

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique 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 :

**Calcul d'indice multi-échelle de la vulnérabilité côtière :
application sur le littoral centre (du mont chenoua au cap
djinet)**

Présenté par:

KENET Mahdjouba

Soutenu le 16/10 /2014 devant le jury suivant :

Mr. HAMDEN Y

Mr. GUERFI M

Mr. MEZOUAR K

Maitre de conférences (ENSSMAL)

Maitre de conférences (ENSSMAL)

Maitre de conférences (ENSSMAL)

Président

Promoteur

Examinateur

Promotion : 2013_2014

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie ALLAH, le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens tout particulièrement à remercier, Monsieur GUERFI M, pour les précieux conseils et orientations, de son suivi continué pour lequel ce mémoire doit beaucoup.

Je tiens à remercier Monsieur le président HAMDEN Y d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Monsieur MEZOVAR K de m'avoir honoré en acceptant d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à tous mes enseignants, depuis la première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année universitaire.

Finalement, je tiens vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents qui aucune dédicace ne saurait témoigner de mon profond amour que je ressens pour eux.

Je les remercie infiniment pour leurs soutiens durant toute ma vie en général et mon cursus universitaire en particulier et que dieu les garde pour moi.

En second plan je le dédie aussi en mémoire de mon frère Abd El Kadder.

À mon cher frère Amar et mes chères sœurs Fatima, Meriem, Zohra et surtout Houaria & Amina.

À tous mes amis avec lesquels j'ai partagé tous les moments agréables en particulier : Nawel, Fatiha, Sara, Fatima, Aicha, khalidia, Hanen, Jojo, Sabrina, Moussa, Kouider, Younes, Badro, Apoca, Walid, Gharbi, adjal, Nadjib, Amin.

En fin je dédie ce travail à toutes les personnes que j'aime

Mahdjouba

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

| | |
|--|-----------|
| I. Problématique de l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières | 14 |
| | 14 |
| I.1. Quelques Définitions | 14 |
| I.1.1 .Risque..... | 14 |
| <i>I.1.2. Aléa.....</i> | <i>14</i> |
| I.1.3. Vulnérabilité..... | 14 |
| I.2. L'évaluation du risque | 15 |
| I.2.1. La vulnérabilité côtière..... | 15 |
| I.3. Les indices pour orienter les solutions d'aménagement et de protection | 17 |
| I.3.1. L'évaluation de la vulnérabilité côtière..... | 17 |
| I.3.2. Les principales caractéristiques des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière au changement du climat..... | 19 |
| I.3.3. Aperçu sur quelques méthodes d'évaluation, employant l'indice de vulnérabilité côtière..... | 20 |
| II. Une zone côtière sous pression et fragilisée par des options d'aménagement inadaptées..... | 21 |
| II.1. Les dangers qui guettent la zone côtière | 21 |
| II.1.1. Changement climatique, tempête et élévation du niveau de la mer..... | 21 |

CHAPITRE II : LA ZONE D'ETUDE

| | |
|---|-----------|
| Introduction..... | 25 |
| I. Le littoral Algérien | 25 |
| I.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau continental algérien | 25 |
| I.2. État du milieu littoral algérien..... | 26 |
| II- La zone Algéroise | 29 |
| II.1. Caractéristiques de la zone | 30 |
| II.2. la baie de Zemmouri..... | 32 |

| | |
|--|----|
| II.2.1. Situation géographique..... | 32 |
| II.2.2. Cadre géologique | 33 |
| II.2.3. Sédimentologie..... | 34 |
| II.2.4. Climatologie..... | 35 |
| II.2.5. Réseau hydrographique..... | 36 |
| II.3. La baie d'Alger..... | 36 |
| II.3.1. Situation géographique | 36 |
| II.3.2. Cadre Géologique :..... | 37 |
| II.3.3. Stratigraphie de la région d'Alger..... | 38 |
| II.4. La baie de Bou-Ismaïl | 41 |
| II.4.1. Situation géographique | 41 |
| II.4.2. Morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismaïl | 41 |
| II.4.3. Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl | 42 |
| II.4.4. Réseau hydrographique | 43 |
| II.4.5. Géologie | 43 |
| II.4.6. Conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismaïl..... | 44 |
| II.4.7. Facteurs hydrodynamiques..... | 45 |
| III.Sidi Fredj | 46 |
| III.1. Présentation de la zone | 46 |
| III.2. Réseau hydrographique..... | 47 |
| III.3. Cadre géologique..... | 47 |
| III.4. données naturelles la zone côtière de Sidi Fredj | 48 |
| III.5. Etat du site | 48 |

Chapitre III: MATERIELS ET METHODE

| | |
|--|----|
| I. Méthodologie d'application de l'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle de Mclaughlin et Cooper (2010)..... | 51 |
| I. 1. La gestion de l'érosion/submersion marine : Un problème de cartographie décisionnelle multicritères | 51 |
| I.2. Le choix des variables..... | 51 |

| | |
|---|----|
| I.3. La quantification ou attribution d'un score à chaque variable..... | 52 |
| I.4. Le calcul des indices..... | 54 |
| I.5. Les variables spécifiques à chaque échelle spatiale..... | 55 |

