

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Aménagement

Thème :

Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière de la baie d'El Djamila

Présenté par :

- YOUNESHouari
- ZINEAbderrahmen

Soutenu le 09/07/2017 devant le jury composé de :

Mr	Belkessa. R	Professeur (ENSSMAL)	Président
Mme	Benzouai. S	Maître assistante A (ENSSMAL)	Promotrice
Mr	Mezouar. K	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Examineur
Mme	Mokhbi. D	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements à :

Mr BELKESSA.R , Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions Mme BENZOUAI. S, notre promotrice pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Mr MEZOUAR.K et Mme MOKHBI. D, de leur aide, leur soutien, d'avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Notre profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, et à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous sommes reconnaissants à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueurs.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	I
Liste des abréviations et acronymes	V
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Introduction générale.....	2

CHAPITRE I : Généralités

Introduction	5
I.1.Changement climatique	5
I.1.1. Impacts environnementaux	6
I.1.2.Impacts sur les systèmes physiques	6
I.1.2.1. Réchauffementocéanique	7
I.1.2.2. Élévation du niveau océanique	8
I.1.2.3. Augmentation des phénomènes extrêmes	8
I.2. Notions et définitionsclés.....	9
I.2.1. Résilience	9
I.2.2. Aléa	9
I.2.3. Vulnérabilité	10
I.2.4. Risque	10
I.2.5. Exposition et Resistance d'un système côtier	10
I.3. Concept de vulnérabilité	10
I.3.1. Pourquoi effectuer une analyse de vulnérabilité ?	12
I.4. L'évaluation de la vulnérabilité pour déterminer la sensibilité de la zone côtière face aux menaces naturelles et anthropiques	13
I.4.1. Les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité.....	13
I.4.2. Les outils d'évaluation de la vulnérabilité	14
I.4.2.1. L'indice de vulnérabilité	14
I.4.2.2. L'indice CVI et ses limites	15
I.4.2.3. L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle	15
I.5. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)	15
I.5.1. Aperçu sur le logiciel ArcGis 10.2	16
I.5.1.1. Le logiciel DSAS 4,3	16
I.6. Le modèle numérique SWAN	16

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Situation géographique de la Baie d'El Djamila	18
II.2. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques	19
II.2.1. Géologie régionale.....	19
II.2.2. Géologie locale	19
II.2.3. Topographie sous-marine	20
II.2.4. Dynamique sédimentaire	21
II.3. Données climatiques.....	22
II.4. Caractéristique hydrologique.....	25
II.5. Cadre océanographique	27
II.5.1. Mer du vent et houle.....	27
II.5.2. Les courants.....	29
II.5.3. La marée	29

CHAPITRE III: Matériels et Méthodes

Introduction	31
III.1. L'indice de vulnérabilité côtière physique (CVI physique)	31
III.1.1 La géologie	33
III.1.2 La géomorphologie	34
III.1.3 La pente	34
III.1.4 L'élévation du niveau de la mer	36
III.1.5 L'évolution du trait de côte	37
III.1.6 Le marnage.....	38
III.1.7 La hauteur moyenne des vagues au voisinage de la côte	38
III.1.8. Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière physique	41
III.2. L'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVI _{se}).....	42
III.2.1. Méthodologie de travail	43
III.2.1.1. la population	44
III.2.1.1. Le patrimoine culturel	45
III.2.1.3. Routes et voies ferrées.....	46
III.2.1.4. L'occupation du sol.....	46
III.2.2. La désignation de conservation	47
III.2.3. Le Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière Socio-économique (CVI _{se})	48

CHAPITRE IV : Résultats et Discussions

Introduction	50
IV.1. L'indice de vulnérabilité côtière physique (CVI physique).....	50
IV.1.1. La Géologie.....	50
IV.1.2. La géomorphologie	51
IV.1.3. La pente côtière.....	52
IV.1.4. L'élévation du niveau de la mer.....	52
IV.1.5. L'évolution du trait de côte.....	53
IV.1.6. Le marnage.....	55
IV.1.7. La hauteur des vagues	55
IV.1.8. Vulnérabilité côtière physique	57
IV.2. L'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVI se).....	59
IV.2.1. La population	59
IV.2.2. patrimoine culturel	60
IV.2.3. Les routes et voies ferrées	61
IV.2.4. L'occupation du sol	62
IV.2.5. Vulnérabilité côtière socio-économique	62
Conclusion générale	65
Références Bibliographiques.....	67
Annexes.....	72
Résumé	

Liste des abréviations et acronymes

C.V.I. : Coastal Vulnerability Index (Indice de Vulnérabilité Côtière).

CCNUCC : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

DHEEWA : Direction de l'Hydraulique et de l'économie de l'Eau de Wilaya d'Alger

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

E.N.S.S.M.A.L. : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.

EPA : Environmental Protection Agency.

G.I.E.C. : Groupe Inter-gouvernemental d'Études sur le Climat.

H.M.I : Hydro marine Ingénierie.

K.N.M.I : Institut météorologique royal Néerlandais

L.E.M : Laboratoire des études Maritimes.

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONM : Office National Météorologique.

PACMA : Plan d'Aménagement côtier de la métropole d'Alger.

PDAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

S.H.F.M : Service Hydrographiques des Forces Navales.

S.I.G. : Système d'Information Géographique.

S.S.M.O: Sudanese Standards and Metrology Organization.

S.W.A.N: Simulating WAvesNearshore.

SDAAM : Schéma directeur d'aménagement de l'aire métropolitaine

SNAT : le Schéma National d'Aménagement du Territoire.

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1: Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016)..... 23

Tableau II.2 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM) 25

Tableau II.3 : Caractéristiques du bassin versant d'oued Beni Messous (Dheewa, 2011)..... 26

Tableau II.4 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)..... 29

Chapitre III

Tableau III.1: Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique (Thieler et Hammar-Klose, 1999, 2000a et 2000b) 32

Tableau III.2 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude 39

Tableau III.3: Classes de vulnérabilité selon les valeurs de CVI-phy 42

Tableau III.4: Classes des caractéristiques socio-économiques utilisées pour le calcul de l'indice de vulnérabilité selon une échelle régionale (McLaughlin et al., 2010). 43

Tableau III.5: Classes pour les désignations de la conservation utilisées dans l'indice de vulnérabilité socio-économique 48

Tableau III.6: Les différentes classes de la vulnérabilité côtière socio-économique 48

Chapitre IV

Tableau IV.1: Les différentes classes de la vulnérabilité socio-économique selon les six variables utilisées pour l'évaluation dans la baie d'El Djamila 63

Liste des figures :

Chapitre I

Figure I.1 : Exemples d'impacts physiques du changement climatique sur la zone côtière urbanisée (MCLNNEs, 2006).....	7
Figure I.2: Schéma représentant la relation entre aléa, vulnérabilité et risque	10
Figure I.3 : Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités(Département Audit et Conseil – Approche globale).....	14

Chapitre II

Figure II.1: Situation géographique de la baie d'El Djamila (Google earth, 2016)	18
Figure II.2: Carte géologique de la baie d'El-Djamila.....	20
Figure II.3: La topographie sous-marine de club des pins(surfer,2016).....	21
Figure II.4: Transport sédimentaire au niveau de baie El-Djamila	22
Figure II.5: Répartition annuelle des vents en %(ONM, 1995-2015).....	24
Figure II.6: Réseau hydrographique de la baie d'El Djamila.....	26
Figure II.7: Rose des houles annuelles au large d'Alger(HMI, 2011).....	27
Figure II.8: Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011).....	28
Figure II.9: Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes (HMI, 2011).....	28

Chapitre III

Figure III.1: La grille de vulnérabilité de la baie d'El Djamila	33
Figure III.2: Illustration du profil d'élévation et de la pente à partir <i>Google Earth pro</i>	35
Figure III.3: Elévation moyenne du niveau des mers entre 1980-2010 (GIEC, 2013).....	36
Figure III.4: L'évolution de trait de côte à l'aide de logiciel Arcgis 10,2 et DSAS 4,3.....	38
Figure III.5: Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction	40
Figure III.6: Courbe des fréquences cumulées de CVI.....	41
Figure III.7: Image satellitaire de la baie d'El Djamila (Google earth pro 2016).....	44
Figure III.8: Densités de population des communes del'aire métropolitaine d'Alger	45
Figure III.9: Occupation de sol simplifiée de la wilaya d'Alger	47

Chapitre IV

Figure IV.1: Vulnérabilité côtière selon la géologie de la côte de la baie d'El Djamila	50
Figure IV.2: Vulnérabilité côtière selon la géomorphologie de la côte	51
Figure IV.3 : Vulnérabilité côtière selon la pente côtière de la baie d'El Djamila.....	52

Figure IV.4: Vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau de la mer.....	53
Figure IV.5: Vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte.....	54
Figure IV.6: Vulnérabilité côtière selon le marnage	55
Figure IV.7 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s (LEM, 2009)	56
Figure IV.8: Vulnérabilité côtière selon la hauteur des vagues au niveau de la côte.....	57
Figure IV.9: Vulnérabilité côtière physique de la baie d'El Djamila.....	58
Figure IV.10: Pourcentage du linéaire côtier de la baie d'El Djamila pour chaque niveau de vulnérabilité physique	59
Figure IV.11 : Vulnérabilité côtière selon la population	60
Figure IV.12: Vulnérabilité côtière selon le patrimoine culturel	60
Figure IV.13: Vulnérabilité côtière relative aux routes.....	61
Figure IV.14 : Vulnérabilité côtière relative aux voies ferrées	61
Figure IV.15 : Vulnérabilité côtière selon l'occupation du sol	62
Figure IV.16: Vulnérabilité socio-économique de la baie d'El Djamila	63

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le littoral est un espace fragile et vulnérable à la fois. L'Algérie avec ses 1600 km de linéaire côtier a subi une série d'aléas naturels, en particulier, les côtes algéroises qui, récemment, ont été menacées par de grandes catastrophes (Bab el Oued 2001, Boumerdès 2003) causant de très importantes pertes de vies humaines.

Face à ces risques, les autorités algériennes ont renforcé leurs capacités de prévention et de réaction. Cela s'est traduit par des normes mieux adaptées à l'échelle des risques et, plus récemment, par la préparation de documents de planification urbaine : le Schéma directeur d'aménagement de l'aire métropolitaine d'Alger (SDAAM, 2006) qui porte sur 4 wilayas (Alger, Tipaza, Blida et Boumerdès) et le Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la wilaya d'Alger (PDAU). Ces documents sont destinés à mieux gérer le territoire dans ses dimensions sociales, économiques et environnementales.

En effet, le littoral algérien fait l'objet d'une politique d'aménagement en cours de réalisation. De nombreuses études ont été conduites, notamment le Plan d'Aménagement côtier de la métropole d'Alger (PACMA), qui ont permis de déterminer les enjeux, de mettre en place des indicateurs, de définir la politique de protection et de mise en valeur de cet espace particulièrement sensible. A titre d'exemple, la délimitation en cours par bornage des bandes littorales fixe sur le terrain le cadre de protection et de mise en valeur du littoral.

Conscients de l'importance de la protection du littoral, nous avons voulu apporter notre petite contribution en menant une étude sur l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières par le calcul d'un indice de vulnérabilité et ce, dans le cadre de la préparation de notre projet de fin d'études.

Pour ce faire, nous avons choisi comme zone d'étude la baie d'El Djamila pour sa représentativité et sa proximité. Par ailleurs, nous avons voulu répondre aux questions suivantes :

- Quelle méthode suivre pour évaluer la vulnérabilité de la côte de la baie El Djamila ?
- Comment évaluer la vulnérabilité côtière de la baie El Djamila ?

Le présent travail, consiste à suivre une démarche afin de répondre aux questions précédentes. Pour cela, deux indices de vulnérabilité côtière ont été choisis et appliqués pour évaluer le degré de vulnérabilité de notre zone d'étude.

Introduction Générale

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

Nous avons commencé par introduction général, suivi des généralités sur les concepts de la vulnérabilité et le risque côtier. Après nous avons présenté notre zone d'étude et le matériels utilisé pour la collecte et le traitement des données.

Dans ce travail, la méthode utilisée pour l'évaluation de la vulnérabilité est basée essentiellement sur le calcul de deux indices :

- L'indice de Vulnérabilité physique CVIphy. (THIELER, (1999) ; HAMMAR-KLOSE, (2000a et 2000b)) ;
- L'indice de Vulnérabilité socio-économique CVIse (MCLAUGHLIN *et al.*, (2010)) ;

pour obtenir des cartes de vulnérabilités finales selon chaque indice.

D'une part Les résultats du CVIphy ont montré que la vulnérabilité est très élevée au niveau des plages de Club des pins et Moretti, élevée au niveau des deux caps, modérée au niveau des ports et faible au niveau de l'embouchure de Oued Beni Messous.

D'autre part , les résultats du CVIse ont montré que la vulnérabilité est généralement élevée sur toute la côte et modérée au niveau du port El Djamila, de Sidi Fredj et de l'embouchure de Oued Beni Messous.

CHAPITRE I

GENERALITES

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons citer les principales causes de la fragilité de la côte, ainsi que la définition de certains concepts tels que la vulnérabilité côtière. A la fin nous allons introduire les différentes approches et outils d'évaluation de la vulnérabilité.

I.1. Changement climatique :

L'association des termes « changements climatiques » est toute modification durable d'une ou de plusieurs des caractéristiques statistiques du climat découlant de la comparaison entre le climat sur une période passée avec une projection du climat sur une période future. Les changements climatiques peuvent se concrétiser par « des modifications dans la moyenne statistique, dans la variabilité, ou encore dans la fréquence, l'intensité ou la durée des évènements extrêmes », généralement sur le moyen et le long terme. Ils entraînent donc la modification, la disparition ou l'apparition de phénomènes météorologiques et physiques (Ouranos, s.d.a). La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et la majorité de la communauté scientifique emploient les termes « changements climatiques » pour désigner les modifications climatiques constatées ou prévues, attribuables directement ou indirectement aux activités anthropiques (Lemmen et al, 2008). Dans la littérature, on retrouve parfois le terme de « réchauffement climatique ». Cette notion fait directement référence à l'augmentation progressive de la température moyenne de l'atmosphère, qui ne constitue qu'un aspect du phénomène global que représentent les changements climatiques (EPA, 2014).

I.1.1. Impacts Environnementaux :

Le réchauffement des températures moyennes de la surface du globe provoque une importante fonte de glaciers polaires ainsi qu'une hausse du niveau de la mer, Cette hausse, induite par la fonte de glaciers et l'expansion thermique de l'eau réchauffée, rendrait particulièrement vulnérable aux inondations les basses terres côtières.

Nous pouvons distinguer d'autres impacts tel que :

- Augmentation de l'intensité et/ou la durée des périodes de sécheresse
- Augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes : forte pluies plus fréquentes et denses, tempêtes, cyclones et ouragans plus fréquents et plus intense, avec des vents et précipitations plus violents engendrant des inondations et dommages graves.

I.1.2. Impacts sur les systèmes physiques :

Depuis quelques décennies, les activités humaines couplées aux changements climatiques perturbent et accentuent certains phénomènes naturels (Fig.1), qui impactent alors les systèmes physiques avec une intensité variable. Ces impacts vont de la fonte accélérée des glaces, à l'augmentation des précipitations et des températures, en passant par l'acidification des océans.

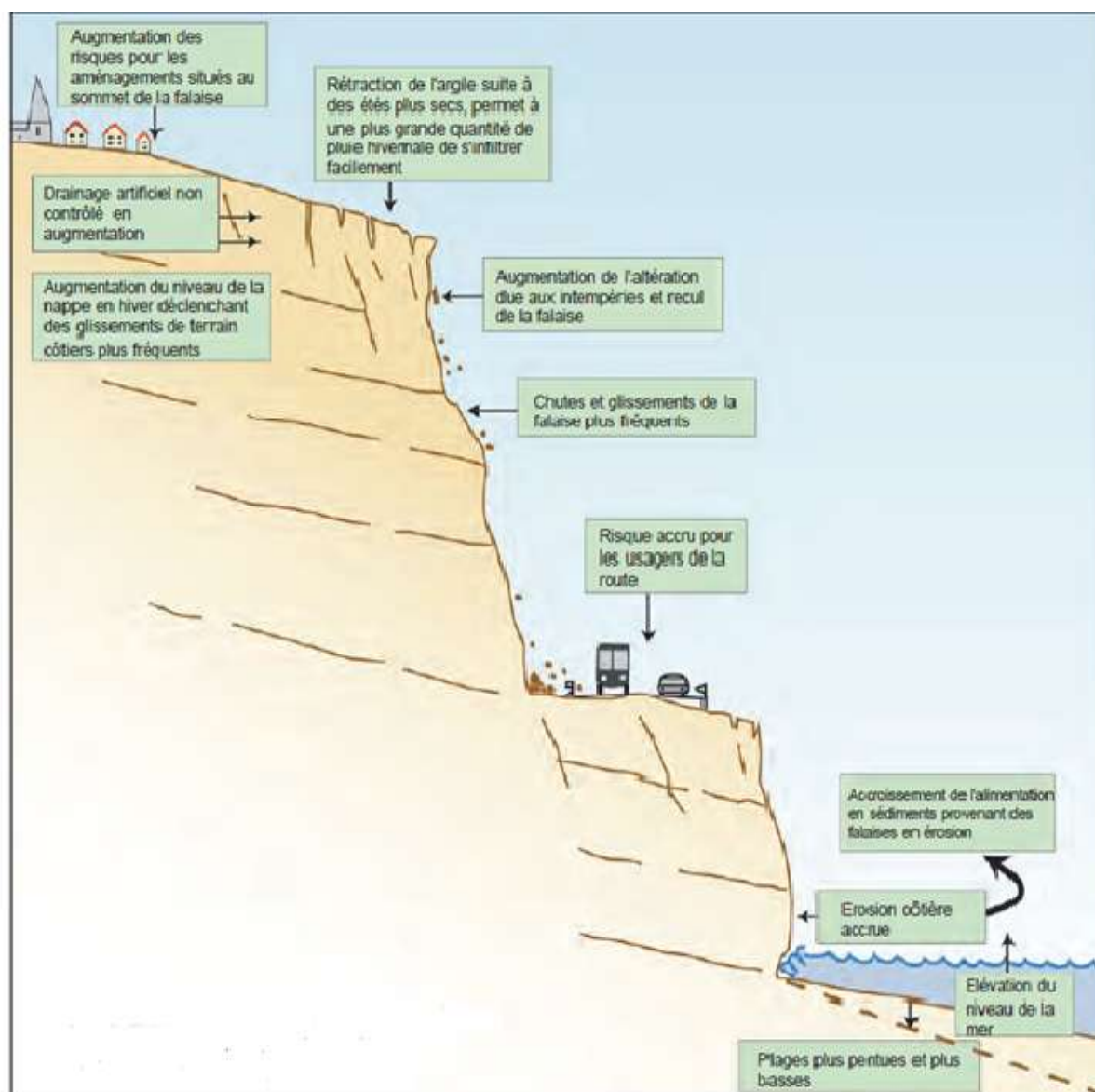


Figure I.1: Exemples d'impacts physiques du changement climatique sur la zone côtière urbanisée (MCLNNE, 2006)

I.1.2.1. Réchauffement océanique :

Les océans ont un rôle majeur dans l'évolution du climat de la Terre, ce qui en fait le principal facteur de changement sur les côtes, mais aussi le système qui participe à un grand nombre d'impacts ou les accentue (GIEC, 2007b). Il est certain à 99 % que la température de surface des océans, soit jusqu'à 700 mètres de profondeur, a augmenté entre 1971 et 2010, tandis que l'océan superficiel, entre zéro et 75 m de profondeur, a augmenté de 0,11 °C en moyenne par décennie à l'échelle mondiale (GIEC, 2013a). Les eaux profondes, soit jusqu'à 1500 m, ont connu un réchauffement depuis 2005 (GIEC, 2013a). Les océans sont les plus grands réservoirs thermiques de la Terre et l'augmentation globale de leur température et leur capacité de captation de CO₂ atteste de l'augmentation des GES

dans l'atmosphère (GIEC, 2007b). Entre 1971 et 2010, l'océan superficiel a emmagasiné 64 % de l'augmentation nette d'énergie absorbée par le système climatique tandis que les eaux plus profondes (entre 700m et 1500 m) en ont emmagasiné l'équivalent de 30 %. L'océan donc capté plus de 90 % de l'énergie entre 1971 et 2010 (GIEC, 2013a ; GIEC, 2013 b).

I.1.2.2. Élévation du niveau océanique :

Le niveau de la mer connaît des modifications depuis les dernières décennies. Au niveau mondial, la moyenne d'élévation du niveau de la mer a été d'environ 1,7 millimètre par an, entre 1901 et 2010 (GIEC, 2013b). L'élévation du niveau de la mer est un impact majeur du réchauffement climatique et a pour effet d'amplifier d'autres impacts, dont l'érosion des falaises et des plages, amplifier les dommages causés par les inondations et les tempêtes, ou encore favoriser l'intrusion de sel dans les eaux souterraines et de surface (DOUGLAS, 2001).

L'élévation du niveau de la mer est due à plusieurs facteurs : la dilatation thermique de l'océan se réchauffant, l'ajout de nouvelles quantités d'eau issues de la diminution des calottes glacières de l'Antarctique et du Groenland et de la fonte des glaciers , ou encore la modification de processus atmosphérique et océanique (« variabilité régionale ») (HENGEVELD, 2000 ; THOMPSON *et al.*, 2008). Cependant, depuis 1970, l'expansion thermique des océans est à elle seule à l'origine de 75 % de leur élévation (GIEC,2013b).

La hausse du niveau de la mer au niveau de méditerranée semble quasiment inévitable. Le réchauffement du climat et des océans, la fonte des glaces, causent une montée des eaux qui devrait se poursuivre pendant de nombreuses décennies. Les émissions de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone dans l'atmosphère restent élevées malgré les politiques mises en œuvre. (GIEC,2013b)

I.1.2.3. Augmentation des phénomènes extrêmes:

Les phénomènes extrêmes sont caractérisés par la rareté de leur fréquence et de leur intensité (HENGEVELD, 2000). Ces événements aux lourdes conséquences environnementales, économiques et sociales sont notamment les ondes de tempêtes, les cyclones (hivernal ou tropical), les phénomènes météorologiques violents ou encore les inondations (LEMMEN *et al.*, 2008). Ce type d'événement peut survenir naturellement. Cependant, la modification de la circulation de phénomènes hydrologique et atmosphérique et la fonte précipitée des glaces sont des facteurs qui expliquent en partie l'augmentation probable du nombre d'événements extrêmes. Globalement, on a constaté une augmentation mondiale du nombre

de ces phénomènes, de leur fréquence et de leur sévérité (GIEC, 2013b ; LEMMEN *et al.*, 2008). Les phénomènes extrêmes tels que les ondes de tempête favorisent les risques d'érosion du littoral par les vagues et le vent, et d'inondation des infrastructures côtières.

I.2. Notions et définitions clés:

I.2.1. Résilience:

La résilience est liée aux notions d'adaptation aux changements climatiques et à la vulnérabilité. La résilience est la capacité d'un système à absorber un choc ou une perturbation en développant ses fonctions, sa structure et son identité à travers le rétablissement ou la réorganisation du système (CHAPIN *et al.*, 2009). Elle est caractérisée par l'ampleur des perturbations que peut absorber un système avant qu'il change radicalement sa structure et ses fonctions ainsi que sa capacité à s'organiser et s'adapter aux nouvelles circonstances émergentes (ADGER, 2006 ; LEVINA et TIRPAK, 2006 ; WALKER et SALT, 2006). La réponse aux perturbations extérieures va dépendre de plusieurs facteurs : le contexte du système, des connexions entre ses différentes échelles et de son état au moment du choc (WALKER et SALT, 2006). On peut considérer qu'il existe un seuil de changements qu'un système ne doit pas dépasser pour être considéré comme résilient. La résilience peut donc disparaître si le seuil d'absorption des chocs par le système est dépassé, entraînant un trop grand changement du système ou de ses fonctions (WALKER et SALT, 2006).

I.2.2. Aléa :

L'**aléa**, ou événement ou processus, doit être défini par une **intensité** (pourquoi et comment ?), une **occurrence spatiale** (où ?) et **temporelle** (quand ?, durée ?).

L'**intensité** traduit l'importance d'un phénomène (DAUPHINE, 2001). Elle peut être mesurée (hauteur d'eau pour une inondation, magnitude d'un séisme) ou estimée (durée de submersion, vitesse de déplacement). Donc pour résumer, l'aléa représente la probabilité d'occurrence d'un processus physique dans le cas d'un risque naturel (LEONE et VINET, 2011).

I.2.3. Vulnérabilité:

C'est La fragilité d'un système dans son ensemble et sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa (DAUPHINE, 2001). Il y a diverses définitions de la vulnérabilité selon les pays, les époques et les domaines traités. Il n'existe pas de vulnérabilité intrinsèque mais une vulnérabilité pour chacun des aléas concernés. La vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances, comportements, etc. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné. Elle est modulable et évolutive en fonction de l'activité humaine.

I.2.4. Risque :

Le risque (FigI.2) est la confrontation d'un aléa (phénomène naturel dangereux) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent êtres humains, économiques ou environnementaux.(LEONE et VINET, 2011).

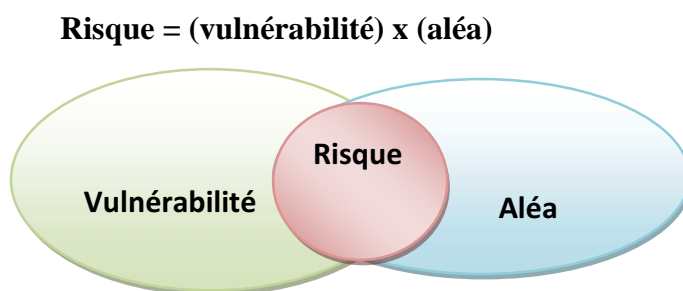


Figure I.2: Schéma représentant la relation entre aléa, vulnérabilité et risque.

I.2.5. Exposition et Résistance d'un système côtier :

- **L'exposition** est la probabilité de subir des pertes dues à un risque (DOW,1993).
- **La résistance** est la capacité à résister face à un événement non souhaité.

