

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Evaluation de la vulnérabilité des cotes du littoral  
centre**

**(Cas : la baie d'EL Djamila)**

Présenté par :

- **BENRAHMOUN Mohamed**
- **BERKANE Naim**

Soutenu le 01 / 07 / 2015 devant le jury suivant :

Mme	MEHDID S.	Maître assistante A (ENSSMAL)	Présidente
Mr	GUERFI M.	Maître de conférences (ENSSMAL)	Promoteur
Mr	MEZOUAR K.	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
Mr	HEMDANE Y.	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur

**Promotion : 2014 / 2015**

## 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 :

Madame MEHDID S., maître assistante (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions Monsieur GUERFI. M, maître de conférences (ENSSMAL) pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Pour Monsieur MEZOUAR. KH. Maître de conférences (ENSSMAL), Monsieur HEMDANE Y. Maître de conférences (ENSSMAL), pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous somme reconnaissant 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 est un petit fruit de leurs sueurs.

# SOMMAIRE

# Sommaire

---

Introduction Générale .....	11
-----------------------------	----

## Chapitre I : Généralité

### I. Quelques définitions

I.1. Aléa .....	15
I.2. vulnérabilité .....	15
I.3. risque.....	15
I.4. Exposition, Resistance et Résilience d'un système côtier.....	16
I.5. Vulnérabilité côtière .....	16

### II. Les dangers qui guettent la zone côtière.....

II.1. La pollution marine .....	16
II.2. L'introduction des espèces exotiques en mer.....	16
II.3. Altération physique de trait de cote.....	17
II.4 Changement climatique .....	18

### III. L'évaluation de la vulnérabilité pour déterminer la sensibilité de la zone côtière face aux menaces naturelles et anthropiques .....

III.1. Les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité .....	18
III.2. Les outils d'évaluation de la vulnérabilité .....	20
III.2.1. L'indice de vulnérabilité .....	20
III.2.1.1. L'indice CVI et ses limites .....	20
III.2.1.2. L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle.....	20

## Présentation de la zone d'étude

### I. Le littoral Algérien (échelle nationale).....

I.1. Aspect physique .....	21
I.1.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau continental algérien .....	21
I.2. Aspect socio-économique .....	22

### II- La zone Algéroise (échelle régionale).....

#### **II.1. La baie de Bou-ismail .....**

II.1.1. Situation géographique.....	26
II.1.2. Morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismail .....	27
II.1.3. Sédimentologie de la baie de Bou Ismail.....	28
II.1.4. Réseau hydrographique .....	29
II.1.5. Géologie .....	30
II.1.6. Conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismail.....	31

II.1.6.1. Climat .....	31
II.1.6.2. Vents .....	31
II.1.6.3. Température et précipitations.....	31
II.1.7. Facteurs hydrodynamiques.....	32
II.1.7.1. Les courants .....	32
II.1.7.2. Les houles .....	32
<b>II.2. La baie d'Alger</b>	
II.2.1. Description géographique .....	32
II.2.2. La sédimentologie.....	33
II.2.3. Aperçu hydrographique .....	34
II.2.3.1. <i>Le socle métamorphique</i> .....	34
II.2.3.2. <i>Le tertiaire</i> .....	34
<b>II.3. La baie de Zemmouri</b>	
II.3.1. Situation géographique .....	36
II.3.2. Cadre géologique .....	37
II.3.3. Sédimentologie.....	37
II.3.4. Climatologie.....	39
II.3.5. Réseau hydrographique.....	39
<b>III. La baie d'El Djamila (échelle locale)</b>	
III.1. Description géographique.....	40
III.2. Cadre géologique .....	40
III.3. Topographie sous marine.....	41
III.4. Aperçus hydrographique .....	42
III.5. Aperçus orographique .....	42
III.6. Donnée océanographique .....	43
III.6.1. Les houles .....	43
III.6.2. Les courants .....	43
III.7. Données climatiques et météorologiques.....	43
III.7.1. Température .....	43
III.7.2. Pluviométrie.....	44
III.7.3. Les vents .....	44

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

I. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité côtière.....	46
I.1. L'indice de vulnérabilité côtière (CVI).....	46
I.1.1. Choix des variables .....	46
-L'élévation moyenne.....	47
-La géologie.....	48
-La géomorphologie.....	49
-Le déplacement moyen du littoral.....	49
-La hauteur maximale des vagues.....	51
I.1.2. Quantification et attribution d'un score .....	55
I.1.3. Les équations de calculs .....	55

I.2. L'indice de la vulnérabilité côtière multi-échelle.....	56
I.2.1. Choix des variables .....	46
I.2.2. Quantification et attribution d'un score.....	57
I.2.3. Les équations de calculs .....	58

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

1. L'élévation moyenne.....	60
2. La géologie et la géomorphologie.....	60
3. Déplacement moyen du littoral.....	61
4. Hauteur maximale des vagues.....	63
5. L'amplitude moyenne des marées.....	67
- Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière pour la baie d'el Djamila .....	67
-Interprétation des résultats .....	68
-L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle.....	69
-Interprétation des résultats .....	70
 Conclusion générale.....	 72

### **Bibliographie**

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 01</b> : causes et conséquences du changement climatique (Projet MISEEVA « brgm »).....	11
<b>Figure 02</b> : Variation du nombre des espèces exotiques en méditerranée en fonction du temps.....	17
<b>Figure 03</b> : Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités.....	19
<b>Figure 04</b> : Cadastre du littoral (Source : MATE).....	22
<b>Figure 05</b> : Situation géographique de la côte Algéroise (Baie de Bou Ismail, Baie d'Alger et Baie de Zemmouri).....	26
<b>Figure 06</b> : situation géographique et localisation de la baie de Bou ismail.....	27
<b>Figure 07</b> : Topographie de la baie de Bou Ismail (Leclair, 1972).....	28
<b>Figure 08</b> : Carte sédimentologique de la baie de Bou ismail.....	29
<b>Figure 09</b> : Coupe stratigraphique synthétique du tyrrhénien dans la baie de Bou Ismail (Betrouni, 1983).....	30
<b>Figure 10</b> : Situation géographique de la baie d'Alger.....	33
<b>Figure 11</b> : Nature de fond de la baie d'Alger.....	34
<b>Figure 12</b> : Situation géographique de la baie Zemmouri.....	36
<b>Figure 13</b> : Carte géologique du secteur d'étude : Stratigraphie et lithologie.....	37
<b>Figure 14</b> : Nature de la couverture sédimentaire dans la baie de Zemmouri.....	38
<b>Figure 15</b> : Situation géographique de la baie d'El Djamila.....	40
<b>Figure 16</b> : La géologie de la baie d'El Djamila.....	41
<b>Figure 17</b> : Topographie de la baie d'El Djamila (Leclair 1972).....	41
<b>Figure 18</b> : réseau hydrographique de la baie d'El Djamila.....	42
<b>Figure 19</b> : carte d'orographie de la baie d'El Djamila.....	42
<b>Figure 20</b> : illustration de profil d'élévation sur <i>Google Earth</i> .....	47
<b>Figure 21</b> : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.....	54
<b>Figure 22</b> : Les Variables utilisées pour chaque sous indice de CVI multi-échelle(McLaughlin and Cooper, 2010).....	56
<b>Figure 23</b> : profil d'élévation de la baie d'El Djamila.....	60
<b>Figure 24</b> : Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000°.....	61

<b>Figure 25 :</b> évolution du trait de cote de la baie d'El Djamila (2004 -2015).....	62
<b>Figure 26:</b> Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s (LEM, 2009).....	63
<b>Figure 27 :</b> Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s (LEM, 2009).....	64
<b>Figure 28:</b> Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s (LEM, 2009).....	65
<b>Figure 29 :</b> Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s (LEM, 2009).....	66
<b>Figure30 :</b> Carte de la vulnérabilité de la baie d'El Djamila.....	68
<b>Figure 31 :</b> Carte de l'indice de vulnérabilité côtière aux trois échelles spatiales de l'étude.....	69

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 01:</b> Répartition de la population sur le domaine littoral algérien.....	24
<b>Tableau 2:</b> Répartition des entités économiques sur le littoral par secteur d'activité .....	25
<b>Tableau 03 :</b> Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude .....	53
<b>Tableau 04:</b> Classification des variables de la vulnérabilité.....	55
<b>Tableau 05 :</b> Classification des variables pour le calcul des sous indices.....	57
<b>Tableau 06 :</b> Quantification de la vulnérabilité de la baie d'El Djamila.....	67
<b>Tableau 07 :</b> Niveaux de la vulnérabilité côtière.....	67

# INTRODUCTION

La zone côtière est un espace à la fois fragile et vulnérable où se manifeste l'interaction entre la partie marine et la partie terrestre à travers des systèmes écologiques et systèmes de ressources complexes comprenant des composantes biotiques et abiotiques coexistant et interagissant avec les communautés humaines et les activités socio-économiques pertinentes (Prieur, 2011)

Les espaces littoraux comme leur nom l'indiquent, constituent des lieux d'interface entre mer et continent. Zone de contact entre terre et eau, le regard qu'on y porte dépend largement d'où l'on se situe. Depuis la terre on redoute que les littoraux reculent du fait du *réchauffement climatique*. Depuis la mer, on constate que le niveau varie, a varié et variera sans doute à l'avenir. Marqués par l'ambivalence, entre aménité et âpreté ces « espaces de l'eau », constituent des lieux historiquement rattachés à la formation de l'urbain et continuent de l'être toujours davantage. Anciens « territoires du vide », autrefois considérés comme hostiles ils ne cessent aujourd'hui d'attirer une population grandissante. Ainsi de nombreux auteurs estiment à 60% la population mondiale vivant à moins de 60 km des côtes, d'autres ramènent la part de la population du globe vivant à moins de 15 km d'un rivage marin entre 15 et 20% toujours est-il que la manifestation la plus poussée de cette pression anthropique permanente est l'artificialisation et l'urbanisation des rivages (Robert, S., 2012).



**Figure 01 :** causes et conséquences du changement climatique (Projet MISEEVA « brgm »)

Que l'on parle d'adaptation ou d'atténuation de leurs effets, les changements climatiques sont désormais une réalité. Une telle prise de conscience collective est un préalable à toute action car une fois les facteurs et les causes des changements climatiques connus, nul ne peut prétendre ne pas avoir de réponses. Pour être efficaces, ces solutions, véritables stratégies de lutte, doivent être encadrées, soutenues et accompagnées, surtout dans les pays en voie de Développement qui est reconnu comme les plus vulnérables aux impacts des changements climatiques. Les changements climatiques auront en effet des impacts sur les systèmes naturels, économiques et humains qui, parce que multiformes et variables d'une région du monde à l'autre, concerneront tant les ressources en eau, que la gestion des terres ou les populations. Il est important de rappeler que l'élévation du niveau des océans constitue l'un des enjeux majeurs des changements climatiques. « L'économie bleue » – celle des océans – joue un rôle central dans notre quotidien. Les produits de la mer représentent la principale source de protéines pour au moins une personne sur quatre. La moitié de la population mondiale vit en zone côtière à moins de 50 kilomètres de la mer. Quatre-vingt-dix pour cent du commerce mondial s'effectue par voie maritime. Grâce aux avancées technologiques, les activités économiques dans les zones côtières et en eaux profondes s'intensifient et se diversifient de plus en plus. » Cependant beaucoup trop ignorent la portée de ces impacts, non seulement sur l'équilibre naturel mais aussi sur la vie économique et sociale des Populations. Nous avons donc entrepris de contribuer à l'une des stratégies de lutte contre les Manifestations des changements climatiques en produisant ces informations sur les options d'adaptation possibles en zones côtières. Cette information et le partage d'expériences demeurent cruciaux dans ce domaine car les victimes des changements climatiques peuvent apprendre de leurs expériences respectives. Une fois partagées, ces expériences permettent à d'autres groupes vulnérables exposés dans les mêmes conditions, d'identifier des moyens d'actions et d'éviter l'utilisation inadéquate de stratégies et d'options improvisées

La zone côtière algérienne qui se situe au sud du bassin méditerranéen est tout le temps vulnérable, parce qu'elle est soumise à des multiples risques telle que les inondations, les séismes, les tsunamis, la sécheresse, d'autre part les phénomènes comme l'érosion et la submersion marine prennent actuellement des proportions très alarmante et inquiétante à la fois (GIEC, 2007)

La côte algéroise étouffée par l'avancée du béton L'urbanisation est une autre menace pour les côtes algériennes dont celle de l'Algérois. Selon MM. Grimes et Abbad, « d'une manière globale, toutes les communes ont connu une évolution de leur tissu urbain ». En 2013, la wilaya d'Alger est urbanisée à 42%, alors que son linéaire côtier est à 70% et la zone de servitude n'est pas épargnée avec un taux d'urbanisation dépassant les 60% pour les deux années (entre 2011 et 2013). Plusieurs communes sont à 100% urbanisées dont Bab El Oued, La Casbah, Alger-Centre, El Hamma et Hussein-Dey. Pour les cas de Reghaïa et Heuraoua,

dont le linéaire côtier reste encore vierge, ce taux ne dépasse pas les 40%. Les communes de Bab El Oued, Raïs Hamidou et Bologhine sont des zones très artificialisées avec un taux de 70% de surface urbanisée et un linéaire côtier occupé à 100%. Les communes de Aïn Benian, Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri subissent le même sort. Pour Aïn Taya et El Marsa, il est de 44% pour la première et 42% pour la seconde. Zeralda est une commune moins urbanisée, soit 17% avec un linéaire côtier à 15% urbanisé. Pour la conurbation (agglomération urbaine formée de plusieurs villes qui se sont rejointes au cours de leur croissance, mais qui ont conservé leur statut administratif), la loi 02-02 stipule que l'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral est interdite, à moins que la distance les séparant soit de 5 kilomètres au moins du littoral. Or, aucune commune n'a respecté cette distance. Pire encore, « les routes, voies ferrées, ports et aéroports ont été réalisés pour l'essentiel sur la frange du littoral souvent au détriment des terres fertiles », signale M. Grimes. Ce qui a engendré « des pertes considérables générées par le développement urbain et économique ».

Conséquence des changements climatiques, des nouvelles politiques ont été entreprises dans le but de protéger et conserver la zone côtière algérienne, cette protection fait appel à des méthodes d'évaluation simple et efficace qui intègre à la fois des indices individuelles et multi-échelles à fin de déterminer le degré de la vulnérabilité de milieu physique et humaine face à ces menaces (Balica et al., 2012)

Dans ce cas, notre objectif de travail est de :

- Faire un inventaire complet des méthodes susceptibles de traiter et d'évaluer la vulnérabilité côtière
- Proposer une méthode simple et efficace en fonction de la disponibilité des données
- Appliquer cette méthode pour notre zone d'études

# GENERALITE

## I.1. Quelques définitions :

### I.1. 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 (Dauphiné, 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. vulnérabilité :

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. Cette définition de la vulnérabilité semble trop restrictive et lui est opposée, depuis une dizaine d'année, une nouvelle définition qui traduit la fragilité d'un système dans son ensemble et **sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa** (Dauphiné, 2001)

### I.3. Risques :

Le risque est la confrontation d'un aléa (phénomène naturel dangereux) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent être humains, économiques ou environnementaux. (Leone et Vinet, 2011)

$$(\text{Risque}) = (\text{aléa}) \times (\text{vulnérabilité})$$



#### I.4. Exposition, Resistance et Résilience 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.
- **la résilience** est la capacité à récupérer un fonctionnement normal suite aux conséquences d'un événement non souhaité (Dauphiné, 2001)

La résilience    ↗                    ==                    La vulnérabilité    ↘

#### I.5. Vulnérabilité côtière :

La *susceptibilité* des enjeux côtiers naturels tel que (érosion/submersion,...) et anthropique comme (les bâti, pression démographiques, activités industrielles,...) à subir des dommages *due* à l'exposition de Ces derniers (Leone et Vinet, 2011). C'est-à-dire, le degré de dommages subis par ces enjeux, exprimés en valeur absolue ou en pourcentage du total.

## II. Les dangers qui guettent la zone côtière :

Le programme des nations unies pour l'environnement a établi une liste des dangers guettant les zones côtières et l'environnement marin: La pollution marine, L'introduction d'espèces exotiques, Les altérations physiques du rait de cote, Le changement climatique (UNEP, 2002).

### II.1. La pollution marine :

Depuis l'air industrielle, l'homme exerce une très grande pression, sur le milieu marin par Plusieurs activités ce qu'il rond fragile et complexe, en y introduisant des substances tout a fait étrangère, modifiant toute sa structure originel, se qui permet des variations dans écosystème et donc il agit a la vie marine et l'humaine, on cite comme exemple :

- la contamination par les égouts,
- l'eutrophisation des eaux côtières,
- les déchets non biodégradables entrant dans l'écosystème

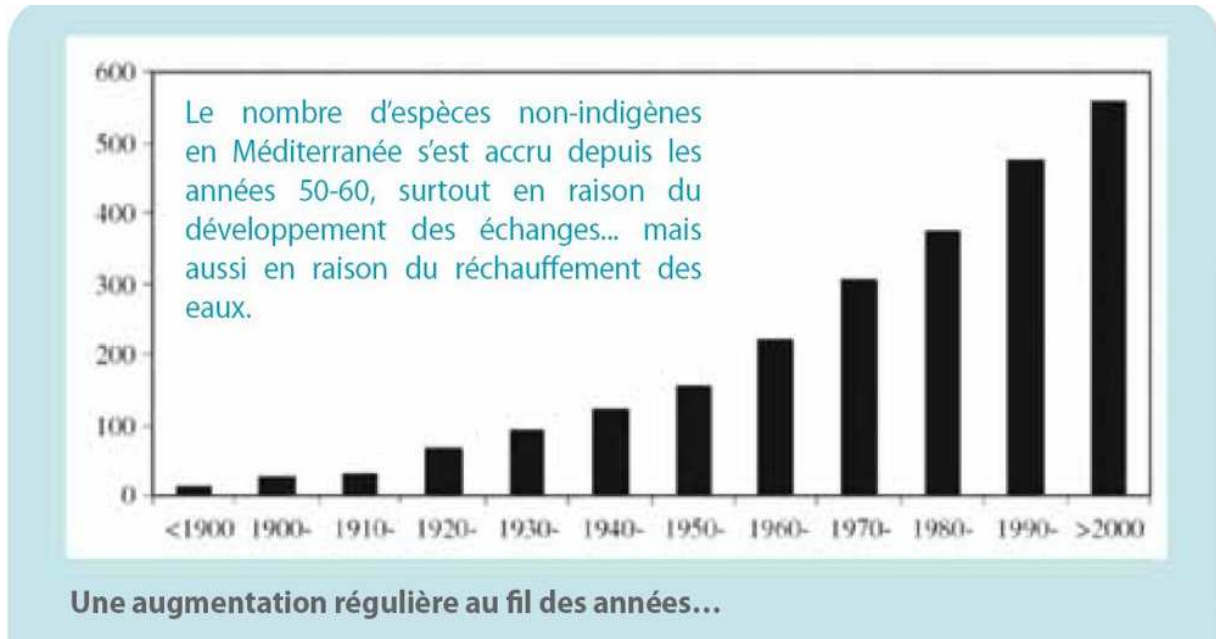
### II.2. L'introduction des espèces exotiques en mer:

#### *C'EST QUOI UNE ESPECE EXOTIQUE?*

Selon l'UICN (Union Mondiale pour la Nature), une espèce envahissante est une *"espèce exotique dont l'introduction, l'installation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences environnementales et/ou économiques et/ou sanitaires négatives"*.