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|------------------------------|----|
| Résultats et discussion..... | 58 |
|------------------------------|----|

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: variable de classification des sous-indices..... | 19 |
| Figure 2: tempête de novembre 2010 cas du port d'Ain Benian | 23 |
| Figure 3: Cadastre du littoral (Source : MATE)..... | 26 |
| Figure 4: Situation géographique de la côte Algéroise (Baie de Bou Ismail, Baie d'Alger et Baie de Zemmouri)..... | 29 |
| Figure 5: Construction d'un port de pêche sur une zone dynamique. | 31 |
| Figure 6: Evolution mi-séculaire (1959-2011) du trait de côte à Sidi Fredj et ouvrages de protection (Source : APPL). | 32 |
| Figure 7: Situation géographique de la baie Zemmouri El Bahri (Google Earth 2014)..... | 33 |
| Figure 8: Carte géologique du secteur d'étude : Stratigraphie et lithologie. Alloui L, 1999 (in Ficheur ,1985)..... | 34 |
| Figure 9: Nature de la couverture sédimentaire dans la baie de Zemmouri | 35 |
| Figure 10: la situation géographique de la baie d'Alger | 37 |
| Figure 11: situation géographique de la baie de Bou Ismail | 41 |
| Figure 12: Topographie de la baie de Bou Ismail (Leclair, 1972). | 42 |
| Figure 13: Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2004) | 43 |
| Figure 14: Coupe stratigraphique synthétique du tyrrhénien dans la baie de Bou Ismail (Betrouni, 1983)..... | 44 |
| Figure 15: Situation géographique de la presqu'île de Sidi Fredj | 47 |
| Figure 16: Cartes de l'indice de vulnérabilité côtière aux trois échelles spatiales de l'étude. | 58 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Répartition de la population sur le domaine littoral algérien. | 27 |
| Tableau 2: Répartition des unités industrielles littorales..... | 28 |
| Tableau 3: Classification des variables de la vulnérabilité..... | 53 |
| Tableau 4: Niveaux de la vulnérabilité..... | 55 |
| Tableau 5: Résultats de quelques unités physiographiques..... | 55 |

Liste des abréviations et acronymes

ONS : Office National des Statistiques.

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement.

GIEC : Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

PAC : Programme d'Aménagement Côtier.

DIPCN : la Décennie Internationale de Prévention des Catastrophes Naturelles.

ONU : Organisation des Nations Unies.

SIG: Système d'Information Géographique.

CVI : Indice de Vulnérabilité Côtière.

UNEP : United Nations Environnement Programme.

RSLR: Relative Sea Level Rise.

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

APPL : Agence de Protection et de Promotion du Littoral.

CNRDPA : Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture.

MERMEX: Marine Ecosystems Response in the Mediterranean Experiment.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La zone côtière est un espace complexe et vulnérable. Il est le siège de multiples activités humaines où interviennent des événements météo-marins parfois paroxysmaux. Ces deux éléments combinés sont à l'origine de risques d'origine naturelle et anthropique (*Robin et al., 2004*). Cette vulnérabilité est aggravée par les changements climatiques, notamment dans le pourtour méditerranéen (*GIEC, 2007*).

La zone côtière algérienne, qui se situe dans la partie sud du bassin méditerranéen est davantage vulnérable, parce qu'elle a toujours eu une évolution liée au climat et à sa variabilité (*Agoumi A, 2003*), et qu'elle est soumise à de multiples risques naturels. Cette région connaît en effet une grande variabilité spatiale et temporelle des précipitations, qui se traduit par des épisodes fréquents de sécheresse, des inondations importantes (*Agoumi A, 2003*), comme celles qu'a connues Alger en 2001, qui ont fait un millier de victimes et d'importants dégâts matériels (*Djellouli Y et SaciA., 2003*). C'est aussi une zone de grande activité sismique (un séisme de 3,5 sur l'échelle de Richter) est enregistré tous les deux mois et de risques de Tsunami, (*Larara et al., 2012*) ; l'érosion prend des proportions préoccupantes, surtout dans la partie Est de la côte. Les risques d'érosion et/ou submersion marine sont très importants, la côte algéroise perdrait en moyenne 2.25 m/an (*Benkortbi ; 2000*).

À ces pressions d'origines naturelles s'ajoutent d'autres, anthropiques, puisque la côte algérienne est l'une des plus peuplées du bassin méditerranéen (*PAC, rapport final*), avec environ 40% de la population vivant sur une étroite bande du territoire représentant à peine 1,9% de la superficie du pays, induisant ainsi une forte concentration des activités (51% des industries y sont localisées), des infrastructures et équipements du pays. Il en résulte une détérioration des écosystèmes marins et continentaux, l'impact sur les ressources, notamment le sol, l'eau, les ressources halieutiques est dévastateur.