I.3. Concept de vulnérabilité :

Le concept de vulnérabilité s'est grandement développé avec les recherches sur les changements climatiques (GIEC, 2001; SCHROTER et METZGER, 2004; FUSSEL, 2007) et il est influencé par plusieurs sphères de recherches différentes. La plupart des effets indésirables des changements climatiques sont d'amplifier des phénomènes naturels déjà présents. La vulnérabilité aux phénomènes et aléas naturels actuels a donc également connu un développement important depuis le début des années 2000. Plusieurs études récentes ont été réalisées sur la vulnérabilité aux aléas côtiers dans différentes régions du monde,

Chapitre I : Généralités

notamment aux États-Unis (Boruff *et al.*, 2005), en Amérique du Sud (DIEZ *et al.*, 2007; MUEHE, 2010), en Europe (MCLAUGHLIN *et al.*, 2002 ; PASKOFF, 2004; MEURFEREC *et al.*, 2008; DEVOY, 2008; DE LA VEGA-LEINERT et NICHOLLS, 2008; PRUSZAK et ZAWADZKA, 2008 ; KARACA et NICHOLLS, 2008; STERR, 2008 ; OZYURT et ERGIN, 2009), en Afrique (JALLOWET *et al.*, 1999 ; PALMER *et al.*, 2011), en bordure de l'Océan indopacifique (YAMANOET *et al.*, 2007 ; MCLEOD *et al.*, 2010) et en Australie (VOICE *et al.*, 2006 ; SANO *et al.*, 2011).

D'après le « Guide Méthodologique général pour la réalisation des Plans de Prévention des Risques » (ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement de France, 1997), l'aléa est défini par un « phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données ». Les enjeux sont les « personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel ». Le risque naturel est « la perte en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel ». Le risque est donc lié à la conjonction de présence d'un aléa et d'enjeux. La vulnérabilité « au sens le plus large exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (humains, biens, milieux) ». Dans cette perspective plus synthétique et plus sociale, la vulnérabilité exprime alors la sensibilité globale d'une société face à un aléa (ou des aléas), en fonction de l'intensité et de la fréquence du phénomène en cause, de la valeur des biens et du nombre de personnes potentiellement affectées, des capacités de résistance au phénomène et des capacités de rétablissement des conditions minimales de fonctionnement de la société (ou résilience). Par « vulnérabilité du territoire », on entend dans la suite de ce rapport les conséquences physiques des aléas côtiers (érosion, submersion marine) sur les enjeux d'un territoire exposé (Gouvernement français, 2012). La vulnérabilité est souvent exprimée en ce qui a trait aux impacts des changements climatiques, cependant, il est possible d'utiliser la même définition pour en ce qui a trait aux aléas actuels. Ainsi la définition proposée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) est : « La vulnérabilité est la mesure dans laquelle un système est sensible et incapable de faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité et les événements extrêmes. ». Cette définition peut également s'utiliser avec l'érosion et la submersion. (SALDANA-ZORRILLO, 2006) définit la vulnérabilité économique comme la susceptibilité d'un agent économique d'absorber des chocs exogènes compte tenu de sa propriété des actifs, de sa capacité de production, de son niveau de connaissances et

d'informations et des mesures mises en place pour éviter, gérer ou atténuer les effets négatifs résultants d'un type de choc en particulier dans le cadre d'un système de droit.

La vulnérabilité est un concept dont la définition peut varier selon les auteurs et les objectifs poursuivis par les différentes études. Il est parfois mal utilisé pour désigner « l'exposition » ou encore « la sensibilité » (KARIM ET MIMURA, 2008; ABUODHA ET WOODROFFE, 2010).

Par exemple, (GORNITZ, 1990) développe un indice de vulnérabilité côtière, basé uniquement sur des paramètres physiques de la côte. À partir de ce dernier, (SHAW *et al.*, 1998) vont développer un indice de sensibilité des côtes canadiennes à la hausse du niveau de la mer où ils décrivent la sensibilité aux changements climatiques comme étant le degré auquel une côte peut connaître des changements physiques tels que l'inondation, l'érosion, la migration de plage ou la déstabilisation de dune. Sur le même modèle, (LONG ET XHARDE, 2007) proposent eux aussi un indice de vulnérabilité côtière aux risques pour neuf sites témoins dans la baie de Chaleurs. Dans les faits, ces différents indices sont plutôt des indices de sensibilité des côtes.

I.3.1. Pourquoi effectuer une analyse de vulnérabilité ?

La réalisation d'une étude de vulnérabilité permet de fournir aux décideurs un support de décision en regard de l'identification des risques et des vulnérabilités, de la priorisation de mesures de réduction des risques et de la planification de mesures d'urgence vis-à-vis des infrastructures dont elles sont responsables. Les analyses de vulnérabilité permettent non seulement de connaître les aléas, mais aussi les causes de la vulnérabilité (FONTAINE et STEINEMANN, 2009), et ainsi de mieux planifier les interventions et de réduire les impacts. Les gestionnaires ont demandé des outils pour une meilleure évaluation de la vulnérabilité (BARROCA *et al.*, 2006), ainsi, une analyse de vulnérabilité et des indices de vulnérabilité répondent à cette demande en apportant une évaluation objective de la situation. De plus, une étude de vulnérabilité permet d'investir au bon endroit. Selon (WINTER *et al.*, 2005) le score obtenu lors d'une étude de vulnérabilité devrait permettre de déterminer les différentes actions qui devraient être entreprises. [Une fois qu'un classement des risques est établi pour une gamme de sites, les priorités peuvent être définies dans le cadre de la maintenance planifiée et les travaux d'équipement. Les secteurs et les sites considérés comme les plus vulnérables peuvent ensuite être soumis à des mesures de gestion et d'atténuation bien ciblées et bien justifiées » (WINTER *et al.*, 2005).

I.4. L'évaluation de la vulnérabilité pour déterminer la sensibilité de la zone côtière face aux menaces naturelles et anthropiques :

L'évaluation de la vulnérabilité est un processus d'estimation, pour une zone donnée, de la probabilité d'occurrence d'un phénomène potentiellement désastreux d'une amplitude donnée et à une période donnée. Elle est aussi un processus interdisciplinaire qui doit être entrepris par étape et implique des enquêtes sur le terrain, la collecte, le traitement, l'analyse et l'interprétation d'information provenant de différentes sources concernant les pertes directes et indirectes, les effets à court et à long terme. Cela nécessite une attention à la fois aux besoins à court terme et les implications à long terme (FORD et al, 2004).

Cette évaluation a pour but de minimiser la vulnérabilité à d'éventuels risques naturels des individus et des communautés.

I.4.1. Les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité :

Il existe deux grandes approches complémentaires : rétrospective et prospective (FigI.3), L'approche rétrospective s'inscrit dans le cadre de retours d'expérience tandis que l'approche prospective est inhérente aux procédures d'évaluation des risques encourus. La première approche nourrit ainsi directement la seconde lors de la conduite de diagnostics de vulnérabilité, eux-mêmes utiles à la mise en œuvre de scénarios (ou simulations) d'endommagement, de pertes ou de gestion de crise (LEONE et VINET, 2011). Pour chacune de ces deux grandes approches, qui nous renseignent respectivement sur l'endommagement déclaré et potentiel, il apparaît que la vulnérabilité peut être évaluée, de manière quantitative (CVIphy) ou qualitative (CVIse) :

- Soit à travers la sensibilité à l'endommagement.
- Soit à travers la caractérisation de l'endommagement.
- Soit à travers la capacité de réponse à l'endommagement.

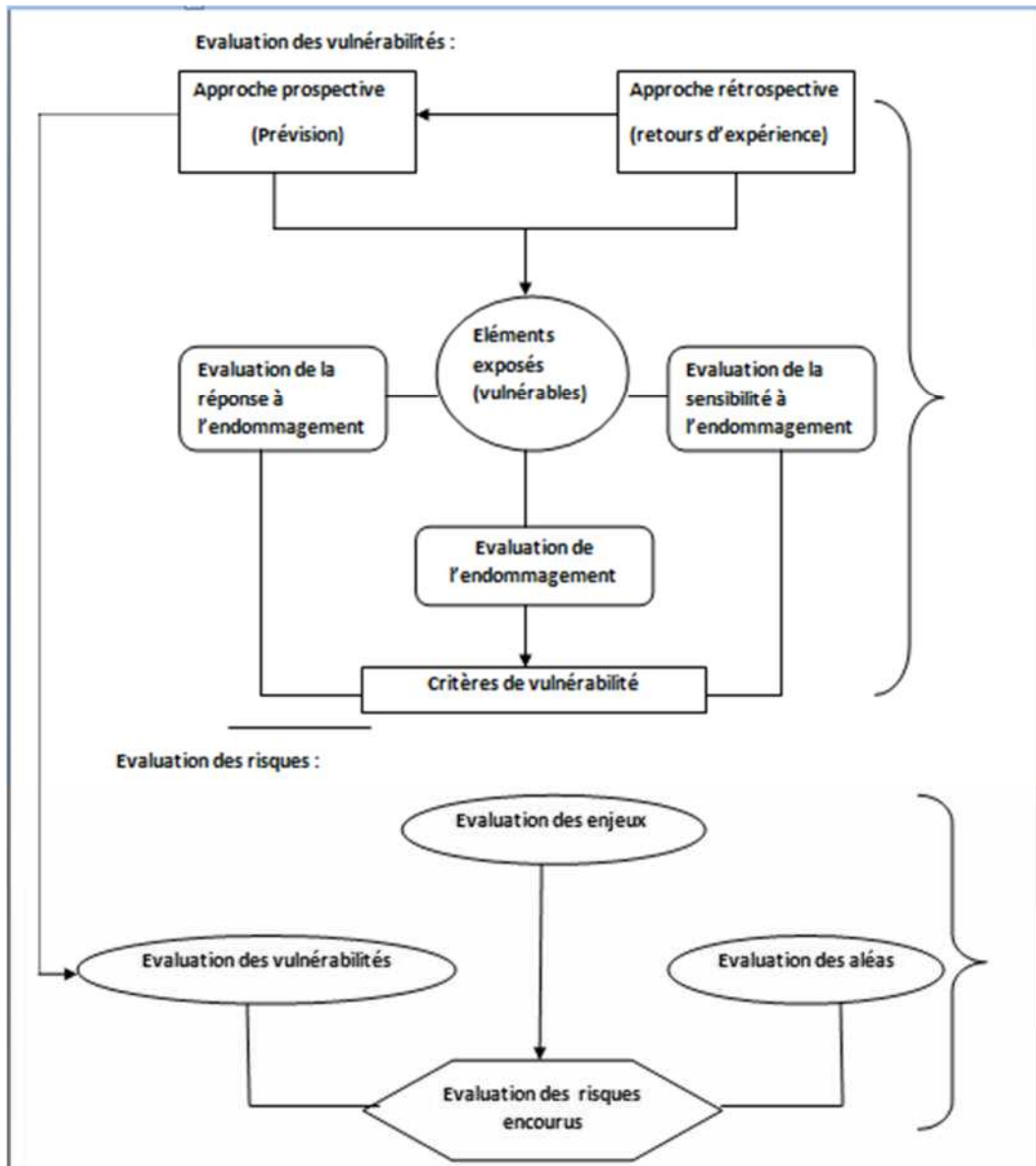


Figure I.3 : Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités. (BRIGUGLIO, 2003)

I.4.2. Les outils d'évaluation de la vulnérabilité :

I.4.2.1. L'indice de vulnérabilité :

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

I.4.2.2. L'indice CVI et ses limites :

Le premier indice de vulnérabilité côtière (CVI) traite des problèmes d'érosion et d'inondation comme conséquence des changements climatiques a été mis au point par (GORNITZ, 1990 ; RAMIERI et al., 2011).

La plus grande contrainte du CVI est son incapacité à inclure l'aspect socioéconomique (comme par exemple le nombre de personnes affectées, l'infrastructure potentiellement à risque, ou les coûts associés à la vulnérabilité côtière) dans l'évaluation de la vulnérabilité côtière (GORNITZ *et al.*, 1993 ; COOPER et MCLAUGHLIN, 1998).

Pour régler ce problème, deux approches sont possibles :

- Utiliser l'indice CVI original avec d'autres indicateurs et intégrer des indices pour représenter d'une façon plus appropriée la complexité du système côtier.
- L'évolution de la formulation de l'indice CVI tenant compte du système socio-économique aussi des versions récentes du CVI intègrent la composante socio-économique (population, infrastructure, patrimoine), une facette jusqu'à là négligée (ABUODHA et WOODROFFE, 2006 ; PALMER *et al.*, 2011). Cette intégration peut se faire après le calcul de CVI ou en intégrant cette composante dans la formule de calcul de l'indice en association avec les variables du milieu physique (RAMIERI *et al.*, 2011).

I.4.2.3. L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle :

Cet indice intègre trois sous indices (i) Sous-indice de caractérisation de la zone côtière ; dérivant la résilience et la susceptibilité à l'érosion de la côte (ii) un sous-indice des forçages côtiers, caractérisant les variables de forçage qui contribuent à l'érosion côtière induite par les vagues,...(iii) un sous-indice socio- économique, décrivant des cibles potentiellement à risque.

I.5. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG):

Les SIG sont considérée comme une des technologies de l'information les plus performantes car elle vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples et crée un environnement pluri-secteurs idéal pour la collaboration.

Le Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

I.5.1. Aperçu sur le logiciel ArcGis 10.2 :

ArcGis est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (ASBAI, 2013).

Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

I.5.1.1. Le logiciel DSAS 4,3 :

Le système d'analyse numérique de la ligne de rivage (DSAS) est un logiciel informatique qui calcule les statistiques du taux de changement des multiples positions historiques du littoral qui résident dans un SIG. Il est également utile pour calculer les taux de changement pour n'importe quel autre problème de changement de frontière qui incorpore une position caractéristique clairement identifiée à des moments discrets. (HIMMEL STOSS *et al.*, 2016).

I.6. Le modèle numérique SWAN :

D'après (BOOIJ *et al.*, 1999) le modèle SWAN (Simulating WAVes Nearshore) développé par l'université de DELFT) est un modèle de propagation de houle de 3^{ème} génération basé sur l'équation de densité d'action spectrale qui retrace l'évolution du spectre d'énergie de la houle pour certaines situations observées de vents, de courants et de bathymétrie. Le modèle SWAN, comme tous les modèles de propagation de la houle qui résolvent l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues, il applique l'équation suivante (Eq.1):

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial t} + \frac{\partial (c_x \mathbf{N})}{\partial x} + \frac{\partial (c_y \mathbf{N})}{\partial y} + \frac{\partial (c \sigma \mathbf{N})}{\partial \sigma} + \frac{\partial (c \theta \mathbf{N})}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (\text{Eq.1})$$

Avec : **N**: Densité du spectre ; **c_x**: Vitesse de propagation suivant l'axe x ; **c_y**: Vitesse de propagation suivant l'axe y ; **σ**: Fréquence relative ; **θ**: Direction de la houle ; **S**: Terme de la dissipation et des interactions non linéaires.

CHAPITRE II
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE

II.1. Situation géographique de Baie d'El Djamila:

La baie d'El Djamila se situe à environ une vingtaine de kilomètre à l'ouest de la wilaya d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl (Fig.4).

Elle est relativement fermée limitée à l'est par Ras Acrata et à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. Ses coordonnées sont les suivant:

- Port de Sidi Fredj $36^{\circ}45'51.12''\text{N}$ et $2^{\circ}50'48.86''\text{E}$
- Ras Acrata $36^{\circ}48'15.02''\text{N}$ et $2^{\circ}53'43.09''\text{E}$

La côte de la baie d'El Djamila est une côte sableuse avec un linéaire de 6Km.

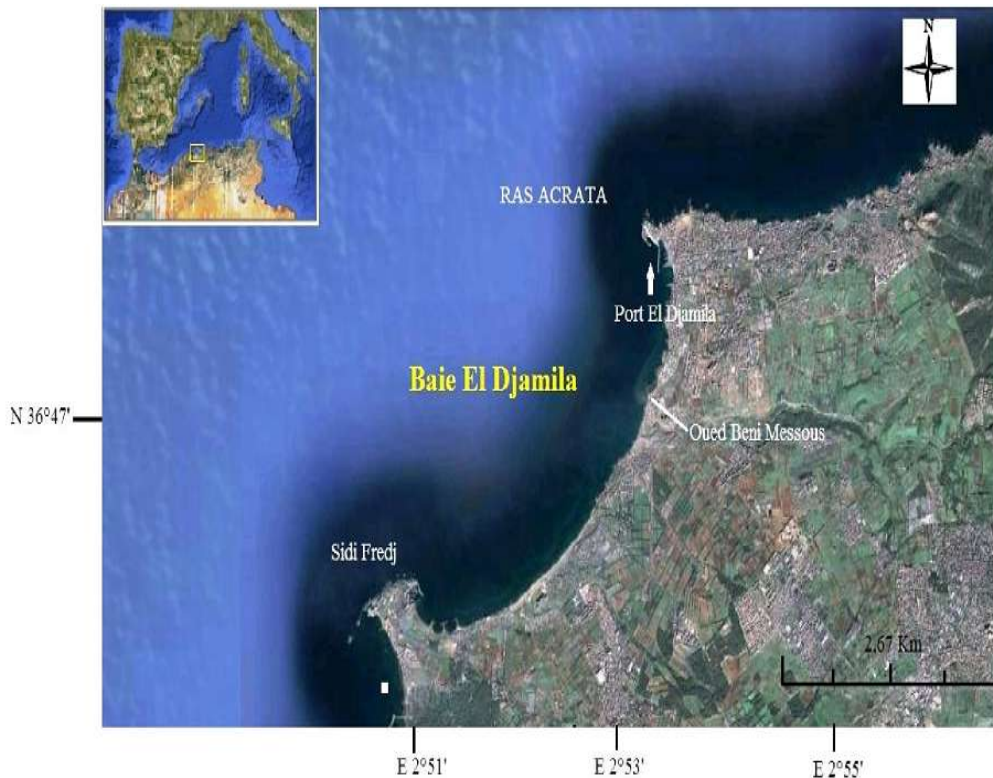


Figure II.1: Situation géographique de la baie d'El Djamila (Google earth, 2016).

II.2. Caractéristiques géologiques et géomorphologique :

II.2.1. Géologie régionale :

La région d'Ain Benian est formée de roches métamorphiques (micaschistes, gneiss et calcaire). Les affleurements de la région sont des formations d'âge Pliocène et Quaternaire. Ils font partie du massif de Bouzeréah.

II.2.2. Géologie locale:

Le littoral de la baie d'El Djamila est caractérisé par une importante accumulation sableuse. Un cordon dunaire de l'ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d'El Djamila, de nombreux bancs rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau. (Fig II.2)

Au niveau de la plage El Djamila, un platier rocheux parallèle au trait de côte se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers (BOUTIBA, 1996). Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi Fredj est constitué de granites et de gneiss largement fissurés et diaclases. Le promontoire rocheux est constitué de quatre types gneiss œillets identifiés par l'étude pétrographique :

- Type 1 : « vieux gneiss » caractérisé par la foliation et linéation bien marquées de teintes grises assez claires.
- Type 2 : gneiss œillet massif peu orienté de teinte claire.
- Type 3 : gneiss œillet à grains fins bien lités de teinte claire, riche en quartz.
- Type 4 : gneiss œillet avec un aspect de granite orienté avec une foliation moulante de phénocristaux.

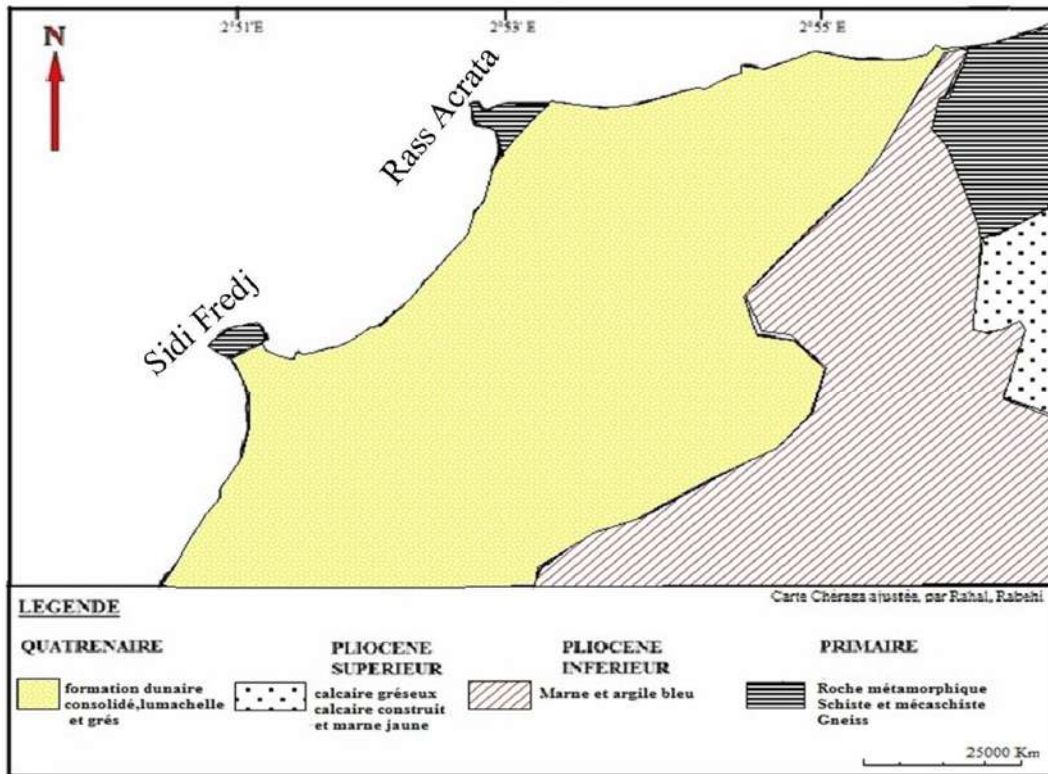


Figure II.2: Carte géologique de la baie d'El-Djamila.

II.2.3. Topographie sous-marine :

La baie d'El Djamilia se caractérise par une topographie sous-marine à pente douce régulière d'Ouest en Est. La topographie est généralement uniforme, mais on distingue la présence de deux fosses dans la partie Est de la baie entre les profondeurs 15 à 19m et 18 à 22m (Fig II.3).

La présence des petits hauts fonds reflète l'existence des dunes hydrauliques entre 14 et 15 m de profondeur. (ANAYAT, 2010).

Bathymétrie de club des pins (MNT)

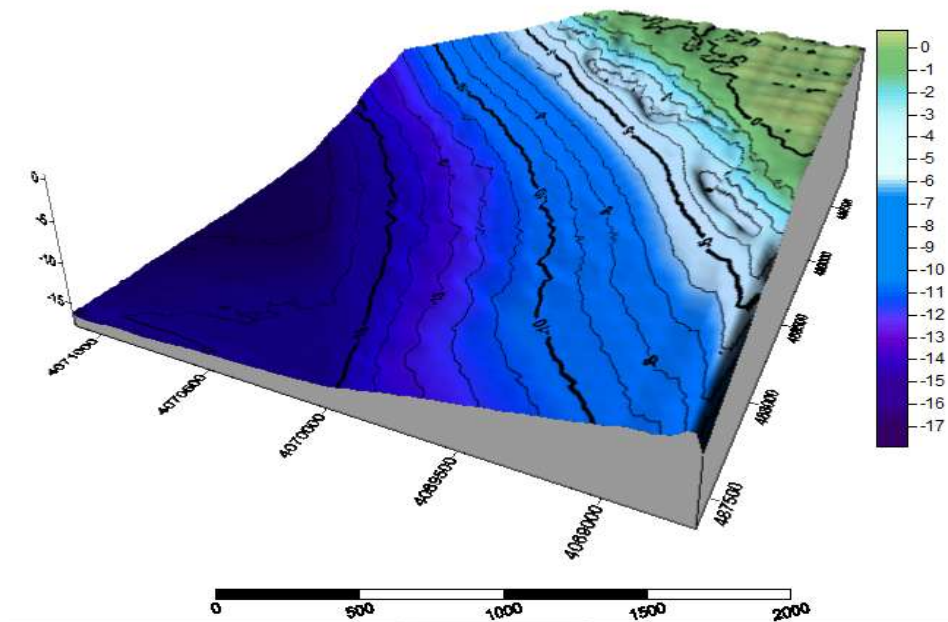


Figure II.3: La topographie sous-marine de club des pins (surfer, 2016)

II.2.4. Dynamique sédimentaire :

La dynamique sédimentaire est la résultante d'actions hydrodynamiques (ou fluides) et solides, réagissant l'un sur l'autre. Son équilibre est très sensible à tout changement pouvant entraver son processus.

On note une dominance du sable grossier surtout au voisinage du port d'El Djamila et une dominance du sable fin au niveau de la zone de Sidi Fredj, ces sédiments sont bien classés (AL SID CHIKH, 2009).

Au niveau de la côte à l'est du port d'El Djamila, le dynamisme est important, provoqué par l'intensité des houles de l'Ouest, Nord – Ouest et Ouest – Nord – Ouest. Ces houles ont contribué au démantèlement de la falaise du Ras Acrata et du platier rocheux. Ces houles de secteur Ouest – Nord–Ouest sont d'incidence frontale sur le site, engendrant un courant de retour qui prend les sédiments de la côte et les dispersent au large. Ainsi les sédiments les plus fins se déposent au large. Ces houles provoquent ainsi bien l'érosion de la cote située à l'Ouest du port d'El Djamila (Zéralda, Sidi Fredj, Moretti, Staouéli, etc....) que le charriage des apports de l'Oued Mazafran. L'incidence oblique des houles du secteur Ouest engendre une dérive littorale qui entraîne les matériaux sableux vers l'Est dans le domaine infralittoral.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La dérive littorale s'écoulant de l'Ouest présente un impact très important en charriant les sédiments vers l'Est (Houma, 2009) (Fig.II.4).