*COMMENT S'INTRODUISENT T-ILS?*

Les espèces non-indigènes peuvent s'introduire en Méditerranée de deux manières différentes : de façon naturelle, transportées par les courants (ex. larves de poissons ou d'invertébrés) ou accrochées à un morceau de bois à la dérive (ex. algues), ou de façon artificielle avec l'intervention de l'Homme (PNUE, PAM, CAR/ASP, 2011)



**Figure 02 :** Variation du nombre des espèces exotiques en méditerranée en fonction du temps

*QUELLES SONT LES IMPACTS DUE A L'INVASION DE CES ESPECES ?*

- **Des impacts importants sur la biodiversité :** Par exemple, l'arrivée d'un herbivore strict peut profondément modifier les paysages algaux.
- **Des bouleversements dans les pêcheries :** tel que les modifications des stocks de poissons, Une navigation perturbée,...etc.
- **Des conséquences humaines et économiques lourdes** (PNUE, PAM, CAR/ASP, 2011)

**II.3. Altération physique de trait de cote :**

L'évolution du trait de côte est régie par des phénomènes d'érosion (majorité des cas) ou d'avancée (progradation). L'ampleur spatiale et la rapidité de cette évolution sont fonction de la nature géologique du littoral, de paramètres tels que la hausse du niveau de la mer et de certains phénomènes météorologiques (houle, tempête). Ces derniers paramètres, qui pourraient être renforcés par le changement climatique, pourraient accentuer à l'avenir l'amplitude des modifications du trait de côte. (DIREN, 2007)

#### **II.4. Changement climatique :**

Les océans jouent un rôle fondamental dans la régulation de l'équilibre climatique global de la Terre : ils absorbent la chaleur et la redistribuent dans le monde par le biais des courants marins et de leurs interactions dans l'atmosphère. Ils absorbent également des fractions de gaz présents dans l'atmosphère.

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne une **hausse de la température moyenne des océans**. De plus l'absorption de grandes quantités de CO<sub>2</sub> entraîne une **augmentation de l'acidité de l'eau**. Les océans seraient devenus 30 % plus acides qu'avant la Révolution industrielle. Les conséquences de ce phénomène se sont déjà fait sentir, notamment par la mort de larges zones de récifs coralliens. Les scientifiques pensent aussi que cette acidification pourrait réduire les réserves en carbonates de calcium dans l'eau de mer, notamment l'aragonite, une substance particulièrement importante qui est utilisée par de nombreux organismes pour fabriquer leur coquille

### **III. 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.

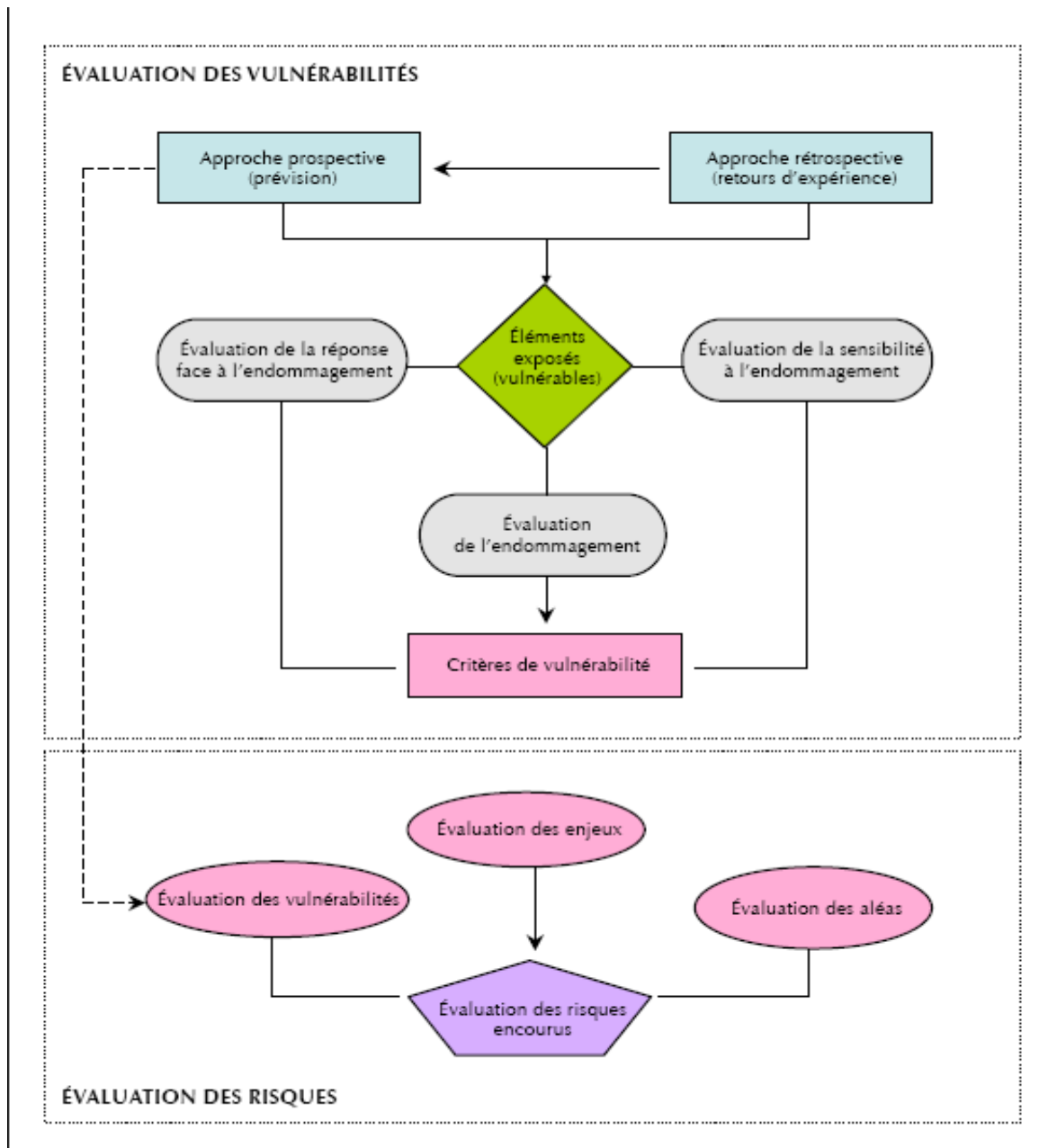
Cette évaluation a pour but de minimiser la vulnérabilité à d'éventuels risques naturels des individus et des communautés (collectivités).

#### **III.1. Les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité :**

Il existe deux grandes approches complémentaires : rétrospective et prospective (figure 02). 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 ou qualitative :

- 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 03 :** Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités.

## **III.2. Les outils d'évaluation de la vulnérabilité :**

### **III.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.

#### **III.2.1.1. 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 socio-économique (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 and 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 (Palmer et al., 2011, Abuodha and Woodroffe, 2006). Cette intégration peut se faire après le calcul de l'IVC 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).

#### **III.2.1.2. 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.

A fin que notre travail soit plus précis, on va subdiviser notre zone d'étude comme suit :

I-échelle nationale, le littoral Algérien.

II-échelle régional la zone Algéroise (baie de Zemmouri, d'Alger et de Bou-Ismaïl).

III-échelle locale (la baie d'El Djamila).

## **I. Le littoral Algérien (échelle nationale)**

### **I.1. Aspect physique :**

#### **I.1.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau continental algérien**

Les côtes Algériennes s'étirent d'Ouest en Est sur plus de 1622 Km., la côte se trouve entièrement au Sud du 36<sup>ème</sup> parallèle près de la frontière marocaine à Tlemcen, alors qu'elle est entièrement au Nord du 36<sup>ème</sup> à la frontière Tunisienne. Cet étirement vers le Nord de la côte en partant de l'Ouest à l'Est, rend la totalité du rivage marin plus sensible aux vents d'Ouest qu'à ceux provenant de l'Est. Il en est de même pour les courants marins, très irréguliers, tant en direction qu'en puissance sur toute la côte algérienne.

La marge continentale algérienne s'étend sur environ 1000 Km d'Ouest en Est, entre les longitudes 2.2°W et 8.5°E. Le bassin algérien a un fond approximativement plat, situé aux environs de -2700 mètres (Auzende, 1978). La marge nord algérienne a une morphologie assez simple, caractérisée par un plateau continental très étroit et une pente continentale forte (Leclaire, 1968, 1972).

Le plateau continental algérien, défini comme la zone allant de côte au rebord continental, est le plus étroit de la méditerranée. Sa largeur varie entre 20 et 30 Km (à l'Ouest d'Oran et l'Est du golf d'Annaba) et entre 1 et 2 Km en certains points de la côte. (Leclaire, 1972).

On constate qu'au Sud du 36<sup>ème</sup> parallèle, le plateau continental est plus large que partout ailleurs en Algérie, plus sableux aussi, à l'exception de la zone comprise entre les îles Habibas et le cap d'aiguille. Au nord du 36<sup>ème</sup> parallèle,

la prédominance est à relief très montagneux accidenté où le plateau continental est quasiment le négatif de la zone terrestre côtière.

Le long de cette inclinaison de la côte vers le Nord, d'Ouest en Est, on distingue :

- *Des fonds rocheux*, irréguliers et très accores avec fosses profondes près du littoral là où la zone terrestre est montagneuse ; l'isobathe des 1000 mètres voisinant souvent avec une ligne parallèle à 3 milles marins de la terre ferme ;
- *Des fonds sableux*, relativement plats et réguliers, là où la zone littorale terrestre est plus basse et moins accidentée, comme au golf d'Annaba, la baie de Skikda au golf de Mostaganem, d'Arzew et de Béni-Saf à la frontière Algéro-Marocaine.



**Figure 04:** Cadastre du littoral (Source : MATE)

## I.2. Aspect socio-économique :

Le littoral algérien représente un système fragile et constamment menacé de dégradation en raison du développement incontrôlé de l'urbanisation, une diminution du foncier agricole et une dégradation des milieux sous les effets de la pollution et de la croissance des activités.

Sur les 1 622 Km de linéaire côtier, 435 Km (27%) sont déjà quasiment urbanisés dont 235 Km du littoral Nord Centre, 120 Km du littoral Nord Est et 82 Km du littoral Nord Ouest.

La population est caractérisée par une répartition déséquilibrée sur le territoire national, environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement. En 2008, la population des wilayas littorales est estimée à 15 080 942 habitants soit 44,25% de la population nationale, résidant en permanence sur une bande du littoral de 50 Km de profondeur (ONS, 2008).

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

**Tableau 1:** Répartition de la population sur le domaine littoral algérien.

Wilaya	1987	1998	2008	2020
Tlemcen	716678	842 053	949 135	1 118 482
A.Témouchent	275492	327 331	371 239	427 658
Oran	932832	1 213 839	1 454 078	1 625 863
Mostaganem	502832	631 057	737 118	851 653
Chlef	687106	858 695	1 002 088	1 185 580
Tipaza	389530	506 053	591 010	675 232
Blida	634690	784 283	1 002 937	1 051 374
Alger	2122188	2 562 428	2 988 145	3 299 645
Boumerdes	508101	647 389	802 083	864 726
Tizi Ouzou	939013	1 108 708	1 127 607	1 433 501
Béjaia	698837	856 840	912 577	1 128 030
Jijel	474040	573 208	636 948	793 633
Skikda	621563	786 154	898 680	1 059 808
Annaba	466839	557 818	609 499	715 370
El Taref	274762	352 588	408 414	491 938
<b>Total Littoral</b>	<b>10246490</b>	<b>12 608 444</b>	<b>14 491 558</b>	<b>15 536 913</b>
<b>Total National</b>	<b>23051000</b>	<b>29 100 867</b>	<b>34 080 030</b>	<b>40 55 9735</b>
<b>Pop Littorale / Pop Nationale (%)</b>	<b>44,45</b>	<b>43,33</b>	<b>42,52</b>	<b>38,31</b>

source :ONS

Le littoral en Algérie est par ailleurs, caractérisé par une concentration des activités industrielles. Selon une enquête de l'ONS (1993), des 10 202 unités industrielles recensées sur le territoire national, 5 242 d'entre elles sont implantées sur la frange littorale, soit 51,4% du parc national dont 60 unités industrielles à risque majeur (MATE, 2003) avec trois zones « hot spot » avec un risque « effet domino ». Ces établissements regroupent l'activité pétrolière et gazière, les centrales électriques, la production de Chlore, le traitement des minerais et la production d'engrais et de fertilisants.

**Tableau 2:** Répartition des entités économiques sur le littoral par secteur d'activité

wilaya	Grands secteurs d'activité				total
	construction	commerce	industrie	services	
<b>Tlemcen</b>	222	16938	3298	9628	30086
<b>A.Témouchent</b>	61	5647	964	3998	10670
<b>Oran</b>	530	30577	5270	16475	52852
<b>Mostaganem</b>	152	9722	1800	5068	16742
<b>Chlef</b>	239	14633	2607	8931	26410
<b>Tipaza</b>	147	8959	1596	5143	15845
<b>Blida</b>	246	16444	3252	9227	29169
<b>Alger</b>	1048	54632	8892	32447	97019
<b>Boumerdes</b>	224	10529	2314	7505	20572
<b>Tizi Ouzou</b>	588	17363	5092	14233	37276
<b>Béjaia</b>	743	14384	3887	12183	31197
<b>Jijel</b>	116	8319	2104	5681	16220
<b>Skikda</b>	289	11111	2455	7846	21701
<b>Annaba</b>	255	10256	1917	7180	19608
<b>El Taraf</b>	86	5263	966	3913	10228
<b>Total littoral</b>	<b>4946</b>	<b>234777</b>	<b>46414</b>	<b>149458</b>	<b>435595</b>
	<b>1,1%</b>	<b>53,9%</b>	<b>10,7%</b>	<b>34,3%</b>	<b>100,0%</b>
<b>Total national</b>	<b>9117</b>	<b>511700</b>	<b>95445</b>	<b>317988</b>	<b>934250</b>
	<b>1,0%</b>	<b>54,8%</b>	<b>10,2%</b>	<b>34,0%</b>	<b>100,0%</b>
<b>Littoral/national</b>	<b>54,3%</b>	<b>45,9%</b>	<b>48,6%</b>	<b>47,0%</b>	<b>46,6%</b>

Source : ONS (Recensement économique 2011)

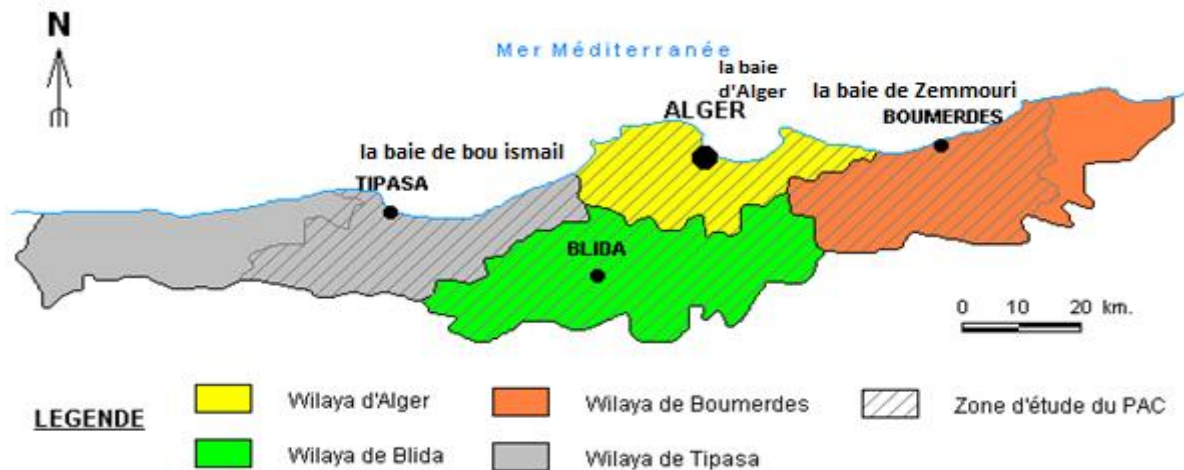
## II- La zone Algéroise (échelle régionale)

La zone Algéroise se situe au milieu du littoral algérien, dans la zone de l'agglomération algéroise dont la capitale Alger est naturellement l'élément central. Elle couvre le littoral de trois wilayas: Tipaza, Alger et de Boumerdès, et plus précisément, l'espace côtier allant du Mont Chenoua à Cap Djinet.

La zone s'étend sur plus de 123 km entre le Mont Chenoua et le Cap Djinet, et se compose de 27 communes, la première étant celle de Tipaza (wilaya de Tipaza) à l'Ouest et la dernière celle de Djinet à l'Est (wilaya de Boumerdès).

Du point de vue physique et naturel, les baies de Bou-Ismaïl, d'Alger et de Zemmouri font une façade maritime à un arrière-pays littoral composé de cinq secteurs géographiques:

- Le Sahel algérois (environ 60.000 ha) est un ensemble de collines, de coteaux à vocation agricole, de forêts allant d'Alger au Mont Chenoua;
- Le Zakkar, le Mont Chenoua et le Massif des Soumatas constituent un ensemble de montagnes et de collines à vocation forestière (85.000 ha);
- La région à l'Est d'Alger, constituée de basses montagnes et de collines à vocations agraire, pastorale et sylvicole (65.000 ha);
- La plaine de la Mitidja, une des plus importantes plaines d'Algérie, à vocation essentiellement agricole (140.000 ha); et
- L'Atlas Blidéen constitue une limite naturelle de la zone, avec des montagnes à vocation forestière et pastorale (95.000 ha).