Depuis l'an 2000, une nouvelle politique d'aménagement et de développement durable est mise en œuvre, avec pour objectif de protéger le littoral en rééquilibrant vers l'intérieur du pays l'urbanisation et les activités (la loi littorale).

Parmi les outils de planification territoriale utilisés, il y a l'évaluation de la vulnérabilité côtière. Ces évaluations offrent un moyen rapide et peu onéreux de planification et de gestion du littoral, et donnent un aperçu sur les secteurs à risques actuels ou futurs (*Palmer et al. 2011*).

L'évaluation 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. L'évaluation est un processus interdisciplinaire qui nécessite la combinaison de grandes quantités de données sur les divers paramètres contribuant à la vulnérabilité d'un territoire. De nombreux auteurs ont développé des indices de vulnérabilité, avec pour objectifs la simplification du nombre complexe de paramètres qui interagissent entre eux, représentés par divers types de données, à une forme plus facilement compréhensible et ainsi ayant une utilité pour la gestion du territoire. Les SIG sont le moyen d'intégration des données et la production de ces indices qui expriment l'effet combiné de ces paramètres.

Le but principal de l'évaluation de la vulnérabilité est de fournir de l'information pour guider le processus d'adaptation et améliorer les capacités adaptatives de la société. De nombreux indices ont été développés pour évaluer de la vulnérabilité des côtes, notamment au changement climatique (Gornitz, 1990) et à l'érosion côtière, à la pollution par les hydrocarbures (Fattal, 2009),ect .

Les décisions concernant la gestion du trait de côte et les problèmes d'érosion/submersion marine, impliquent de nombreux acteurs et intègrent une multitude de données quantitatives et qualitatives, elles se prennent dans le cadre de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), c'est donc un problème de cartographie décisionnelle multicritères. La méthode utilisée dans le cadre de ce travail est une adaptation d'une approche par indicateurs qui tient compte de l'avis d'experts.

Il n'y a pas un indice de vulnérabilité type qui peut être appliqué à toutes les situations. Les composantes qui contribuent à la vulnérabilité, le type de donnée et leur disponibilité et l'utilité de l'approche par indice varient avec l'échelle. L'objectif de ce travail est de;

- Faire un état de l'art des méthodes et outils utilisés pour l'évaluation de la vulnérabilité côtière ;
- Identifier une méthode robuste et « facile à utiliser » pour l'évaluation de la vulnérabilité,
- appliquer cette méthode à la zone côtière algérienne.

L'indice de vulnérabilité multi-échelle développé par *Mclaughlin et Cooper (2010)* sur l'Irlande du Nord est la méthode la plus complète, puisqu'à côté des paramètres physiques de la sensibilité côtière, est prise en compte l'action de l'homme sur le milieu en intégrant les variables socio-économiques. Dans le présent travail, nous évaluons d'une façon préliminaire

le potentiel d'application de cet indice à trois échelles spatiales que sont ; tout le linéaire côtier algérien pour le niveau national, la Baie de Bou Ismail pour le niveau régional et enfin la zone de Sidi Fredj, pour le niveau local. Les indices extraits et les questions qu'elles soulèvent dans leur compilation seront ensuite discutés.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

II. Problématique de l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières

II.1. Quelques Définitions

I.1.1. Risque

Il y a diverses définitions du risque naturel selon les pays, les époques et les domaines traités. Le risque de glissement de terrain par exemple augmente avec les changements qui affectent le climat, et le risque d'y être exposé augmente avec l'urbanisation en zone où ce danger est susceptible de s'exprimer (*Fattal, 2009*). Les définitions récentes du risque, comme celle proposée par la décennie internationale de prévention des catastrophes naturelles (DIPCN) décrétée par l'ONU en 1990, insistent généralement sur le croisement entre un phénomène naturel ou **aléa** "hazard" en anglais (tempête, inondation, incendie de forêt, coulée de boue, mouvements de terrains, séisme, invasion biologique, épidémie...), et des **vulnérabilités** humaines, c'est-à-dire des lieux habités ou utilisés par l'homme, des installations, des fonctions ou activités susceptibles d'être altérées ou détruites par l'occurrence du risque.

Risque = Aléa x Vulnérabilité

I.1.2. Aléa

Le terme **aléa** fait référence à la probabilité qu'un phénomène d'une certaine *étendue, intensité* et *durée*, entraînant des conséquences négatives, a de se produire. Ce premier aspect de la notion de risque fait l'objet de l'analyse des périodes de retour et de représentation cartographique (cartes de fréquence).

I.1.3. Vulnérabilité

La **vulnérabilité** fait référence à l'impact du phénomène sur la société, c'est justement l'accroissement de la vulnérabilité des enjeux qui augmente l'incidence des risques naturels. Le bureau des secours des États-Unis définit la vulnérabilité comme: "*le degré de pertes d'un élément ou d'un ensemble d'éléments à risque résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel d'une ampleur donnée. Il est exprimé sur une échelle de 0 (pas de dégâts) à 1 (dégâts totaux)*". La vulnérabilité intéresse et concerne de nombreux acteurs impliqués dans l'aménagement et la gestion du territoire ou des structures (bâtiments, etc.), elle dépend fortement de la réponse de la population face au risque.

