératifs du développement, Enjeux et Perspectives », *Geo-Eco-Trop*, 43, p. 559-568.
- Glade, T. (2003). Évaluation de la vulnérabilité dans la recherche sur les risques naturels. *Natural Hazards*, 30(2), 199–220.
- Gornitz, V. (1990). Vulnérabilité de la côte est des États-Unis face à l’élévation future du niveau de la mer. *Journal of Coastal Research*, 6(1), 201–214.
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). *Panarchie : comprendre les transformations des systèmes humains et naturels*. Island Press.
- HELCOM. (2018). Cadre d’évaluation socio-économique des activités humaines dans les ZAJN. Commission d’Helsinki.
- Henaff, A., & Philippe, M. (2014). Aléas, enjeux et risques côtiers. *Revue de Géographie Littorale*, 45(2), 67–82.
- Heurtefeux, H. et Sauboua, P. (2012) « Evaluation de la vulnérabilité du littoral de l’Hérault à la submersion marine », XIIèmes Journées, Cherbourg. Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Editions Paralia, p. 925-932.
- Krause, G.; Bock, M.; Weiers, S.; Braun, G. Mapping land-cover and mangrove structures with remote sensing techniques: A contribution to a synoptic GIS in support of coastal management in North Brazil. *Environ. Manag.* 2004, 34, 429–440.
- Mahalingam, R., et al. (2016). Stabilité des pentes et évaluation des risques de glissements de terrain. *Engineering Geology*, 210, 1–12.
- Masselink, G. (2018). *Coastal morphodynamics and sediment transport*. Routledge.
- Mathevet, R., & Bousquet, F. (2014). Systèmes socio-écologiques et gestion adaptative. *Natures Sciences Sociétés*, 22(1), 3–14.
- McLaughlin, S., & Cooper, J. A. G. (2010). Un indice de vulnérabilité côtière à plusieurs échelles. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 123–132.
- Moussi, A. (2023). *Urbanisation littorale et risques côtiers en Algérie*.
- Omar, H.; Misman, M.A.; Musa, S. GIS and Remote Sensing for Mangroves Mapping and Monitoring, *Geographic Information Systems and Science*, Jorge Rocha and Patrícia Abrantes. In *Geographic Information Systems and Science*; 2019.
- Pian, S., Regnauld, H. et Menier, D.D. (2008) « Interactions nature/société et vulnérabilité du littoral : quelques exemples en Bretagne sud ».

- Rabehi, W., Guerfi, M. et Mahi, H. (2026) « Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger », Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography.
- Robin, M. et Gourmelon, F. (2005) « La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq », Norois. Environnement, aménagement, société, (196), p. 11-21.
- Shanmugam, S., & Wang, Y. (2015). Risques de glissements de terrain et gestion des risques. *Landslides*, 12(3), 567–579.
- Shaw, J., et al. (1998). Sensibilité des systèmes côtiers aux changements environnementaux. *Journal of Coastal Research*, 14(2), 444–457.
- Short, A. D. (1999). Manuel de morphodynamique des plages et du littoral.
- Spiteri, C. et al. (2021) Étude sur l'importance socio-économique des zones situées au-delà de la juridiction nationale dans la région de l'Atlantique du Sud-Est. Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), p. 7 MB, 94 pages.
- Szlafsztein, C., & Sterr, H. (2007). Un indice combiné de vulnérabilité côtière. *Ocean & Coastal Management*, 50(9), 779–795.
- Torresan, S., et al. (2008). Méthodologie d'évaluation régionale des risques liés aux impacts du changement climatique sur les zones côtières. *Ocean & Coastal Management*, 51(1), 63–87.
- Turconi, L., et al. (2019). Glissements de terrain superficiels et risques côtiers. *Natural Hazards*, 98(2), 345–360.
- Varnes, D. J., & IAEG. (1984). Zonage des risques de glissements de terrain : une revue des principes et des pratiques. UNESCO.
- Walid, C. (2021). Indice de vulnérabilité et de risque côtier pour l'évaluation du risque d'érosion et de submersion dans le littoral centre Algérien (cas de la baie de Bou Ismail). (p. 240).
- Wiley Dow, K. (1993). L'évolution du concept de vulnérabilité dans l'évaluation des risques côtiers. *Climatic Change*, 30(2), 181–195.
- Zhao, C., et al. (2014). Glissements de terrain de translation et leurs impacts. *Landslides*, 11(4), 567–578.

Annexe 1 : Scores de vulnérabilité côtières physique.

Tableau 8 Scores de vulnérabilité côtière physique.

	Score Géologie	Géologie côtière	Score Géomorphologie	Géomorphologie	Elévation du NM	Score TC	EVL	Evolution TC	Score Marnage	Score HS	Hs (m)	Score Pente	Pente %	CVI Phy	Vulnérabilité
1	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	2		Accrétion	5	5	>1,25	5	[0;3]	51,75	Elevée
2	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	1		Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	32,73	Modérée
3	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	2		Accrétion	5	5	>1,25	3	[6;9]	40,09	Modérée
4	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	2		Accrétion	5	5	>1,25	5	[0;3]	51,75	Elevée
5	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	1		Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	25,35	Faible
6	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	2		Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	3	[6;9]	31,05	Faible
7	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	43,92	Elevée
8	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2		Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	2	[9;12]	15,21	Faible
9	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	26,35	Faible
10	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	13,17	Faible
11	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2		Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	10,76	Faible
12	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	13,17	Faible
13	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2		Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	10,76	Faible
14	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	3	[6;9]	22,82	Faible
15	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	30,43	Faible
16	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	3	[6;9]	26,35	Faible
17	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	2	[9;12]	21,51	Faible
18	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	21,96	Faible
19	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	13,17	Faible
20	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	34,02	Modérée
21	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	13,17	Faible
22	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	15,21	Faible
23	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	5		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	28,35	Faible
24	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	17,01	Faible
25	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	27,77	Faible
26	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	15,21	Faible
27	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	10,76	Faible
28	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	12,42	Faible
29	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	21,51	Faible
30	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4		Erosion	5	3	[0,85;1,05]	1	[12;100]	12,42	Faible
31	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	26,35	Faible
32	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	26,35	Faible
33	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3		Stable	5	3	[0,85;1,05]	4	[3;6]	21,51	Faible
34	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2		Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	24,84	Faible
35	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	5		Erosion	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	52,37	Très Elevée
36	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	4		Erosion	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	65,47	Très Elevée
37	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	5		Erosion	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	52,37	Très Elevée
38	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	4		Erosion	5	4	[1,05;1,25]	2	[9;12]	41,40	Elevée
39	5	Sédiment meuble fin	5	Plage sableuse	3	4		Erosion	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	58,55	Très Elevée