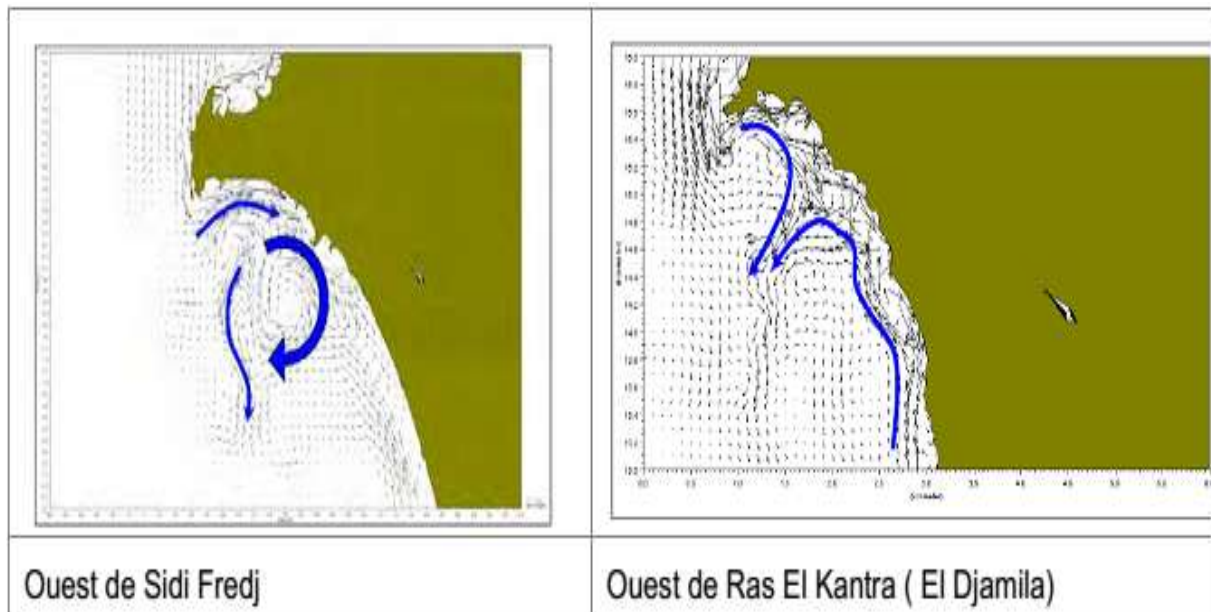


Figure II.4: Transport sédimentaire au niveau de baie El-Djamila

II.3. Données climatiques :

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents, car ils sont générateurs des vagues et des courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leur vitesse. (MOULIN *et al.*, 1978).

Aussi pour une étude du site, le régime des vents doit être une donnée locale que l'on définit par sa fréquence, son intensité et sa direction à partir de l'exploitation des données d'observation étalées sur une assez grande période (LARID, 1992).

Lorsque l'action du vent est continue, elle génère de la houle et joue ainsi un rôle important dans l'optimisation du chenal d'accès et la passe d'entrée, de façon à ce que les navires entrant au port reçoivent le vent sur l'avant. (CHAPON, 1975).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.3.1. L'étude des vents :

II.3.1.1. Au large :

Les côtes sont toujours plus ventées que leur arrière-pays immédiat parce que les vents qui les abordent en venant du large n'ont pas été freinés par des obstacles topographiques.

Par leur fréquence et leur force, les vents qui soufflent sur les littoraux peuvent avoir des actions morphogéniques importantes. Lorsqu'un vent est parallèle à un rivage, il est capable, suivant sa direction de renforcer ou de ralentir la dérive littorale.

Un vent marin perpendiculaire à une plage accroît la cambrure des vagues, d'où une agressivité accrue quand elles déferlent et un démaigrissement de la plage.

S'il s'agit d'un vent de terre, il diminue la hauteur des vagues, réduit leur cambrure, ralentit leur avancée, d'où un engraissement de la plage.

On peut constater de tels phénomènes. Dans la baie d'El Djamila où la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le service hydrographique des forces navales qui sont présentées dans le tableau suivant : (Tab II.1)

Tableau II.1: Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).

Période saisonnière	Secteur vent	Direction dominante	Fréquence d'apparition	Classes des vitesses (kt) et leurs pourcentages		
				17 nœuds	17-33 Nœuds	33 nœuds
Période hivernale	Nord-ouest à Sud-ouest	Ouest	60 à 80 %.	55%	40%	05%
Période estivale	Nord-est à Nord	Est-nord-est	45 à 75%	74%	25%	01%

II.3.1.2. Données locales :

Les mesures issues de la station de Dar El Beida (Tab II.2) indiquent que les vents soufflent environ 60% du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 14 % du temps. (Fig II.5)

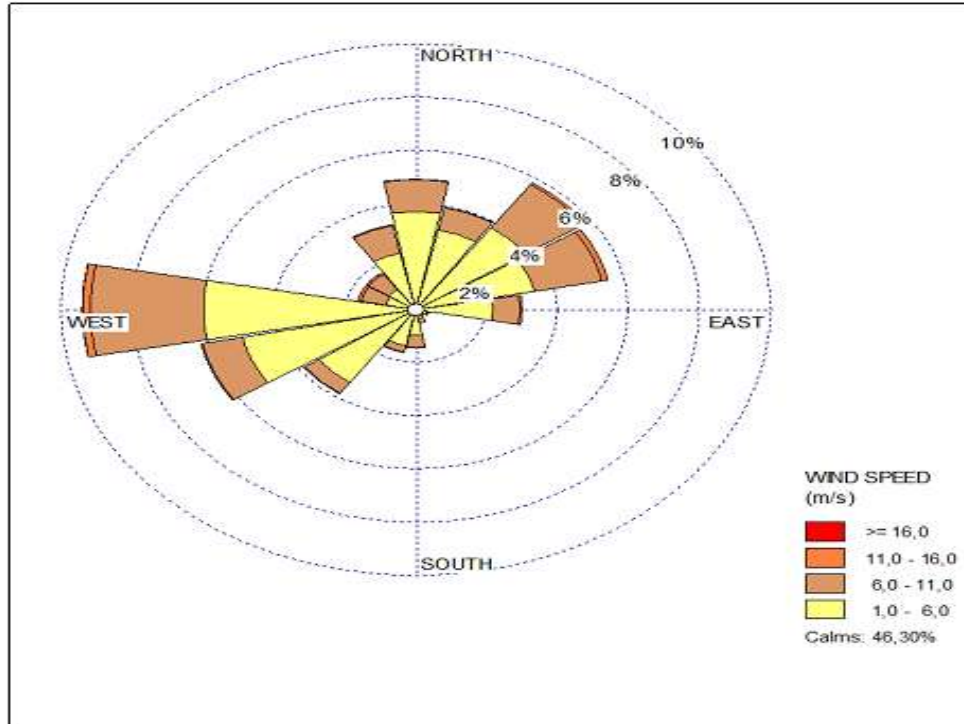


Figure II.5: Répartition annuelle des vents en % (ONM, 1995-2015).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.2 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, (ONM, 2015).

Mois	Annuel				
Directions	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
N	3%	2%	0%	0%	5%
NNE	3%	2%	0%	0%	4%
NE	3%	3%	0%	0%	7%
ENE	2%	2%	0%	0%	5%
E	2%	1%	0%	0%	2%
ESE	0%	0%	0%	0%	1%
SE	0%	0%	0%	0%	1%
SSE	1%	0%	0%	0%	1%
S	1%	1%	0%	0%	2%
SSW	2%	0%	0%	0%	2%
SW	4%	1%	0%	0%	5%
WSW	5%	2%	0%	0%	7%
W	4%	4%	0%	0%	9%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
Mois	Annuel				
Directions	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
NW	1%	1%	0%	0%	2%
NNW	2%	2%	0%	0%	4%
Calme					43%
Total (%)	33%	22%	2%	0%	57%

II.4. Caractéristique hydrologique :

La baie d'El Djamila est alimentée par Oued Beni Messous et oued Boukara. L'oued Beni Messous prend sources du massif de Bouzaréah et a un impact plus important sur la zone, il regroupe l'oued Defla et l'oued Bainem. Oued Beni Messous Situé à 15Km entre El Djamila et Club des Pins, il traverse la commune de Chéraga au Nord, Bouzeréah au niveau d'une agglomération appelé « la Tribu » au Nord-Est, Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelé « les Dunes » d'une distance de 11.5Km. L'Oued de Beni Messous reçoit un grand nombre d'affluents définit un bassin versant d'une superficie d'environ 33 Km², son

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

embouchure est à environ 2 Km à l'Ouest du port d'El Djamila, il est rarement à sec, lors de fortes précipitations où il a une capacité de ravinement peu importante. (Tab II.3)

Les apports terrigènes sont essentiellement issus de l'Oued de Beni Messous. Néanmoins les exploitations d'agrégats au niveau de cet oued déstabilisent le régime d'alimentation. (ALLIOUANE, 2006). (Fig II.6)

Tableau II.3 : Caractéristiques du bassin versant d'oued Beni Messous (DHEEWA, 2011).

Surface bassin versant (km ²)	Longueur (km)	Pente (%)	Altitude			perméabilité	
			min	max	perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	7km ² 21.2%	11km ² 33.3%	15km ² 45.5%

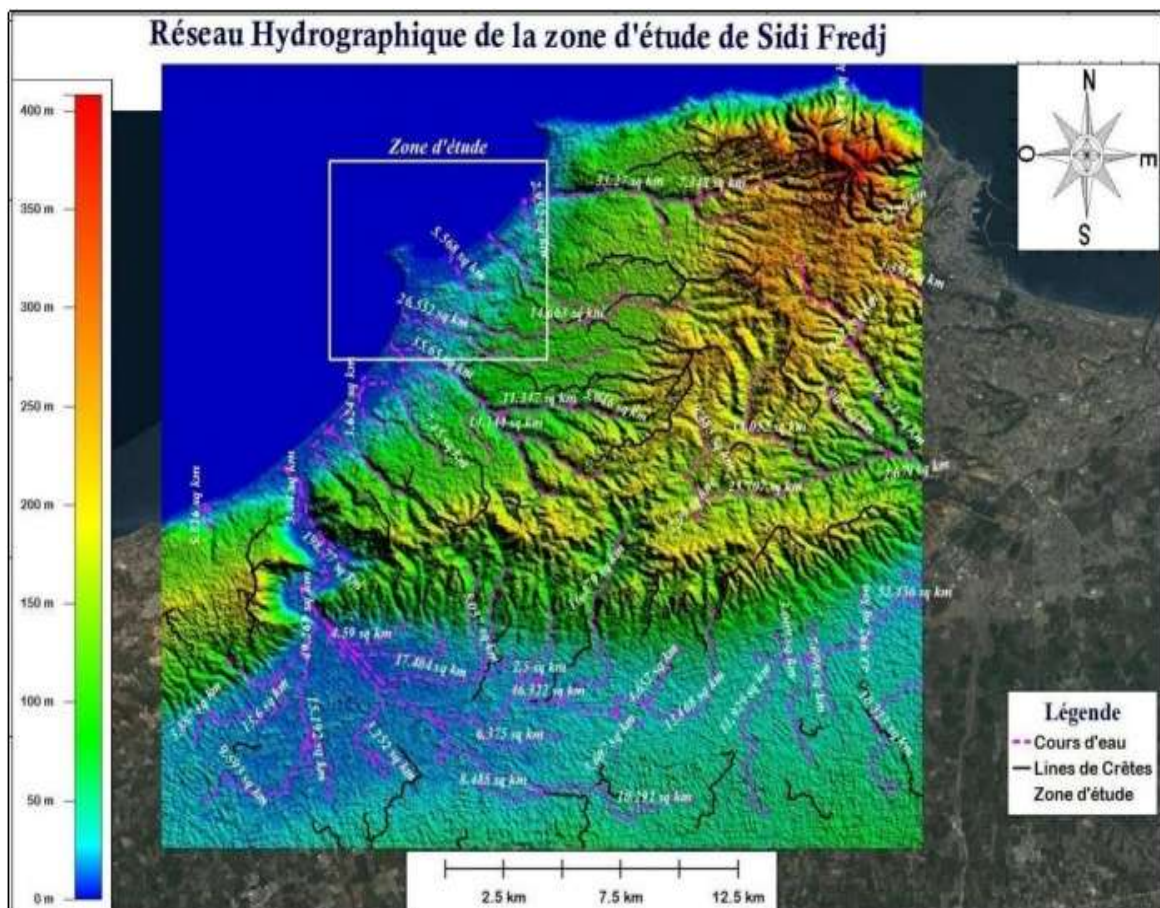


Figure II.6: Réseau hydrographique de la baie d'El Djamila.

II.5.Cadre océanographique:

II.5.1. Mer de vent et houle :

Notre zone d'étude, de par sa position géographique, se trouve dans le sillage des perturbations d'Ouest, de Nord-ouest et subit principalement les influences des perturbations méditerranéennes (Baléares et Golfe de Gènes). Les houles qui parviennent ainsi à la côte, se propagent suivant des directions bien définies (Ouest, Nord-ouest, Nord, Nord-est et Est), mais avec des prépondérances qui se différent selon les saisons.

Les houles d'amplitudes élevées se distinguent nettement pendant la saison d'hiver. En revanche, l'été apporté une baisse de fréquence de fortes houles qui sont beaucoup moins susceptibles de se produire (Fig II.7).

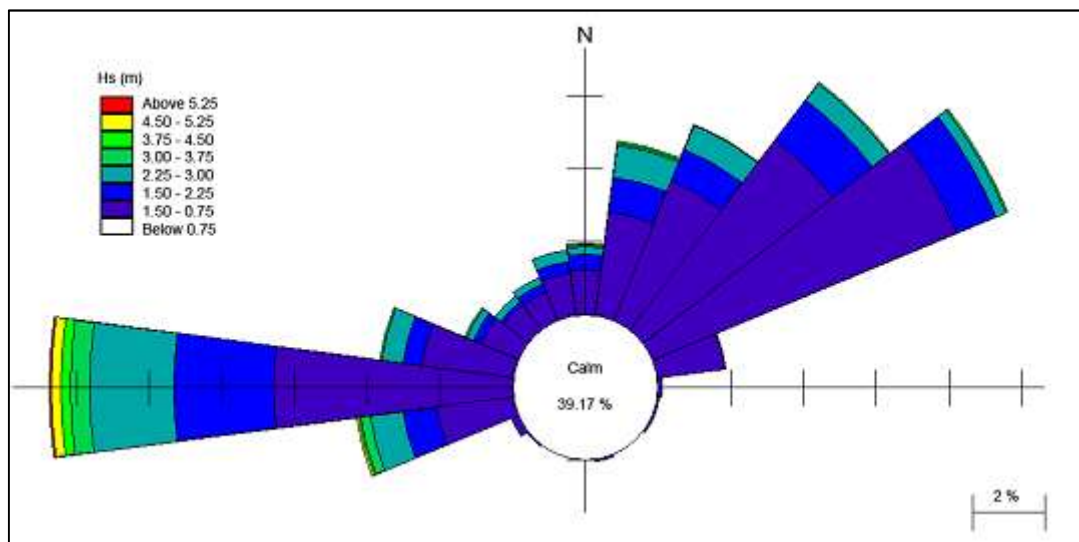


Figure II.7: Rose des houles annuelles au large d'Alger (HMI, 2011)

L'examen de ces données renseigne sur la répartition des vagues et de la houle qui est globalement concordante avec le régime des vents. Les statistiques des houles dans la région de Sidi Fredj, font apparaître deux régimes :

II.5.1.1. En hiver: Les houles d'Ouest dominent avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 5m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.

II.5.1.2. En été: Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles du secteur Ouest sont assez importantes, ces derniers engendrent une dérive littorale (FigII.8 et 9).

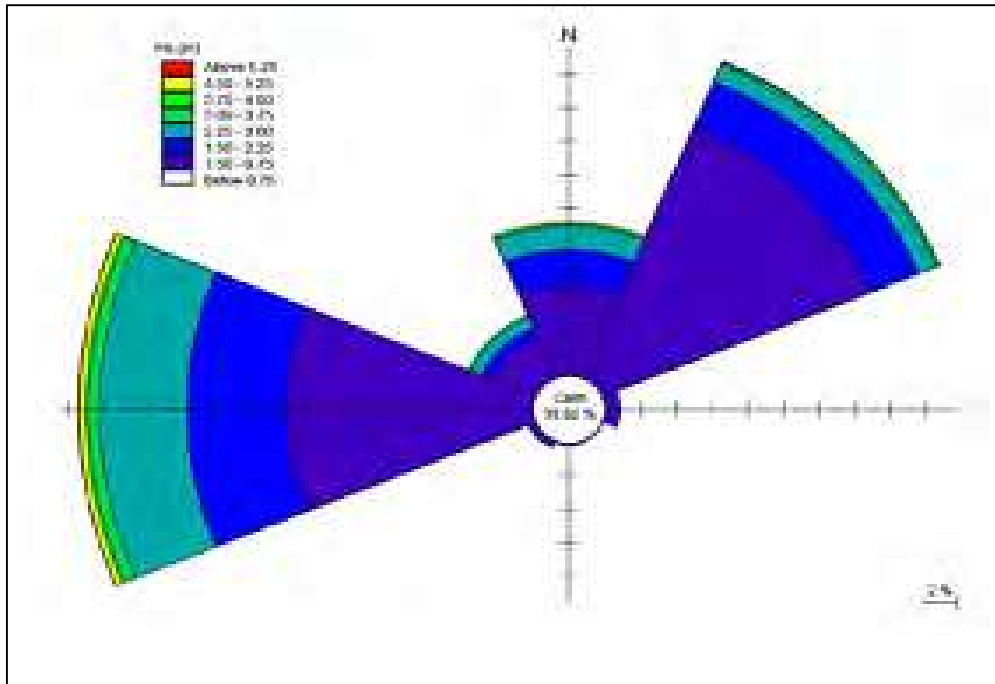


Figure II.8 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011).

Cette répartition peut être confirmée par des données anciennes du S.S.M.O présentées sous forme de tableau (Tab.4) et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais).

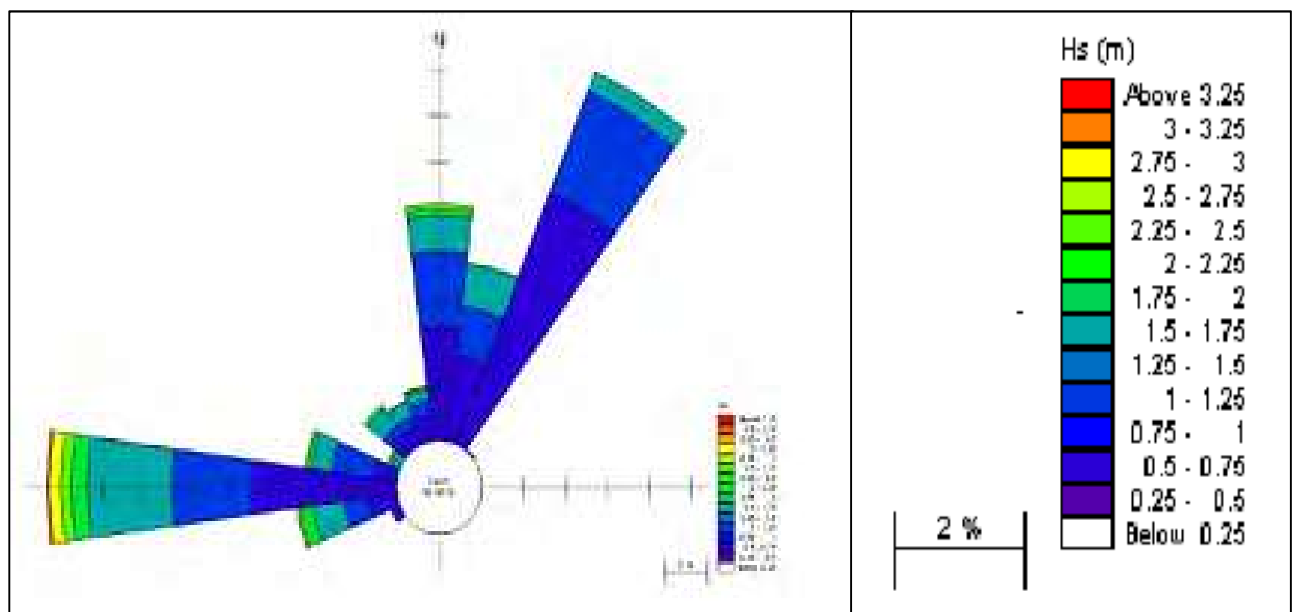


Figure II.9: Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes (HMI, 2011).

On peut observer que les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques (peut atteindre 11,88 m en période centennale), contrairement aux houles de direction Est qui sont les plus

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

faibles (un maximum de 6,62m). Le tableau ci-dessous permet une répartition des périodes des houles en fonction de l'état de la mer (Tab II.4).

Tableau II.4 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).

Etat de la mer	Période des vagues					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
Calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Total(%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

on peut constater que les houles qui ont une période inférieure ou égale à 7s son majoritaire avec un pourcentage de 75%, par rapport aux houles entre 10-12s qui représentent seulement 3%.

II.5.2 Les courants

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

II.5.2.1. Le courant Algérien :

C'est un courant général (qui domine au large de la région d'étude), d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau) (MILLOT *et al.*, 1990).

II.5.3. La marée :

Bien que la marée soit faible sur la côte Algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type micro tidal, il est recommandé de prendre en considération ce marnage surtout que notre zone d'étude (Club des Pins) est caractérisée par une pente douce, ce qui conduit à une amplification des phénomènes d'inondation (KHALDI, 2015).

CHAPITRE III
MATERIELS ET
METHODES

Introduction :

Afin d'évaluer la vulnérabilité côtière de la baie d'El Djamila nous avons opté pour une méthode basée sur les indices de vulnérabilité, notamment :

- L'indice de vulnérabilité côtière physique (CVI physique)
- L'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVI socio-économique)

Pour l'implémentation de ces indices, nous avons utilisé différents logiciels de SIG, de modélisation, d'exploration d'images satellitaires, etc.

III.1. L'indice de vulnérabilité côtière physique (CVI physique) :

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, 2007).

Le long de la baie d'El Djamila, 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 -CVI- (GORNITZ *et al.*, 1994). Sept variables peuvent être employées pour formuler cet indice qui est détaillée dans le tableau 05.

Les scores de l'indice de vulnérabilité côtière sont au nombre de cinq (très faible, faible, modéré, élevé et très élevé). La représentation de ces scores sur les cartes de vulnérabilité concerne seulement les scores qui sont présent dans le contenu de la carte.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

- **Tableau III.1:** Classification des variables de la vulnérabilité côtière physique. (THIELER, (1999) ; HAMMAR-KLOSE, (2000a et 2000b))

Variables	Score de l'indice de vulnérabilité côtière physique (CVIphy)				
	Très Faible	Faible	Modérée	élevée	Très élevée
	1	2	3	4	5
Géologie	Roches Plutoniques Volcaniques Métamorphiques Dures ou moyennes	Roches Métamorphiques Peut résistantes Grès et conglomérats	Roches Sédimentaires	Sédiments Meubles Grossiers Et/ou mal classés	Sédiments Meubles fins, Cendres volcaniques
Géomorphologie	Côtes rocheuses A Falaises, Fjords Fiards	Falaises Moyennes, cotes indentées	Petites falaises Dépôt glaciaires Marais Mangroves Récifs coralliens	Plages de galet Estuaires Lagons Plaines alluviales	Barrières Plages sableuses Vasières Deltas
Elévation de Niveau de la mer (mm/a)	< 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 - 2,0 Accrétion	-1,0 à +1,0 Stable	-1,1 à -2,0 Erosion	< -2,0 Erosion
Marnage (m)	>6,0	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 côte (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

Nous avons subdivisé le littoral de la baie d'El Djamila en 72 cellules de 500*500 m² de taille (un maillage) (Fig.III.1), chaque cellule a ses données qui lui permettent d'attribuer des scores relatifs à un niveau de vulnérabilité côtière pour chaque variable que l'on utilisera pour l'élaboration de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI).

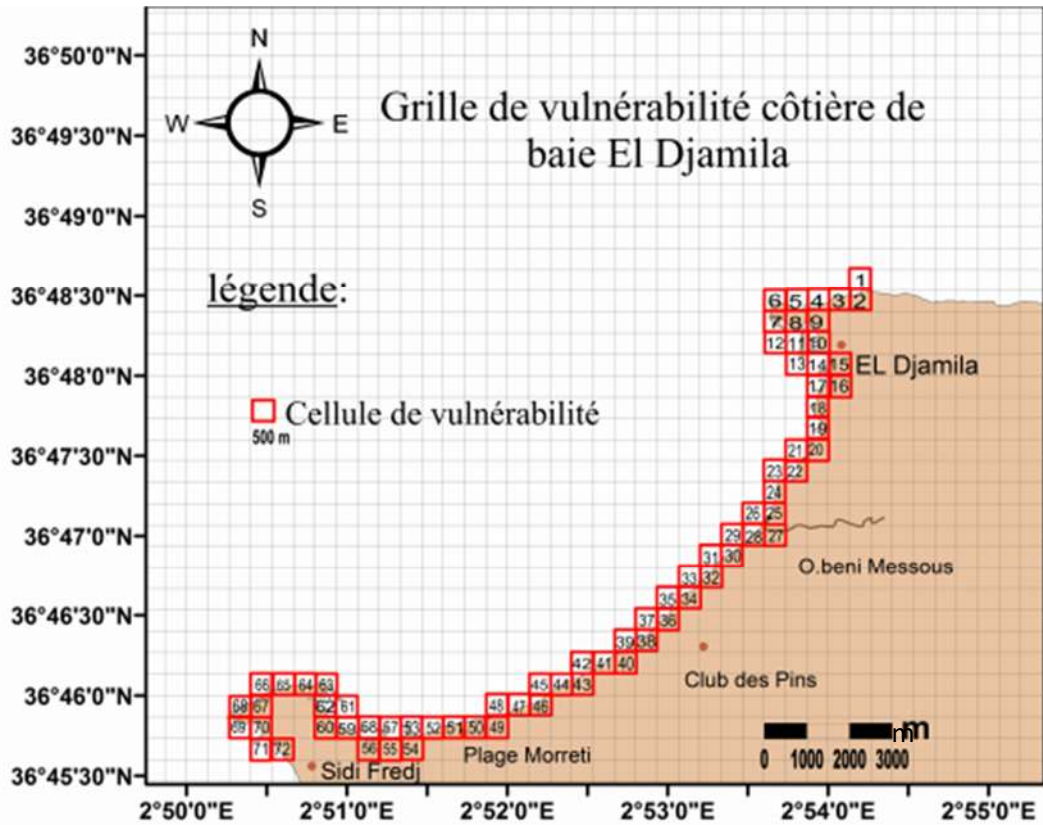


Figure III.1: La grille de vulnérabilité de la baie d’El Djamila.

III.1.1 La géologie

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, 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.

III.1.1.1 La collecte des données :

Dans notre étude, la détermination de la nature géologique de la baie d’El Djamila repose sur la carte géologique de cette dernière (Fig II.2).

Le littoral de la baie d’El Djamila est caractérisé par une importante accumulation sableuse. Un cordon dunaire de l’ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d’El Djamila, de nombreux bands rocheux affleurent au niveau de l’estran et se poursuivent

sous l'eau. Au niveau de la plage El Djamila, un platier rocheux parallèle au trait de cote se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers (BOUTIBA, 1996).

III.1.1.2 L'attribution des scores de vulnérabilité :

La détermination des scores de vulnérabilités relatives à cette variable, se fait par la superposition pour chaque cellule, lecture de la nature géologique correspondante a partir de la carte d'affection de la valeur du score à la grille (Fig.II.2).