I.2. L'évaluation du risque 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. L'évaluation des risques nécessite l'analyse des données historiques "officielles" ou non, et une bonne interprétation des cartes météorologiques, topographiques, géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et d'utilisation du sol existant. L'évaluation est un processus interdisciplinaire qui doit être entrepris par étapes 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.

La planification à court et long terme nécessite une évaluation quantitative de la vulnérabilité aux risques naturels pour la zone côtière. Cette évaluation quantitative a pour but de minimiser la vulnérabilité à d'éventuels risques naturels des individus et des communautés (collectivités). Bien qu'il y ait de nombreuses techniques pour évaluer quantitativement la vulnérabilité aux catastrophes naturelles, des développements méthodologiques et technologiques sont encore nécessaires pour l'intégration des différentes disciplines et données relatives aux risques naturels dus aux changements climatiques.

I.2.1. La vulnérabilité côtière

Puisque l'évaluation a pour but de minimiser l'impact sur l'homme, sur son environnement (infrastructure, équipement, etc.) et ses activités, la vulnérabilité de la zone côtière peut être considérée comme fonction de la nature physique de la zone côtière, c'est-à-dire des caractéristiques qui contrôlent sa capacité à répondre aux perturbations, de la nature (fréquence et magnitude) de la perturbation (les facteurs de forçage) et des répercussions d'un tel changement sur les activités de l'homme et son environnement, elle peut être exprimée ainsi (*Cooper et McLaughlin, 2010*):

Vulnérabilité = f des caractéristiques de la côte (résilience et susceptibilité) + le forçage côtier + les facteurs socio-économiques

Ainsi, l'analyse des données sur les caractéristiques physiques de la côte (géologie, géomorphologie, etc.), sur les forçages côtiers (vent, marée, houle, vague, etc.) et autres facteurs régissant le fonctionnement de la côte, peuvent être utilisés pour évaluer d'une façon globale la susceptibilité éventuelle d'une zone au changement morphologique. Par contre, les

variables socio-économiques sont nécessaires pour déterminer l'impact de tels changements sur la société. De ce point de vue par exemple, une zone côtière non développée, qui s'érode rapidement n'a pas de vulnérabilité puisqu'elle va s'ajuster à la perturbation à travers le processus naturel pour atteindre un nouvel équilibre.

Les variables socio-économiques elles-mêmes ne quantifient pas toute la vulnérabilité parce que ça dépend du changement physique de la cote ; une cote stable avec une infrastructure abondante n'a pas de vulnérabilité. Le choix des variables socio-économiques ajoute à l'indice un biais culturel inhérent. *Gornitz et al., (1993)* ont suggéré "...c'est la valeur sociale et économique perçue des ressources dans la région à risque qui va déterminer quels sont les efforts, s'il y en a, sont faits pour protéger une zone donnée..." Une telle approche basée sur le coût-bénéfice est habituelle dans l'évaluation des ouvrages côtiers de défense (qui néglige, cependant, souvent les implications environnementales et sociales. Dans de nombreux indices de vulnérabilité côtière qui ont été développés auparavant, les facteurs socio-économiques ont souvent été identifiés comme des composantes ayant été inadéquatement incorporées ou ont été recommandés à plus d'étude (*Cooper et McLaughlin, 1998, McLaughlin, 2002*).

La base conceptuelle de l'indice de vulnérabilité côtière présenté dans la figure 1 est que les trois éléments des caractéristiques de la côte, le forçage de vagues et les caractéristiques socio-économiques contribuent à la vulnérabilité globale. Celles-ci peuvent être représentées de plusieurs façons par de multiples variables, et le choix des variables les plus appropriées est important dans le développement de l'indice de vulnérabilité

Les données pour toutes les composantes provenant d'une variété de sources numériques et analogiques ont été rassemblées dans un SIG et ont été employées pour extraire l'information de la bande côtière. Ceci a permis de rassembler les données aux mêmes échelles et la superposition de différentes variables pour le calcul d'indices.

I.3. Les indices pour orienter les solutions d'aménagement et de protection

I.3.1. L'évaluation de la vulnérabilité côtière

Tel que souligné précédemment, la planification de la zone côtière nécessite une évaluation quantitative de la vulnérabilité aux risques. Cette évaluation a pour but de minimiser la vulnérabilité à d'éventuels risques pour l'environnement et la société. C'est donc 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 et son impact. Ce processus implique donc la collecte, le traitement et l'analyse d'importants volumes de données et informations sur tous les paramètres intervenant dans le risque (milieu naturel, processus et données socio-économiques). L'objectif de cette évaluation est d'orienter les efforts de planification et de gestion du risque. Pour simplifier ce processus complexe et mettre à la disposition des gestionnaires des outils plus intelligibles, de nombreux auteurs ont développé des indices de vulnérabilité (*McLaughlin and Cooper, 2011, p234*).