**Figure 05:** Description géographique de la côte Algéroise (Baie de Bou Ismail, Baie d'Alger et Baie de Zemmouri)

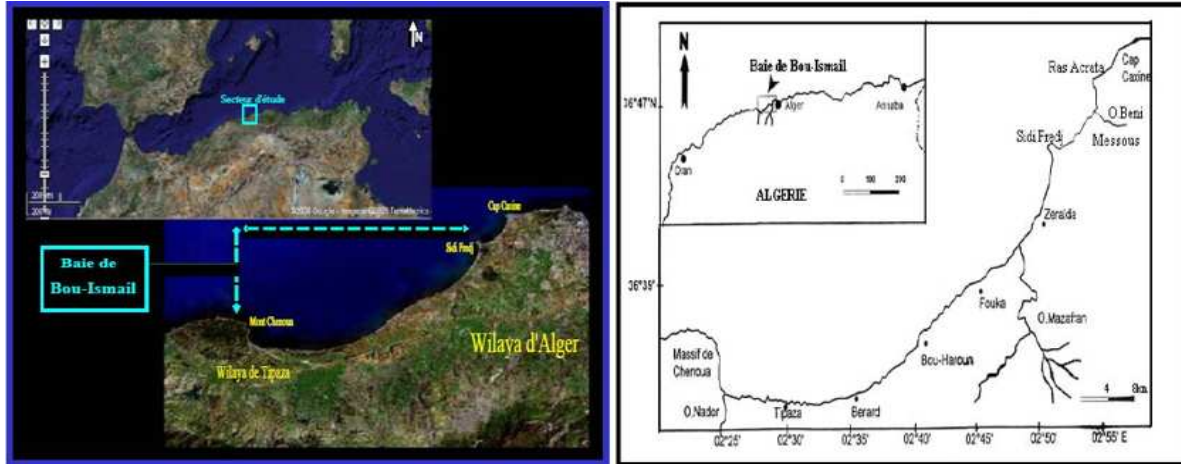
## II.1. La baie de Bou-ismail :

### II.1.1. Situation géographique :

Notre site d'étude correspond à la baie de Bousmail (ex : Golfe de Castiglione), qui est limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'ouest par le cap du Mont Chenoua.

Elle a une superficie de 509 Km<sup>2</sup>. Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'El Djamilia .La baie couvre une superficie de 350 Km<sup>2</sup> avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud- Ouest au Nord- Est , soit 2° 54 Est et 36° 48 Nord à 2° 24 Est et 36° 38 Nord. La région de Bousmail est une zone à vocation touristique et agricole ; sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu

naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas s'accroissant en période estivale. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels; à cela s'ajoute la pollution due l'activité de la pêche. (LEM, 1998).



**Figure 06:** situation géographique et localisation de la baie de bousmail

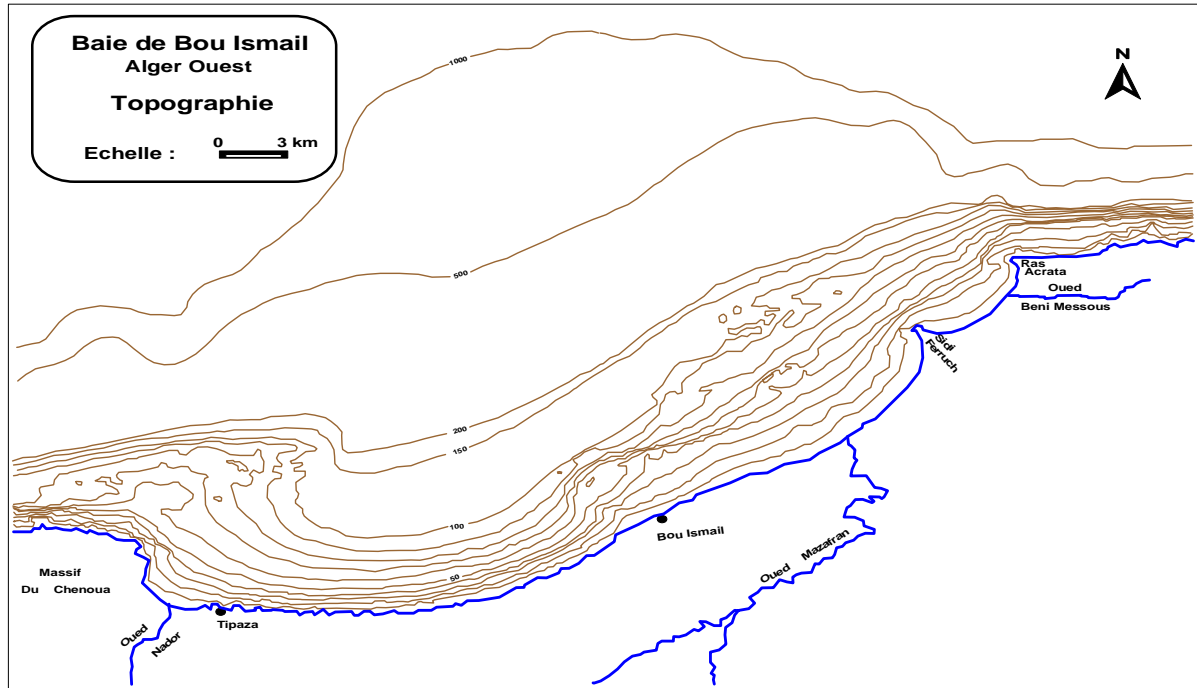
### II.1.2. Morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismail :

Le plateau continental est d'une manière générale, très étroit (Leclaire, 1972). La limite la plus extrême du plateau continental au niveau du mont Chenoua atteint 13 Km. Ainsi la surface du plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl est de 509 Km<sup>2</sup> avec 70% de la surface chalutable (Chavance et Girardin, 1986). La pente est douce et perturbée par quelques appointements rocheux localisés au large de Mazafran de Bou-Ismaïl.

Leclaire (1972) a dressé une carte de la couverture sédimentaire de toute la baie de Bou-Ismaïl, il distingue ainsi trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutables, qui sont comme suit:

- Le prolongement du massif de Chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras-Nador depuis la côte jusqu'à l'isobathe 180m en direction Nord Nord-Est.
- Entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la côte jusqu'à l'isobathe 100 m
- Depuis les fonds de 110 à 150m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de Sidi- Fredj.

Au niveau de la baie de Bou Ismail, le rebord du plateau continental débute à environ 100 m de profondeur, qui surplomb un large méplat une entaille dans la pente continentale, l'isobathe 400m est ainsi rejeté à 14 km du rivage dans le Nord – Est du massif du Chenoua.



**Figure 07:** Topographie de la baie de Bou Ismail (Leclair, 1972).

### II.1.3. Sédimentologie de la baie de Bou Ismail :

Vers l'embouchure de oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt fluvio-marin et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza. (Al Sid Chikh et *al.*,2009)

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie.

Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur.

Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), un dépôt de sable moyen et gravier. (LEM, 1998).

L'analyse des sédiments de la baie de Bousmail a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès, identifiés : les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux.

La répartition de ces faciès n'est pas identique, ainsi deux régions apparaissent : la région est ou orientale et la région ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologique propres, fut déjà signalée par Belkessa (1999). Les vases pures sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région Est.

Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale ; les sables graveleux se limitent au secteur oriental. (LEM, 1998).

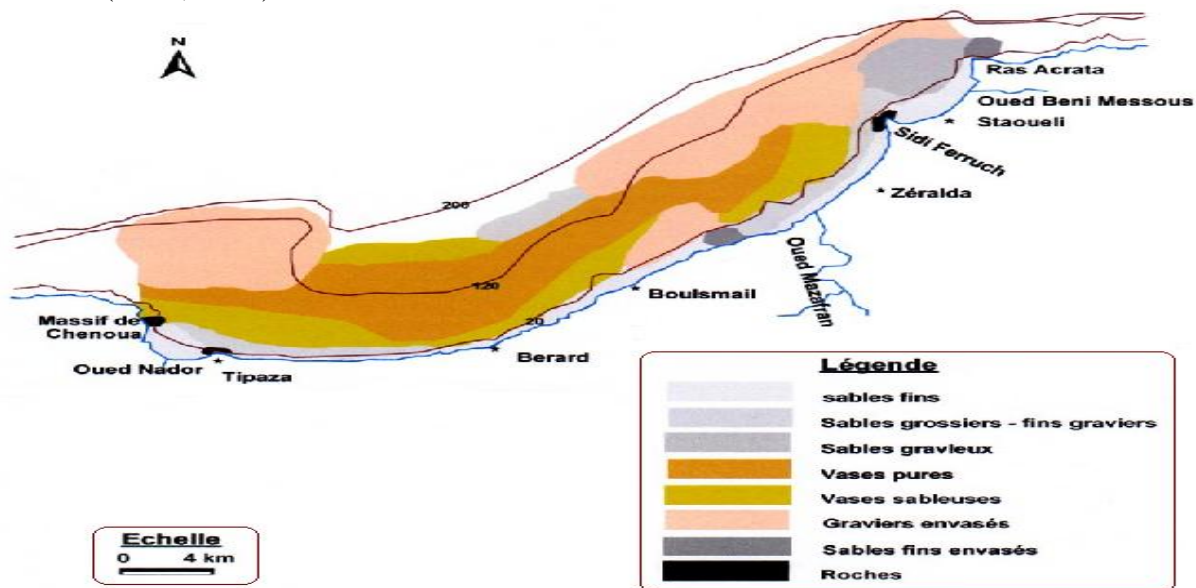


Figure 08 : Carte sédimentologique de la baie de Boumail

#### II.1.4. Réseau hydrographique :

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes, trois oueds déversent dans cette baie :

o **L'oued Mazafran** : possède un bassin versant de 1850 km<sup>2</sup>, c'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie. Son débit solide est estimé entre 1400 et 1800 t/km<sup>2</sup>, tandis que le débit liquide à 43.8 millions m<sup>3</sup>/an. Le débit solide à l'embouchure de l'oued est d'environ trois millions t/an. Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued : marqué par un long étiage de Juin à début Décembre avec des débits représentant 17,38% du débit liquide annuel. Entre Décembre et Avril, ces débits sont 82,61%, débouchant au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zéralda avec un débit de 7.566 m<sup>3</sup>/S

o **L'oued Nador** : Présente un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 Km<sup>2</sup>. Son débit liquide est de 28 millions m<sup>3</sup>/an (0,89 m<sup>3</sup>/s)

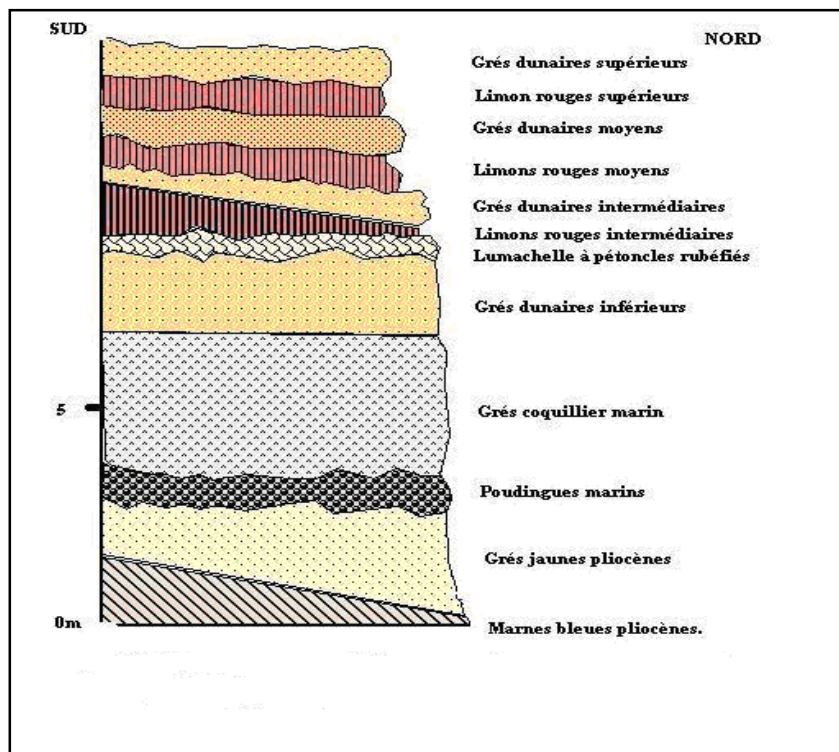
o **L'oued de Beni-Messous** : Est situé entre El-Djamila et « club des pins » à 18 Km à l'ouest d'Alger. Son débit est faible par rapport au débit des oueds précédemment cités et estimé à 7.7 millions m<sup>3</sup>/an). Il regroupe trois oueds qui jouent un rôle important dans les apports en eaux usées et sédimentation. (0.245 m<sup>3</sup>/s). (Benzohra, 1993)

### II.1.5. Géologie

La série lithologique synthétique établit par (Betrouni, 1983), correspond de haut en bas:

- Grès dunaires supérieurs.
- Limons rouges supérieurs.
- Grès dunaires moyens.
- Grès dunaires intermédiaires.
- Lumachelle à pétoncles rubéfiés.
- Grès dunaires inférieurs.
- Poudingue et grès coquilliers inférieurs.
- Substratum pliocène.

Nous sommes donc en présence d'un littoral dont les couches ne résistent pas souvent l'impact des houles.



**Figure 09:** Coupe stratigraphique synthétique du tyrrhénien dans la baie de Bou Ismail (Betrouni, 1983).

## **II.1.6. Conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismail**

### **II.1.6.1. Climat**

La baie de Bou- Ismail est caractérisée par un climat subhumide, un hiver humide et un été chaud et sec (CNRDPA, 2005).

### **II.1.6.2. Vents**

La baie de Bou Ismail est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduisent par une prédominance :

- Des vents d'Ouest en Hiver et Printemps, d'une vitesse moyenne de 2m/s.
- Des vents de l'Est en Été et début Automne avec une vitesse moyenne supérieur de 2m/s (Asso, 1982 in Zeghdoudi, 2006).

### **II.1.6.3. Température et précipitations**

A partir des données de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) 2010 de Dar El Beida, la région d'Alger est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides.

#### **- Les températures de l'air**

Les températures de l'air varient entre 11.1 C° et 26.3 C°. Le mois le plus chaud est le mois d'août avec une moyenne de 26.30 C° et le mois le plus froid est le mois de janvier avec une moyenne de 11,1 C°.

#### **- Les précipitations**

La baie de Bou-Ismaïl est une région à pluviométrie relativement élevée. La période pluvieuse s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai avec une moyenne maximale de 102.5 mm au mois de décembre.

## **II.1.7. Facteurs hydrodynamiques**

### **II.1.7.1. Les courants**

La baie de Bou Ismail est soumise a un courant générale de l'ouest vers l'est, entre en surface par le détroit de Gibraltar, il résulte d'un écoulement d'eau atlantique pouvant atteindre selon (Millots 1987) 0.5 à 0.7 m/s, passant à quelques milles au larges de cotes (in Dergali. M.A, 1997).

### **II.1.7.2. Les houles**

D'une manière générale la houle est définie comme une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau et dépend du régime des vents.

**II.1.7.2.1. Les houles hivernales :** sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin (Kadari-Meziane, 1994).

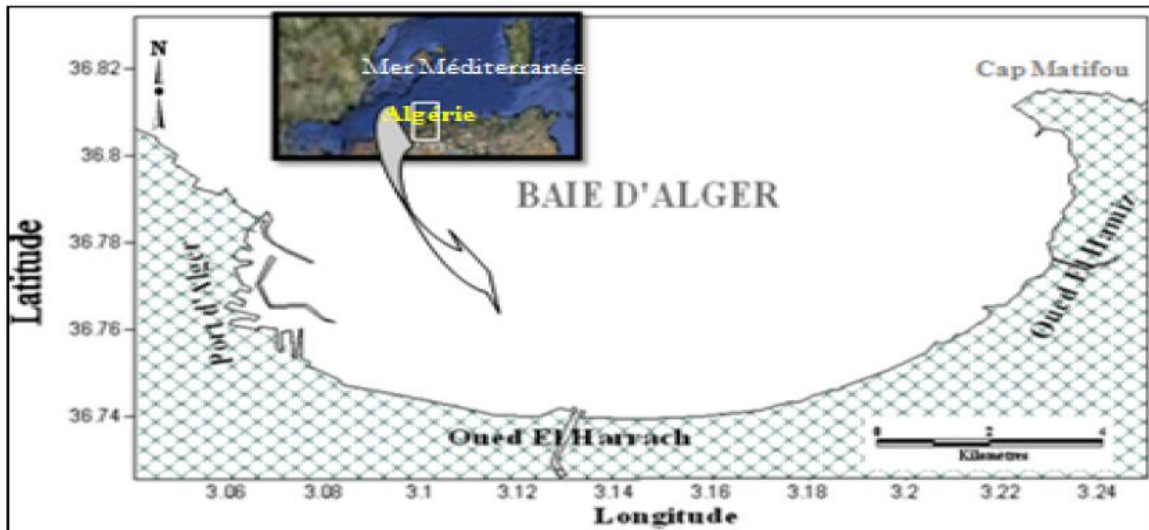
**II.1.7.2.2. Les houles estivales :** sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la cote avec transfert des sédiments qui engraisent le rivage (Braik ; 1989) (in Aouidad 1997).

## **II.2. La baie d'Alger :**

### **II.2.1. Description géographique :**

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 Km<sup>2</sup>, délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El-Bahri) à l'Est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03°.14'.50 à 03°.00'.40 et une latitude nord 36°.49'.35 à 36°.49'.50.

Le plateau continental est très étroit mais s'élargi au centre de la baie. Ce dernier ne dépasse pas l'isobathe 120 m. En effet, l'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte, celui de 100m est à 7,6Km quant à celui 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1Km de la côte.



**Figure 10:** Situation géographique de la baie d'Alger

### II.2.2. La sédimentologie :

Trois faciès sédimentaires existent dans la sédimentologie de la baie d'Alger.

#### ➤ **Faciès sableux.**

Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires, et en prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie. (Belkessa,1999; Maouche, 1987)

- **Les sables fins** : sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
- **Les sables moyens** : sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.
- **Les sables grossiers** : sont prédominants dans le secteur Est où ils sont mélangés aux faciès pélitiques (du Cap Matifou vers l'embouchure de Oued El Hamiz).

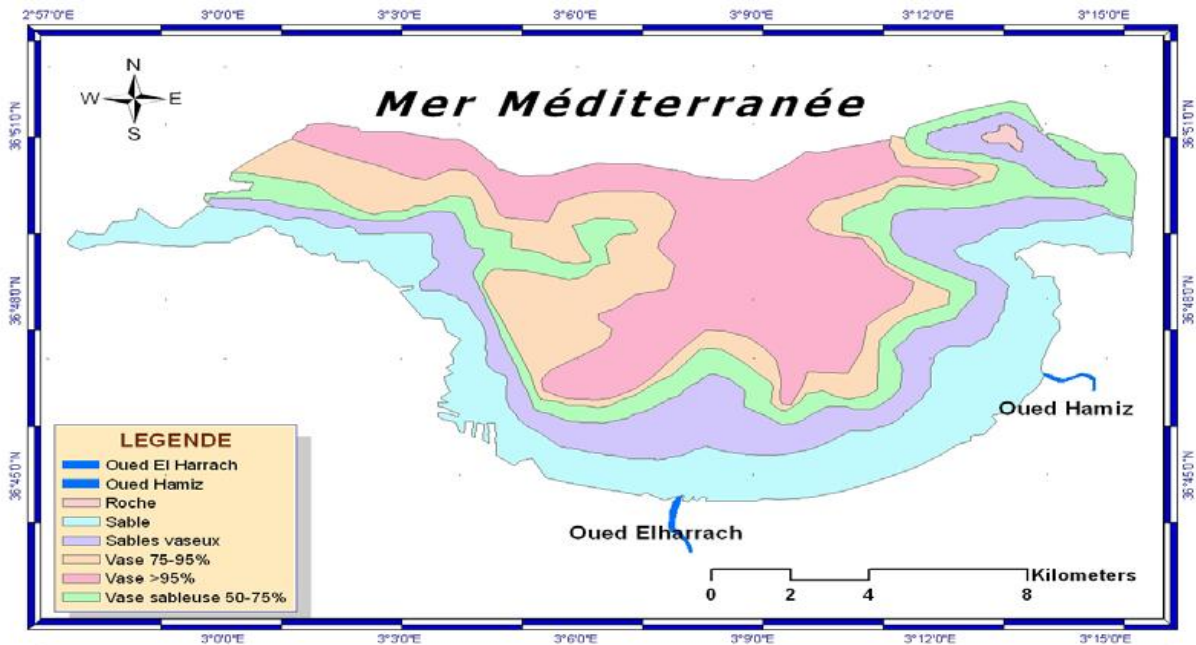
#### ➤ **Faciès carbonatés.**

On les retrouve dans la bordure Ouest jusqu'à des profondeurs de 35 à 50m, et dans la bordure Est à des profondeurs plus élevées, au droit du Cap Matifou. Ils sont limités aux bordures rocheuses, ainsi qu'aux hauts- fonds rocheux de la baie.