III.1.2 La géomorphologie

Cette variable, 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, 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.

III.1.2.1 La collecte des données :

Cette variable repose essentiellement sur la description, elle peut être déterminée au moyen de n'importe quel système d'acquisition, que ce soit par photographie aériennes, par les images satellitaires, par relevés de terrain au sol...etc, Pour cette étude, notre choix s'est porté sur les images satellitaires à haute résolution fournies par « *Google Earth Pro* ».

III.1.2.2 L'attribution des scores de vulnérabilité :

Chaque cellule répond à un niveau de vulnérabilité selon sa géomorphologie locale, pour ce faire un score de vulnérabilité a été attribué selon (THIELER, (1999) ; HAMMAR-KLOSE, (2000a et 2000b)) (Tab II.1).

III.1.3 la pente

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 ; parceque les zones ayant une faible pente côtière ont tendance à reculer plus rapidement que les zones qui ont une pente raide. (SHAJI,2014).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

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.

III.1.3.1 La collecte des données :

Nous avons dessiné un trajet tous le long de la cote de notre zone d'étude à l'aide de logiciel Google Earth pro, qui a nous permit d'obtenir l'élévation et la pente de chaque point de ce trajet. Nous avons suivi le mode opératoire suivant :

- Traçage d'un trajet tous le long de la baie
- Choix d'un trajet dans le panneau "Lieux", nous pouvons afficher de profil d'élévation de deux manières :
 - Sélectionner **Modifier >Afficher le profil d'élévation**
 - Cliquer avec le bouton droit de la souris sur notre trajet dans le panneau "Lieux" et sélectionner **Afficher le profil d'élévation**.
- Un profil d'élévation apparaît dans la partie inférieure de la visionneuse 3D (Fig.III.2).

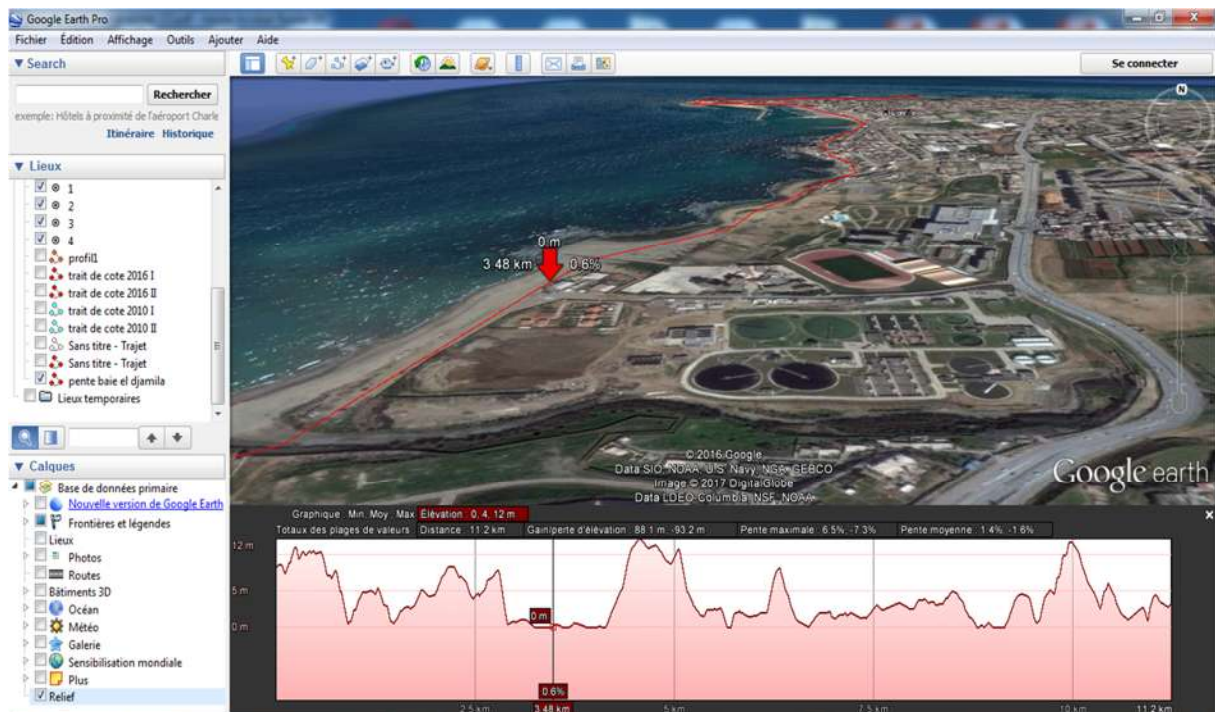


Figure III.2 : Illustration du profil d'élévation et de la pente de *Google Earth pro*.

L'axe Y du graphique représente l'élévation et l'axe X représente la distance par rapport au point de départ de notre trajet, concernant la pente elle est représentée en pourcentage (%).

Lorsqu'on déplace le curseur dans le profil d'élévation, la flèche se déplace le long du trajet et affiche à gauche de cette dernière la distance en (km), en haut l'élévation en (m) et à droite la pente en (%).

III.1.4 L'élévation 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, 2014) Cette variable fera un bon indice du recul du trait de côte à long terme. Combinée avec la pente côtière elle pourra nous donner des scénarios sur la position du trait de côte dans le futur.

III.1.4.1 La collecte des données :

Dans le présent travail, les données récoltées proviennent du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) ; qui présente un bilan des changements climatiques ainsi que leurs effets comme l'élévation du niveau des mers. Selon le GIEC (2013), la vitesse moyenne d'élévation du niveau des mers a été de 2,0 (1,7 à 2,3) mm/an entre 1971 et 2010, et de 3,2 (2,8 à 3,6) mm/an entre 1993 et 2010 (Fig.III.3).

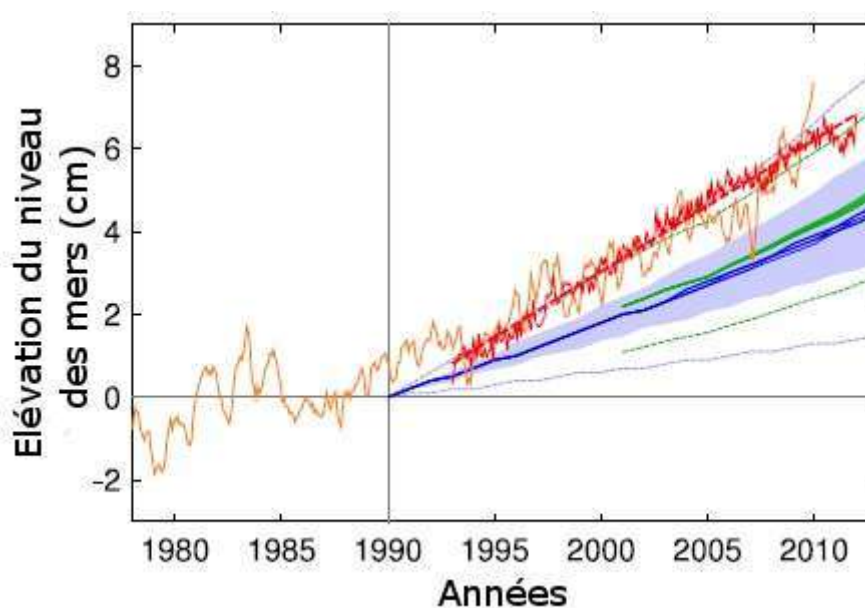


Figure III.3: Elévation moyenne du niveau des mers entre 1980-2010 (GIEC, 2013).

La courbe rouge caractérise l'augmentation mesurée par satellite du niveau des mers (en cm en fonction du temps en années). Elle est comparée aux données récoltées par des marégraphes (en orange). Les traits bleus et verts correspondent aux projections établies par le GIEC, respectivement dans ses 3^e et 4^e rapports, sur la base de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Les océans montent bien plus vite que prévu.

III.1.5 L'évolution 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 (X HARDE, 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 aux côtes rocheuses, tandis que les côtes caractérisées par un taux de recul inférieur à -1 m/an (en érosion) sont considérées ici comme très vulnérables.

III.1.5.1 La collecte des données :

Afin de suivre l'évolution du trait de côte de la baie d'El Djamila, trois images satellitaires ont été téléchargées de « *Google Earth Pro* » la première du 15 Octobre 2011, la deuxième du 15 Octobre 2015 et la troisième du 15 Octobre 2016.

Dans cette étude, nous étions limité par l'historique du *Google Earth* sur la région, les images sélectionnées ont été prises dans la même période et dans les mêmes conditions météorologiques (en beau temps).

III.1.5.2. Procédure:

Afin d'étudier l'évolution du trait de côte, à l'aide de l'extension DSAS du logiciel « ArcGis 10.5 » qui va nous permettre d'avoir une analyse détaillée sur la variation de la ligne de rivage à partir d'un support statistique qui est spécialisé dans l'étude de l'évolution de la ligne de rivage. Nous avons rajouté des transects (au nombre de 35 pour la plage de Sidi-Fredj (Fig.16), 52 à Club des pins Ouest, 35 aux Club des pins Est avec 40 m d'équidistance, et 17 transects au niveau du port d'El Djamila avec 40 m d'équidistance) perpendiculaires par rapport à la ligne de référence, qui est parallèle au tracé du 2016 (Voir l'annexe).

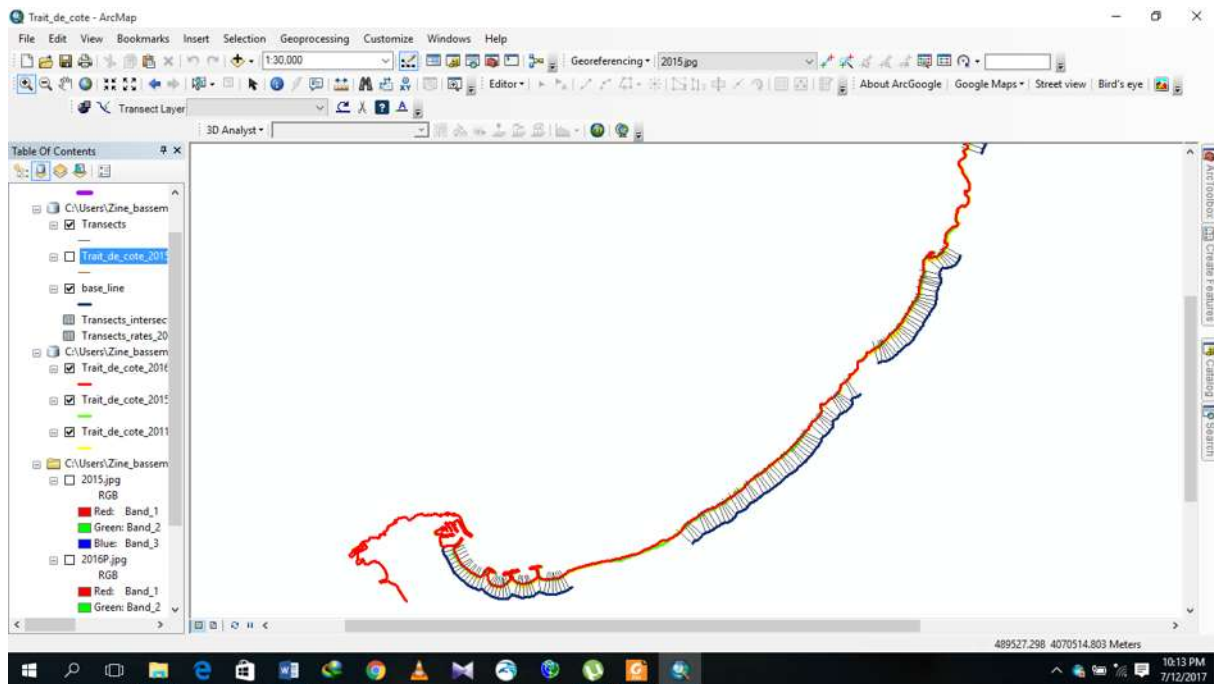


Figure III.4: L'évolution de trait de côte à l'aide de logiciel Arcgis 10,2 et DSAS 4,3.

III.1.6 Le 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, 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 au même endroit, ce qui fragilise la côte. La marée en méditerranée est très faible, ça signifie que le score de vulnérabilité est de (5) très élevée.

III.1.7 La hauteur moyenne des vagues au voisinage de la côte

Ce paramètre est directement lié à l'énergie des vagues et constitue donc une bonne indication de leur potentiel d'érosion (XHARDE, 2007).

III.1.7.1. La collecte des données :

Afin de connaître la hauteur des vagues au voisinage de la côte, il faut tout d'abord connaître les caractéristiques de la houle au large. Les changements des caractéristiques de la houle, du large

Chapitre III : Matériels et Méthodes

jusqu'à la côte, peuvent être calculés par plusieurs approches de modélisation. Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction) .

III.1.7.2 Données de base

III.1.7.2.1 Bathymétrie :

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3030 intitulée « carte septentrionale d'Afrique partie comprise entre Alger et Cherchell-échelle : 1/100720 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de juillet 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage du Club des Pins.

III.1.7.2.2 données de houles au large :

Les données du Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) consistent en des observations de navire sur la période allant de 1963 à 1970. Un traitement statistique de ces données fait par le LEM a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période (Tab.III.2).

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes ($>10S$), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles.

Tableau III.2: Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude :

Période	Direction de la houle au large			
	N 270°	N 315°	N 360°	N 45°
6s	Hs =1,19m	Hs =1,10m	Hs =1,00m	Hs =1,09m
8s	Hs =2,67m	Hs =2,64m	Hs =2,67m	Hs =2,56m
10s	Hs =5,54m	Hs =4,53m	Hs =4,92m	Hs =5,05m

III.1.7.2.2.1. Choix du secteur angulaire :

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposé d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude :

Chapitre III : Matériels et Méthodes

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N) ;
- Deux directions de houle à incidence oblique (270°N , 360°N) ;
- La direction de (45°N) qui est plus au moins énergétique peut atteindre notre zone d'étude par réfraction même si notre zone est abritée par le Ras Acrata.

III.1.7.3. Etapes de modélisation sur SWAN :

Afin de obtenir des cartes de réfraction de la houle comme celle issue du LEM, deux logiciel sont couplés il s'agit du logiciel des SIG *surfer v.13* comme surface de saisie de données et d'acquisition de résultats, ainsi que le Logiciel SWAN comme calculateur .L'étude de la propagation de la houle sur un site réel comporte trois phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous (Fig.III.5):

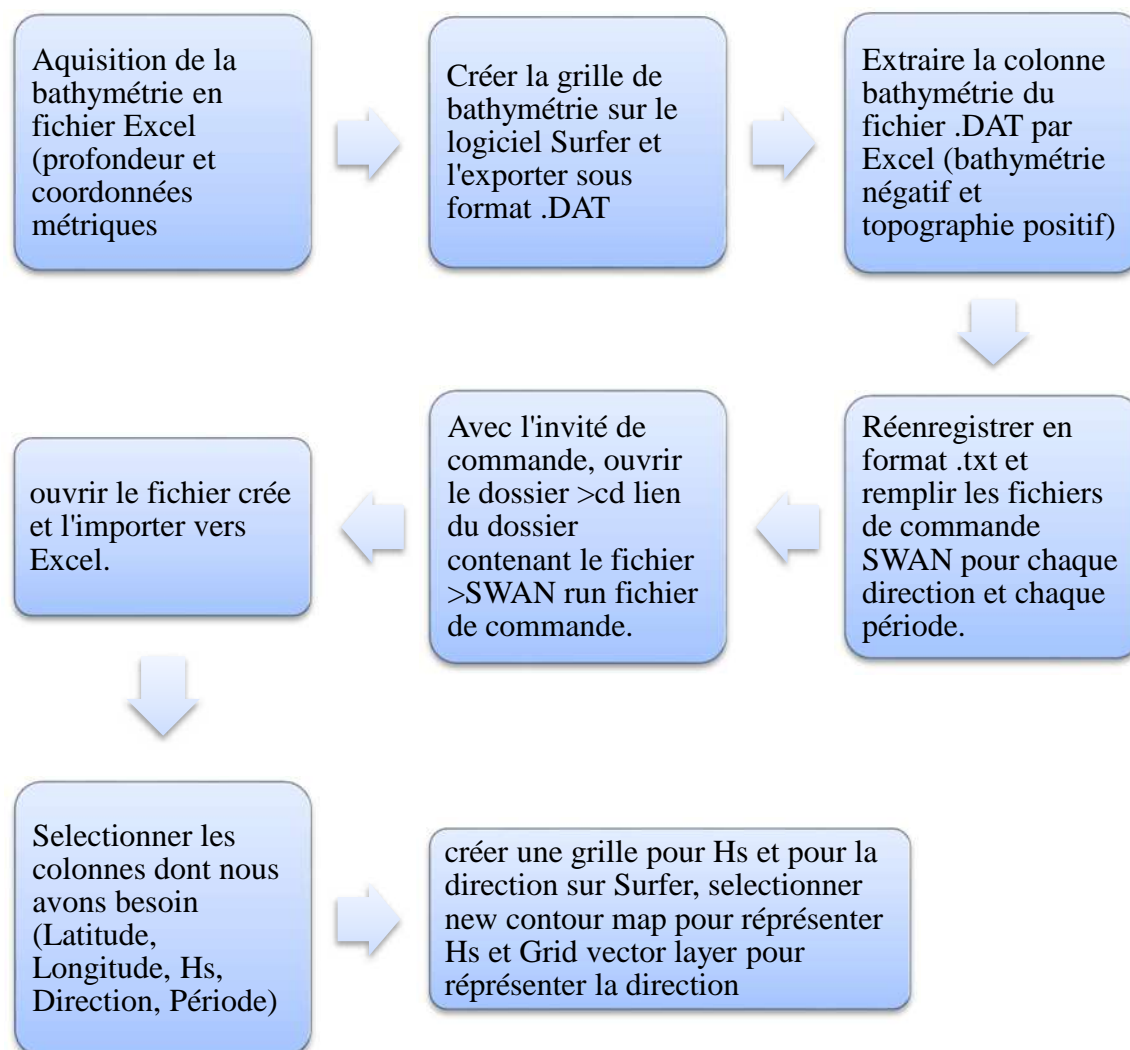


Figure III.5 : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.

III.1.8. Calcul de l'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'CVI_{phy}, voir les annexes).

$$CVI_{phy} = \sqrt{((a * b * c * d * e * f * g)/7)} \quad (\text{Eq.2})$$

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.

III.1.8.1. Détermination des classes de vulnérabilité :

Les valeurs de CVI_{phy} au niveau de la baie d'El Djamila, varient entre 5,97 et 22,67, avec une valeur moyenne de 14,35 et une valeur médiane de 16,03.

En utilisant la méthode des lignes quartiles (25%, 50%, 75%, 100%) et par un contrôle visuel des données, les résultats de CVI sont divisés en quatre catégories (Fig.III.6).

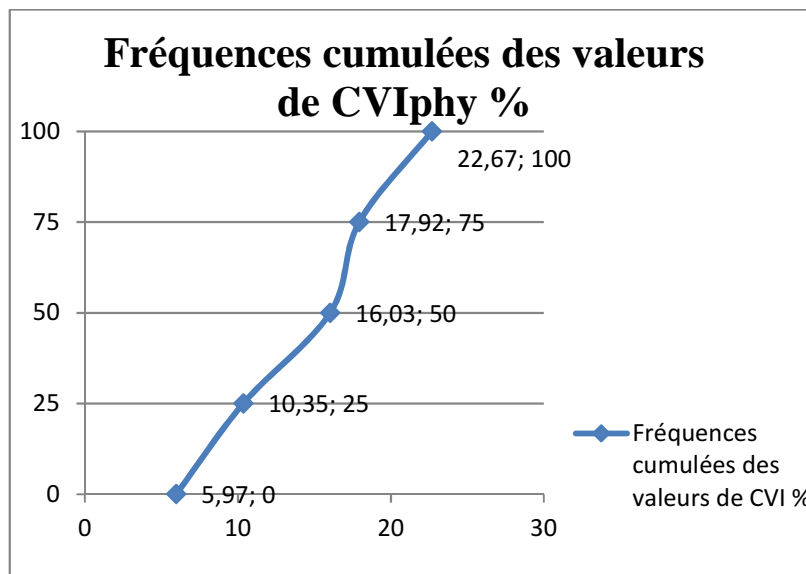


Figure III.6: Courbe des fréquences cumulées de CVIphy.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Si la valeur de CVI dans un segment du littoral de baie EL Djamila est inférieure à 10,35 la vulnérabilité est faible et modérée entre 10,35 et 16,03 et dans la gamme de 16,03 et 17,92 la vulnérabilité est élevée et très élevée entre 17,92 et 22,67. (Tab.III.3)

Tableau III.3: Classes de vulnérabilité selon les valeurs de CVI_{phy}

Classe de vulnérabilité	faible	modérée	élevée	très élevée
Intervalle	[0-10,35[[10,35-16,03[[16,03-17,92[[17,92-22,67[

III.2. L'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVI socio-économique) :

Les variables de cet indice selon (MCLAUGHLIN *et al.*, 2002) sont utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité socioéconomique du littoral de la baie D'El Djamila portant sur plusieurs indicateurs potentiels des valeurs socio-économiques de la zone côtière, Selon ces auteurs, ces variables sont choisies pour leurs facilités d'obtention de la donnée et d'autre qui sont jugées pour être des composantes essentielles des zones côtières.

Les variables socioéconomiques sélectionnées selon (MCLAUGHLIN *et al.*, 2010), sont résumées dans le (Tab.III.4), Ces variables sont choisies car l'érosion côtière pose un risque, dont les conséquences principales ont des effets sur l'environnement humain. Beaucoup d'éléments de cet environnement ont une valeur monétaire liée au coût de remplacement tandis que d'autres (des monuments par exemple archéologiques ou des sites culturellement significatifs) sont irremplaçables et donc plus difficiles à quantifier.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau III.4: Classes des caractéristiques socio-économiques utilisées pour le calcul de l'indice de vulnérabilité selon une échelle régionale. (MCLAUGHLIN *et al.*, 2010).

Variables	Score de l'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVIse)				
	Très Faible	Faible	Modérée	élevée	Très élevée
	1	2	3	4	5
Population	0 à < 5	5 à < 20	20 à < 50	50 à < 100	100 à > 200
Patrimoine culturel	Absent	---	---	---	Présent
Routes	Absent	---	---	---	Autoroutes Routes a deux chaussés
Voix ferrés	Absent	---	---	---	Présent
Occupation du Sol	-Roches dénudées -Végétation clairsemée -Marais, marécage et lande -Plan d'eau	-Zone côtière -Prairies	Foret	Agriculture	-Urbain et Industriel -Infrastructure
Désignation de conservation	Absent	---	International	---	National

III.2.1. Méthodologie de travail :

Le traitement est fait par une méthode visuelle, à l'aide d'une image satellitaire (2016) téléchargée à partir de Google earth pro (photo-interprétation) dont la résolution spatiale permet la distinction entre les différentes composantes du territoire à l'œil nu (Fig.III.7). Notre étude est faite selon une portion du territoire littoral subdivisée en cellules. Afin de faciliter l'attribution des scores, nous examinerons chaque cellule selon la présence ou l'absence de la donnée et ce, en utilisant la méthode de (MCLAUGHLIN et COOPER, 2010) suivant une échelle locale. Un score est alors attribué pour chaque cellule de la grille de vulnérabilité. La méthodologie a été suivie pour l'affectation des scores relatifs aux variables suivant :



Figure III.7: Image satellitaire de la baie d’El Djamila (Google earth pro 2016).

III.2.1.1. La population :

MCLAUGHLIN et COOPER (2010) considèrent que la variable de “population” est un élément essentiel qui doit être inclus dans un indice de vulnérabilité.

Cette variable n’est pas très commune dans les indices de vulnérabilité publiés, en raison des problèmes qui se posent dans l’utilisation de la population où les données sur les habitants sont liées à la taille de l’unité utilisée (village, petite ville, agglomération urbaine) et à la densité de population qui peut varier avec le temps. Des erreurs potentielles peuvent alors se produire dans les calculs statistiques. (NIAZI, 2007). D’après (MCLAUGHLIN *et al.*, 2002), la variable de la population caractérise les habitants et les agglomérations, et est classée sur une base de 1 à 5, avec l’hypothèse que le plus grand nombre de personnes qui serait affecté par l’érosion et/ou l’inondation, présente une vulnérabilité élevée.

Dans notre cas, le littoral de la baie d’El Djamila est composé de 3 communes : la commune de Staouali, Cheraga et Ainbenian. Ces dernières ont une densité de 1000 à 5000 habitant/km², considérée faible par rapport à celle des communes d’Alger Centre qui ont une densité de 5000 à 20000 habitant/km² (Fig.III.8). Un score est attribué pour chaque cellule de la grille de vulnérabilité ; (5) pour présence de la population et (1) pour l’absence.