Le premier indice de vulnérabilité côtière (CVI) qui 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)*. Six variables ont été utilisées pour le calcul de cet indice : la géomorphologie, la pente (ou pendage), le taux moyen de l'élévation du niveau de la mer, le taux d'érosion/accréation, la marée moyenne et la hauteur moyenne des vagues. Après le choix des variables, un score de 1 à 5 est assigné à chaque paramètre (1 étant la plus faible contribution à la vulnérabilité côtière, 5 le score le plus élevé). Une fois le classement complété, la formule suivante est utilisée pour calculer une valeur numérique unique qui définit la vulnérabilité de chaque section de la côte. Cette formule de Gornitz prend la forme de la racine carrée des six variables, telle que montrée ci-dessous :

$$CVI = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

a = géomorphologie;

b = Taux de changement de la côte;

c = pente (pendage)

d = élévation relative du niveau de la mer ;

e = hauteur moyenne des vagues;

f = moyenne de la marée

Formule de calcul du CVI proposée par Gornitz (*Ramieri et al., 2011, p21*)

Le classement est une opération semi-qualitative, puisqu'il revient au chercheur de décider les limites de classement pour chaque variable (Ex : quelle moyenne de la marée constitue le score 4 ?). La description rationnelle du classement des paramètres est cruciale pour la validité de tout indice de vulnérabilité (CVI). Des adaptations au contexte de l'étude ont été proposées et il existe donc de nombreuses variantes de l'indice originel de Gornitz (CVI), avec des modifications importantes dans certains et de légères dans d'autres. Toutes les variantes ont le même principe : classer et quantifier la vulnérabilité le long de la côte. Certains pensent que les CVI qui incorporent uniquement les variables physiques n'analysent pas réellement la vulnérabilité côtière, mais plutôt la « sensibilité côtière » (*Abuodha and Woodroffe, 2010*).

Les versions récentes du CVI intègrent la composante socio-économique (population, infrastructure, patrimoine), une facette jusque-là négligée (*Palmer et al., 2011*). 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, p19*).

Un exemple de ce type d'indice est proposé pour l'Irlande du Nord par *McLaughlin et Cooper's (2011)*, dans une approche nouvelle de deux points de vue, d'une part l'indice est calculé à trois niveaux ou échelles spatiales : locale, régionale et nationale, et d'autre part un cadre est utilisé qui implique trois sous-indices : un indice pour les "caractéristiques de la côte", un indice pour "le forçage côtier" et un indice pour le "socio-économique". Ce cadre est présenté dans la figure 2.6 (Voir McLaugh). Le problème récurrent qui se pose lors du calcul du CVI est celui de la donnée, sa disponibilité, sa qualité, en effet les données utilisées proviennent souvent de bases de données mondiales et se caractérisent donc par une faible résolution spatiale (*Palmer et al., 2011, p1*).

C'est donc une adaptation de cette démarche à la spécificité de la côte algérienne, que nous avons utilisé pour produire des cartes de la vulnérabilité des certaines côtes algériennes et que nous présentons dans la prochaine section.

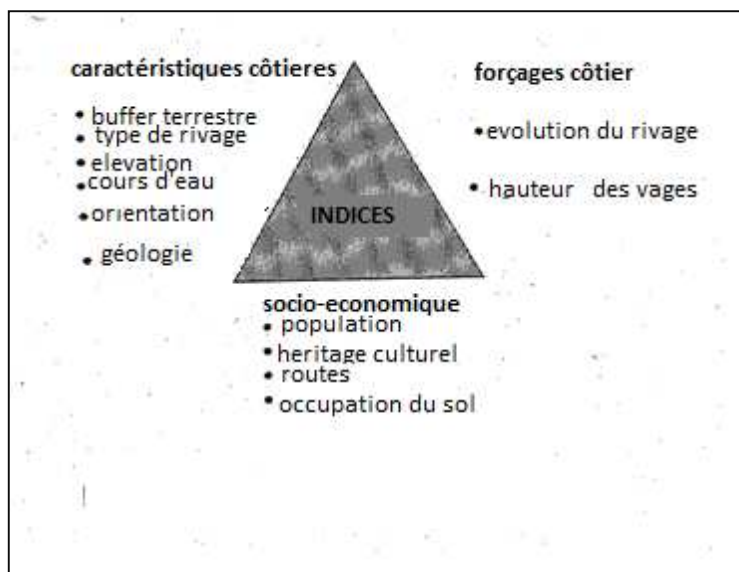


Figure 1: variable de classification des sous-indices

I.3.2. Les principales caractéristiques des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière au changement du climat