- **Bordure Ouest** : La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.
- **Bordure Est** : Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou. où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.
- **Le haut-fond du Matifou** : la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.

➤ **Faciès pélitiques.**

Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction pélitique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds. Les faciès vase sableux à vaseux constituent 70 % des dépôts superficiels de la baie d'Alger. La fraction pélitique apparaît à partir de -10m de profondeur où elle représente 10 %, son pourcentage augmente pour atteindre plus de 50 % dès - 25 m (-35m au droit des oueds), à -30m (-50 m au droit des oueds) cette fraction représente 75 % et plus souvent 95 %. (Bachari et *al.*, 2004; LEM,1998).



**Figure 11** : Nature de fond de la baie d'Alger

### **II.2.3. Aperçu hydrographique :**

La région d'Alger est constituée de trois principaux aquifères :

**II.2.3.1. *Le socle métamorphique*** : Il existe une présence d'eau dans le socle métamorphique, qui se manifeste sous forme de résurgence (sources) ou de nappe (cas des puits domestique de la Casbah). Il s'agit d'une eau localisé dans les fissures diaclase et fracture.

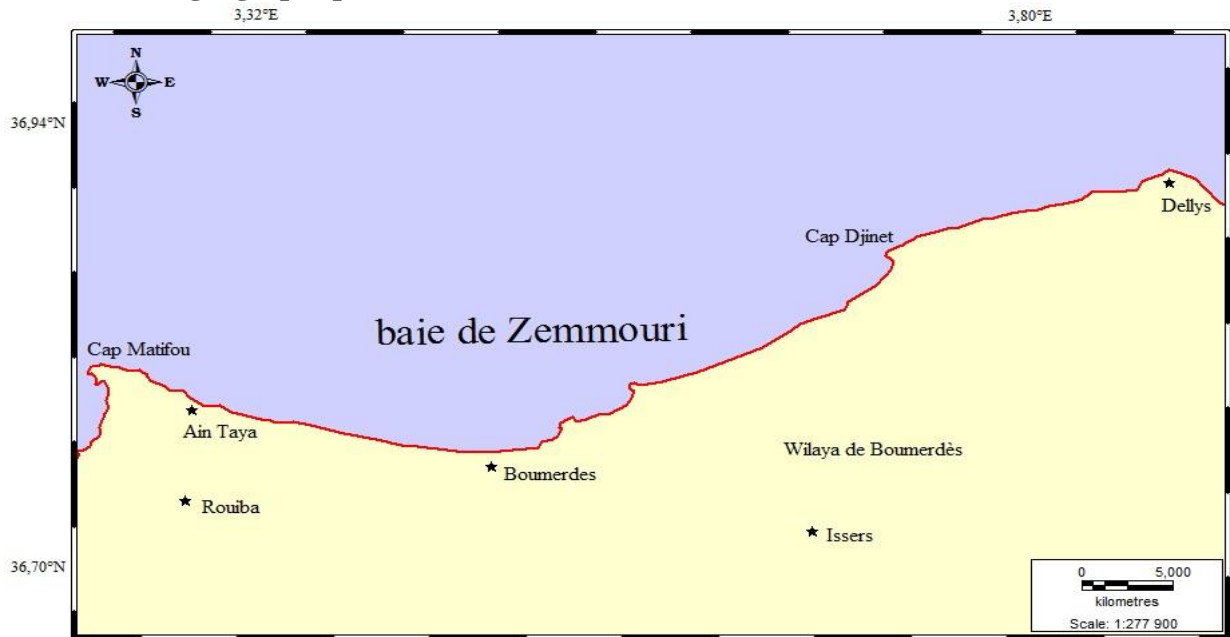
**II.2.3.2. *Le tertiaire*** : Le terrain aquifère le plus important de la région d'Alger est la mollasse astienne. Le mur de cette nappe est représenté par les argiles marneuses bleues du plaisancien. Ce contact astien-plaisancien est jalonné par une multitude de résurgences.

Cet aquifère est subdivisé en deux nappes :

- a) *Nappe de la Mitidja* : Elle est captée par de nombreux forages d'alimentation en eau potable (AEP). Cette nappe est bien connue par suite des missions de reconnaissance géologique et hydrogéologique faites dans le site.
- b) *Nappe du plateau mollassique d'Alger* : C'est une nappe libre dont les eaux ont été exploitées pour l'alimentation en eau potable d'Alger, suite au captage des sources d'El Hamma, de Telemely et de Ben Aknoun.

## II.3. La baie de Zemmouri :

### II.3.1. Situation géographique :



**Figure 12 :** Situation géographique de la baie Zemmouri

La grande baie de Boumerdès se trouve au nord de la wilaya; cette baie est limitée à l'Ouest par le cap de Bordj El Bahri (et le cap de Boudouaou El Bahri par rapport à la wilaya) et à l'Est par celui de cap Djenet qui se prolonge par l'important dôme de Delys, constitué de Djebel dont celui de Bouberak (593 m).

La moitié occidentale de la baie de Boumerdès est une bande qui va du Nord-ouest au Sud-est et qui se prolonge à l'intérieur par la plaine orientale de la Mitidja. La partie orientale de la baie (de Boumerdès à Djenet) est plus incurvée; elle est constituée de mini baies: El Kerma, Zemmouri El Bahri et Djenet.

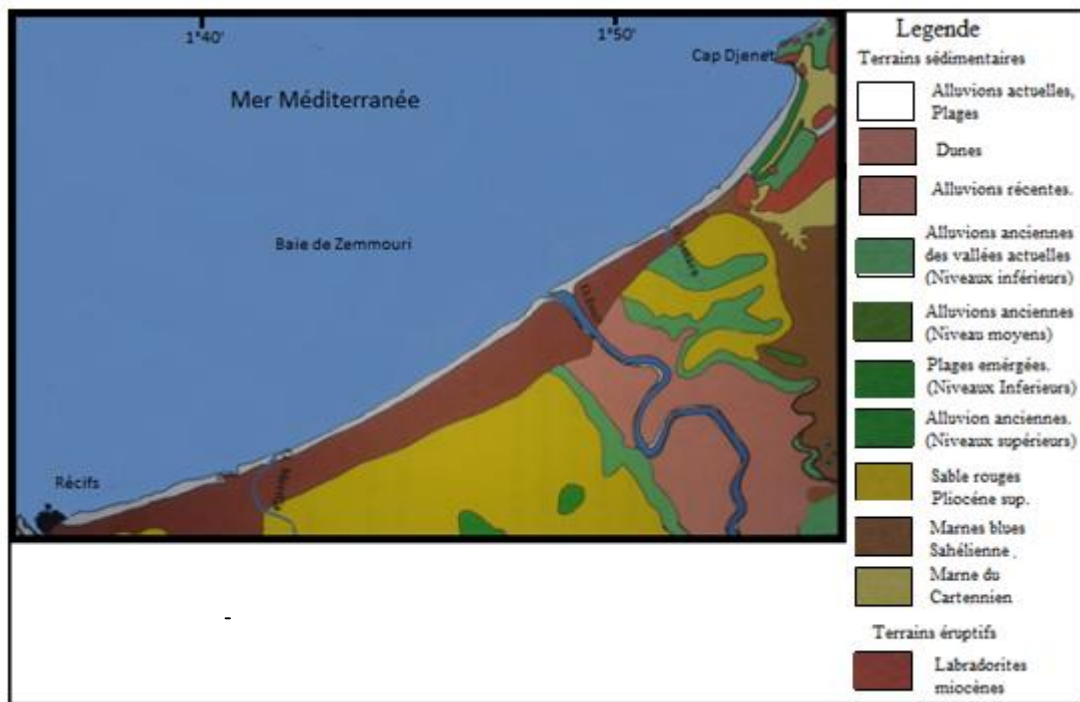
L'arrière-pays de la baie est composé de monts tels que: Djebel Ben Arous et Djebel Zaier au Sud-est de Boumerdès et le mont de Djenet; ces reliefs sont d'altitude modeste mais bien distincts. Ils encadrent la plaine de Zaatra qui comprend la basse vallée de l'oued Isser; cette plaine est limitée au Sud par Bordj Menaiel.

### II.3.2. Cadre géologique :

La structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de formations sédimentologiques, ainsi que de terrains métamorphiques précambriens, recoupés localement par des intrusions de roches acides et basiques.

Les plages actuelles de la rive gauche sont constituées par des sables, sables argileux jaunes, et graviers peu consolidés. Poudings, galets et grès coquilliers sont présent au niveau des plages récentes de Cap Djenet.

Les dunes anciennes sont développées parallèlement au littoral et sont représentées par des sables plus au moins argileux (Bouysse,1962).



**Figure 13:** Carte géologique du secteur d'étude : Stratigraphie et lithologie. Alloui L, 1999 (in Ficheur, 1985)

### II.3.3. Sédimentologie

L'étude sédimentologique permet de repartir uniformément les sédiments superficiels, cette étude a été effectuée par **Leclair (1972)**

D'après les résultats obtenus, le site est constitué de sédiments calcaires, sédiments siliceux et sédiments argileux, leurs répartitions et leurs déplacements obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale.

### II.3.3.1. Sédiment calcaires

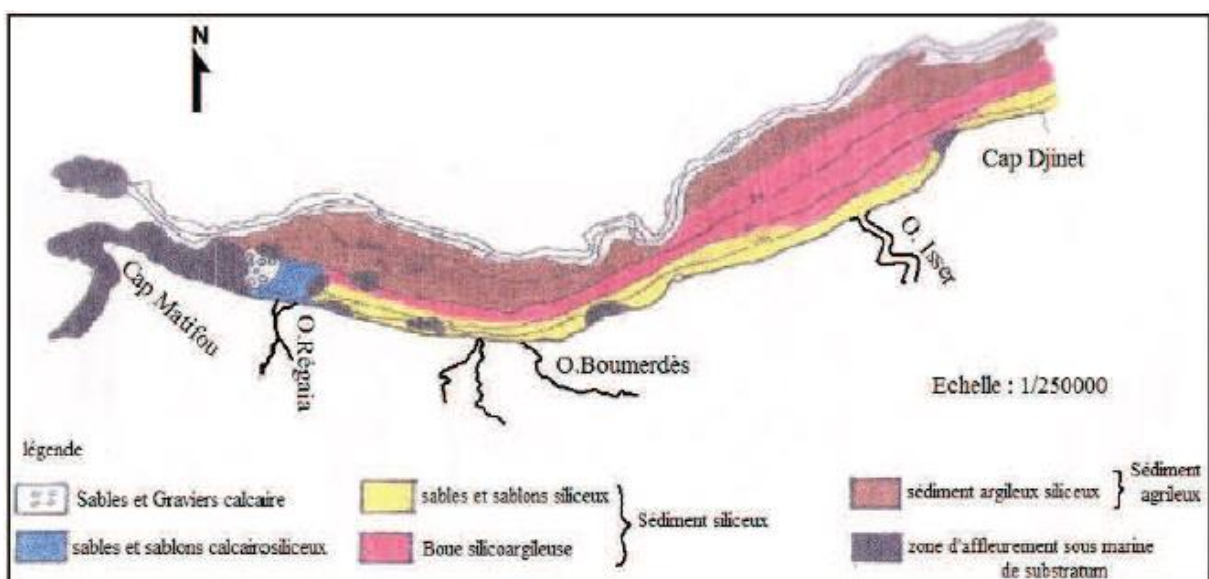
Des îles de Sanjas à l'île Agueli, le substratum affleure à plusieurs points et est constitué autant de « fond vifs » sur lequel se développent différentes espèces dont leur débris calcaires s'accumulent sur place ou à proximité formant des sables et graviers, il en est de même sur la bordure rocheuse du Cap Matifou (**Benhalima, Baha 2013**).

### II.3.3.2. Sédiment siliceux

Aux abords de Cap Matifou jusqu'à Cap Djinet un important système sablonneux se développe occupant les premières profondeurs de plateau (- 20 m de profondeur) quasiment ininterrompu, à l'exception de la partie Est de la baie, entre L'oued Isser et Cap Djinet où ce système diminue pour apparaître à - 10 m de profondeur, au-delà de ce système se sont les boues silico-argileuses qui se déposent composées de sables siliceux, 30 % d'argiles et 20 % de calcaires (**Ferrani et Chehaima, 1998**).

### II.3.3.3. Les sédiments argileux :

Ce sont essentiellement des boues argilo-siliceuses qui recouvrent le rebord et le début de la pente continentale et contiennent 40 à 50 % d'argile. La fraction arénitique de ces sédiments est formée par quelque quartz, de rares ostracodes et des débris d'oursins. La fraction aleuritique est essentiellement terrigène avec quartz et micas (**Alloui L, 1999**).



### **II.3.4. Climatologie**

Le site de Zemmouri est caractérisé par un climat de type méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale qui est relativement longue. Toutefois il existe toujours un contraste entre la saison froide qui est humide et la saison chaude avec un été sec.

#### **II.3.4.1. La température**

La moyenne des minima (m) du mois le plus froid est de 5,9° C enregistré durant le mois de Janvier, la moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud enregistré durant le mois d'Aout est de 31,8° C. On constate que les amplitudes thermique (M-m) sont relativement faibles est comprise entre  $9,1 < M-m < 11$  (Ferrani et Chehaima, 1998).

#### **II.3.4.2. Les précipitations**

Faisant face aux vents humides, Zemmouri est très arrosée durant la saison hivernale, cependant les pluies sont irrégulières et relativement faibles pour le reste des saisons. La pluviométrie majeure annuelle « p » varie de 579 mm (Bordj-El-Bahri) à 816 mm à Thénia (Ferrani et Chehaima, 1998).

### **II.3.5. Réseau hydrographique**

Au niveau de cette baie se déversent une multitude d'oueds de nature et d'importances variables, ceux-ci entraînent des apports plus ou moins importants le long des côtes de la baie.

Ces apports actuels peuvent provenir de deux systèmes différents :

**II.3.5.1. Le système Est :** qui est celui de l'oued Isser, l'un des plus importants oueds en Algérie, a un grand bassin versant transportant sur une grande distance des matériaux variables (débris solides) : vases, limons, minéraux solides et légers, matières organiques...

**II.3.5.2. Le système Ouest :** qui est celui des petits oueds côtiers situées a l'ouest de Zemmouri El Bahri (courbet marine) : o.Boudouaou, o.Regaiia, o.Boumerdes et o.Safsaf, qui ont des débits moins important et de court réduit, mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'ou des apports (surtouts pour les deux derniers oueds) de sables à minéraux variés (*in Lokmane, 1993*)

En plus de ces différents matériaux que drainent ces oueds, des apports en déchets urbains et industriels se déversent en mer soit par les égouts qui débouchent directement sur la mer soit par l'intermédiaire des oueds.

### III. La baie d'El Djamila (échelle locale) :

#### III.1. Description géographique :

La baie d'El Djamila se situe à une trentaine de kilomètres à l'ouest d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou Ismail. C'est une baie relativement fermée, limitée à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj et à l'Est par Ras Acrata . Son rivage est orienté Sud Ouest – Nord Est et ses coordonnées Lambert sont :

2°50'54.744" Est et 36°45'43.092" (port de Sidi Fredj)

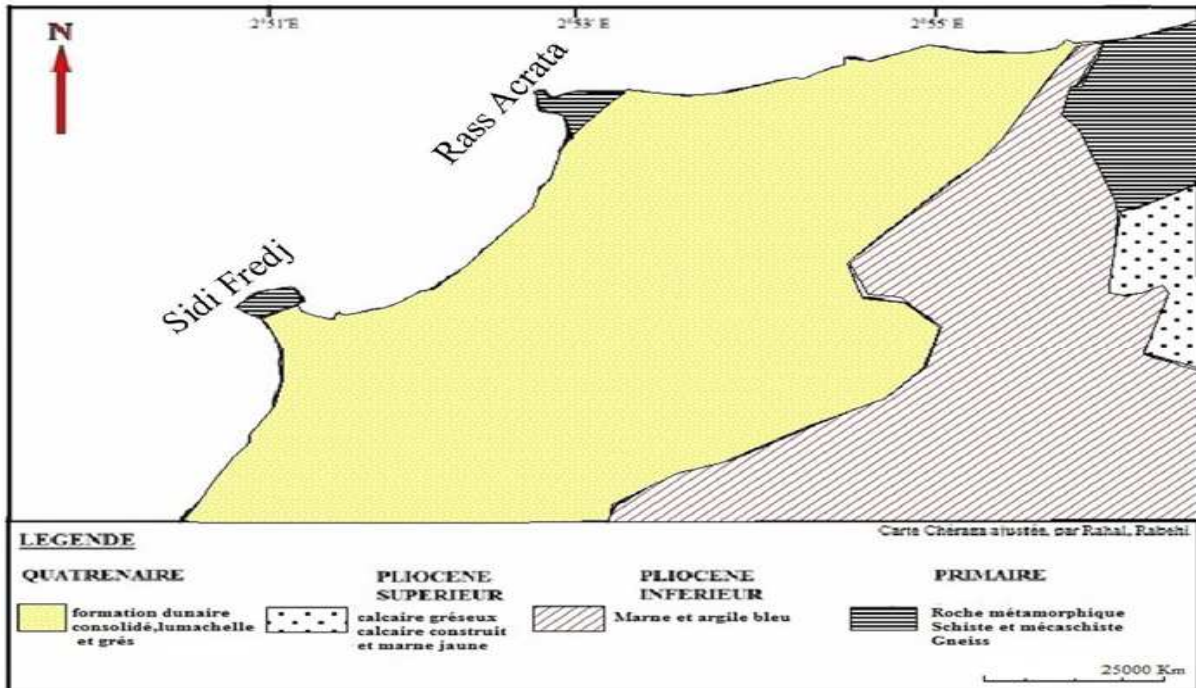
2°53'42.792" Est et 36°48'5.796" (Ras Acrata),



**Figure 15** : Situation géographique de la baie d'El Djamila

#### III.2. Cadre géologique :

Le domaine terrestre de notre zone d'étude est formé de terrains récents du Quaternaire et du Néogène qui constituent le Sahel d'Alger. Les massifs de bordures (massif de Bouzeréah, presqu'île de Sidi Fredj) sont formés de terrains plus anciens où le primaire domine. (Aidoud, 2009).