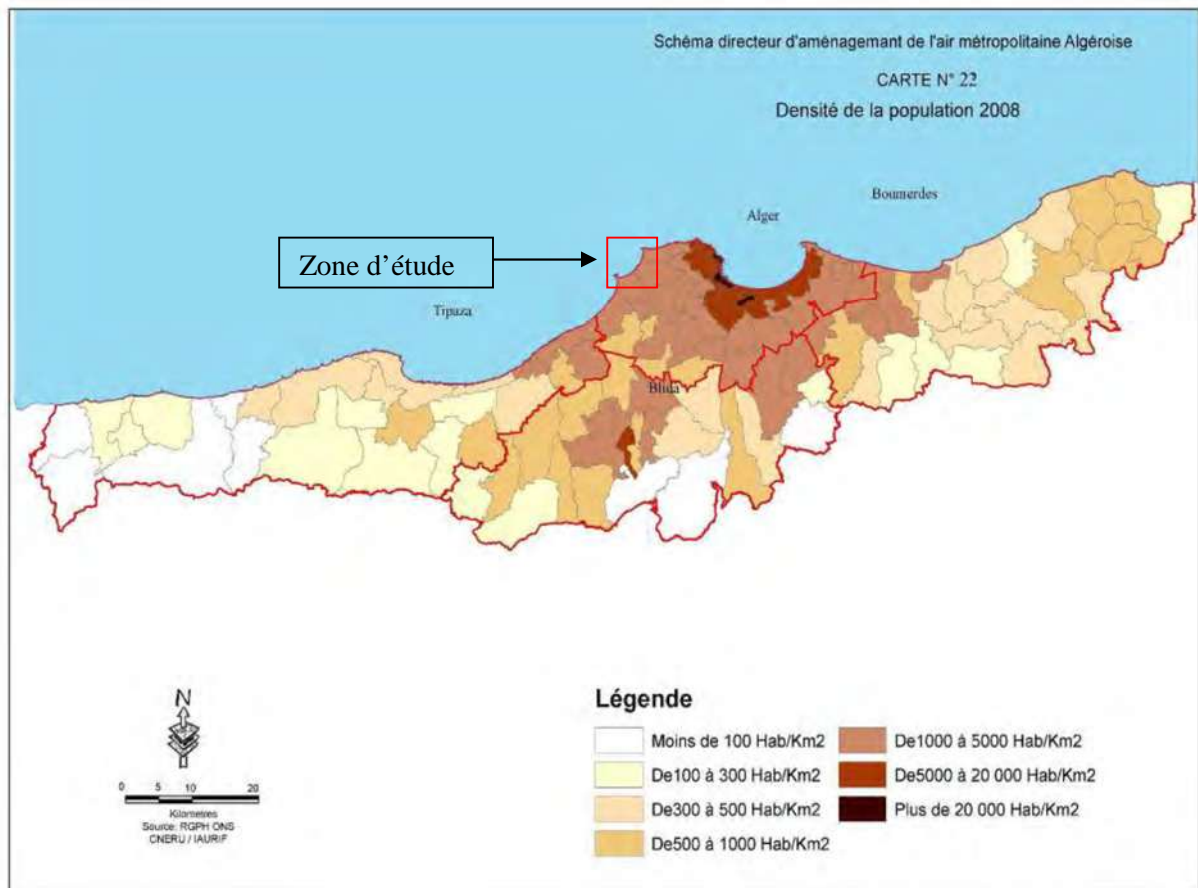


Figure III.8 : Densités de population des communes de l'aire métropolitaine d'Alger .

III.2.1.2. Le patrimoine culturel :

Les monuments historiques et les sites archéologiques sont inclus dans cette variable, ces derniers ne sont pas importants en terme économique mais considérés précieux à cause de ce qu'il porte comme valeur sociale et culturelle. Ils font partie des ressources culturelles et sont irremplaçables (NIAZI, 2007).

NIAZI (2007) a noté que bien que l'érosion côtière dans quelques régions soit inévitable en raison de l'élévation du niveau de la mer, la protection est nécessaire pour certains sites "à cause de la valeur d'investissement, celle historique de l'héritage culturel, ou à cause du manque d'alternatives". Cela fait ressortir l'importance de la vulnérabilité du patrimoine culturel dans la zone côtière. Bien qu'un site puisse être mieux conservé qu'un autre, cela ne veut pas dire qu'il est plus important. Vu la difficulté de donner une valeur à une ressource de l'héritage culturel, les sites sont alors classés

soit dans la plus haute catégorie (5), ou bien pour une région sans site archéologique (1). (NIAZI, 2007).

III.2.1.3. Routes et voies ferrées :

Les routes et les voies ferrées sont les éléments de l'environnement les plus simples à incorporer dans un indice. Ils occupent un espace défini, ont de largeurs définies et les coûts de protection, en les remplaçant ou les déplaçant sont relativement simples à évaluer. (NIAZI, 2007). A une échelle régionale, (MCLAUGHLIN et COOPER, 2010), considère que la présence des routes (en incluant toutes les classes de route, y compris les routes secondaires) ou une voie ferrée rend le littoral très vulnérable, et leur absence rend le littoral à très faible vulnérabilité.

III.2.1.4. L'occupation du sol :

La protection d'une région jugée vulnérable sera prise en considération seulement si la région est suffisamment « importante » en termes économique, culturel ou environnemental, pour justifier sa protection. Par conséquent le type d'occupation du sol est significatif dans la détermination de la vulnérabilité. (NIAZI, 2007).

MCLAUGHLIN *et al.*, (2002) suggèrent que le classement économique soit basé sur une estimation subjective de l'utilisation des terres qui peuvent être plus ou moins précieuses (ou utiles) que d'autres. Ce classement (Tab.III.4) ne prend pas en considération la valeur potentielle de la terre, par exemple un champ utilisé actuellement pour l'agriculture peut être potentiellement beaucoup plus précieux comme site pour un futur développement urbain. Dans cette étude, les valeurs se baseront sur le statut économique des futurs projets prévus dans ce littoral.

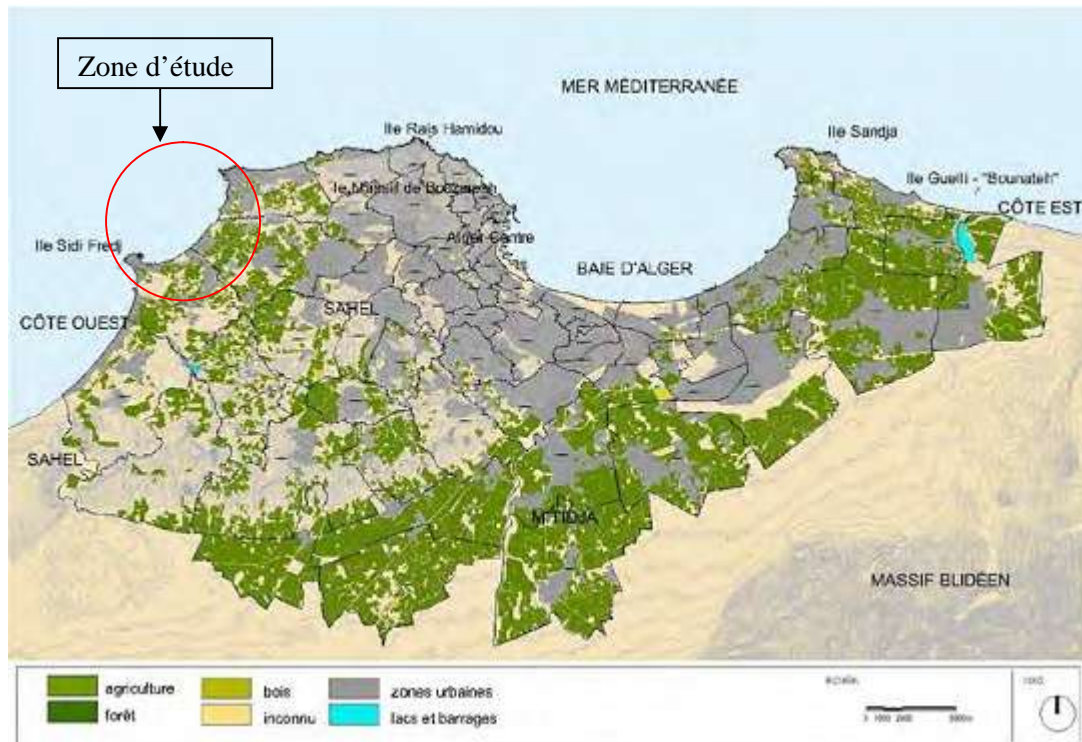


Figure III.9: Occupation de sol simplifiée de la wilaya d'Alger .

Nous remarquons une concentration de l'urbanisation dans la partie côtière particulièrement dans la partie nord Est de la zone d'étude (Fig.III.9). On enregistre au niveau de la baie d'EL Djamila que l'urbanisme diminue jusqu'à l'arrivée du oued Beni Messous. Le baie EL Djamila est aussi caractérisé par un couvert végétal important observées par l'imagerie satellitaire à partir du Google Earth qu'on a utilisé pour confirmer les données que fourni la carte de l'occupation du sol (2012).

III.2.2. La désignation de conservation :

Il s'agit des aires délimitées, protégées et gérées en fonction d'objectifs de conservation. La désignation identifie une région d'importance internationale ou nationale, où les efforts de conservation et de développement durable sont déployés (NIAZI, 2007). La classification de ces aires désignées est représentée sur le tableau suivant (Tab.III.5) :

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau III.5: Classes pour les désignations de la conservation utilisées dans l'indice de vulnérabilité socio-économique.

Désignation conservation	Internationale	National
	-Programme de l'homme et de la Biosphère (MAB) -Protection d'une zone spéciale -Conservation d'une zone spéciale -Site à patrimoine mondial	-Région d'intérêt scientifique -Patrimoine national géologique -Parc national -Région sensible écologiquement
Classe	3	5

A partir de cette donnée, il est préférable de considérer la zone étant vulnérable de degrés très élevé, à cause de la richesse culturelle, écologique et économique que porte cette zone pour être mieux conservée.

III.2.3. Le Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière Socio-économique (CVI_{se}) :

les valeurs obtenues sont additionnées ensemble. Le classement de l'indice de la vulnérabilité socioéconomique noté (CVI_{se}) est minimal pour une valeur de 6 et maximal pour une valeur de 30 (Tab.III.6).

La formule suivante montre comment calcul-t-on l'indice de vulnérabilité côtière socioéconomique pour chaque cellule :

$$CVI_{se} = (a + b + c + d + e + f) \quad (\text{Eq.3})$$

Avec: **a:** Population, **b:** Patrimoine culturel, **c:** Route, **d:** Voie ferrée, **e:** Occupation du sol et **f:** Désignation de conservation.

Tableau III.6: Les différentes classes de la vulnérabilité côtière socio-économique.

CVI _{se}	[6 – 12 [[12 – 18 [[18 – 24 [[24 – 30 [
Classe de vulnérabilité	Faible (1)	Modérée (2)	Elevée (3)	très élevée (4)

CHAPITRE IV
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

Introduction :

Après la collecte et le traitement des données en utilisant la méthode des indices de vulnérabilité, nous présentons, dans ce chapitre, les résultats suivants :

IV.1. L'indice de vulnérabilité côtière physique (CVI physique)

IV.1.1. La Géologie :

L'exploitation de la carte géologique couvrant la baie d'El Djamila, nous a permis de constater l'existence de deux ensembles géologiques:

- Un ensemble sédimentaire situé entre les deux caps (Ras Acrata et Sidi Fredj) qui se compose essentiellement de formation dunaire consolidée et de grés.
- Un ensemble métamorphique au niveau de Sidi Fredj et à Ras Acrata composé de roche métamorphique, schiste et mécaschiste.

Cependant, la vulnérabilité (Fig.IV.1) de la côte de la baie d'El Djamila relative à sa géologie locale semble ne pas présenter de grandes variations :

- Faible au niveau des deux caps ;
- Modérée entre les deux caps (à partir une partie de la plage est de Sidi Fredj jusqu'à la Madrague).

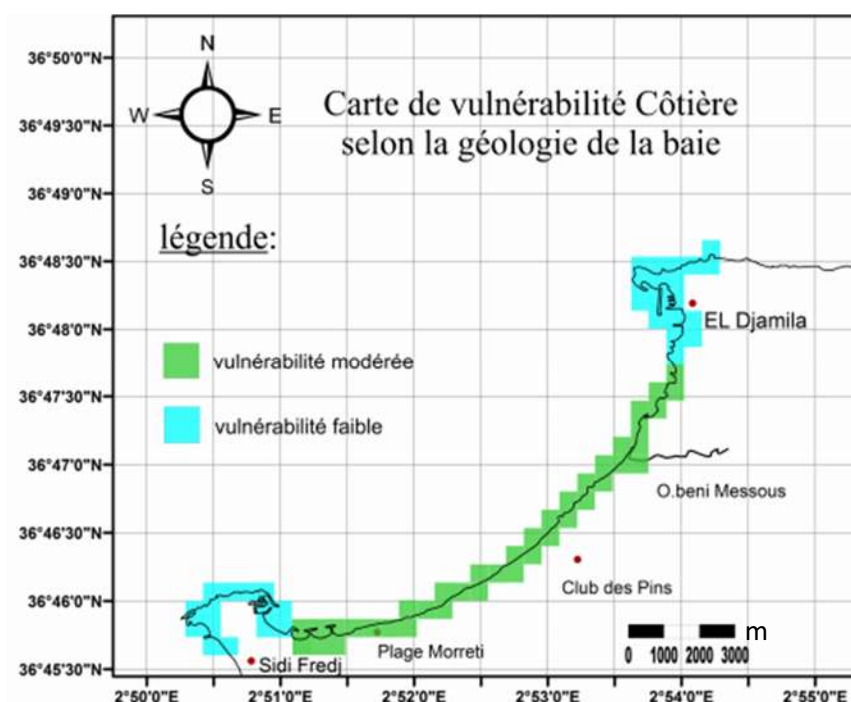


Figure IV.1: Vulnérabilité côtière selon la géologie de la côte de la baie d'El Djamila.

IV.1.2. La géomorphologie :

Nous remarquons, le long de la baie d'El Djamila, une prédominance du faciès sédimentaire meuble (sable fin) parce que la plupart du littoral dans cette région est une collection de côtes sableuses (exemple celles de Morretti, club des pins et la plage est de sidi Fredj). Nous avons distingué aussi parfois des plages à galets (exemple la plage ouest de sidi Fredj) et des petites falaises au niveau des caps.

La vulnérabilité de la côte de baie El Djamila selon sa géomorphologie (Fig.IV.2) paraît :

- Elevée et très élevée au niveau des plages en relation avec leur granulométrie et leur tendance à l'érosion (plage à galet et plage sableuse);
- Modérée (petites falaises).

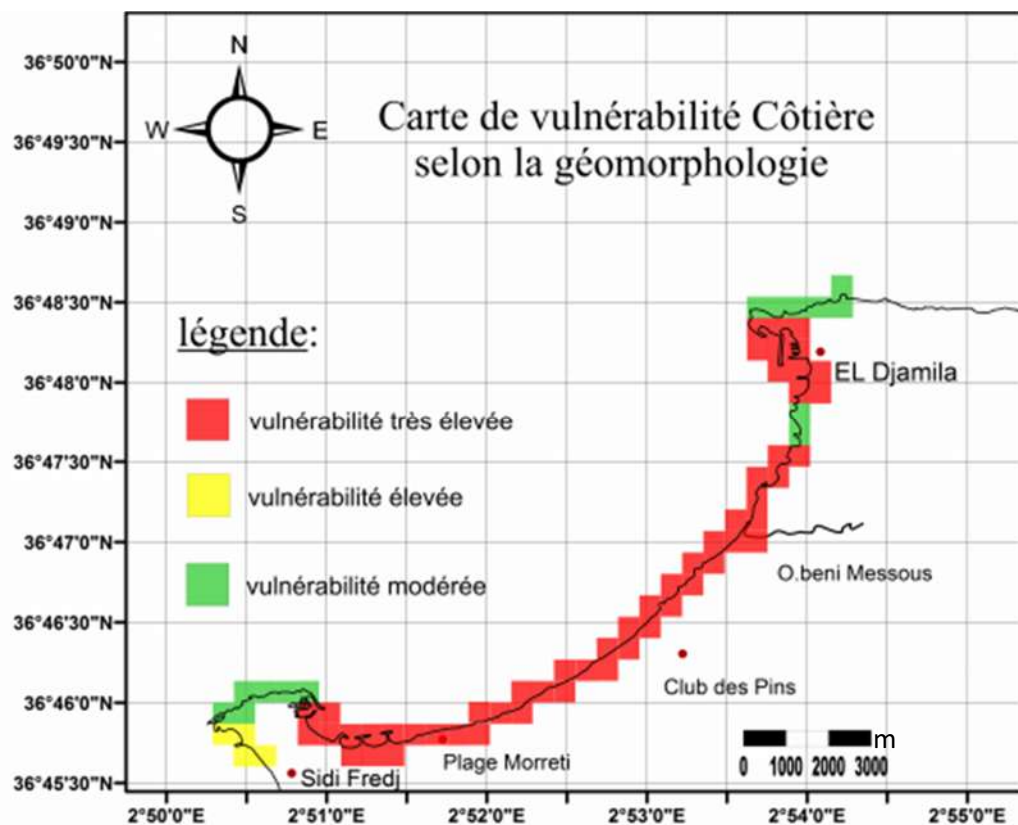


Figure IV.2: Vulnérabilité côtière selon la géomorphologie de la côte.

IV.1.3. La pente côtière :

Le littoral de la baie d'El Djamila d'après la carte de vulnérabilité selon la pente côtière (Fig.IV.3) montre des valeurs faibles de la pente entre [6-3] % (au niveau des caps) et inférieur à 3 % (au niveau de plage est de sidi Fredj, Morreti et club des pins).

Les valeurs faibles de pentes, liée probablement à la géomorphologie de la côte, qui est marquée par les petites falaises et les plages.

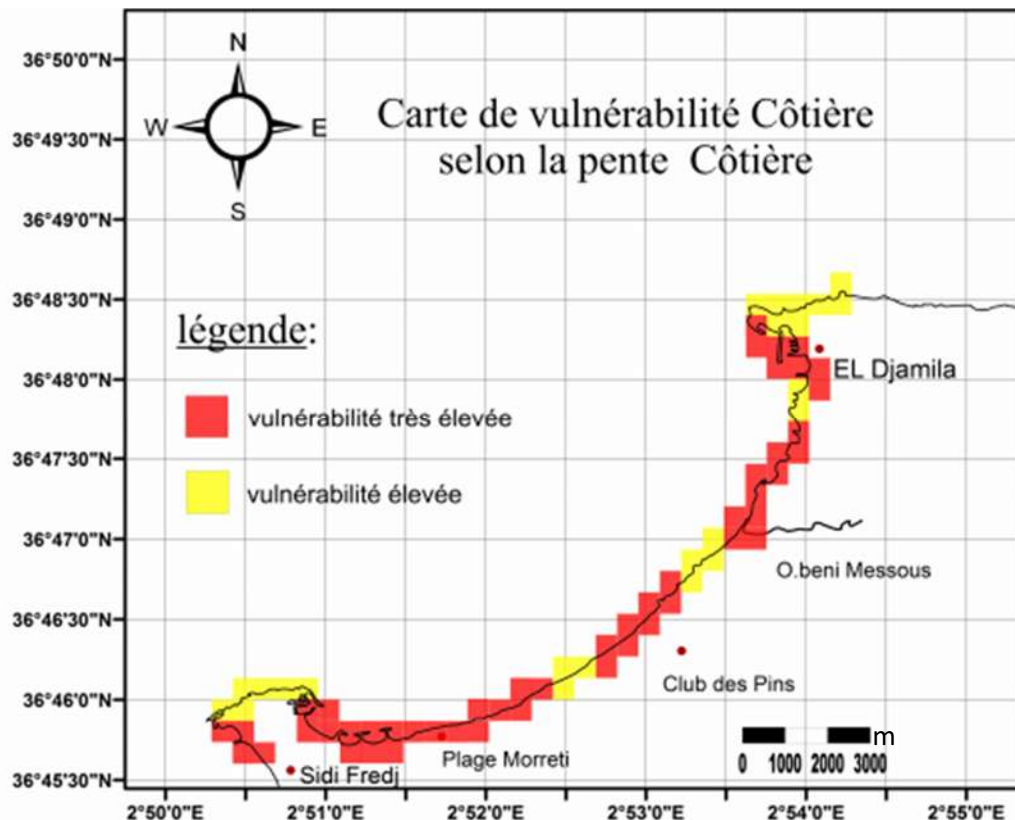


Figure IV.3: Vulnérabilité côtière selon la pente côtière de la baie d'El Djamila.

Nous pouvons conclure que notre zone d'étude à une vulnérabilité très élevée car elle est constituée principalement de plages où on note une dominance des pentes très faibles (< 3%), sauf au niveau des caps et quelques points sur la baie où on trouve une faible vulnérabilité car les pentes ont des valeurs un peu supérieures à celles qui sont au niveau des plages (entre [6-3] %).

IV.1.4. L'élévation du niveau de la mer :

Comme le littoral algérien y compris celui de la baie d'El Djamila 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 (Fig.IV.4).

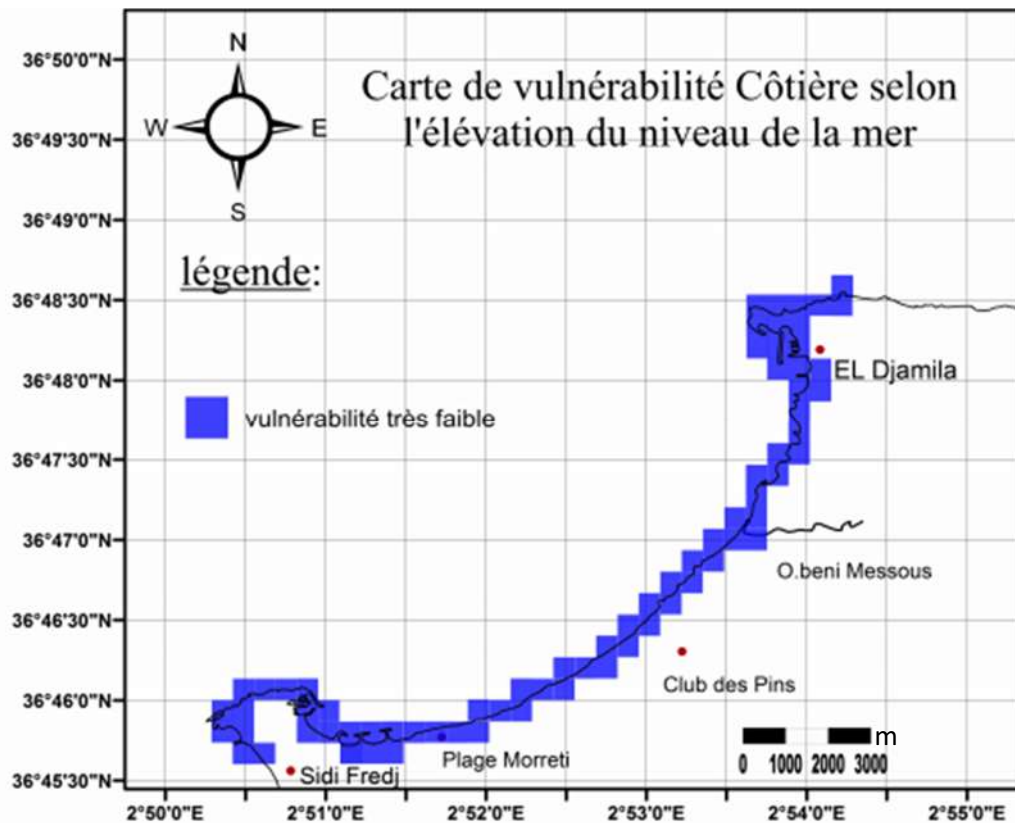


Figure IV.4: Vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau de la mer.

IV.1.5. L'évolution du trait de côte :

Le trait de côte entre 2011 et 2016 semble avoir subi beaucoup de changement qui diffère d'une zone à une autre. Cela est peut-être dû en partie au blocage du transit sédimentaire (implantation d'ouvrage de protection).

Nous avons enregistré un léger recul du trait de côte tout au long du littoral de la baie d'El Djamilia, ce recul ne dépasse que très rarement $-0,5$ m/an, nous pouvons constater une légère avancée de la ligne de rivage avec un taux de 0 à $+1.5$ m/an au niveau de la petite plage protégée de Sidi Fredj.

Nous remarquons une accumulation en amont et en aval entre les épis et aussi pour la petite plage qui est relativement protégée par la jetée du port et les 3 épis avec un taux qui varie entre 0 et $+1.5$ m/an.

Nous notons également, un recul élevé au niveau de la plage Morreti allant jusqu'à $-2,89$ m/an, et cela pourrait être due à l'action frontale de la houle sur la plage.

Nous avons noté aussi une accumulation au niveau de l'embouchure de l'Oued Béni-Messous, ceci est dû à l'apport sédimentaire de l'oued de Béni-Messous.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Nous remarquons aussi une accumulation au niveau de la plage d'El Djamila qui est relativement protégée par la jetée du port.

A partir de la figure 26, nous remarquons que le trait de côte est relativement stable au niveau des caps ce qui rend la vulnérabilité modérée, aussi nous observons une vulnérabilité faible à très faible dans la région de club des pins, plage est de sidi Fredj et Oued beni Messous à cause d'une accrétion moyenne vers l'importante (ouvrage de protection créations des zones fermé, piégeage des sédiments et l'alimentation sédimentaire par Oued beni Messous qui amène les matériaux). Sauf qu'à la plage de Morretti, nous distinguons une vulnérabilité élevée à cause de l'érosion provoquée par les ouvrages de protection qui sont implantés au niveau de la plage Est de Sidi Fredj, connue aussi comme une région qui reçoit un taux d'énergie importante des houles.

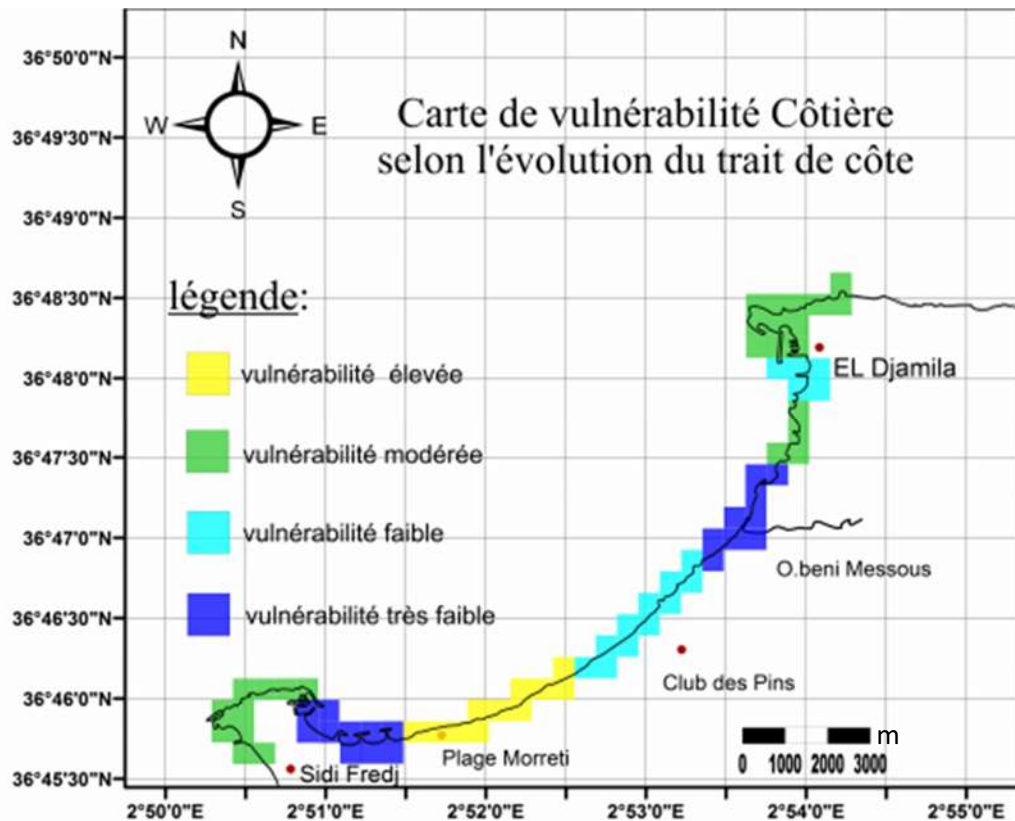


Figure IV.5: Vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte.