- S'intéressent à différents scénarios temporels, avec pour préoccupation particulière les horizons 2050 et 2100 ;
- Évaluent la vulnérabilité aux différents impacts du changement climatique. D'autres impacts peuvent importants au niveau régional et seront pris en charge aussi, tels que l'érosion côtière, les intrusions marines, les impacts sur les zones humides et les habitats, etc.
- Applicabilité sur différentes typologies de systèmes côtiers
- Évaluent la vulnérabilité à la fois sur les systèmes socio-économiques et naturels, écologique
- Prends en compte les mesures d'adaptation dans l'évaluation, en termes de mesure déjà implémentée et de scénarios d'adaptation future.
- Produis différents résultats ; en particulier des cartes et/ou des indicateurs capables de montrer comment la vulnérabilité ;
- Un juste milieu entre prise en compte globale et la complexité /simplicité dans l'utilisation de la méthode

I.3.3. Aperçu sur quelques méthodes d'évaluation, employant l'indice de vulnérabilité côtière

I.3.3.1. Différentes catégories de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière

- 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)
 - Méthodes sectorielles : Des méthodes basées sur des secteurs particuliers, des thèmes ou échelles d'application BTELSS, SLAMM and FUND;
 - Modèles multi échelles et multisectoriels, DELFT3D, DIVA and SIMCLIM

I.3.3.2. Définition d'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.
- L'indice de vulnérabilité (IVC) est la méthode la plus utilisée pour évaluer la vulnérabilité côtière au changement climatique et/ou non climatique, en particulier quant aux risques d'érosion et /ou inondation (*Gornitz et al., 1991, Ramieri et al., 2011*). C'est une analyse multicritères, semi-quantitative, qui permet de classer les sections de côte en termes de changement potentiel. Les résultats de cette évaluation sont présentés sous forme de cartes qui permettent d'identifier le niveau de risque par secteur (*Gutierrez et al., 2009*). L'IVC originel a subi de nombreuses adaptations selon la zone d'étude et les données disponibles sur les divers paramètres contribuant à la vulnérabilité côtière (*McLaughlin, 2002*).
- Les versions récentes de l'IVC intègrent la composante socio-économique (population, infrastructure, patrimoine), un aspect jusque-là négligé (*Palmer et al., 2011*). Cette intégration peut se faire après le calcul de l'IVC où en intégrant cette composante dans la formule de calcul de l'indice avec les variables du milieu physique (*Ramieri et al. 2011*). Dans cette étude, nous adaptons la démarche de calcul de l'indice multi-échelle (*McLaughlin et Cooper ; 2010*) au contexte algérien, caractérisé par un manque de données, notamment sur les forçages côtiers, pour lesquels il n'existe pas de séries temporelles ainsi que l'élévation du niveau de la mer.

I.3.3.3. L'indice CVI et ses limites

- La plus grande contrainte du CVI est son incapacité à inclure l'aspect socio-économique (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.

I.3.3.4. L'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle de McLaughlin et Cooper (2010)

- 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.
- 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/

II. Une zone côtière sous pression et fragilisée par des options d'aménagement inadaptées

II.1. Les dangers qui guettent la zone côtière :

Dans l'état de l'environnement et la rétrospective politique : 1972 – 2002, le programme des NationsUnies pour l'environnement a établi une liste de cinq dangers guettant les zones côtières et l'environnement marin : La pollution marine, l'introduction d'espèces exotiques, les altérations physiques, le changement climatique et atmosphérique global (*UNEP, 2002*).

Tous les facteurs ci-dessus impactent profondément l'écosystème côtier. La pollution marine (par exemple : la contamination par les égouts, l'eutrophisation des eaux côtières, les déchets

non biodégradables entrant dans l'écosystème) ont augmenté ces dernières années. Les stocks de pêche ont souffert de la surpêche et cette réduction des stocks a impacté les écosystèmes côtiers (*Jentoft and Chuenpagdee, 2008, UNEP, 2002*). Avec la globalisation de l'économie, la pénétration des espèces invasives a augmenté. Mais, le rapport souligne que le danger le plus important est l'altération physique directe du trait de côte et la destruction des habitats causée par une telle activité (*UNEP, 2002, p184*). Finalement cette altération peut affecter dramatiquement «le fonctionnement naturel de la côte», exposant la ligne de côte "à l'impact de l'élévation du niveau de la mer, à l'érosion côtière, aux événements extrêmes et aux risques côtiers"(*Palmer et al., 2011, p1*).

Le dernier danger qui reste c'est celui des changements "climatiques et atmosphériques globaux" qui un est sans précédent dans l'histoire de l'humanité et qui va avoir un impact certain sur le milieu côtier. Avec des prévisions qui disent que les changements climatiques vont avoir un grand impact sur les processus côtiers cette évaluation de la vulnérabilité concentre sur (l'élévation du niveau de la mer, l'érosion et les événements climatiques extrêmes) Il nous a paru nécessaire de discuter ce sujet.

II.1.1. Changement climatique, tempête et élévation du niveau de la mer

Concernant l'étendue de l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur la zone côtière c'est l'élévation relative du niveau de la mer qui est le facteur déterminant de la susceptibilité au changement du niveau de la mer.