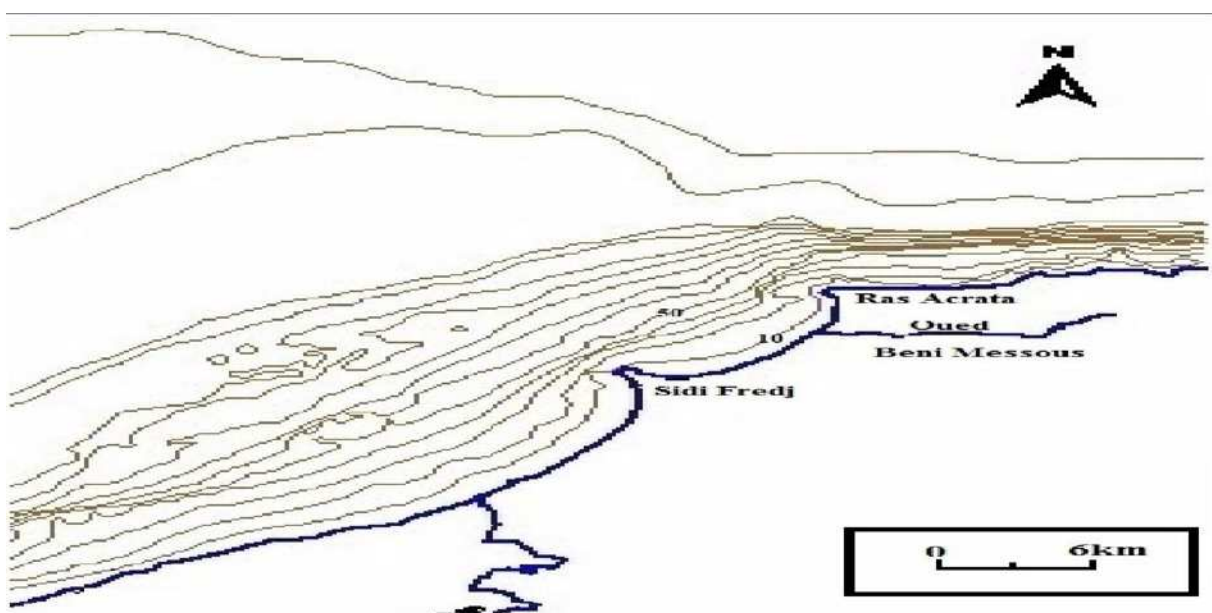


**Figure 16** : La géologie de la baie d'El Djamilia

### III.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.

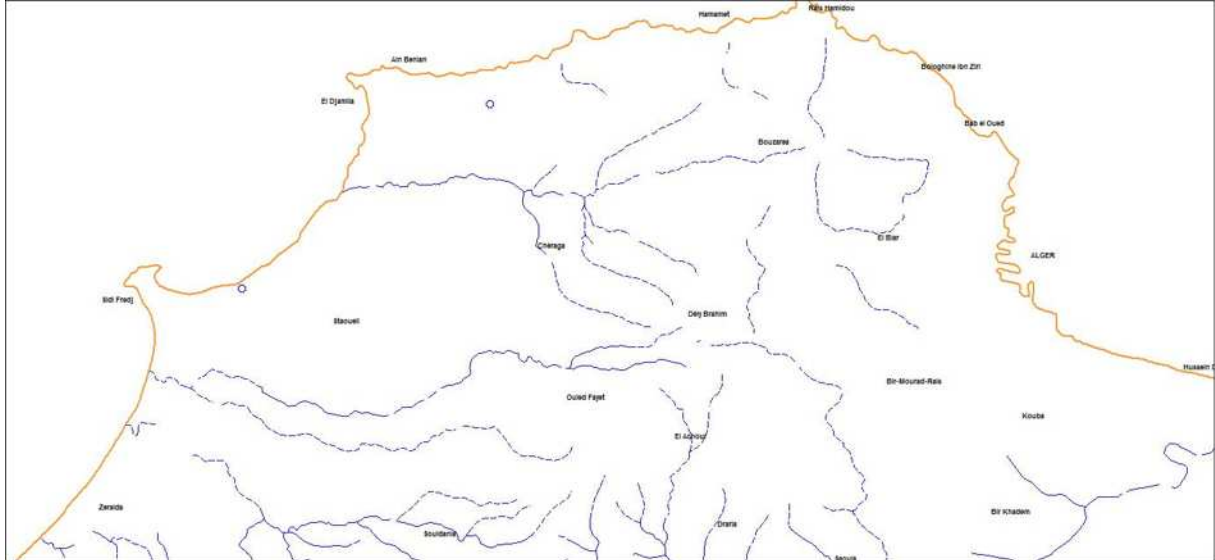
La présence des petits hauts fonds reflète l'existence des dunes hydrauliques entre 14 et 15 m de profondeur. (Anayat, 2010).



**Figure 17** : Topographie de la baie d'El Djamilia (Leclaire 1972)

### III.4. Aperçus hydrographique :

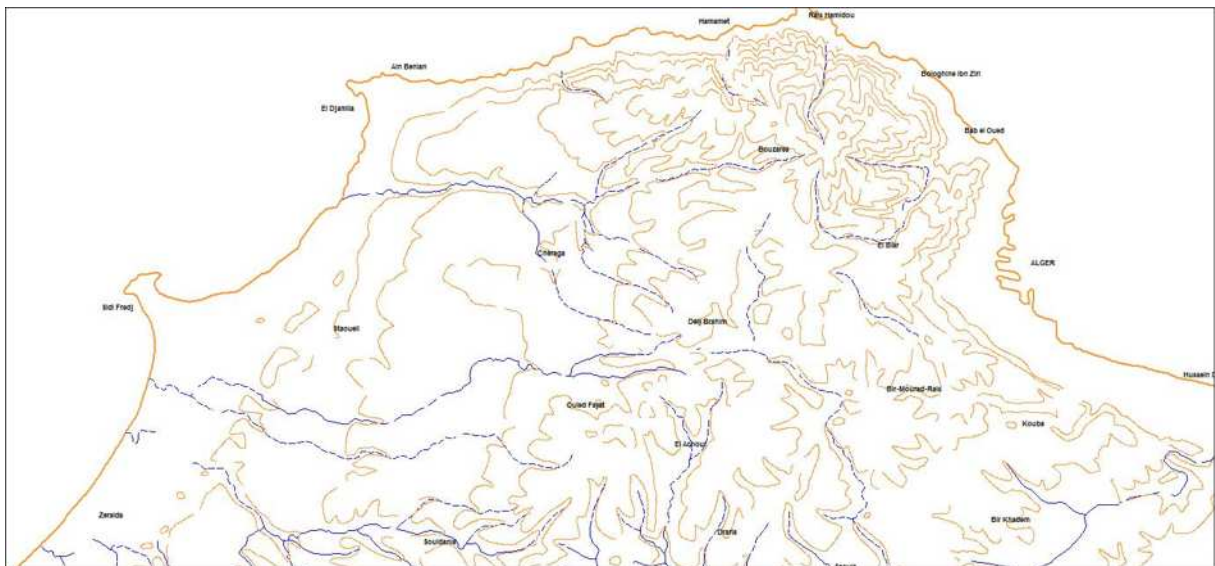
La baie d'El Djamila est alimentée par l'oued Béni-Messous et oued Boukara, ils prennent source dans le massif de Bouzaréah. Cependant c'est l'Oued Béni-Messous qui a les effets les plus ressentis sur la zone.



**Figure 18 :** réseau hydrographique de la baie d'El Djamila

### III.5. Aperçus orographique :

Le côté Est de la baie d'El Djamila est caractérisé par des courbes de niveaux serrées ce qui reflète des montagnes et des falaises par contre les cotes centres et Ouest sont caractérisés par des courbes de niveaux relativement espacées ce qui reflète des espaces plats tel que les plages,...



**Figure 19:** carte d'orographie de la baie d'El Djamila

### **III.5. Donnée océanographique :**

#### **III.5.1. Les houles :**

Les statistiques des houles dans la région de Sidi Fredj, font apparaître deux régimes :

- Les houles plus fortes sont hivernales, de direction ouest dominante avec les plus grandes amplitudes

- En été, les directions dominantes sont l'Est avec des amplitudes plus faibles (Oukazi, 1993)

#### **III.5.2. Les courants**

Le long des côtes algériennes, les courants sont relativement faibles et ne constituent pas un facteur déterminant pour le fonctionnement des ouvrages littoraux. (Oukazi, 1993)

Les informations compilées au cours des observations enregistrées au large par l'institut météorologique Royal Néerlandais indique que les courants ont une vitesse inférieure à 0.5 nœud pendant environ 75% et un nœud pour 80% du temps.

### **III.6. Données climatiques et météorologiques**

La région de Sidi Fredj est caractérisée par un climat méditerranéen relativement froid, humide en hiver et chaud en été.

Pendant une durée de 10 ans l'étude réalisée par station météorologique de Dar El-Beida ont montré que la région de Sidi Fredj est caractérisée par :

Une période hivernale : dont la précipitation est considérable, (mois de décembre au mois de mai), la quantité moyenne varie entre 15 à 68 mm et la température sont basses et s'échelonnent entre 6°C et 20°C Une période estivale : précipitation réduite, (juin à septembre) la quantité varie entre 4 et 25 mm et la température sont très élevée, la saison est caractérisée par une chaleur intense, varie entre 25°C et 38°C

#### **III.6.1. Température**

La température moyenne la plus basse est celle du mois de janvier. Elle est égale à 11,89°C pour la période de 10 ans de 2000 jusqu'à 2010, alors que août est le mois le plus chaud avec une valeur de 29,14°C. Le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne des minima de 5,3°C.

### **III.6.2. Pluviométrie**

En période hivernale : la pluviométrie est relativement importante de Décembre à mai, se situant entre 15 et 108 mm.

En période estivale : la pluviométrie est réduite, de juin à septembre avec une quantité variant entre 4 à 25 mm. (ONM, in Haoua et Laloui., 2006).

### **III.6.3. Les vents**

La répartition des vents dans la région de Sidi Fredj est liée au régime des houles tout le long de l'année. La vitesse de vent se situe entre 6 et 10 noeuds (Bellahcene., 2002 in Haoua&Laloui., 2006).

On relève à ce titre :

- Une dominance hivernale caractérisée par les vents d'Ouest et Nord-Ouest.
- Une dominance estivale caractérisée par le vent Nord-Est.

MATERIELS ET  
METHODES

## I. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité côtière :

Il existe plusieurs catégories de méthode pour l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtière tel que :

- Des méthodes basées sur la production d'indices de vulnérabilité : CVI, CVI multi-échelle,
- Les méthodes basées sur l'utilisation du SIG DESYCO (Torresan et al. 2010), DITTY-DSS (Mocenni *et al.*, 2009).
- Des méthodes basées sur les modèles (modélisation)
  - o Méthodes sectoriels : Des méthodes basées sur des secteurs particuliers, des thèmes ou échelle d'application BTELSS, SLAMM and FUND;
  - o Modèles multi échelles et multisectoriels, DELFT3D, DIVA and SIMCLIM

Dans notre cas d'étude on va utiliser la méthode qui est basée sur les indices qui est à la fois facile et robuste et qui donne des résultats fiable

### I.1. L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) :

#### I.1.1. Choix des variables :

D'après Gornitz et White (1994), le calcul de cet indice nécessite une compilation d'une base de données. A l'origine, cette base de données est beaucoup plus complexe, se compose de 29 variables qui représentent deux facteurs de risques côtiers : (1) érosion et (2) inondation.

Pour simplifier la manipulation de la base de données lors de l'analyse de la vulnérabilité, Gornitz et White (1991) ont reclassé les 29 variables de façon à créer **sept variables de risque relatif** :

1. élévation moyenne,
2. tendance locale à l'affaissement,
3. géologie,
4. géomorphologie,
5. déplacement moyen du littoral,
6. hauteur maximale des vagues et
7. amplitude moyenne des marées.

Ces sept variables ont été sélectionnées en raison de leur utilisation dans la mesure des risques pour le littoral. Par exemple, un littoral très exposé a un relief peu élevé, un taux d'affaissement élevé, des taux d'érosion importants et des vagues puissantes (Gornitz, White, et Cuwshman, 1991).

## 1. L'élévation moyenne :

*Quelle est la différence entre « élévation » et « altitude » ?*

L'altitude est généralement utilisée pour décrire la hauteur d'un aéronef en vol. Il est une mesure barométrique exprimée par rapport à la hauteur du niveau de la mer piste ou moyenne dans un endroit ou une région donnée (en tenant compte des conditions atmosphériques locales actuelles), ou à une donnée norme arbitraire (pour éliminer l'effet des variations localisées de la pression de l'air).

L'élévation est généralement utilisée pour décrire la hauteur du sol, ou une caractéristique fixée au sol. Elle est une mesure géométrique exprimée par rapport à la donnée du niveau moyen de la mer établie pour la région par l'agence nationale de cartographie ".

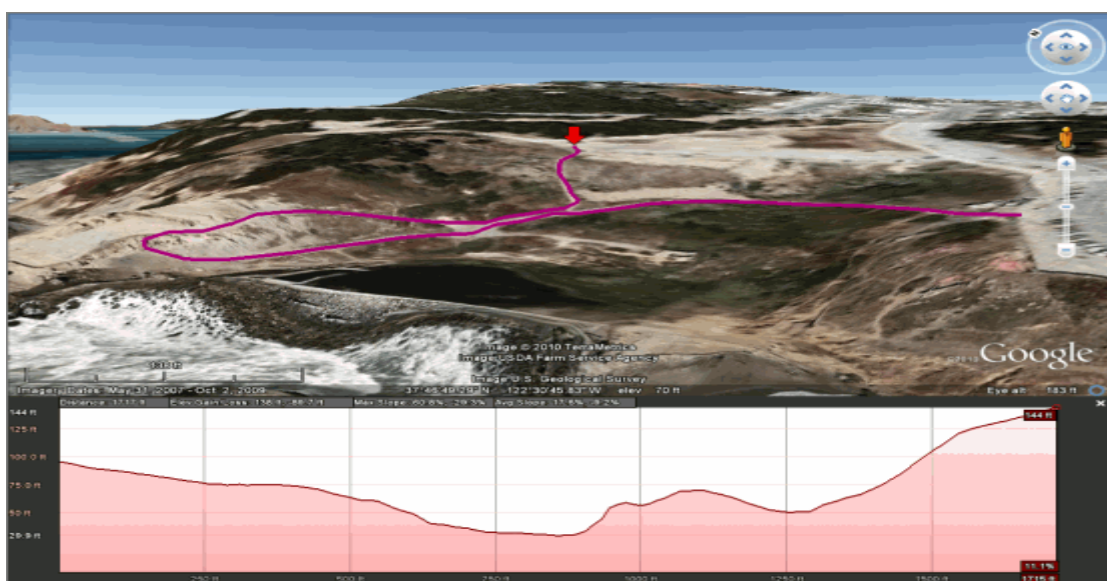
### *Profil d'élévation*

On peut obtenir l'élévation de n'importe quel point sur la terre et meme l'elevation minimale, moyenne et maximale d'un trajet ou d'une surface donnée à l'aide de logiciel *Google Earth*.

### *Méthode :*

Explorez les élévations sur un trajet donné grâce au profil d'élévation.

- Pour commencer, vous devez tracer un trajet ou ouvrir un trajet existant.
- Une fois que vous avez choisi un trajet dans le panneau "Lieux", vous pouvez afficher son profil d'élévation de deux manières :
- Sélectionnez **Modifier > Afficher le profil d'élévation**,
- ou cliquez avec le bouton droit de la souris sur votre trajet dans le panneau "Lieux" et sélectionnez **Afficher le profil d'élévation**.
- Un profil d'élévation apparaît dans la partie inférieure de la visionneuse 3D, comme illustré ci-dessous :



**Figure 20 :** illustration de profil d'élévation sur *Google Earth*

L'axe Y du graphique représente l'élévation, et l'axe X représente la distance. Lorsque vous déplacez le curseur dans le profil d'élévation, la flèche se déplace le long du trajet et affiche l'élévation (à gauche de la flèche) et la distance cumulée (au-dessus de la flèche). Le pourcentage affiché représente le pourcentage de la côte/pente.

Pour sélectionner une section spécifique du trajet, maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé tout en déplaçant le curseur sur la zone désirée, puis relâchez le bouton. Les valeurs au-dessus du graphique s'affichent alors uniquement pour la section de trajet concernée, laquelle est automatiquement mise en surbrillance sur le graphique.

Pour convertir l'échelle des valeurs en pieds ou en mètres, sélectionnez **Outils > Options** et définissez votre préférence dans la catégorie **Afficher l'élévation**.

## 2. La géologie :

La géologie s'intéresse à l'étude de la Terre, les matériaux qui la constituent, la structure de ces matériaux et les processus qui agissent sur eux.

La géologie est une science d'une importance majeure tant sur les plans scientifiques, qu'économiques ou technologiques.

**Intérêt scientifique** : elle permet de connaître l'histoire de la Terre depuis sa formation et tente de prévoir son avenir.

### *Les méthodes de la géologie :*

Une étude géologique classique passe par plusieurs étapes :

La première consiste en une **étude sur le terrain** (reconnaissance de la région, récolte d'échantillons, levés de cartes, prise de mesures ...).

La deuxième étape se déroule au **laboratoire** (analyse des échantillons), au **bureau** ou devant un micro-ordinateur (étude des photos aériennes et satellites, étude de documents existants, interprétation des mesures faites sur le terrain).

La dernière étape consiste en la rédaction d'un **rapport géologique** détaillé sur l'étude qui a été réalisée ou la confection de cartes géologiques.

## 3. La géomorphologie :

La géomorphologie est une branche de la géologie qui s'occupe de l'étude de la forme et de l'évolution du relief à la surface de la Terre.

Elle joue un rôle important tant dans les procédures d'aménagement du territoire et des paysages, que dans la prévention des dangers naturels ou la prospection des ressources naturelles.

L'objectif principal de l'analyse géomorphologique est de comprendre comment les formes du relief sont nées et comment elles ont évolué au cours du temps. En d'autres termes, il s'agit de reconnaître quels sont les processus responsables de la formation du relief ou morphogénèse.

### ***Les outils de la géomorphologie :***

L'évolution technologique a permis de grands progrès dans la connaissance géomorphologique.