IV.1.6. Le marnage :

La marée sur les côtes algériennes est très faible. Elle est de l'ordre de 35cm, et donc est de type microtidale. La marée de type microtidale rend la côte de la baie d'El Djamila très vulnérable (Fig.IV.6).

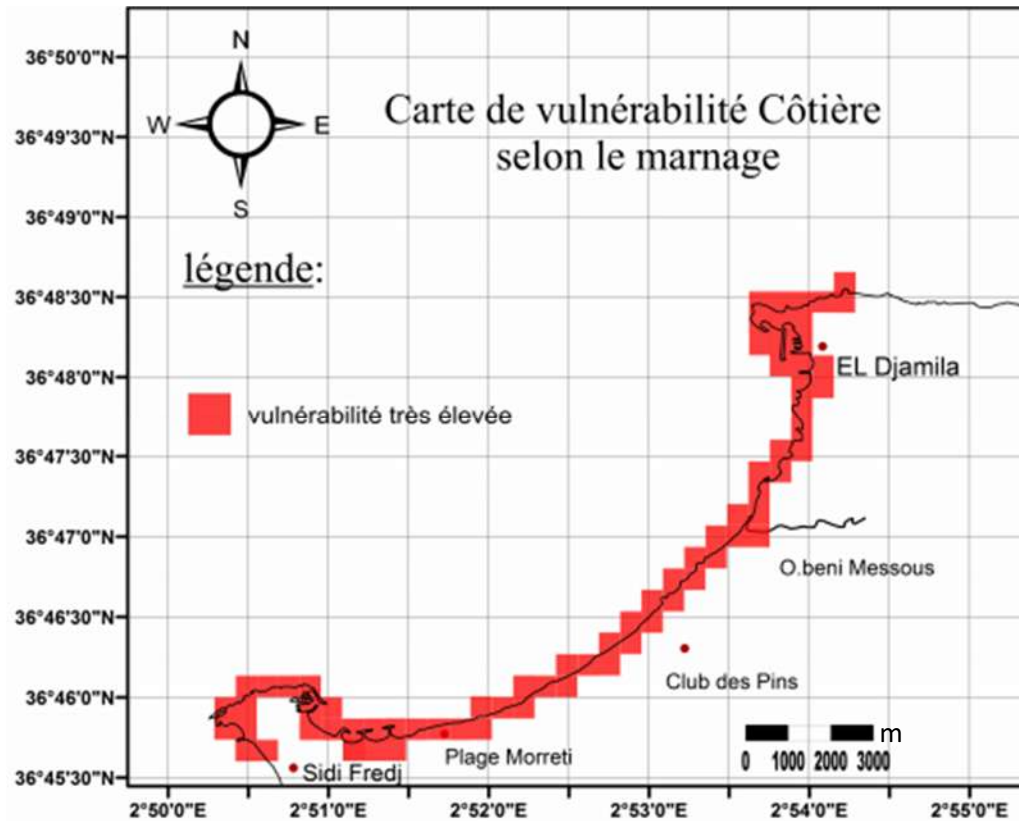


Figure IV.6: Vulnérabilité côtière selon le marnage.

IV.1.7. La hauteur des vagues :

La côte de baie d'El Djamila est orientée NE-SO, cette orientation la met face aux houles du secteur Nord-Ouest, qui sont les plus fréquemment apparues (Fig.IV.7). Pour les autres cartes de réfraction de la houle, voir Annexes.

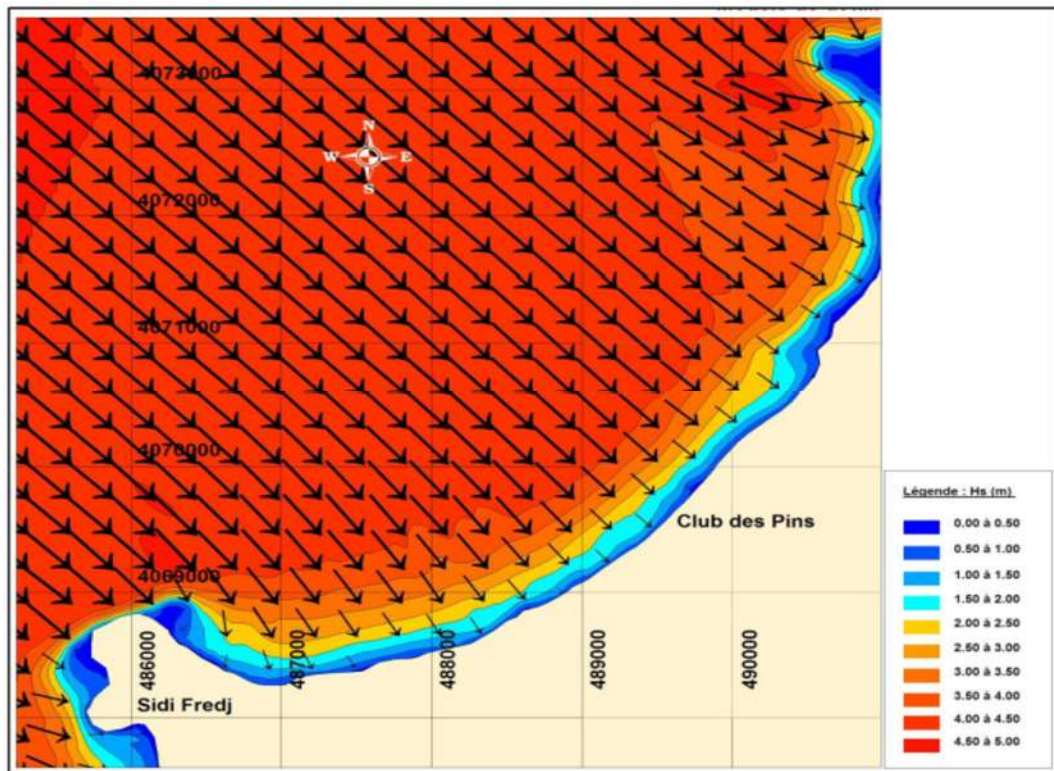


Figure IV.7 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s (LEM, 2009).

La figure 28 présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest et de période de 10 secondes effectuée par le LEM, la propagation se fait de façon frontale. Ces houles atteignent notre zone d'étude sans changer de direction avec une H_s qui peut atteindre 3m.

La vulnérabilité de la côte de la baie d'El Djamila selon la hauteur des vagues au niveau de la côte. parait:

- Très élevée au niveau des caps car ils sont exposés directement aux attaques des houles frontales
- Faible à très faible au niveau du port d'El Djamila jusqu'à Oued Beni Messous et au niveau de la plage de Morreti jusqu'au port de Sidi Fredj car ceux sont des zones abritées.

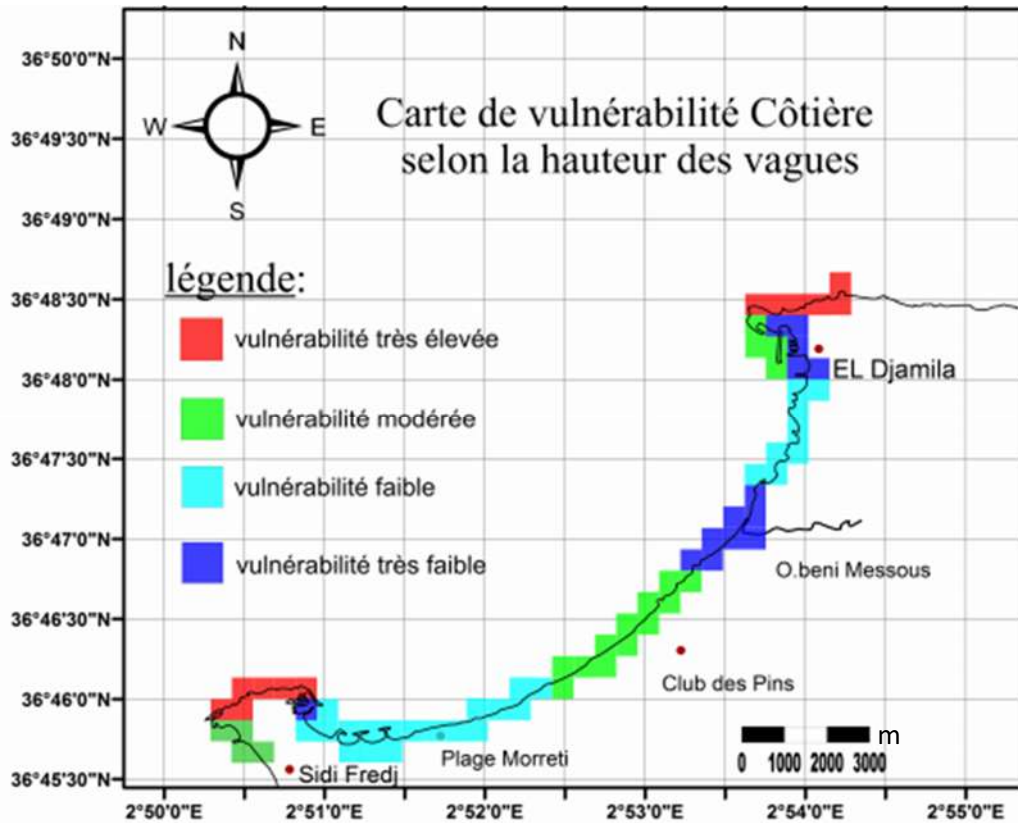


Figure IV.8 : Vulnérabilité côtière selon la hauteur des vagues au niveau de la côte.

IV.1.8. Vulnérabilité côtière physique :

La figure IV.9 montre la vulnérabilité côtière physique au niveau de la baie d'El Djamilia. Nous remarquons que cette dernière est très élevée au niveau de la plage de Morretti, club des pins et la partie extérieure du port d'El Djamilia. Cette vulnérabilité est probablement due à leur géomorphologie qui présente une tendance à l'érosion, aussi ces plages présentent de douces pentes, chose qui pourrait la rendre sensible aux submersions et au recul du trait de côte.

Au niveau des caps (sidi Fredj et Ras Acrata), nous distinguons une vulnérabilité élevée. Ceci est dû au fait qu'ils sont exposés directement aux actions érosives des houles du secteur Nord-ouest.

Nous enregistrons une vulnérabilité modérée à faible au niveau de la plage Est de Sidi Fredj, Oued beni Messous et la partie intérieure du port EL Djamilia, à cause de la présence des ouvrages de protection et les apports sédimentaires proviennent d'Oued Beni Messous.

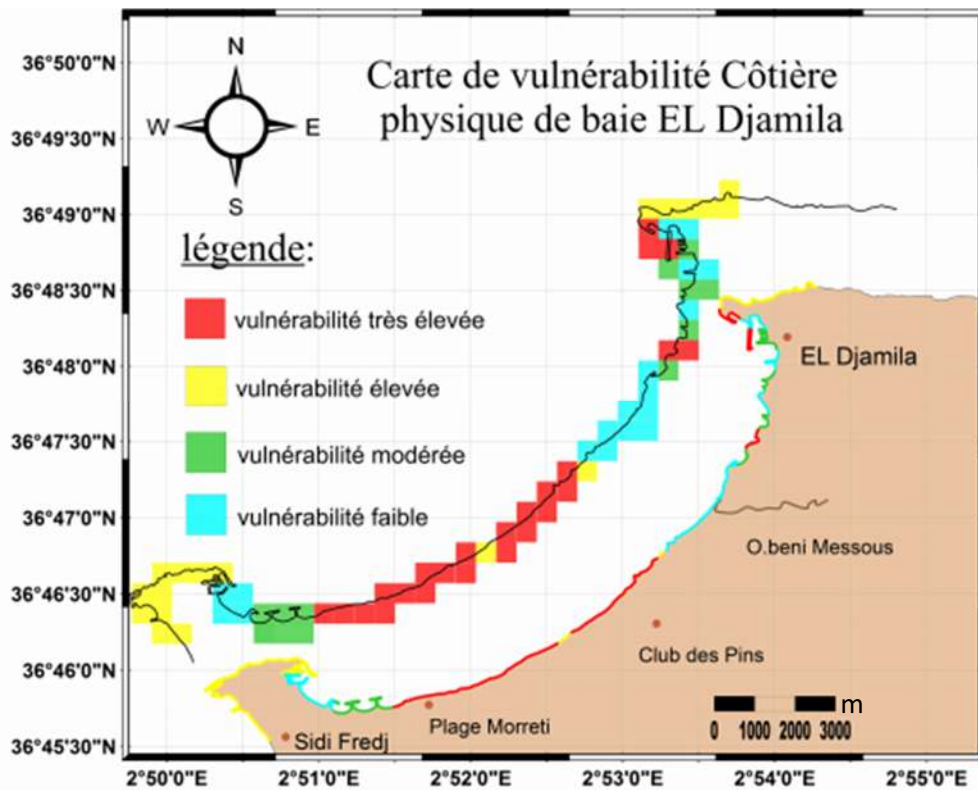


Figure IV.9 : Vulnérabilité côtière physique de la baie d'El Djamilia.

La figure IV.10 montre un graphique à barre de pourcentage du rivage pour chaque niveau de vulnérabilité. Un total de 18.25 km du littoral est classé dans la zone d'étude. Sur ce total, 33.33 % de la rive est classé comme étant à vulnérabilité très élevée, 25% est classé comme présentant une vulnérabilité élevée, 16.66% à vulnérabilité modérée et 25% à faible vulnérabilité.

La valeur moyenne de CVI est de 14.35, cette valeur fait partie de la classe à vulnérabilité modérée, et par conséquent nous pouvons dire que la zone d'étude est moyennement à vulnérabilité modérée.

Les valeurs de CVI-physique cartographiées, montrent de nombreuses zones à vulnérabilité élevée voire très élevée, et présentant ainsi 58.33% du linéaire côtier de baie EL Djamilia. Les zones de vulnérabilité élevée, sont généralement des côtes exposées aux fortes énergies des vagues et houles, à faible pente côtière, à relief bas, à faciès meuble et marquées par un taux de recul élevé.

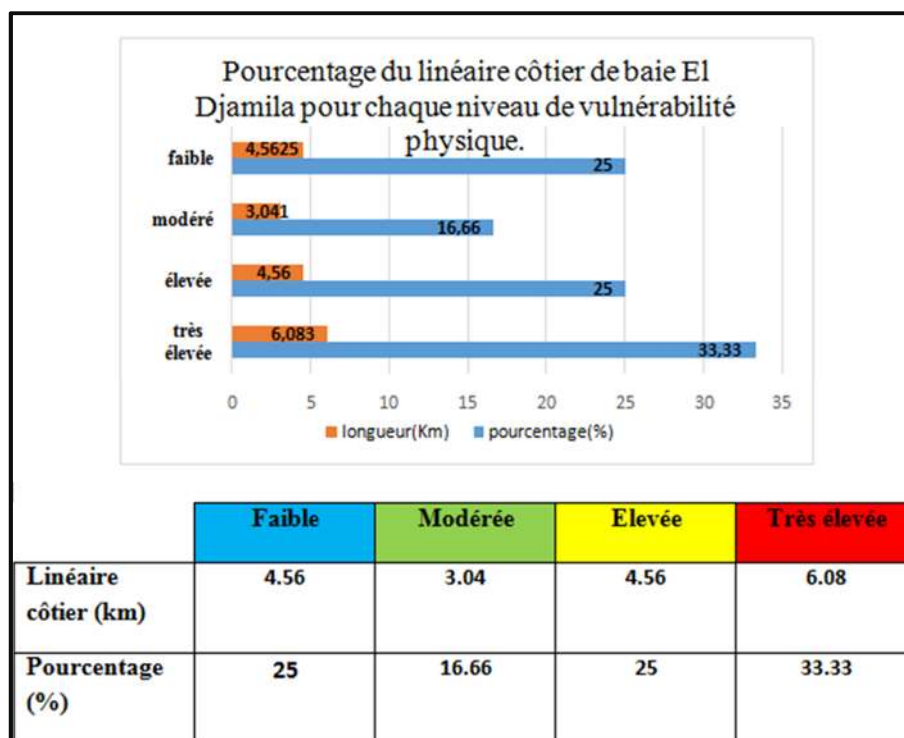


Figure IV.10 : Pourcentage du linéaire côtier de la baie d'El Djamila pour chaque niveau de vulnérabilité physique.

IV.2. L'indice de vulnérabilité côtière socio-économique (CVI socio-économique) :

IV.2.1. La population :

La vulnérabilité côtière basée sur la variable population est représentée dans la figure IV.11. La population locale de la baie d'El Djamila occupe les zones d'El Djamila (la Madrague) qui s'étalent du Cap Ras Acrata jusqu'à la pointe de l'Oued de Beni Messous et la zone de Sidi Fredj qui sont des zones accessibles et favorables à l'urbanisation.

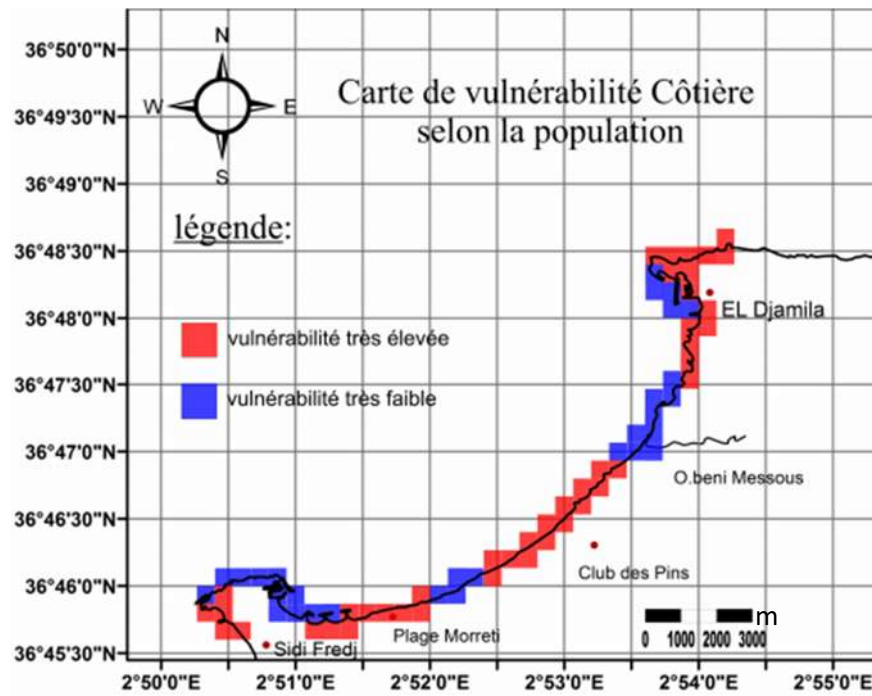


Figure IV.11 : Vulnérabilité côtière selon la population.

IV.2.2. Patrimoine culturel :

Notre zone d'étude étant une région sans sites archéologiques, la vulnérabilité liée à cette variable semble être très faible dans la baie d'El Djamilia (Fig.IV.12).

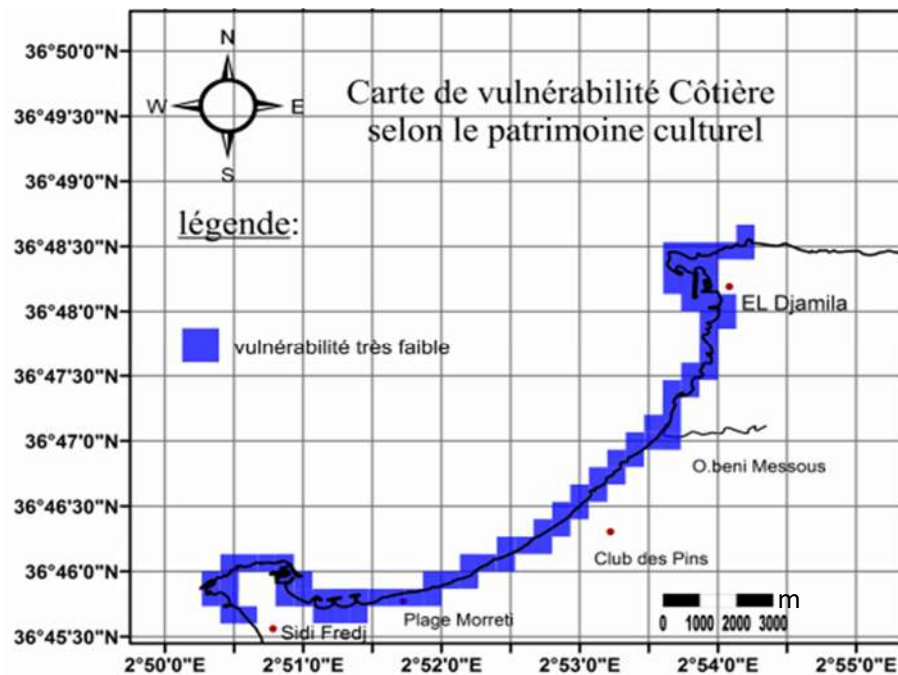


Figure IV.12 : Vulnérabilité côtière selon le patrimoine culturel.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.2.3. Les routes et les voies ferrées:

Notre zone d'étude paraît très vulnérable à cause de la présence des routes, en revanche elle est de très faible vulnérabilité dû à l'absence totale des voies ferrées (Fig.IV.13 et 14).

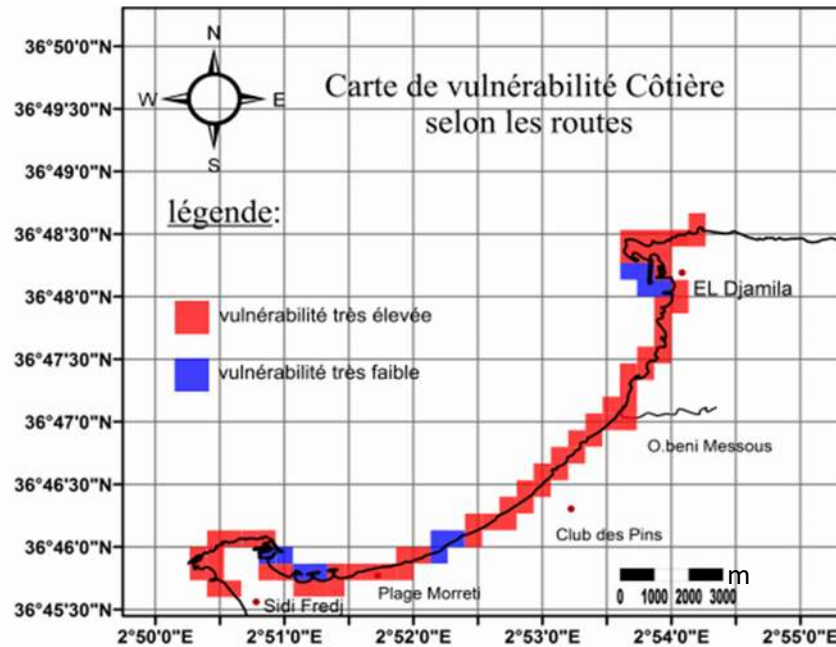


Figure IV.13 : Vulnérabilité côtière relative aux routes.

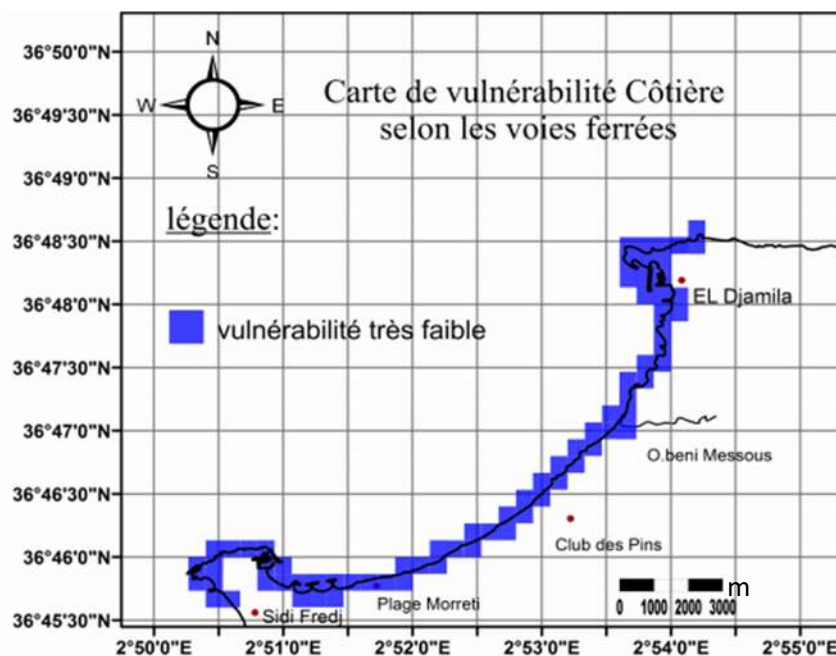


Figure IV.14 : Vulnérabilité côtière relative aux voies ferrées.

IV.2.4. L'occupation du sol :

La figure IV.15 représente une disparité en termes de vulnérabilité. En effet, nous distinguons une vulnérabilité très élevée de la pointe du cap Ras Acrata jusqu'au Cap Sidi Fredj à l'exception de la partie du Oued Beni Messous qui a une vulnérabilité très faible.