Le principal effet physique attribué au RSLR (Relative Sea Level Rise) sont communément admis comme étant : une plus grande érosion des plages et falaises (bluffs), des inondations plus fréquentes des zones les plus basses du littoral and les dommages dus aux tempêtes, haut niveau d'eau et les intrusions marine dans les aquifères (*Douglas et al., 2000, Nicholls, 2010, Oyzurt et al., 2009*). *Phillips and Crisp (2010)* expliquent comment une augmentation du RSLR peut conduire à plus d'érosion côtière (intense).

1. Un haut niveau d'eau permet aux vagues de frapper proche du rivage.
2. Une eau profonde diminue la réfraction des vagues et ceci augmente la capacité pour le transport le long du littoral
3. Avec un haut niveau des hauts, les processus d'érosion par les vagues et courants agissent plus sur le profil causant ainsi un réajustement de ce profil.



Figure 2: tempête de novembre 2010 cas du port d'Ain Benian.

Les inondations des zones côtières basses vont devenir une plus grande préoccupation pour l'habitat et l'infrastructure dans la zone des 100m du rivage (la large zone qui va être vraisemblablement impactée par le SLR) (*Purvis et al., 2008*). Les inondations vont non seulement se produire avec l'augmentation du niveau de l'eau, son effet va être accentué par les tempêtes prévues pour 21^e si (*Purvis et al., 2008, Solomon et al., 2007*). Les tempêtes, peuvent être définies comme étant la différence entre les vagues et le niveau total des eaux et essentiellement du à des facteurs météo (*Gaslikova et al., 2011*), il est admis qu'elles vont être plus intenses comme le climat continue de se réchauffer (*Nicholls et al., 2007*). Conséquence, des inondations plus sévères des zones côtières (ces tempêtes vont augmenter en fréquence et en intensité).

Avec l'augmentation du risque d'érosion, d'inondation et d'intrusions marines et les événements extrêmes, il est clair que la combinaison du changement climatique et le RSLR soulèvent d'importantes des interrogations (questions) et des défis sur les pratiques traditionnelles de gestion du littoral, la section suivante va explorer brièvement les méthodes communément utilisées pour gérer le trait de côte.

Chapitre II : **Zone d'étude**

Dans ce chapitre nous allons aborder notre zone d'étude selon trois échelles :

I-échelle nationale le littoral Algérien

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

III-échelle locale la presqu'île de Sidi Fredj

I. Le littoral Algérien

I.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau continental algérien

Les côtes Algériennes s'étirent d'Ouest en Est sur plus de 1622 Km. De la frontière marocaine à Tlemcen, la côte se trouve entièrement au Sud du 36^{ème} parallèle, alors qu'elle est entièrement au Nord du 36^{ème} 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^{ème} 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^{ème} 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 3: Cadastre du littoral (Source : MATE).

I.2. État du milieu du littoral algérien

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.

| Unités administratives | Population (habitants) | Pourcentage (%) |
|------------------------|------------------------|-----------------|
| El Taref | 408 414 | 1.20 |
| Skikda | 898 680 | 2.64 |
| Annaba | 609 499 | 1.79 |
| Jijel | 636 948 | 1.87 |
| Bejaïa | 912 577 | 2.68 |
| Tizi Ouzou | 1 127 607 | 3.31 |
| Boumerdès | 802 083 | 2.35 |
| Alger | 2 988 145 | 8.77 |
| Tipaza | 591 010 | 1.73 |
| Blida | 1 002 937 | 2.94 |
| Chlef | 1 002 088 | 2.94 |
| Oran | 1 454 078 | 4.27 |
| Mostaganem | 737 118 | 2.16 |
| Tlemcen | 949 135 | 2.79 |
| Ain Temouchent | 371 239 | 1.09 |
| Total | 15 080 942 | 44.25 |

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 unités industrielles littorales.

| Localisation | Unités | %du total national |
|----------------|-------------|--------------------|
| Chlef | 84 | 08 |
| Bejaïa | 431 | 4.2 |
| Blida | 1457 | 14.2 |
| Tlemcen | 238 | 2.3 |
| Tizi-ouzou | 287 | 2.8 |
| Alger | 735 | 7.2 |
| Jijel | 69 | 0.7 |
| Skikda | 85 | 0.8 |
| Annaba | 148 | 1.4 |
| Mostaganem | 83 | 0.8 |
| Oran | 749 | 7.3 |
| Boumerdès | 356 | 3.4 |
| Taref | 40 | 0.3 |
| Tipaza | 434 | 4.2 |
| Ain Temouchent | 46 | 0.4 |
| Total | 3785 | 37.2 |

II- La zone Algéroise

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 agraires, 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 4: Situation géographique de la côte Algéroise (Baie de Bou Ismail, Baie d'Alger et Baie de Zemmouri)

II.1. Caractéristiques de la zone :

La zone Algéroise est une région soumise à multiples risques naturels

II.1.1. Les conditions climatiques :

Le climat de la zone est caractéristique d'un climat de type méditerranéen. Les hivers sont très doux. Les étés sont chauds et secs. La période où les précipitations sont les plus abondantes s'étend d'octobre à mars. Le climat de l'Algérie est très variable. L'une des manifestations les plus préoccupantes de cette variabilité est la sécheresse

On observe actuellement une évolution du climat vers un réchauffement (depuis 1970, l'augmentation est de 0,5°C par décennie pour les températures maximales et de 0,2°C par décennie pour les minimales), accompagnée d'une baisse globale des précipitations annuelles (17 mm sur 10 ans à Bouzaréah et de 28 mm sur 10 ans à Cap Caxine).