- La cartographie géomorphologique : La cartographie résume des informations sur la géométrie, l'agencement, des formes du relief ; la nature et la structure des formations superficielles ; les processus y compris leur durée et le rythme de formation et l'âge des formes du relief.
- les méthodes géodésiques (théodolites, GPS, etc.) permettent la localisation cartographique, celle de points de mesures.
- L'analyse de l'imagerie satellitaire apporte des précisions de plus en plus grandes pour la compréhension du relief (terrestre et d'autres planètes) à différentes échelles.

Les cartes topographiques renseignent sur le modelé par l'intermédiaire des altitudes (cotes) et des courbes de niveau (ou isohypses).

*Remarque : les données de la géologie et la géomorphologie utilisées dans les calculs et les résultats sont obtenues par l'interprétation des cartes disponibles.*

## **4. Déplacement moyen du littoral :**

Le trait de côte est une courbe/ligne représentant l'intersection de la terre et de la mer ; il peut être aussi considéré comme étant la limite entre la terre et la mer.

La cote subit l'érosion qui est un phénomène naturel accentué par l'activité anthropique qu'on observe partout dans le monde.

Le trait de côte n'étant régulier ni dans sa forme, ni dans sa structure. Pour son suivi dans notre zone d'étude ; nous avons utilisé des images satellitaire de *Google Earth* allant de 2004 à 2015 (2004 ; 2008 ; 2010 ; 2012 ; 2014 ; 2015) avec lesquelles on a pu digitalisé la ligne de côte pour les 6 années et ce en utilisant le Mapinfo .

### **Description du logiciel :**

MapInfo Professional est un SIG crée aux USA. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. il est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il

incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et bases de données cartographiques.

MapInfo Professional est un logiciel destiné aux chargés d'étude et d'aménagement littoral et territorial, aux chargés d'études d'implantation, de géomarketing, aux analystes des réseaux physiques et commerciaux.

### **Manipulation**

- 1- Aller sur google earth cadrer notre zone d'étude en prenant le soin d'élargir un peu les limites.
- 2- Choisir 4 points sur la zone pour lesquels on retiendra les coordonnées métriques
- 3- Fixer l'échelle qui nous arrange
- 4- Aller vers l'historique pour ressortir toutes les images existantes de notre zone d'étude tout en respectant l'échelle de départ
- 5- Enregistrer l'image
- 6- On ouvre le Mapinfo (nous avons travaillé avec le Mapinfo professionnel 8.0)
- 7- Ouvrir>image raster ; on choisit l'image capturé sur Google Earth.
- 8- Une fenêtre apparaîtra ou il sera affiché Display/Register. on choisit Register : géo référencier. on sélectionne les 4 points marqués un a un, pour chacun d'eux on introduit le X et le Y
- 9- Pour digitalisé le trait de côte on va vers >Créer nouvelle table> structurer nouvelle table> introduire x, y et z en type flottant > projection :UTM WGS84 Zone31 hémisphère nord
- 10- Une fois la table créer on va vers le polyline ; on clic. puis on commence à digitaliser en suivant le trait de côte.
- 11- On fait la même manipulation pour chaque année
- 12- On affiche en dernier l'image satellite de Google Earth la plus récentes et en superpose les lignes digitalisées en différentes couleurs afin de les différencier.

On pourra donc avoir une visualisation de l'évolution du trait de côte d'une manière plus concrète.

### 5. Hauteur maximal des vagues :

La connaissance des caractéristiques de la houle est très importante pour connaître le degré d'exposition de notre zone d'étude à l'énergie hydrodynamique.

Pour ce la, on va faire une étude sur la réfraction de la houle, pour but l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques (direction et amplitude) de la houle à la côte.

Les données de la houle à la côte (notamment : Hs) serviront, entre autres, des données pour le calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI)

#### - Principe de calcul de la réfraction

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de shoaling est défini de la manière suivante:

$$K_s = \frac{H_s \text{ locale}}{H_s \text{ large}}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore développé par l'université de DELFT) pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds,
- Frottement sur le fond,
- Déferlement,

Il est donc parfaitement adapté à la problématique du littoral. Le coefficient de réfraction est calculé par SWAN.

#### - Description et principes des logiciels utilisés

Simulating Waves in the Nearshore « SWAN »: le SWAN est un modèle numérique de 3ème génération développé à l'université de technologie de Delft ; il permet de définir les paramètres de la houle vers la cote; ceci se fait suite à une propagation de la houle du large vers la cote en induisant une réfraction sur les fonds ; il permet donc de prédire l'état de la mer à la cote en connaissant l'état de la mer au large.

Le modèle est basé sur une équation dite WABE : "l'équation de balance d'action des vagues", défini par (Booij *et al*, 1999) comme suit :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Où:

$N(\sigma, \theta)$  = densité de l'action des vagues:

$T$  = temps [s]

$x$  = distance dans la direction  $x$  [m]

$y$  = distance dans la direction  $y$  [m]

$\sigma$  = fréquence relative [Hz] comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant

$\theta$  = direction de la vague [degrés]

$c_x, y, \sigma, \theta$  = vitesses de propagations [m / s] pour respectivement  $x, y, \sigma$  et  $\theta$

$S$  = source / puits terme en termes de densité d'énergie (Génération par le vent, dissipation et non-linéaire onde interactions)

La densité de l'action  $N(\sigma, \theta)$  est égale à la densité d'énergie divisée par la fréquence relative:  $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ .

Le premier terme de l'équation représente le taux de variation locale de la densité avec le temps, le deuxième et le troisième terme représentent la durabilité d'un ASR dans les propagations des vagues irrégulières de la densité dans l'espace d'action. Le quatrième terme représente le décalage de la fréquence relative due aux variations de la profondeur et les courants. Le cinquième terme représente le courant induit par la profondeur ainsi que la réfraction. Les expressions  $C_x, y, \sigma, \theta$  sont prises de la théorie de l'onde linéaire.

## Donnée de base

### - Données bathymétriques

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.

### - 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 a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

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 03** : 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

**- Choix du secteur angulaire :**

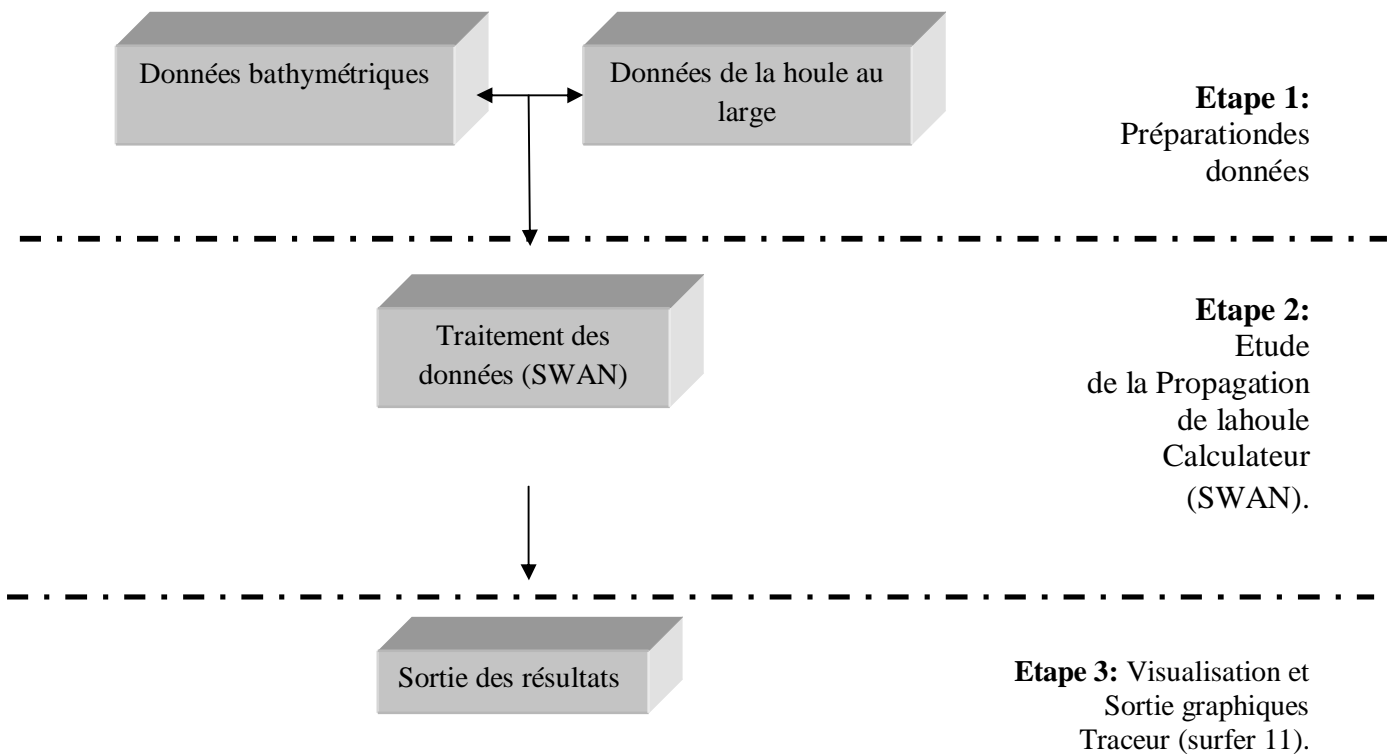
Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposé d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

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 :

- 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.

**- Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction :**

Afin de procéder à l'étude de la réfraction deux logiciels sont couplés il s'agit du logiciel des SIG *surfer v.11* comme surface de saisie de données et d'acquisition de résultats, ainsi que le logiciel *SWAN* (Simulating waves Nearshore) 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:



**Figure 21** : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.

#### - Etapes de manipulation :

- 1- Acquisition de la bathymétrie en fichier Excel comprenant les coordonnées métriques ainsi que la profondeur.
- 2- Créer la grille de la bathymétrie sur surfer
- 3- Exporter la bathymétrie à partir de la grille vers le format .DAT
- 4- Extraire la colonne bathymétrie du fichier.DAT par Excel en faisant attention à ce que la bathymétrie soit en négatif et la topographie en positif.
- 5- Réenregistrer en format .txt
- 6- remplir les fichiers de commande Swan pour chaque direction et pour chaque période
- 7- Avec l'invite commande ; on ouvre le dossier →>cd lien du dossier contenant le fichier commande  
→>swanrun fichier de commande
- 8- Ouvrir le fichier crée pour chaque fichier de commande qu'on ouvre en forme .txt
- 9- Importer vers l'Excel
- 10- Sélectionner les colonnes dont nous avons besoin (latitude, longitude, Hs, direction, période)
- 11- Création de la grille pour Hs et pour la direction sur Surfer
- 12- Aller sur toolbar options > on sélectionne new contour mapper pour représenter Hs >add «2-Grid vector layer » pour représenter la direction
- 13- Pour la mise en forme on va vers property manager (à gauche de l'écran)

### I.1.2. Quantification et attribution d'un score :

Chaque variable de risque relatif est comprise entre les valeurs 1 et 5, la valeur 1 correspondant à un risque très faible ou nul d'érosion ou d'inondation, et 5 correspondant à un risque très élevé d'érosion ou d'inondation. Les zones pour lesquelles on ne dispose d'aucune donnée (valeur manquante) se sont vues également attribuées la valeur 1 pour simplifier les traitements.

	<i>Indice de vulnérabilité côtière (Gornitz et al., 1991)</i>				
	Très faible	Faible	Modéré	Élevé	Très élevé
<i>Variable</i>	1	2	3	4	5
<i>1. Élévation (m)</i>	> 30	21-30	11-20	6-10	0-5
<i>2. Géologie</i>	Roches plutoniques, volcaniques et métamorph. dures ou moyennes	Roches métamorphiques peu résistantes, grès et conglomérats	Roches sédimentaires	Sédiments meubles grossiers et/ou mal classés	Sédiments meubles fins, cendres volcaniques
<i>3. Géomorphologie</i>	Côtes rocheuses à falaises, fjords, fiards	Falaises moyennes, côtes indentées	Petites falaises, dépôts glaciaires, marais, mangroves, récifs coralliens	Plages de galets, estuaires, lagons, plaines alluviales	Barrières, plages sableuses, vasières, deltas
<i>4. Variation marine (mm/a)</i>	< -1.0	-1.0 à 0.99	1.0 à 2.0	2.1 à 4.0	> 4.0
<i>5. Variation trait de côte (m/a)</i>	> 2.0 accrétion	1.0 à 2.0 accrétion	-1.0 à +1.0 Stable	-1.1 à -2.0 érosion	< -2.0 Érosion
<i>6. Marnage (m)</i>	< 1.0	1.0-1.9	2.0-4.0	4.1-6.0	6.0
<i>7. Hauteur de vague max. (m)</i>	0-2.9	3.0-4.9	5.0-5.9	6.0-6.9	> 6.9

**Tableau 04:** Classification des variables de la vulnérabilité (Gornitz et al., 1991)

### I.1.3. Les équations de calculs :

Dans leur recherche sur l'évaluation de la vulnérabilité du littoral (*coastal vulnerability*, CV), Gornitz, White, et Cushman (1991), et Gornitz et White (1991; 1994) ont trouvé et testé six indices de vulnérabilité du littoral (*index of coastal vulnerability*, CVI) basés sur sept variables de risque relatif. De ces six indices, un est apparu moins sensible que les autres aux erreurs qui pourraient être commises dans la classification des variables de risque relatif. Cet indice est le suivant :

➤ La racine carrée de la moyenne du produit définie comme suit :

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{X1 \cdot X2 \cdot X3 \cdot X4 \cdot X5 \cdot X6 \cdot X7}{7}}$$

**Avec :**

- **x1** = « elevation » = élévation moyenne
- **x2** = « subsidence » = tendance à l'affaissement local
- **x3** = « geology » = géologie
- **x4** = « geomorphology » = géomorphologie
- **x5** = « erosion » = déplacement moyen du littoral (trait de côte)
- **x6** = « waves » = hauteur maximum des vagues
- **x7** = « tidal » = amplitude moyenne des marées

## I.2. L'indice de la vulnérabilité côtière multi-échelle :

### I.2.1. Choix des variables :

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.

La disponibilité de la donnée est un facteur important dans la sélection des paramètres qui décrivent la vulnérabilité côtière à différentes échelles. Le nombre de variables utilisées pour le calcul des indices de vulnérabilité côtière varie, parfois considérablement, d'une étude à l'autre ; de 3 variables à 54 d'après (McLaughlin). Il est souvent compris entre de 6 à 19 variables.



**Figure 22 :** Les Variables utilisées pour chaque sous indice (McLaughlin and Cooper, 2010).

### I.2.2. Quantification et attribution d'un score :

Les variables identifiées (un ensemble de variables pour chaque échelle spatiale d'analyse) sont classées sur une échelle de 1 à 5 (selon Gornitz, 1990) avec 5 la plus haute valeur et 1 la plus basse. Les sous indices sont calculés en calculant la somme des valeurs des variables relatives ; la valeur ainsi obtenue est normalisée à l'intervalle entre 0-100/

Sub-index	Variable	1	2	3	4	5
CC	Shoreline type	High cliff (>40 m)	Medium cliff (20-40 m)	Low cliff (10-20 m)	Shingle ridge/bar	Sand beach/dune
	Rivers	Absent				Present
	Solid geology	Plutonic, volcanic, high-medium grade metamorphics	Low-grade metamorphics, sandstone and conglomerate well cemented	Most sedimentary rocks	Coarse and/or poorly sorted unconsolidated sediments	Fine unconsolidated sediment, volcanic ash
	Drift Geology	Bedrock, urban	Till/boulder, clay		Raised beach, deposits	Alluvium, blown sand, peat, glacial sands and gravels, glacial outwash sands, recent manne
	Elevation	>30	20-30	10-20	5-10	<5
	Orientation	Not relevant, e.g. sea lagoons		Easterly		Northerly
	Inland buffer	500-1000 m inland				0-500 m inland
CF	Significant wave height (m)	0-0.74 N 0-0.24 E	0.74-1.49 N 0.24-0.48 E	1.49-2.23 N 0.48-0.72 E	2.23-2.98 N 0.72-0.96 E	>2.98 N > 0.96 E
	Tidal range (m)	>5	3.5-5	2-3.5	1-2	<1
	Difference in modal and storm waves (m)	<0.10 N <0.10 S	0.10-1.70 N 0.10-0.25 S	1.70-3.30 N 0.25-0.40 S	3.30-4.90 N 0.40-0.55 S	>4.9 N >0.55 S
	Frequency of onshore storms (%)	0-2.8	2.8-5.6	5.6-8.4	8.4-11.2	>11.2
SE	Settlement	No settlement	Village	Small town	Large town	City
	Cultural heritage	Absent				Present
	Roads	Absent		A-class		Motorway, dual, carriageway
	Railways	Absent				Present
	Land use	Water bodies, marsh/bog and moor, sparsely vegetated areas, bare rocks	Natural grasslands, coastal areas	Forest	Agriculture	Urban and industrial infrastructure
	Conservation designation	Absent		International		National

Tableau 05 : Classification des variables pour le calcul des sous indices (McLaughlin and Cooper, 2010)

**I.2.3. Les équations de calculs :**

Pour le calcul de chaque sous indice de CVI multi-échelle, il existe une formule standard :

$$\text{Sous indice (standardised)} = [(x - \text{min}) / (\text{max}-\text{min})]*100$$

Avec :  $x$  = la somme des cotations des variables

**Min** = la somme des cotations les plus faibles

**Max** = la somme des cotations les plus élevées

Après avoir calculé les trois sous indices, le CVI multi-échelle est donné par la formule suivante :

$$\text{CVI (multi-échelle)} = \sum \text{sous indices} / 3$$

- Exemple d'application sur l'Irlande du Nord (McLaughlin and Cooper, 2010):

- ✓ Sous indice de caractérisation de la zone côtière =  $\{[(\text{som des var. CC}) - 7]/28\} \times 100$
- ✓ Sous indice des forçages côtiers =  $\{[(\text{som des var. FC}) - 4]/16\} \times 100$
- ✓ Sous indice socio- économique =  $\{[(\text{som des var SE}) - 6]/24\} \times 100$

➤ **L'indice CVI final = (sous-indice CC + sous-indice FC + sous-indice SE) / 3**

# RESULTATS ET DISCUSSION

## 1. L'élévation moyenne :



**Figure 23 :** profil d'élévation de la baie d'El Djamilia

### ***Interprétation :***

De première vue, on remarque que le côté Est de la baie d'El Djamilia est plus élevé par rapport au côté Ouest, avec une élévation moyenne de 7 m, cela est due à la géomorphologie de la cote.

Par conséquent, l'élévation de notre zone d'étude est quantifiée par un score de 4.

## 2. La géologie et la géomorphologie:

Le littoral de la baie d'El Djamilia 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 Djamilia, de nombreux bancs rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau. Au niveau de la plage El Djamilia, 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).