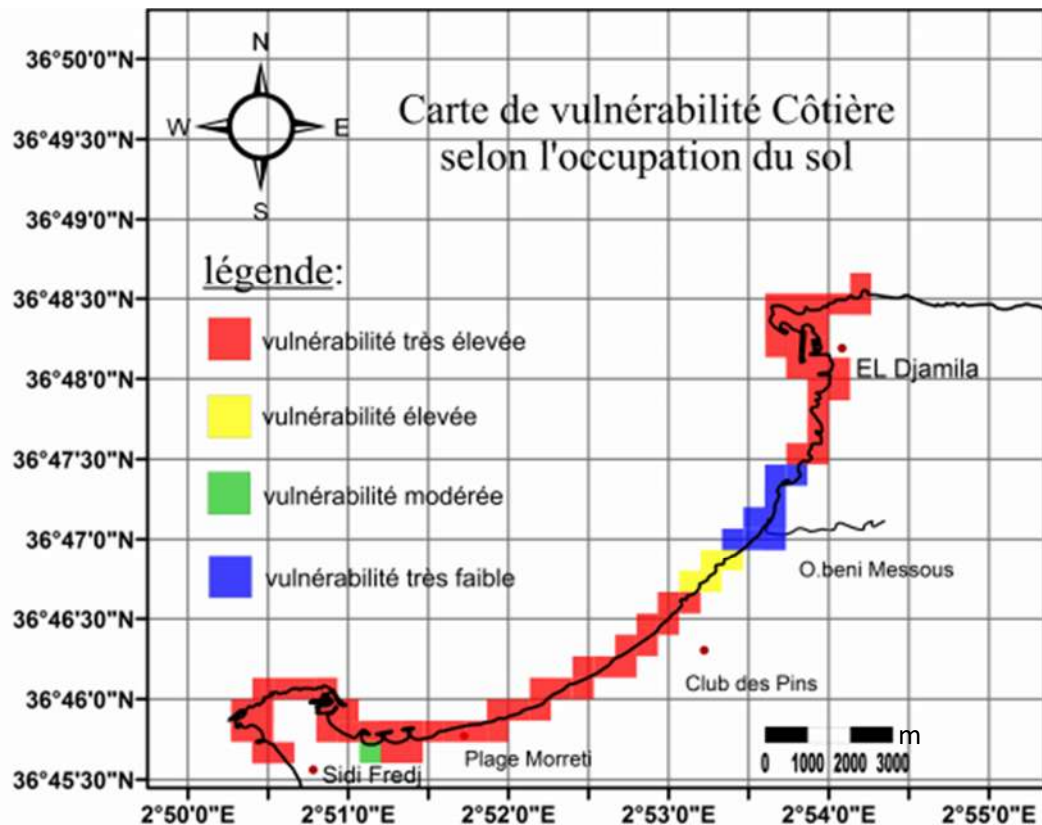


Figure IV.15 : Vulnérabilité côtière selon l'occupation du sol

IV.2.5. Vulnérabilité côtière socio-économique :

D'après les résultats du tableau IV.1 et ceux de la figure IV.16 , nous remarquons que :

- la classe (2) et (3) dominant, ce qui veut dire que le Baie d'El Djamila possède une vulnérabilité socioéconomique modérée, voire élevée sur sa globalité;
- au-delà la zone de Oued Beni Messous, la vulnérabilité est modéré malgré l'absence de la population, mais ceux sont surtout les variables : route nationale, désignation de conservation et la variable de l'occupation du sol qui font augmenter le degré de la vulnérabilité de cette portion.
- El Djamila est plus ou moins dense en termes d'urbanisme et de population ce qui a fait augmenter la vulnérabilité à un degré élevé.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

- La classe (4) caractérise les terres ayant une vulnérabilité très élevée par rapport à toutes les variables, mais dans notre cas nous n'avons pas de sites archéologiques et culturels.

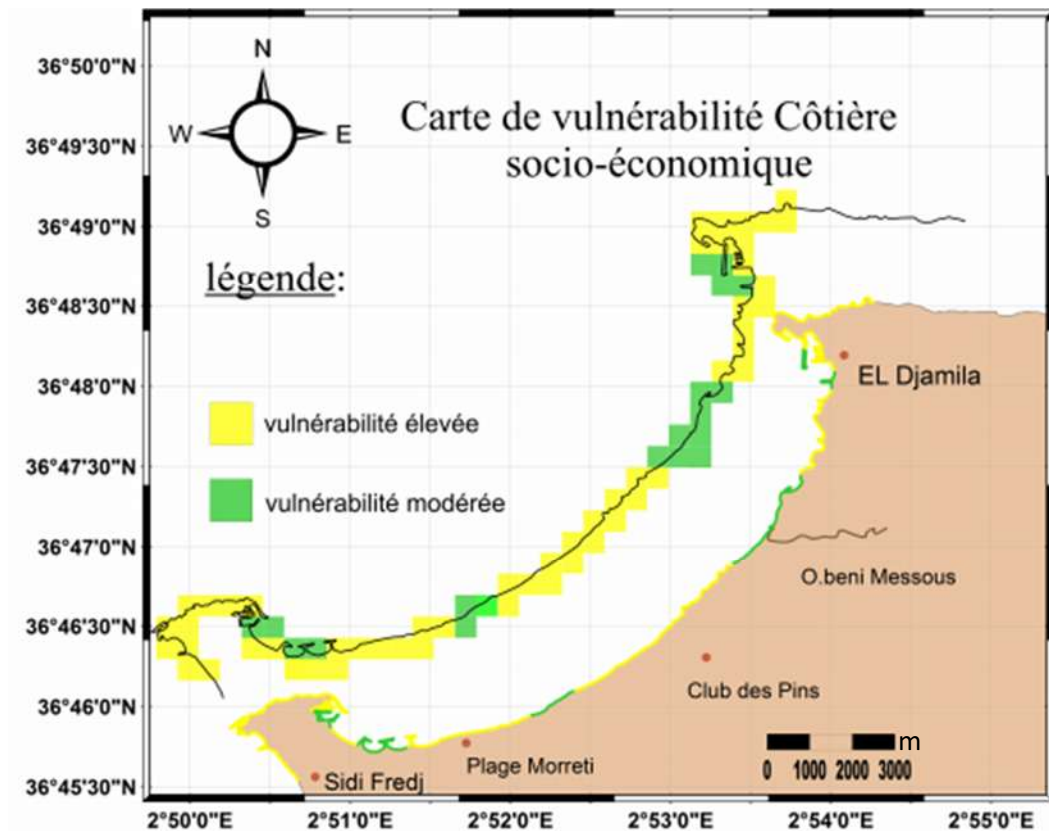


Figure IV.16 : Vulnérabilité socio-économique de la baie d'El Djamila.

Le tableau IV.1 montre la longueur du linéaire côtier ainsi que le pourcentage pour chaque classe de vulnérabilité.

Tableau IV.1 : Les différentes classes de la vulnérabilité socioéconomique selon les six variables utilisées pour l'évaluation dans la baie d'El Djamila.

	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Linéaire côtier (km)	0	3,887	14.37343	0
Pourcentage (%)	0	21.28646	78.71354	0

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Le travail effectué nous permet de dire que les indices de la vulnérabilité côtière sont de précieux outils d'aide à la décision, en particulier, le CVI multi-échelle qui intègre à la fois les caractéristiques côtières, les paramètres qui sont en relation avec le forçage de la côte et les facteurs socio-économiques qui semblent être les plus déterminants en raison de leur caractère anthropique.

Notre zone d'étude, la Baie El Djamila a été modifiée et aménagée de façon intensive au cours de cette dernière décennie, et elle est à priori vulnérable.

En effet, les résultats obtenus ont montré que la vulnérabilité liée aux variables socioéconomiques de la Baie d'El Djamila. est généralement élevée sur toute la côte et modérée au niveau du port de Sidi Fredj, d'El Djamila et de Oued Beni Messous. Ce résultat peut être expliqué respectivement par l'absence de sites urbanisés, de routes, de voies ferrées et la présence d'une zone humide et d'une végétation dense.

D'autre part, la vulnérabilité liée aux variables physiques semble être dispersée; très élevée au niveau des plages Moretti et club des pins, élevée au niveau des caps; dues à la géomorphologie de ces zone (plages sableuses à faible pente exposée directement à l'énergie des houles), modérée au niveau des ports et faible au niveau de l'embouchure de Oued Beni Messous ; dues à la présence d'ouvrages de protection tels que les digues, les épis et les brise-lames ainsi que les apports sédimentaires.

Bien que les indices utilisés soient basés sur deux familles de variables différentes, néanmoins, les résultats obtenus sont concordants.

Par ailleurs, ces résultats, après validation, peuvent être utilisés comme un outil d'aide à la décision pour élaborer une stratégie de protection du littoral d'une manière ciblée, réfléchie et à moindre coût.

Dans l'avenir, il serait intéressant de tester d'autres indices et de comparer les résultats obtenus.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abuodha, P.A.O. et Woodroffe C.D.(2010).Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index:Rapport d'activité. Document non publié.Australia, Journal of Coastal Conservation.
- Adger, N.(2006). Vulnerability. *Global environmental change*, Vol. 16, n°. 3, pp. 268-281.
- Alliouane, A. et Ramdani L.(2006) .*Aménagement des ports de pêche de Zemmouri et d'El Djamila* .Mémoire d'Ingénieur .ALGER:ISMAL, 33 p.
- Asbai, R.(2013).Les étapes de la conception et la modélisation d'une base de données SIG sur le littoral, cas du littoral centre. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral,ALGER: ENSSMAL,24p.
- Balica, S. (2012).*A Flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts*. [En ligne]. [Consultée le 7 Avril 2017]. Disponible à l'adresse : <http://www.unep.org/pdf/ccScienceCompendium2009/cc_ScienceCompendium2009_full_en.pdf.html>
- Barroca, B. et al.(2006).Indicators for identification of urban flooding vulnerability.*Natural Hazards Earth System Science*, vol. 6, pp. 553–561.
- Booij, N. Ris, R.C. et Holthuijsen, L.H. (1999). A third generation wave model for coastal regions, Part I. *Model description and validation*, Vol.7, pp. 7649-7666.
- Boruff, B.J. Emrich, C. et Cutter S.L.(2005).Erosion hazard vulnerability of US coastal counties.*Journal of Coastal Research*. Vol. 21, n° 5, pp. 932-942.
- Bousquet, B.(1990).Définition et identification du littoral contemporain. *Revue juridique de l'environnement*, Vol. 11, n° 4 : pp. 451-468.
- Boutiba, M.(1996). *Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger)*. Thèse de magister. ALGER :ISMAL, pp. 110-120.
- Dolan, A.H. et Walker I.J. (2006). Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *Journal of Coastal Research*. Vol. 9, n° 3, pp. 411-520.
- Douglas, B. C.(2001). *Sea level rise: History and consequences*.(2001) San Diego. San Diego: Academic Press, 232 p.
- Dow, K.(1993). Exploring differences in our common future(s): The meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*. Vol. 23, pp. 417-436.
- Environmental protection agency (EPA).(2014).*Climate change indicators in the United States*. [En ligne]. [Consultée le 7 mai 2017]. Disponible à l'adresse: <<http://www.epa.gov/climatechange/pdfs/climateindicators-full-2014.pdf.html>>
- Ford, J.D. et Smit B.(2004). A framework for assessing the vulnerabilities of communities. *Canadian Arctic to risks associated with climate change*. Vol. 28, n°4, pp.389-400.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fussler, H.-M. (2007). Vulnerability - A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*. 2^{ème} édition. Québec: EPA. pp.155-167.
- GIEC. (2007a). *Climate Change 2007: The Physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Document non publié. Englandcambridgeuniversity press. GIEC. 996 p.
- GIEC. (2007b). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Document non publié. Englandcambridgeuniversity press. GIEC. 976 p.
- GIEC. (2013a). *Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Document non publié. Englandcambridgeuniversity press. GIEC. 1535 p.
- GIEC. (2013b). *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques - Résumé à l'intention des décideurs [En ligne].* [Consultée le 20 mai 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf
- Gornitz, V. (1990). Vulnerability of the east coast, U.S.A to future sea level rise. *Journal of Coastal Research, Special Issue*. Vol. 20, n°7, pp 201-37.
- Gornitz, V. (1994). The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research*. Vol. 12, pp 327-338.
- Hengeveld, H. (2000). Projections du climat futur du Canada : discussions de simulations récemment effectuées avec le modèle canadien du climat du globe. *Downsview, Environnement Canada*. Vol. 12, n°7, 54 p.
- Himmelstoss, ZICHICHI, et ERGUL. (2016). Installation instructions and user guide DSAS4.0. *U.S. Geological Survey*. Vol. 9, n°7, 79 p.
- HMI. (2011). Étude hydro sédimentaire de la zone de SIDI Fredj : Rapport d'activité. Document non publié. Hydro marine ingénierie. Alger : 50 p.
- Jongman, B. Ward, P J. et Aerts, J C. (2012). Global exposure to river and coastal flooding-long term trends and changes. *Global EnvironChange*. Vol. 8, n°7, 35 p.
- Lemmen, D.S. Warren, J. et Bush, E. (2008). Vivre les changements climatiques au Canada. In : *Gouvernement du Canada*. 51 p.
- Leone, F. et Vinet, F. (2011). *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles : Analyses géographiques.* (2011) Montpellier. Montpellier : Presses universitaires de la méditerranée PULM, 112 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Long, B. et Xharde, R.(2007).Applications géomatiques adaptées pour l'exploration des ressources et des risques naturels : Rapport final. Document non publié.Canada : Ministère des transports du Québec. Canada : 188 p.
- Mclaughlin,S. Cooper, J.(2010). A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers. *Environmental hazards*. Vol. 9, pp. 233-248.
- Mclaughlin, S.Mckenna, J. et Cooper, J.A.G.(2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of CoastalResearch*. Vol. 36 , pp 487-497.
- Niazi, S.(2007). *Evaluation des impactes des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc) : vulnérabilité et adaptation*. Thèse de doctorat. Géosciences de l'Environnement. Rebat : Université Mohammed V-AGDAL faculté des sciences. Maroc. 230 p.
- Peduzzi, P.Dao, H. et Mouton,F.(2009).Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster risk index. *Natural hazards and earth system sciences*. Vol. 20, n°7 ,pp 1149-1159.
- Saldana-Zorrilla, S.O.(2006). Reducing economic vulnerability in Mexico: Natural disasters, foreign trade and agriculture. *PhD dissertation*.Vol. 19, n°7, pp 912-1020.
- Shaw, J.*et al.*(1998).Sensitivity of the coast of Canada to sea-level rise. In: *Bulletin 50 de la commission géologique du Canada*, 79 p.
- SHFM. (2016). Contexte général de la zone de Sidi Fredj. Service hydrographique des forces navales. Alger. SHFM. 5p.
- Thieler,E.R. et Hammar-Klose, E.S.(1999). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. Atlantic Coast. *U.S. Geological Survey*. Vol. 9, n°3, pp 99-593.
- Thieler, E.R.etHammar-Klose, E.S.(2000a). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Pacific Coast. *U.S. Geological Survey*. Vol. 12, n°4, pp01-179.
- Thieler, E.R. etHammar-Klose, E.S.(2000b). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S gulf of Mexico coast. *U.S. Geological Survey*. Vol. 12, n°4, pp 32-178.
- Thomson, R.E.Bornhold,B.D. etMazzotti, S.(2008). *An examination of the factors affecting relative and absolute sea level rise in coastal British-Columbia*[Enligne].[Consultée le 20 mai 2017]. Disponible à l'adresse :< <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/335209.pdf.html>>

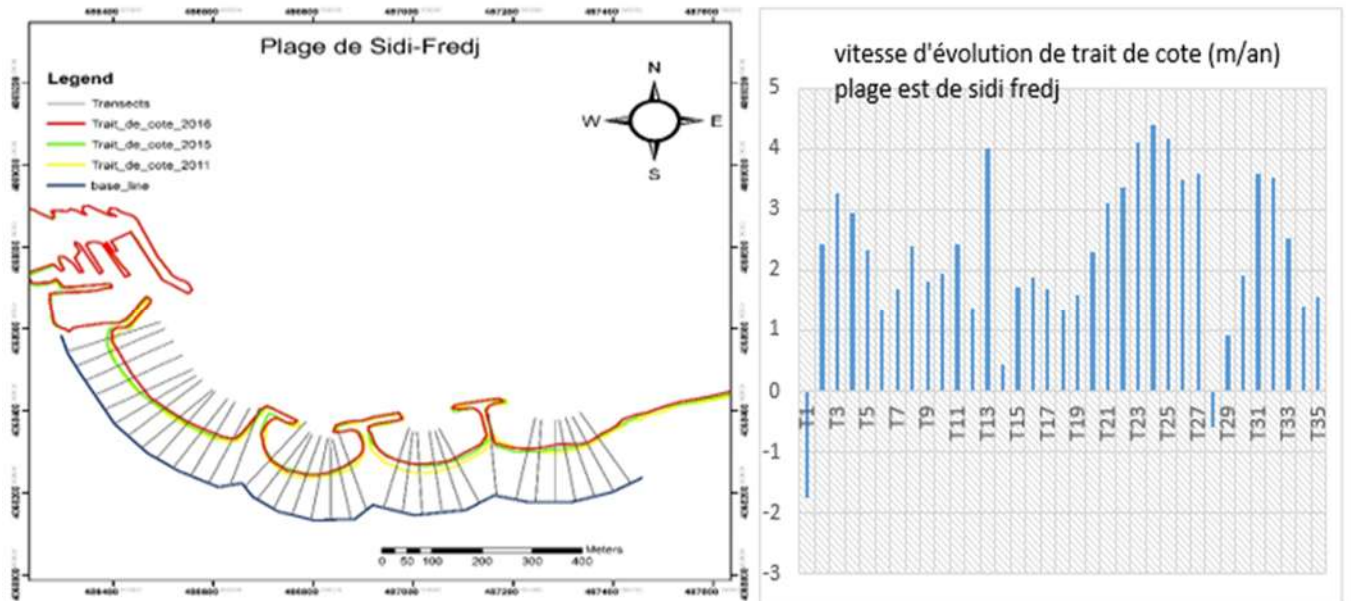
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Walker, B. et Salt, D. (2006). Resilience thinking. In: *sustaining ecosystems and people in a changing world*. 175 p.

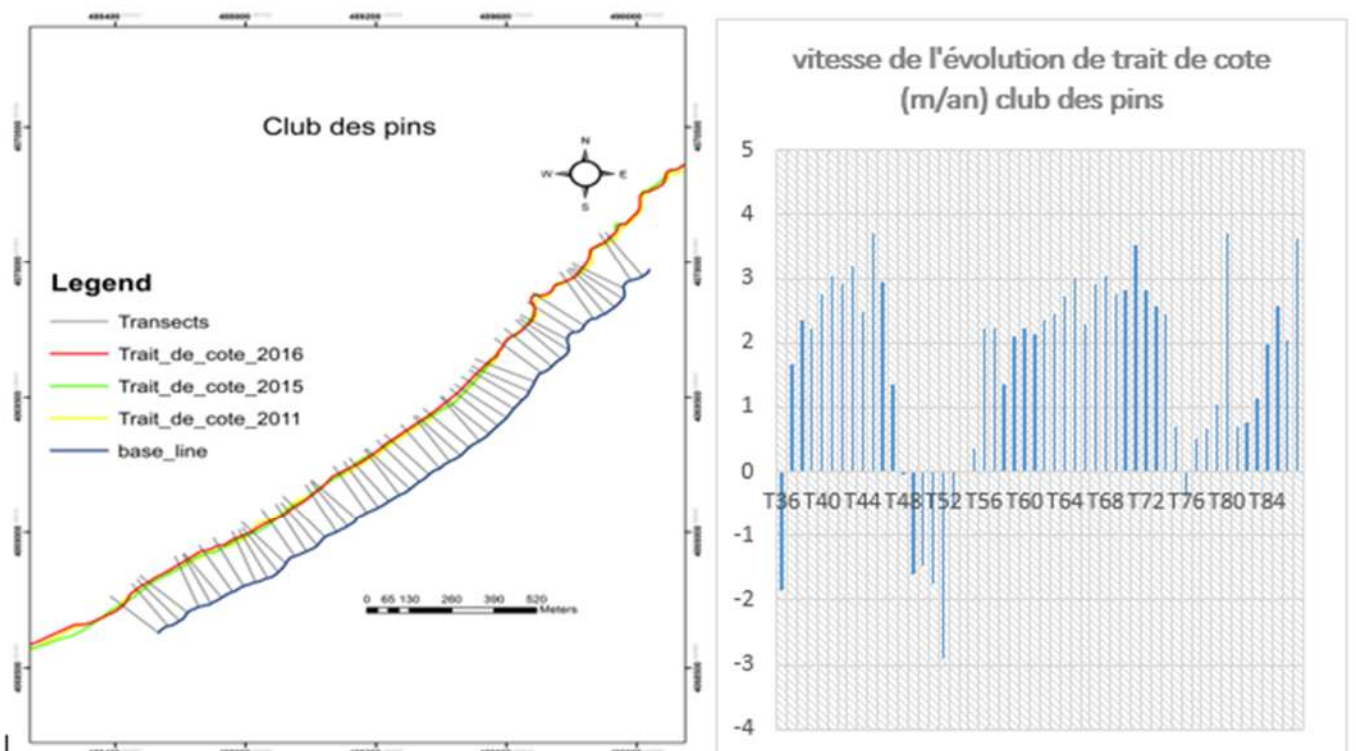
Xharde, R. (2007). *Évaluation du potentiel des techniques aéroportées vidéo graphique et lidar appliquées à l'étude des risques naturels en milieu côtier*. Thèse de doctorat. Science de la terre. Québec : INRS, 248 p.

ANNEXE

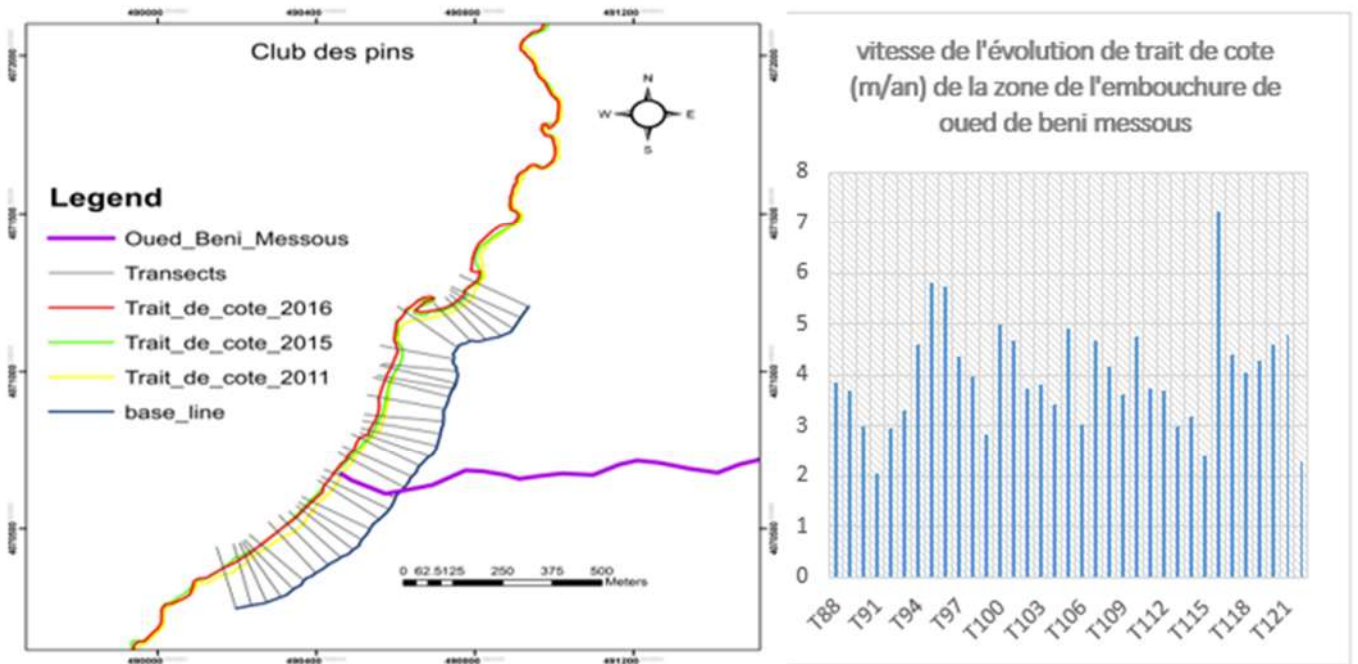
Annexe 1 : Evolution du trait de côte au niveau de la plage de Sidi Fredj entre 2011 et 2016.



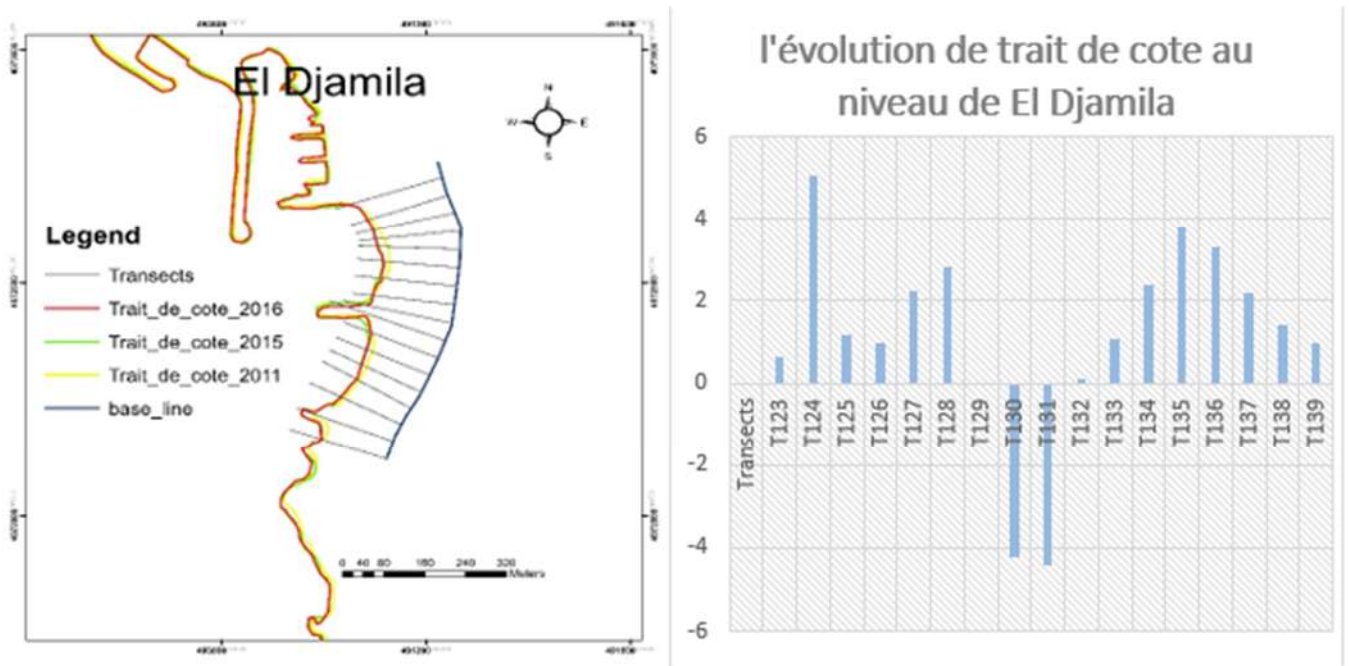
Annexe 2 : Evolution du trait de côte au niveau de club des pins entre 2011 et 2016.