40	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	5	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	58,55	Très Elevée
41	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	5	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	58,55	Très Elevée
42	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	29,46	Faible
43	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	43,92	Elevée
44	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	39,28	Modérée
45	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	34,02	Modérée
46	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	39,28	Modérée
47	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	29,46	Faible
48	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2	Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	27,77	Faible
49	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	43,92	Elevée
50	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	39,28	Modérée
51	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	34,02	Modérée
52	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	39,28	Modérée
53	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	34,02	Modérée
54	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	34,02	Modérée
55	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	34,02	Modérée
56	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	29,46	Faible
57	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	2	[9;12]	24,05	Faible
58	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	2	[9;12]	40,09	Modérée
59	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	2	[9;12]	40,09	Modérée
60	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
61	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	56,69	Très Elevée
62	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
63	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
64	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	56,69	Très Elevée
65	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
66	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	56,69	Très Elevée
67	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
68	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
69	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
70	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	32,73	Modérée
71	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	5	>1,25	5	[0;3]	51,75	Elevée
72	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	5	>1,25	5	[0;3]	51,75	Elevée
73	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	46,29	Elevée
74	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	32,73	Modérée
75	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	5	>1,25	4	[3;6]	32,73	Modérée
76	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	65,47	Très Elevée
77	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	35,86	Modérée
78	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	35,86	Modérée
79	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	4	Erosion	5	5	>1,25	4	[3;6]	32,07	Modérée
80	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	22,68	Faible
81	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	24,84	Faible
82	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	3	[6;9]	21,51	Faible
83	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	27,77	Faible
84	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	24,84	Faible
85	3	Roches sédimentaire	2	Falaise moyenne	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	27,77	Faible

86	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	40,57	Elevée
87	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	45,36	Elevée
88	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	4	[3;6]	30,43	Faible
89	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	34,02	Modérée
90	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	34,02	Modérée
91	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	34,02	Modérée
92	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	56,69	Très Elevée
93	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	38,03	Modérée
94	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	38,03	Modérée
95	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	43,92	Elevée
96	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	34,02	Modérée
97	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
98	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
99	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	49,10	Elevée
100	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	2	[9;12]	31,05	Faible
101	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	49,10	Elevée
102	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	49,10	Elevée
103	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	2	[9;12]	31,05	Faible
104	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	5	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	49,10	Elevée
105	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	5	>1,25	2	[9;12]	24,05	Faible
106	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	4	Erosion	5	5	>1,25	2	[9;12]	46,29	Elevée
107	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	4	Erosion	5	5	>1,25	2	[9;12]	27,77	Faible
108	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2	Accrétion	5	5	>1,25	3	[6;9]	24,05	Faible
109	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
110	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
111	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	4	Erosion	5	5	>1,25	5	[0;3]	73,19	Très Elevée
112	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	4	Erosion	5	5	>1,25	3	[6;9]	45,36	Elevée
113	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	3	[6;9]	49,10	Elevée
114	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	5	>1,25	4	[3;6]	56,69	Très Elevée
115	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	5	>1,25	5	[0;3]	36,60	Modérée
116	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	5	>1,25	3	[6;9]	28,35	Faible
117	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	45,36	Elevée
118	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	1	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	2	[9;12]	12,42	Faible
119	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	34,02	Modérée
120	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	1	[12;100]	15,21	Faible
121	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	1	[12;100]	15,21	Faible
122	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	34,02	Modérée
123	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	1	[12;100]	20,28	Faible
124	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	1	[12;100]	15,21	Faible
125	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	3	[6;9]	26,35	Faible
126	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	3	Stable	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	34,02	Modérée
127	3	Roches sédimentaire	3	Petite falaise	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	2	[9;12]	17,57	Faible
128	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	3	[6;9]	28,69	Faible
129	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	37,03	Modérée
130	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	2	[9;12]	20,70	Faible
131	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	32,73	Modérée

132	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	3	[6;9]	28,69	Faible
133	4	Sédiment meuble grossier	4	Plage de galet sableuse	3	2	Accrétion	5	4	[1,05;1,25]	5	[0;3]	37,03	Modérée
134	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	2	[9;12]	25,35	Faible
135	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	40,09	Modérée
136	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	40,09	Modérée
137	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	2	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	40,09	Modérée
138	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	49,10	Elevée
139	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	3	Stable	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	49,10	Elevée
140	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	28,35	Faible
141	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	1	Accrétion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	28,35	Faible
142	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
143	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
144	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
145	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
146	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
147	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
148	5	Sédiment meuble fins	5	Plage sableuse	3	5	Erosion	5	3	[0,85;1,05]	5	[0;3]	63,39	Très Elevée
						2,6 mm/an				Microtidale				