La portion littorale étudiée est formée par des faciès du Quaternaire marin, elle est formée de dunes consolidées en alternance avec des dépôts lacustres, lumachelliques, poudingues et grés. Son littoral est caractérisé par une importante accumulation de dunes actuelles, des alluvions récentes sous forme de sables argileux et graviers. En bordure de la mer, sur la plage des "Dunes" de très faible altitude, on constate la présence d'une formation de sable fin meuble à stratification oblique. A partir de *la carte géologique de la région*

d'Alger-Chéraga, à l'échelle 1/50000, on a reporté les formations locales rencontrées au niveau du site d'étude et ses alentours

Les dépôts actuels (récents) sont représentées par les alluvions récentes de dépôts torrentiels et lacustres observables surtout à l'embouchure et dans le lit de l'oued Beni Messous Cette formation alluviale est constituée de sable fin à grossier graveleux à galets, argileux limoneux vaseux et du tout venant, en plus des dépôts éoliens dunaires actuels constitués de sables fins meubles.

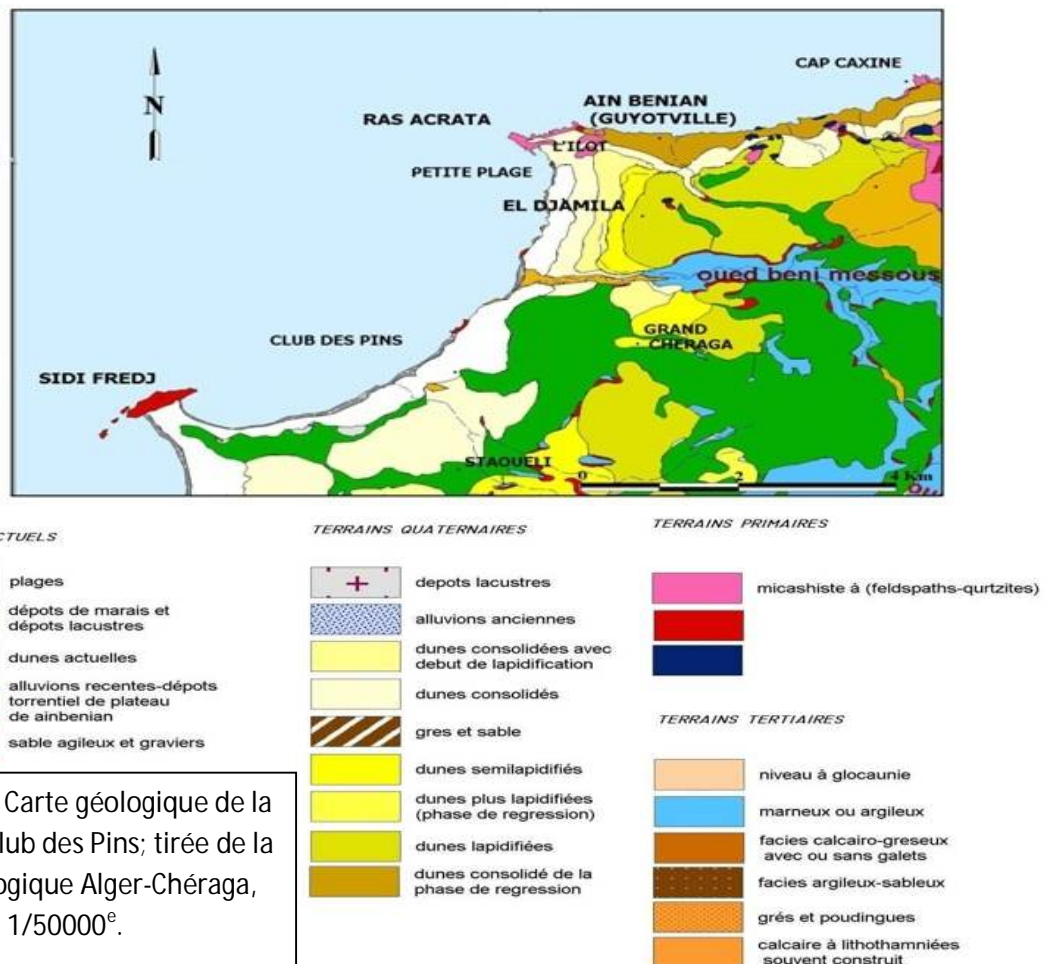


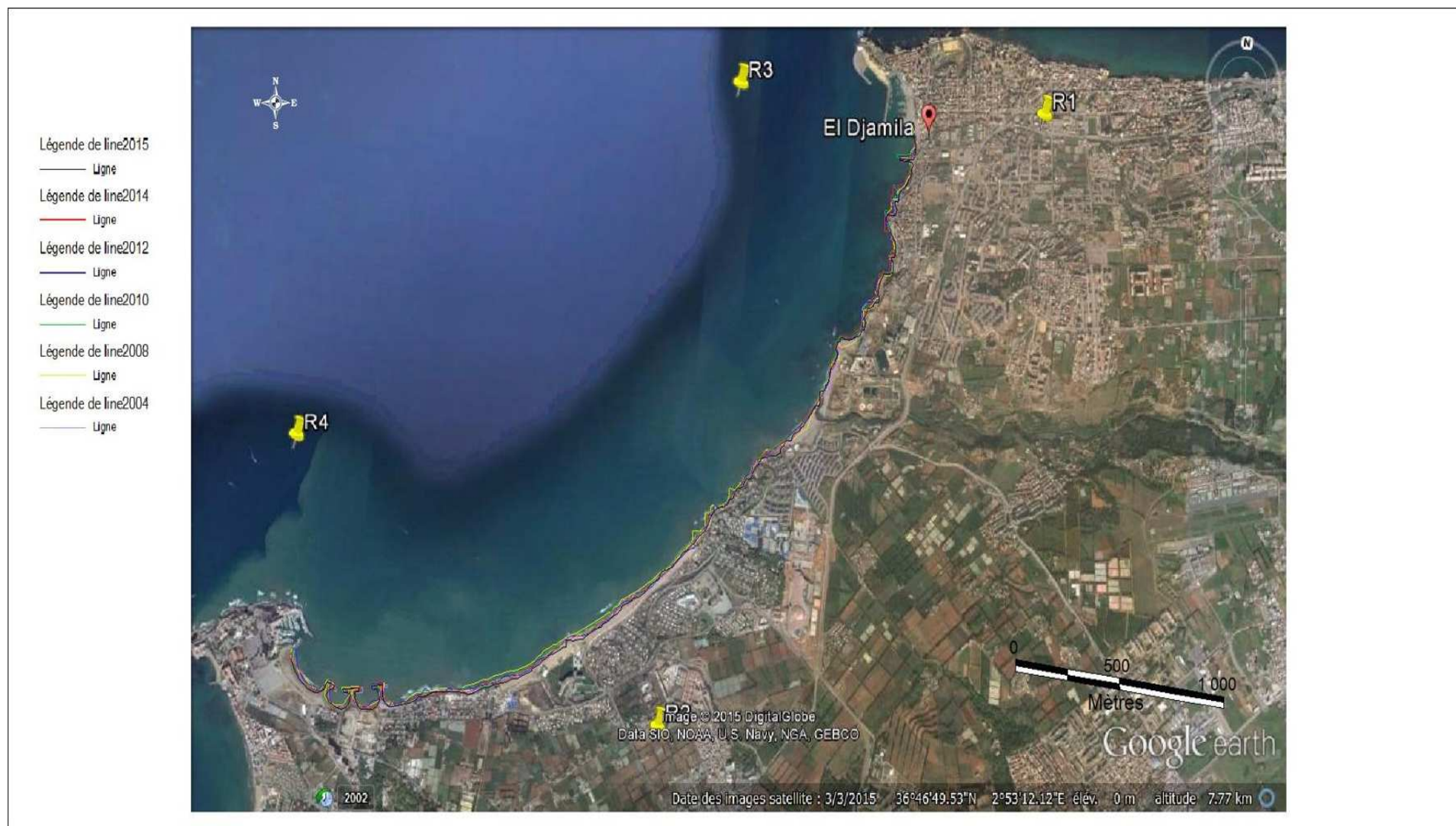
Figure 24 : Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000<sup>e</sup>.

La géologie et la géomorphologie de la zone étudiée classe le site comme très vulnérable avec un score quantifier par la valeur 5 pour chacune des deux.

### 3. Déplacement moyen du littoral :

Après la superposition de différentes couches de trait de cote, on remarque que la baie d'El Djamila est entraine de subir une érosion accélérée de l'ordre de 2m/an, ce la est due a plusieurs facteurs naturels et anthropiques tel que les changements climatiques, l'artérialisation de littoral,...etc

Par conséquent, ce recule de trait de cote est quantifié par une valeur de 5.

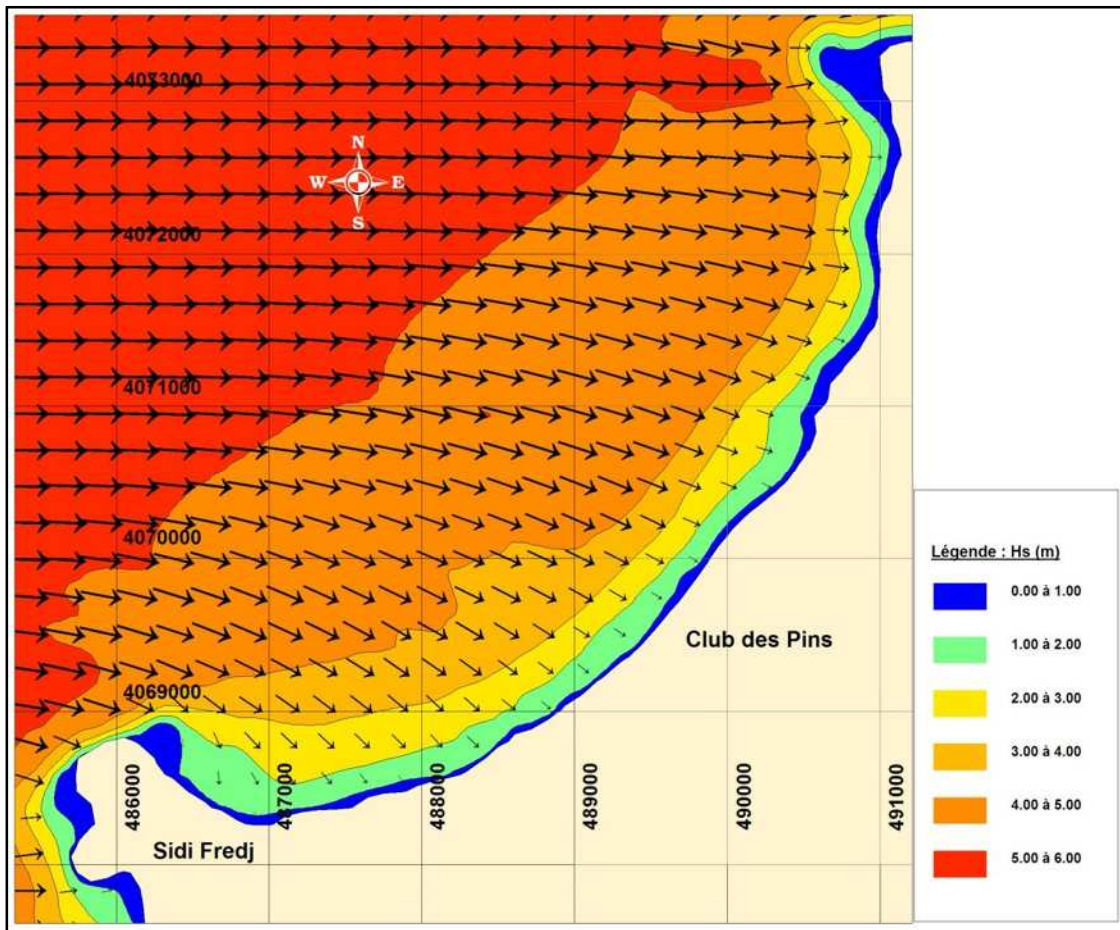


**Figure 25 :** évolution du trait de cote de la baie d’El Djamilia (2004 -2015)

#### 4. Hauteur maximale des vagues :

Les hauteurs des houles de période égale à 10s sont les plus prépondérantes au large de ce fait, l'étude se focalisera sur une période de 10 s dans les 4 secteurs suivants : Nord, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest.

##### 4.1. Les houles au large de Direction Ouest

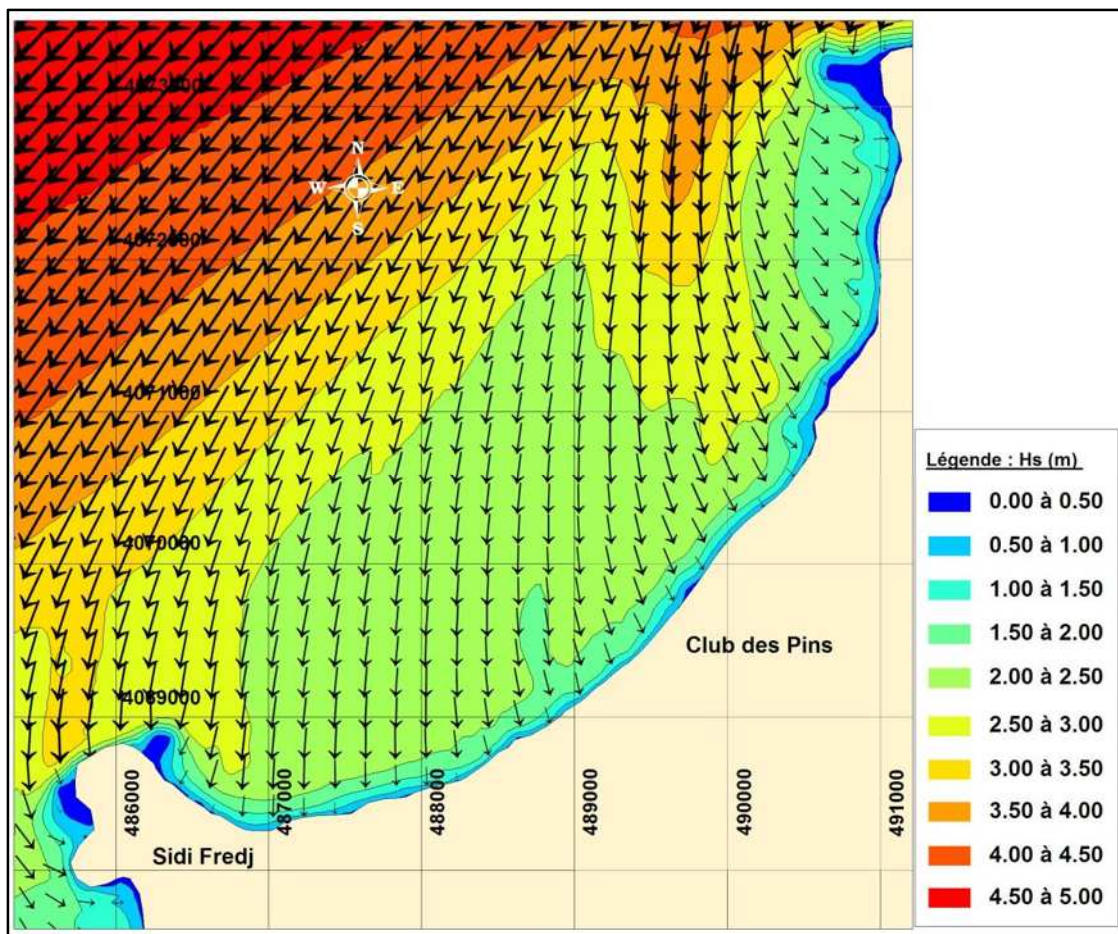


**Figure 26:** Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s (LEM, 2009)

##### Commentaire :

Les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques et peuvent atteindre la zone d'étude, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,74 à 10 m de profondeur. Elles perdent peu de leur énergie de large qui s'opèrent sur cette figure de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte. La Hs près de la côte varie dans certains cas entre 1 et 4m.

#### 4.2. Les houles au large de direction Nord-Est

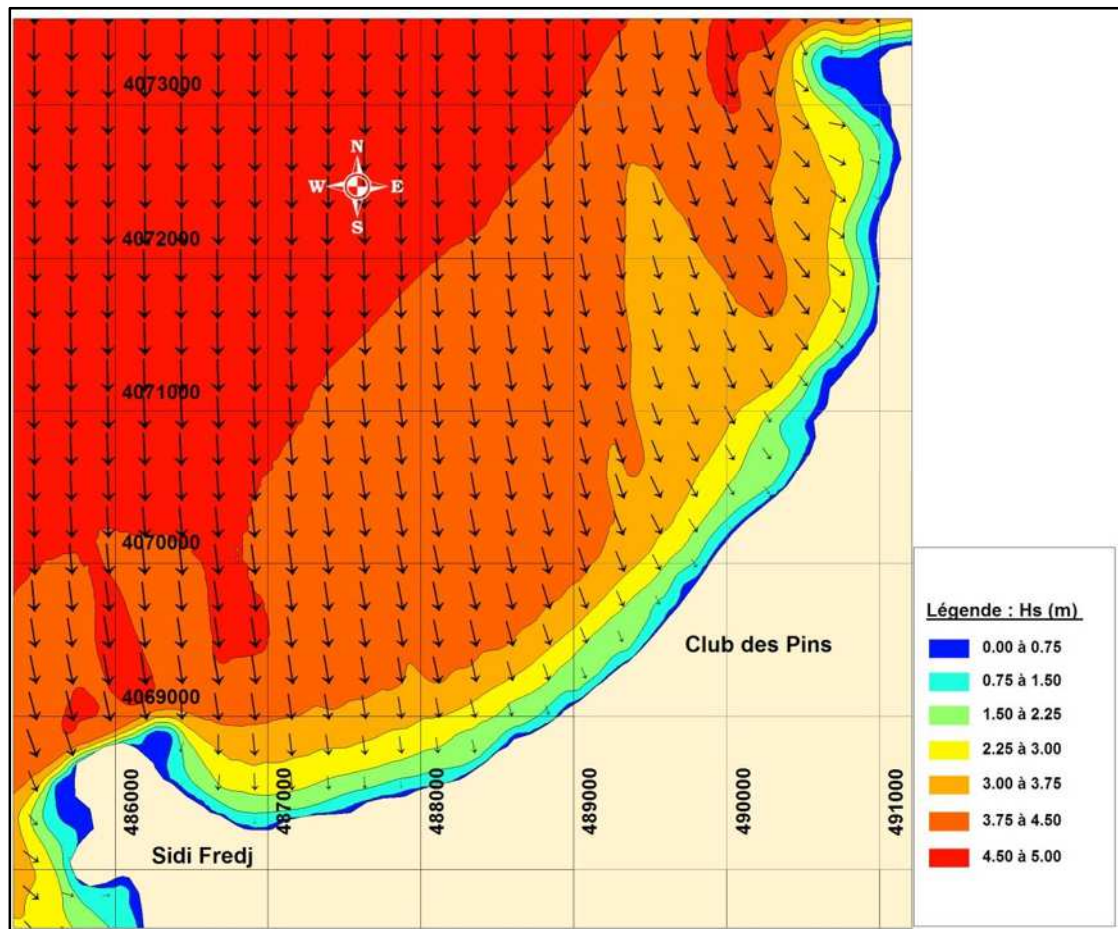


**Figure 27 :** Réfraction de la houle pour une direction  $45^{\circ}\text{N}$  et une période de 10s (LEM, 2009)

#### Commentaire :

L'étude de la réfraction sur ce cas démontre que pour une houle de secteur Nord-Est et de période de 10 secondes, la réfraction s'opère sur cette dernière de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte, avec un coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,45 à 10m de profondeur. Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie de large, qui apparaît naturellement abrité par la présence du Ras Acrata. Donc la Hs près de la cote varie entre 0 à 2.5m.