Annexe 3 : Evolution du trait de côte au niveau de l’embouchure d’oued beni Messous entre 2011 et 2016.



Annexe 4 : Evolution du trait de côte au niveau d’El Djamila entre 2011 et 2016.



Annexe 5 :Evolution du trait de côte au niveau de Sidi Fredj entre 2011 et 2016.

Transects	Evolution (2011 -2016) (m)	Vitesse (m/an)	Transects	Evolution (2011 - 2016) (m)	Vitesse (m/an)
T1	-8.770839598	-1.75416792	T18	6.699955486	1.339991097
T2	12.10856853	2.421713706	T19	8.021958818	1.604391764
T3	16.25899078	3.251798157	T20	11.48710022	2.297420044
T4	14.64400764	2.928801529	T21	15.592912	3.1185824
T5	11.58793787	2.317587575	T22	16.77804628	3.355609256
T6	6.687102352	1.33742047	T23	20.57363248	4.114726496
T7	8.43220429	1.686440858	T24	22.00383767	4.400767534
T8	11.98518012	2.397036023	T25	20.79067623	4.158135246
T9	9.095945566	1.819189113	T26	17.38240187	3.476480374
T10	9.734067559	1.946813512	T27	17.88233448	3.576466896
T11	12.16321985	2.432643969	T28	-3.000767707	-0.600153541
T12	6.81111286	1.362222572	T29	4.614724242	0.922944848
T13	19.95448583	3.990897167	T30	9.540119538	1.908023908
T14	2.259936577	0.451987315	T31	17.98580034	3.597160067
T15	8.64162554	1.728325108	T32	17.60638712	3.521277423
T16	9.381813301	1.87636266	T33	12.58402177	2.516804354
T17	8.407449384	1.681489877	T34	6.933083824	1.386616765
			T35	7.871012883	1.574202577

Annexe 6 :Evolution du trait de côte au niveau de club des pins entre 2011 et 2016.

Transects	Evolution (2011 -2016) (m)	Vitesse (m/an)	Transects	Evolution (2011 -2016) (m)	Vitesse (m/an)
T36	-9.239248775	-1.847849755	T62	11.73870516	2.347741031
T37	8.280799163	1.656159833	T63	12.22542284	2.445084569
T38	11.80805734	2.361611469	T64	13.61486032	2.722972063
T39	11.05304054	2.210608108	T65	15.08176576	3.016353151
T40	13.70225456	2.740450913	T66	11.42896363	2.285792727
T41	15.22584798	3.045169597	T67	14.55569452	2.911138905
T42	14.54736145	2.909472289	T68	15.22905158	3.045810316
T43	15.92702916	3.185405832	T69	13.83934058	2.767868116
T44	12.38580092	2.477160185	T70	14.11322866	2.822645733
T45	18.57717619	3.715435238	T71	17.60473525	3.520947051
T46	14.66679562	2.933359123	T72	14.06019132	2.812038263
T47	6.822307182	1.364461436	T73	12.85418889	2.570837778
T48	-0.034592307	-0.006918461	T74	12.21612266	2.443224532
T49	-7.997187495	-1.599437499	T75	3.529104928	0.705820986
T50	-7.351123534	-1.470224707	T76	-1.886909281	-0.377381856
T51	-8.825145935	-1.765029187	T77	2.560338595	0.512067719
T52	-14.45958745	-2.891917489	T78	3.343861034	0.668772207
T53	-2.725139476	-0.545027895	T79	5.254191135	1.050838227
T54	0.071660827	0.014332165	T80	18.62489626	3.724979252
T55	1.751429205	0.350285841	T81	3.523836278	0.704767256
T56	11.06210956	2.212421912	T82	3.75267316	0.750534632
T57	11.15222536	2.230445073	T83	5.747288228	1.149457646
T58	6.808601511	1.361720302	T84	9.947086364	1.989417273

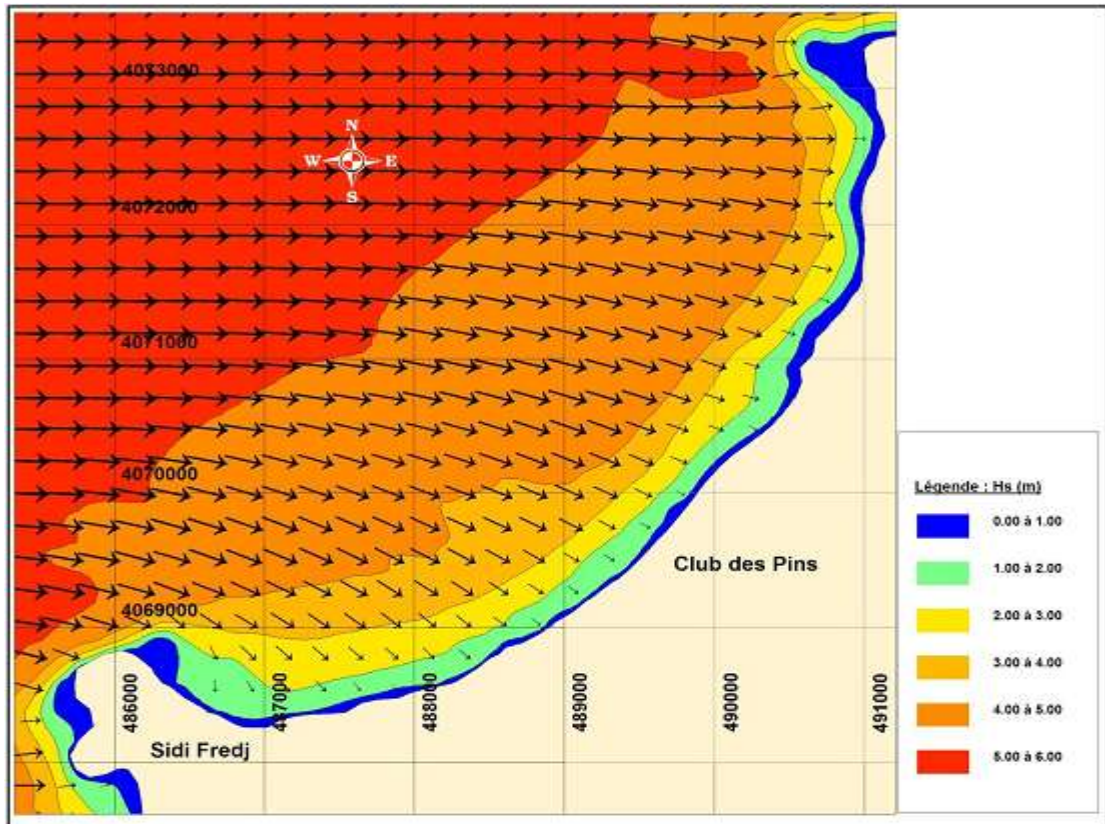
Annexe 7 :Evolution du trait de côte au niveau de l'embouchure d'oued beni Messous entre 2011 et 2016.

Transects	Evolution (2011 -2016) (m)	Vitesse (m/an)	Transects	Evolution (2011 - 2016) (m)	Vitesse (m/an)
T88	19.35108515	3.87021703	T105	24.55689976	4.911379953
T89	18.59706849	3.719413698	T106	15.18414624	3.036829249
T90	14.99335436	2.998670872	T107	23.50144067	4.700288133
T91	10.22861102	2.045722204	T108	20.92262367	4.184524734
T92	14.69923127	2.939846254	T109	18.15095986	3.630191972
T93	16.57976153	3.315952306	T110	23.85171914	4.770343828
T94	23.10506128	4.621012257	T111	18.60788478	3.721576956
T95	29.09824937	5.819649874	T112	18.54831425	3.70966285
T96	28.78165717	5.756331433	T113	14.88025039	2.976050077
T97	21.85216437	4.370432873	T114	15.95122096	3.190244192
T98	19.79369308	3.958738615	T115	11.96044652	2.392089305
T99	14.25150096	2.850300192	T116	36.05949751	7.211899502
T100	25.01261278	5.002522556	T117	22.01060321	4.402120641
T101	23.36254778	4.672509556	T118	20.34320889	4.068641777
T102	18.61099711	3.722199422	T119	21.42694263	4.285388527
T103	19.02580717	3.805161434	T120	22.96829864	4.593659728
T104	17.21244027	3.442488054	T121	24.06440246	4.812880491
			T122	11.35889604	2.271779208

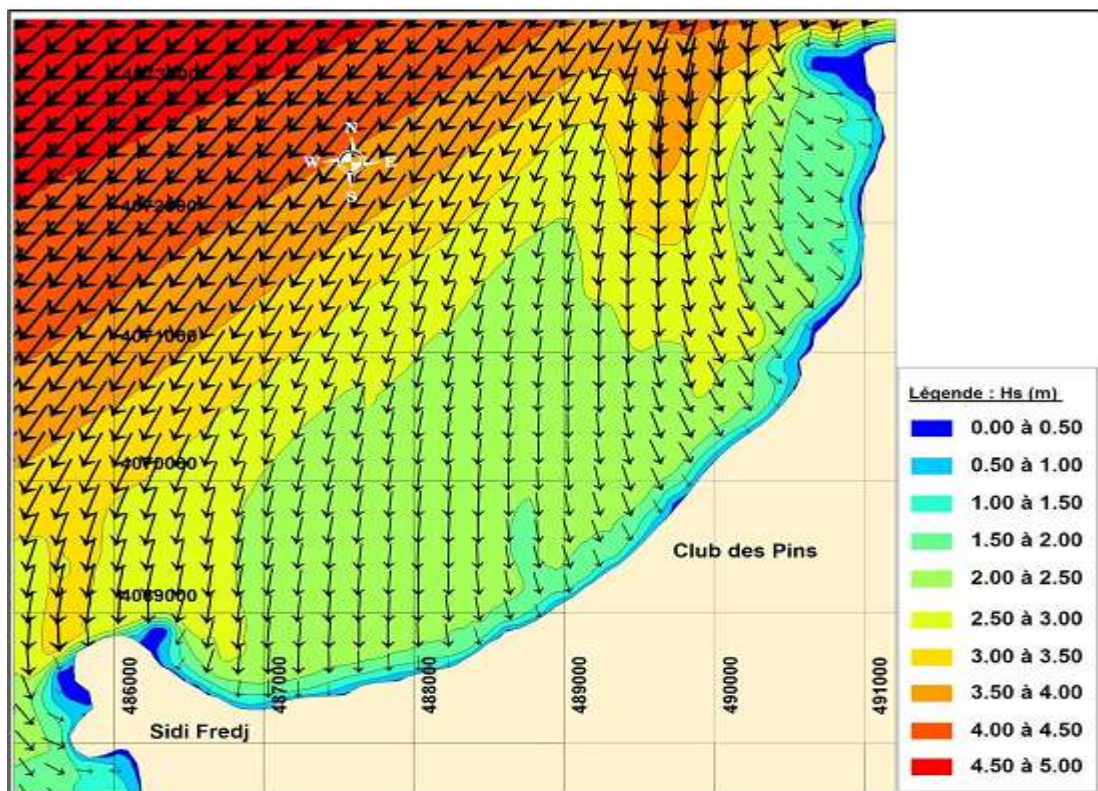
Annexe 8 :Evolution du trait de côte au niveau d'El Djamila entre 2011 et 2016.

Transects	Evolution (2011 -2016) (m)	Vitesse (m/an)
T123	3.224942927	0.644988585
T124	25.23049793	5.046099587
T125	5.890155189	1.178031038
T126	4.804747462	0.960949492
T127	11.22578196	2.245156392
T128	14.03691259	2.807382517
T129	-0.020725311	-0.004145062
T130	-21.07569414	-4.215138829
T131	-22.21100754	-4.442201508
T132	0.611276862	0.122255372
T133	5.321005457	1.064201091
T134	11.82401442	2.364802884
T135	18.88248417	3.776496834
T136	16.55296609	3.310593218
T137	10.86419332	2.172838663
T138	6.988420534	1.397684107
T139	4.956106273	0.991221255

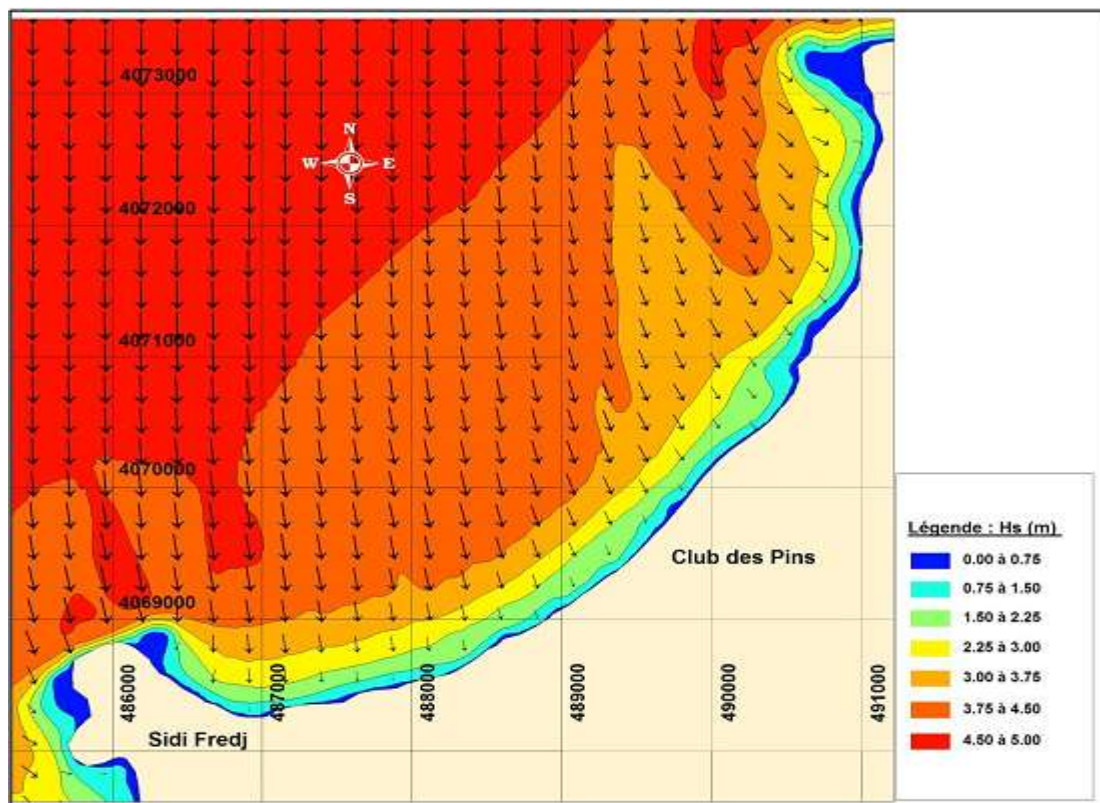
Annexe 9 : Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s (LEM, 2009).



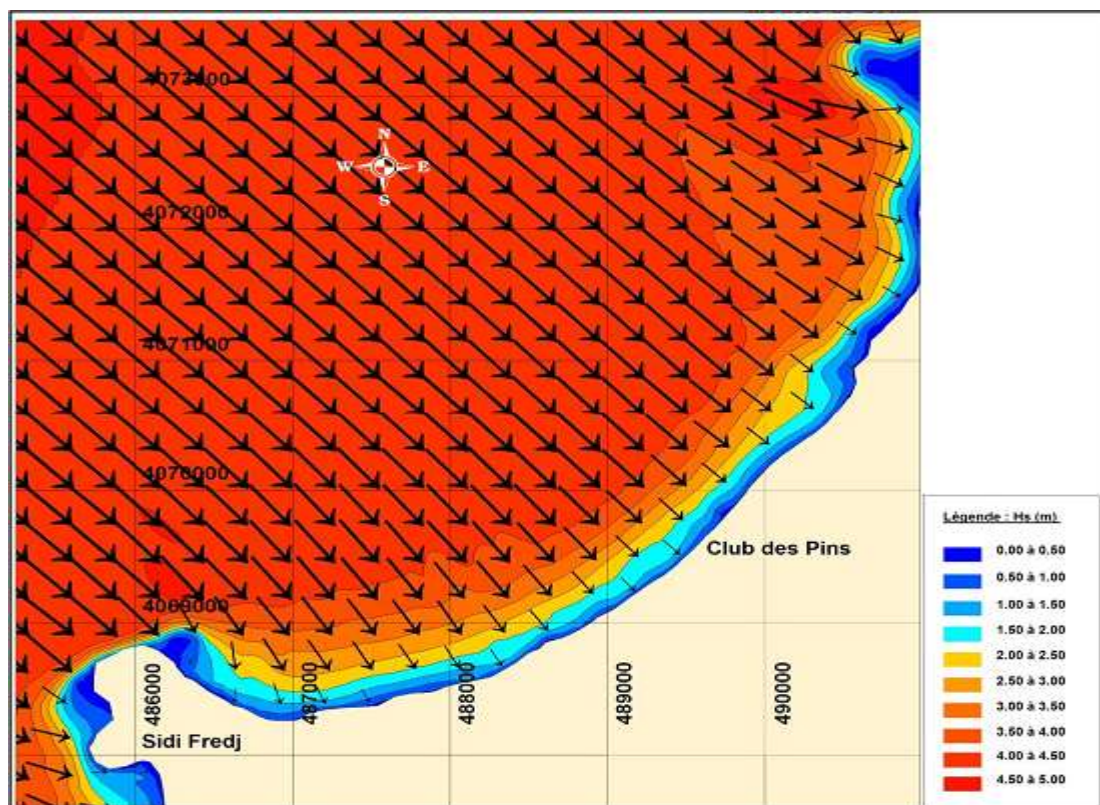
Annexe 10 : Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s (LEM, 2009).



Annexe 11 : Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s (LEM, 2009)



Annexe 12 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s.



Annexe 13 :Scores de vulnérabilité côtière physique.

cellule	la géologie	la géomorphologie	élévation du NM	évolution du TC	Marnage	Hs (m)	la pente	cvi physique
1	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
2	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
3	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
4	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
5	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
6	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
7	2	5	1	3	5	3	5	17.92842914
8	2	5	1	3	5	1	4	9.258200998
9	2	5	1	3	5	1	4	9.258200998
10	2	5	1	3	5	1	5	10.35098339
11	2	5	1	3	5	3	5	17.92842914
12	2	5	1	3	5	3	5	17.92842914
13	2	5	1	2	5	3	5	14.63850109
14	2	5	1	2	5	1	5	8.451542547
15	2	5	1	2	5	1	5	8.451542547
16	2	5	1	2	5	2	5	11.95228609
17	2	5	1	2	5	2	4	10.69044968
18	2	3	1	3	5	2	4	10.14185106
19	3	3	1	3	5	2	5	13.8873015
20	3	5	1	3	5	2	5	17.92842914
21	3	5	1	3	5	2	5	17.92842914
22	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
23	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
24	3	5	1	1	5	1	5	7.319250547
25	3	5	1	1	5	1	5	7.319250547
26	3	5	1	1	5	1	5	7.319250547
27	3	5	1	1	5	1	5	7.319250547
28	3	5	1	1	5	1	5	7.319250547
29	3	5	1	1	5	1	4	6.546536707
30	3	5	1	1	5	1	4	6.546536707
31	3	5	1	2	5	1	4	9.258200998
32	3	5	1	2	5	3	4	16.03567451
33	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
34	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
35	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
36	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
37	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
38	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
39	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
40	3	5	1	2	5	3	5	17.92842914
41	3	5	1	2	5	3	4	16.03567451
42	3	5	1	4	5	3	4	22.67786838

43	3	5	1	4	5	3	4	22.67786838
44	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
45	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
46	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
47	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
48	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
49	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
50	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
51	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
52	3	5	1	4	5	2	5	20.70196678
53	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
54	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
55	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
56	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
57	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
58	3	5	1	1	5	2	5	10.35098339
59	2	5	1	1	5	2	5	8.451542547
60	2	5	1	1	5	2	5	8.451542547
61	2	5	1	1	5	2	5	8.451542547
62	2	5	1	1	5	1	5	5.976143047
63	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
64	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
65	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
66	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
67	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
68	2	3	1	3	5	5	4	16.03567451
69	2	4	1	3	5	3	5	16.03567451
70	2	4	1	3	5	3	5	16.03567451
71	2	4	1	3	5	3	5	16.03567451
72	2	4	1	3	5	3	5	16.03567451

Annexe 14 : Scores de vulnérabilité côtière socioéconomique

cellule	population	patrimoine culturel	route	voie ferrée	occupation du sol	Désignation de conservation	CVI (socio-eco)
1	5	1	5	1	5	5	22
2	5	1	5	1	5	5	22
3	5	1	5	1	5	5	22
4	5	1	5	1	5	5	22
5	5	1	5	1	5	5	22
6	5	1	5	1	5	5	22
7	1	1	5	1	5	5	18
8	5	1	5	1	5	5	22
9	5	1	5	1	5	5	22
10	5	1	5	1	5	5	22
11	1	1	1	1	5	5	14
12	1	1	1	1	5	5	14
13	1	1	1	1	5	5	14
14	1	1	1	1	5	5	14
15	5	1	5	1	5	5	22
16	5	1	5	1	5	5	22
17	5	1	5	1	5	5	22
18	5	1	5	1	5	5	22
19	5	1	5	1	5	5	22
20	5	1	5	1	5	5	22
21	1	1	5	1	5	5	18
22	1	1	5	1	1	5	14
23	1	1	5	1	1	5	14
24	1	1	5	1	1	5	14
25	1	1	5	1	1	5	14
26	1	1	5	1	1	5	14
27	1	1	5	1	1	5	14
28	1	1	5	1	1	5	14
29	1	1	5	1	1	5	14
30	5	1	5	1	4	5	21
31	5	1	5	1	4	5	21
32	5	1	5	1	4	5	21
33	5	1	5	1	4	5	21
34	5	1	5	1	5	5	22
35	5	1	5	1	5	5	22
36	5	1	5	1	5	5	22
37	5	1	5	1	5	5	22
38	5	1	5	1	5	5	22
39	5	1	5	1	5	5	22
40	5	1	5	1	5	5	22
41	5	1	5	1	5	5	22
42	5	1	5	1	5	5	22

43	5	1	5	1	5	5	22
44	1	1	1	1	5	5	14
45	1	1	1	1	5	5	14
46	1	1	1	1	5	5	14
47	1	1	5	1	5	5	18
48	5	1	5	1	5	5	22
49	5	1	5	1	5	5	22
50	5	1	5	1	5	5	22
51	5	1	5	1	5	5	22
52	5	1	5	1	5	5	22
53	5	1	5	1	5	5	22
54	5	1	5	1	5	5	22
55	5	1	5	1	5	5	22
56	5	1	5	1	3	5	20
57	1	1	1	1	5	5	14
58	1	1	1	1	5	5	14
59	1	1	5	1	5	5	18
60	1	1	5	1	5	5	18
61	1	1	1	1	5	5	14
62	1	1	1	1	5	5	14
63	1	1	5	1	5	5	18
64	1	1	5	1	5	5	18
65	1	1	5	1	5	5	18
66	1	1	5	1	5	5	18
67	5	1	5	1	5	5	22
68	1	1	5	1	5	5	18
69	5	1	5	1	5	5	22
70	5	1	5	1	5	5	22
71	5	1	5	1	5	5	22
72	5	1	5	1	5	5	22

Evaluation de la vulnérabilité côtière de la baie d'El Djamilia

المناطق الساحلية مهددة بشكل كبير جراء تغير المناخ وارتفاع منسوب مياه البحر.

الشريط الساحلي لخليج الجميلة لا يخلو هو أيضا من هذه المخاطر, لأهميتها الاجتماعية والاقتصادية, فانا اجتماعا كل هذه في هذه المساحة صغيرة فينتج عن زيادة كبيرة في هشاشة هذه المنطقة.

الهدف من هذا الدراسة هو تقييم هشاشة المنطقة الساحلية لخليج الجميلة, لهذا في مؤشر الهشاشة الساحلية لمجموعه من مؤشرات المادي

: صيب الساحلية لخليج الجميلة مع احتمالية ارتفاع ,
حيث اظهر مؤشر الهشاشة, وأيضا مؤشر الهشاشة الساحلي الاجتماعي _ لهدف تحديد المناطق المحتمل تعرضها لهذه
الساحلي المادي وجود هشاشة عالية جدا على مستوى شاطئي موريتي و الصنوبر البحري , اظهر مؤشر الهشاشة الساحلي
_ دي هشاشة من معتدلة إلى مرتفعة على معظم المنطقة الساحلية.

:

الهشاشة الساحلية, مؤشر الهشاشة الساحلي الاجتماعي _ , مؤشر الهشاشة المادي.

Evaluation de la vulnérabilité côtière de la baie d'EL Djamila

Résumé

Les zones côtières sont gravement menacées par le changement climatique et son élévation du niveau de la mer associée.

La zone côtière de la baie d'El Djamila qui n'échappe pas à cette nuisance, revêt une importance socio-économique majeure. En effet, la combinaison de forts aléas avec des enjeux considérable dans un tel espace réduit crée une grande vulnérabilité.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la vulnérabilité côtière de la baie d'El Djamila. Nous nous sommes pour cela basés sur un indice de vulnérabilité côtière intégrant une diversité d'indicateurs physique (IVCphy pour avoir une idée sur les perturbations qui peuvent subir la zone côtière de la baie d'El Djamila suite à une éventuelle élévation du niveau de la mer, et un indice de vulnérabilité côtière socioéconomique (IVCse), dans le but de déterminer les zones qui sont potentiellement exposées aux risques côtiers.

L'IVCphy a montré une vulnérabilité très élevée au niveau des plages de Club des pins et Morreti. En revanche, L'IVCsea a montré que la vulnérabilité de la région est modérée voire élevée sur la majorité de la côte.

Mots clés : vulnérabilité côtière, risque côtier, IVCphy, IVCse.

Abstract

Coastal areas are seriously vulnerable to climate change and rising sea level in the whole world.

The coastal area in Algiers and especially El Djamila gulf does not escape this nuisance, it is a very important area in social and economic side. The aim of this study is the assessment of coastal vulnerability of El Djamila gulf. For this purpose, we focus on coastal vulnerability index incorporating a variety of physical indicators (CVIphy) to get an idea of the disturbances which may affect the coastal area of El Djamila gulf following sea rising level, and coastal social-economical vulnerability index (CVIse) in order to determine which areas are potentially exposed to coastal risks.

The CVIphy showed a very high vulnerability at beaches of Morreti and Club des pins. In Revenge, the CVIse showed that the vulnerability of the region is moderate or high on most regions of the coast.

Keywords: coastal vulnerability, coastal risk, CVIphy, CVIse.