### 4.3. Les houles au large de direction Nord

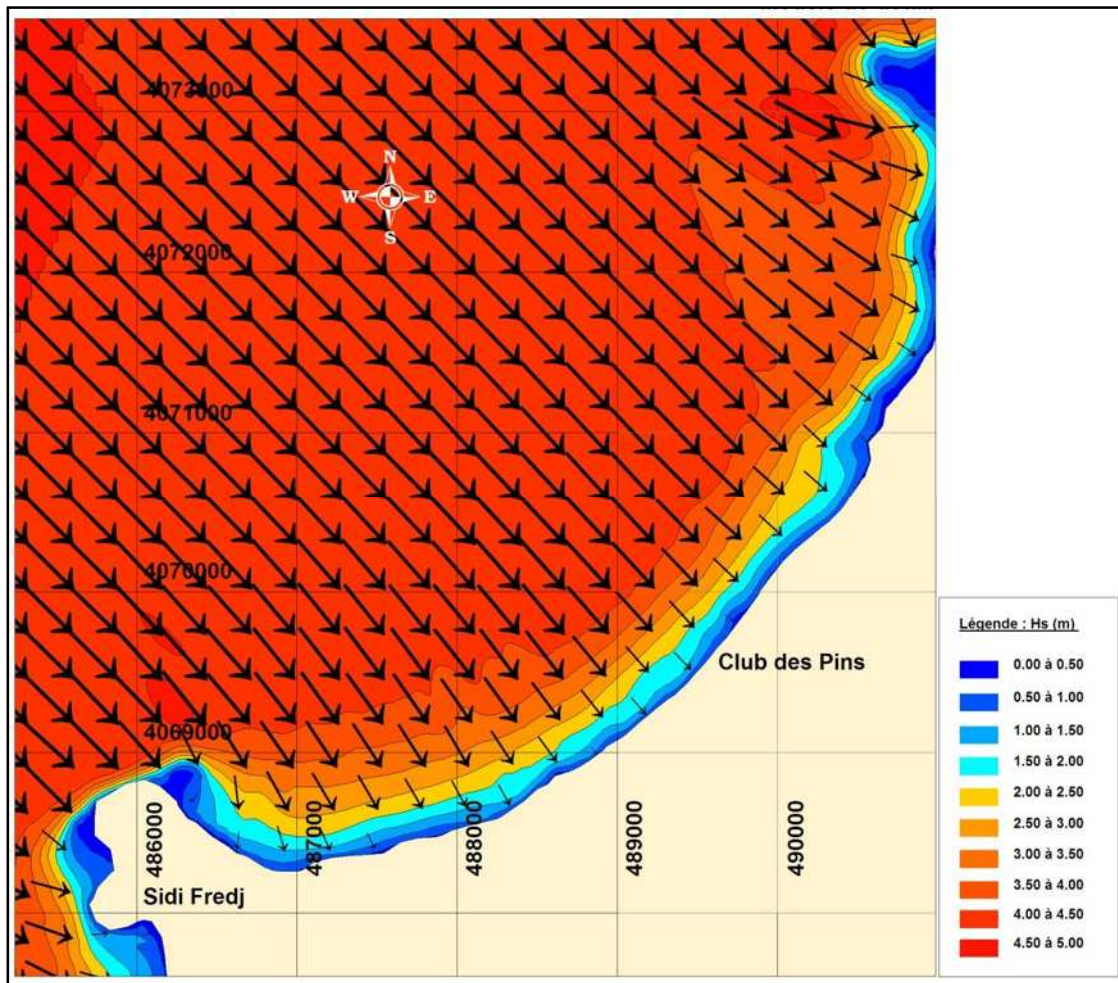


**Figure 28:** Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s (LEM, 2009)

#### Commentaire :

La figure présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et de période de 10 secondes, la propagation se fait de façon quasi frontale et la Hs devant la cote est de 0 à 3m.

#### 4.4. Les houles au large de direction Nord-Ouest



**Figure 29** : Réfraction de la houle pour une direction  $315^{\circ}\text{N}$  et une période de 10s (LEM, 2009)

#### Commentaire :

Sur cette figure présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest et de période de 10 secondes, la propagation se fait de façon frontale, Ces houles atteignent notre zone d'étude sans changer de direction avec une Hs qui peut atteindre 3m

#### Conclusion :

En prenant compte tout les directions des houles arrivants a la cote ainsi que leur hauteurs significatives, la hauteur max des vagues est estimée de 2 à 4m. Donc son score est attribué par la valeur 2 dans le tableau de la quantification des variables.

### 5. L'amplitude moyenne des marées:

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 est caractérisée par une pente douce, ce qui conduit à une amplification des phénomènes d'inondation.

Et donc ce variable est quantifié par la valeur 1.

### Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière pour la baie d'el Djamila :

Dans ce présent chapitre, après avoir collecter les données sur les sept (07) variables on va quantifier ces données dans un tableau qui permet de calculer l'indice de la vulnérabilité côtière (CVI) de la baie d'el Djamila :

Variabiles	Données	Quantification	Observation
<b>Géologie</b>	Sédiments meubles fins	5	Très élevé
<b>Géomorphologie</b>	Barrières des plages sableuses	5	Très élevé
<b>Élévation de continent/ niveau de la mer</b>	7 m	4	Elevé
<b>Tendance locale à l'affaissement</b>	Abs	1	Très faible
<b>Variation de trait de cote</b>	-2,25 m/an	4	Elevé
<b>Marnage</b>	D'environ 35 cm	1	Très faible
<b>Hauteur max. des vagues</b>	2 à 4 m	2	Modéré

**Tableau 06 :** Quantification de la vulnérabilité de la baie d'El Djamila.

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{5 * 5 * 4 * 1 * 4 * 1 * 2}{7}}$$

$$CVI = 10,69$$

	Niveau de vulnérabilité
2.23 < CVI < 6.32	Bas
6.32 < CVI < 10.00	Modéré
<b>10.00 &lt; CVI &lt; 14.14</b>	<b>Haut</b>
14.14 < CVI < 35.35	Très haut

**Tableau 07 :** Niveaux de la vulnérabilité côtière



**Figure 30 :** Carte de la vulnérabilité de la baie d'El Djamilia

### Interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus, la baie d'el Djamilia est exposée un degré de vulnérabilité très élevé, notamment au centre de la baie où elle présente une forte exposition aux attaques maritimes avec une faible résistance à cause de sa nature géologique ou se trouve des sédiments fins; En plus c'est une côte très basse où l'élévation ne dépasse pas les 5m dans certains secteurs. Qui ce n'est pas le cas dans ces deux extrémités car ce sont des caps plus au moins élevés avec une nature rocheuse qui augmente la résistivité de ces côtes. En plus on trouve quelque zone avec des aménagements lourds et des zones portuaires qui protègent un peu la côte mais ces zones restent avec une vulnérabilité modérée.

Les facteurs suivants participent aussi à la fragilisation de cette côte :

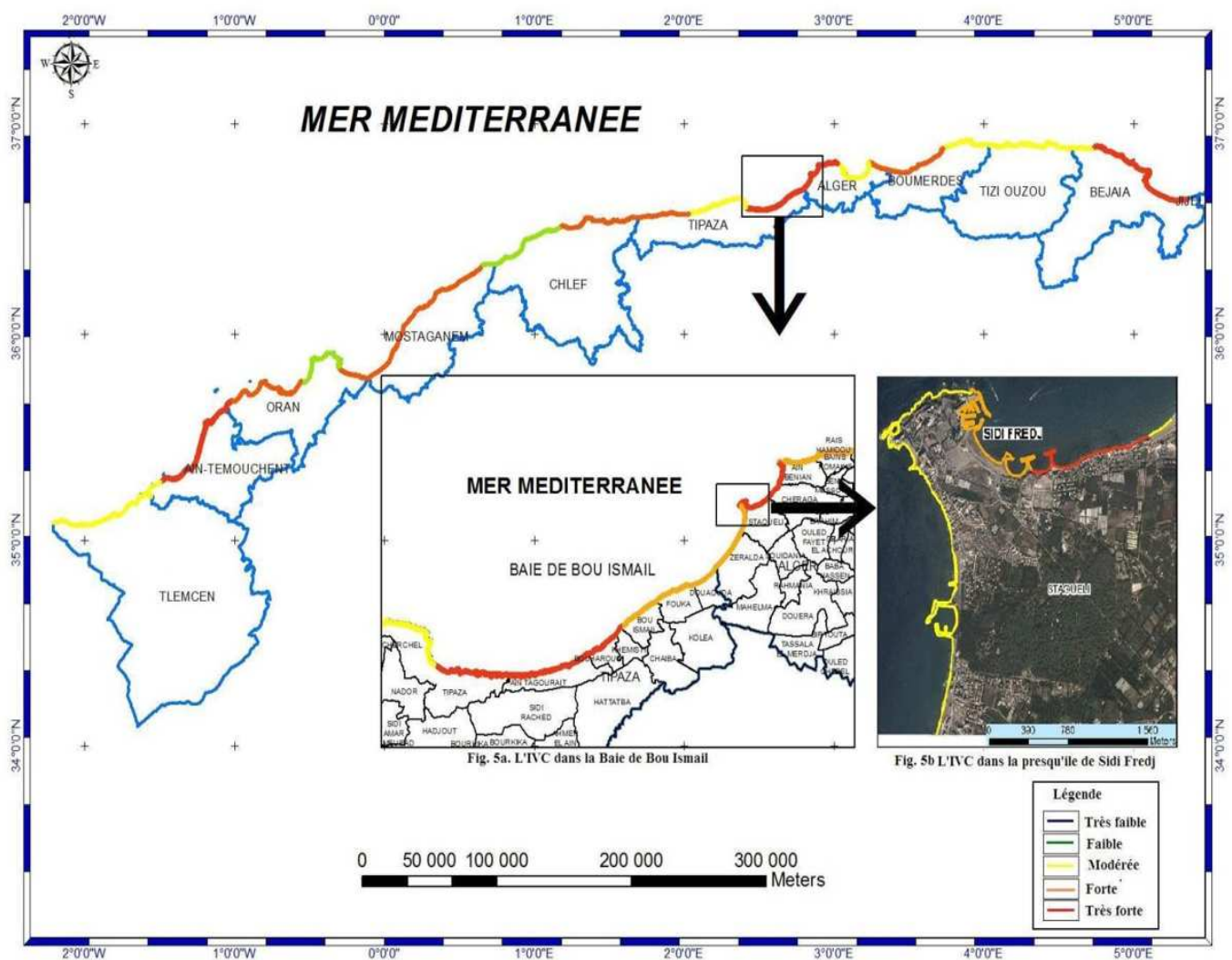
- La mobilité des sédiments rend la plage très fragile face au vent ainsi que l'extraction récurrente du sable par les habitants
- L'absence des falaises rend aussi la zone très vulnérable aux risques d'érosion/submersion.
- L'urbanisation anarchique à des conséquences néfastes sur cette côte.
- Le changement climatique accentue la vulnérabilité de la côte par le biais des tempêtes violentes.

### L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle :

Dans cette partie, on va spécifier pour chaque échelle spatiale une grille spécifique :

- une grille de 500 x 500m pour le niveau national, tout le littoral algérien (1500 km).
- une grille de 25 m x 25 m pour le niveau régional (la baie de Bou-ismail, d'Alger et de Zemmouri)
- une grille de 1 x 1m pour le niveau local (la petite baie d'El-Djamila)

Les résultats sont montrés dans la figure suivante :



**Figure 31:** Carte de l'indice de vulnérabilité côtière aux trois échelles spatiales de l'étude.

**Interprétation des résultats :**

D'après cette figure on peut dire que à l'échelle nationale le niveau de la vulnérabilité diffère d'une région à l'autre selon la nature des côtes; Les zones de forte vulnérabilité présentées par la ligne rouge couvrent plus d'un tiers du linéaire côtier algérien (36%); elles couvrent les zones de basses plaines côtières et des plages sableuses. La ligne jaune présente Les zones de vulnérabilité modérée qui couvrent les falaises moyennes et basses. Et malheureusement les zones de faible vulnérabilité ne présentent qu'une petite portion du littoral algérien. Et si on fait un zoom sur Une échelle régionale puis locale on remarque que la situation s'aggrave de plus en plus.

Ce qui laisse cette situation d'être inquiétante c'est que le littoral algérien présente une forte agglomération car d'environ deux tiers de la population algérienne s'occupe le nord du pays; donc d'une part c'est elle qui a participé à la fragilisation de ce système côtier et d'autre part c'est elle qui va être endommagée et subir les conséquences.

# CONCLUSION

### **Conclusion générale :**

Pour terminer, on pourra dire que la vulnérabilité côtière de la cote algérienne diffère d'une région à l'autre selon la nature de la cote, les cotes basses ont un niveau de vulnérabilité très élevé due à leur forte exposition au forçage côtier, par contre les cotes élevées sont moins vulnérables aux risques côtiers.

Vu les résultats obtenus, on pourra dire aussi que les indices de la vulnérabilité côtière sont des outils d'aide à la décision en particulier le CVI multi-échelle qui intègre à la fois les caractéristiques côtières ainsi que les paramètres qui sont en relation avec le forçage de la cote et les facteurs socio-économiques qui sont les plus déterminants en raison de leur caractère anthropique.

Pour remédier à ces problèmes de la vulnérabilité côtière plusieurs solutions ont été proposées pour rendre les cotes de moins en moins vulnérables tel que :

- Le développement de la recherche sur le climat régional, sa modélisation et la mise en œuvre conjointe d'application du climat avec l'utilisateur.
- L'instauration d'un système d'alerte précoce et rapide multi danger (Sécheresse, inondation, vagues de chaleur,...).
- Recommandations en relation avec l'élévation de niveau de la mer :
  - o Veiller à ce que les nouvelles constructions et infrastructures en zone côtière soient adaptées aux risques d'inondation en zone côtière.
  - o Construire des digues et des brise-lames pour protéger les cotes contre les effets des vagues.
  - o Elaboration de plan d'urgence pour les événements tels que les inondations, un recul soudain et conséquent des plages.
- Education, formation et sensibilisation du public sur les changements climatiques :
  - o L'introduction dans les manuels scolaires des différents paliers de l'enseignement la problématique « changement climatique »
  - o La confection des programmes des formations destinées aux associations environnementales en particulier celles ayant une vocation pour la zone côtière et littorale.

# BIBLIOGRAPHIE

**Agoumi, A. (2003).** Vulnérabilité des pays des maghrebs face aux changements climatiques, besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre, institut international de développement durable, Climate Change knowledge network. pp.32-34

**Bachari Houma, F. (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Océan, Atmosphère. Université Paris-Est.

**Balica, S. F. et al. (2012).** A Flood Vulnerability Index for Coastal Cities and Its Use in Assessing Climate Change Impacts. 64 p.

**Bellahsene, Y. et Messaoudi, S. (2005)** - Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, pp.13, 19-41.

**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. ISMAL. pp.122-123.

**Braik, D. (1989).** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail. Etude des paramètres physiques et chimiques. Approche biosédimentaire. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement. ISMAL. 92 p.

**CHAVANCE, P. et GIRARDIN, M. (1986).** Niveau d'exploitation en 1982 et potentialité régionale de la pêche chalutière algérienne. Application d'un modèle de production composite. FAO. Fish. Rep (37). pp. 113-134.

**Clabaut, P. et Claude, A. (2014).** Les fonds marins côtiers de Corse: Cartographie biomorpho-sédimentaire. pp.55-58.

**Dauphiné, A. (2001).** Risques et catastrophes : observer-Spatialiser-Comprendre-Gérer. Paris : Armand Colin. 288 p.

**DIREN, C. et al. (2007).** Synthèse bibliographique dans le cadre du projet de caractérisation des aléas naturels côtiers en intégrant les conséquences du changement climatique ». pp.79-81.

**BRGM, (2013).** Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 – Evaluation et représentation des sources de vulnérabilité.

**Fattal, P. et al. (2007).** Évaluation de la vulnérabilité côtière face aux pollutions par hydrocarbures : application à l'île de Noirmoutier. Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. pp.54–69.

**FERRANI, A. CHEHAIMA, L.T. (1998).** Contribution à l'élaboration des données de base de la baie de Zemmouri et l'étude de site Palm Beach (Baie de Bou Ismail). Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Algérie. 127 p.

**Gornitz, V. et al. (1991).** Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise. Coastal Zone '91. In Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. ASCE. pp. 23-68.

- Gornitz, V. et al. (1994).** The Development of a Coastal Risk Assessment Database for the U.S. Southeast: Erosion and Inundation from Sea-Level Rise. In *Coastal Hazards: Perception, Susceptibility, and Mitigation*. pp. 327-338.
- GRIMES, S. (2003).** Plan d'action national pour protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua. Contrat, PNUE/PAM/CASP/MATE, Alger, 64p.
- L.E.M. (1999).** Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (mission 5, wilaya de Tipaza. 1ère tranche). pp.21-52.
- L.E.M. (1999).** Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (mission 6, wilaya de Tipaza. 1ère tranche). pp. 7-12, 15-27, 33-54.
- Leclaire, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares: précontinent algérien. Paris: Éditions du Muséum.
- Leone, F. et Vinet, F. (2011).** La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles : Analyses géographiques. Montpellier: Presses Universitaires de la Méditerranée PULM.
- McLaughlin, S. et Cooper, J.A.G. (2010).** A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers?. *Environmental Hazards*. Vol. 9. pp. 233-248.
- Pachauri, R.K. et Reisinger. (2007).** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève. 103 p.
- Prieur, M. (2011).** Le Protocole de Madrid à la Convention de Barcelone relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*,
- Ramieri, E. et al. (2011).** Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. European Environment Agency - European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation. EEA 2011 report.
- Robert, S. (2012).** Création d'un observatoire hommes-milieux (OHM), « littoral méditerranéen ». Note d'opportunité, 8 p.
- Robin, M. (2002).** Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique. *Coastal hazards: a GIS approach to the men/nature interaction*. pp. 471-502.
- Terrier, M. et al. (2011).** Méthode D'évaluation de La Vulnérabilité Aux Tsunamis En Méditerranée Occidentale. [En ligne]. Consulté le [31.03.2015]. Disponible à l'adresse : <<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00724261>>.
- Tricot, A. (2012).** Capacités D'adaptation Des Sociétés Littorales Aux Risques D'érosion-Submersion En Prise Avec Les Changements Climatiques. [En ligne]. Consulté le [02.04.2015]. Disponible à l'adresse : <<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00803599>>.