II.1.2. La stabilité des terrains :

La région algéroise présente des reliefs par endroits prononcés, source d'une certaine instabilité des terrains naturels.

On distingue trois principaux types de mouvements de terrain dans la zone d'étude : les glissements de terrain superficiels, à cinétique rapide, pouvant se transformer en coulées de boue ; les glissements de terrain à cinétique lente, au rang desquels on compte notamment les fluages ; enfin les chutes de pierres et de blocs.

II.1.3. Les séismes et tsunamis :

La zone côtière algérienne et le Tell constituent des **zones de forte sismicité**. Des séismes dévastateurs y ont été vécus. L'activité sismique génère également des risques de tsunamis. Le scénario considéré dans la présente étude correspond à une hauteur d'eau au rivage de 2m,

II.1.4. L'érosion côtière et la submersion marine :

Le littoral de la wilaya d'Alger présente une alternance de falaises (avec ou sans plages adossées), baies rocheuses ou sableuses entre promontoires rocheux, plages, dunes et zones humides. En fonction du faciès rencontré, les **risques d'érosion côtière et de submersion marine** sont plus ou moins importants.



Figure 5 a. Plage alimentée naturellement en sédiments



Figure 5b. Construction d'un port de pêche



Figure 5c. Ensablement du port

Figure 5: Construction d'un port de pêche sur une zone dynamique.

(Hemdane Y., 2012)(cap djinet)

Les images satellitaires prises entre 2002 et 2003 montrent une forte mobilité des sédiments dans le secteur de Cap Djinet et des plages limitrophes (**Figure 5a-b**). Aussi, cette forte mobilité sédimentaire met en évidence un forçage hydrodynamique conséquent, et qui n'est pas pris en compte dans les décisions d'aménagement.

II.1.5. Recul du trait de côte : En moyenne la côte algéroise perdrait 2.25 m/an.

Ce phénomène est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs, associés au déséquilibre dans le bilan sédimentaire entre la plage et la mer: disparition du cordon dunaire (presque toute la baie d'Alger, la baie de Bou Ismail, Boumerdès, Zemmouri); disparition du haut de plage (Chenoua, Zeralda, Sidi Fredj, Bordj El Kiffan, Réghaïa, Kadous, Zemmouri, Boumerdès, cap Djinet).

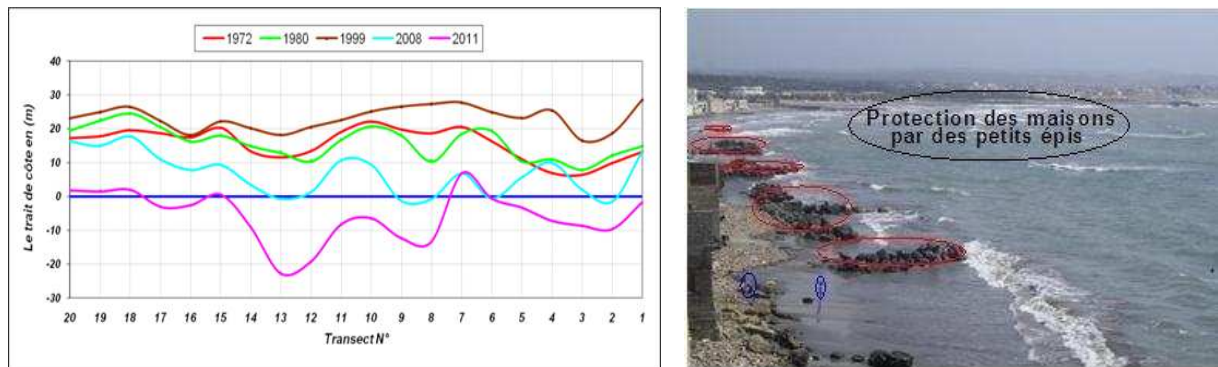


Figure 6:Évolution mi- séculaire (1959-2011) du trait de côte à Sidi Fredj et ouvrages de protection (Source : APPL).

II.1.6. Les inondations :

Ces oueds génèrent certains risques d'inondation. L'évènement le plus marquant est sans doute la crue de l'oued Koriche, qui a causé d'importants dégâts et fait un millier de morts dans le quartier de Bab El Oued en novembre 2001.

II.2. la baie de Zemmouri

II.2.1. Situation géographique

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 Dellys, constitué de Djebel dont celui de Bouberak (593 m).

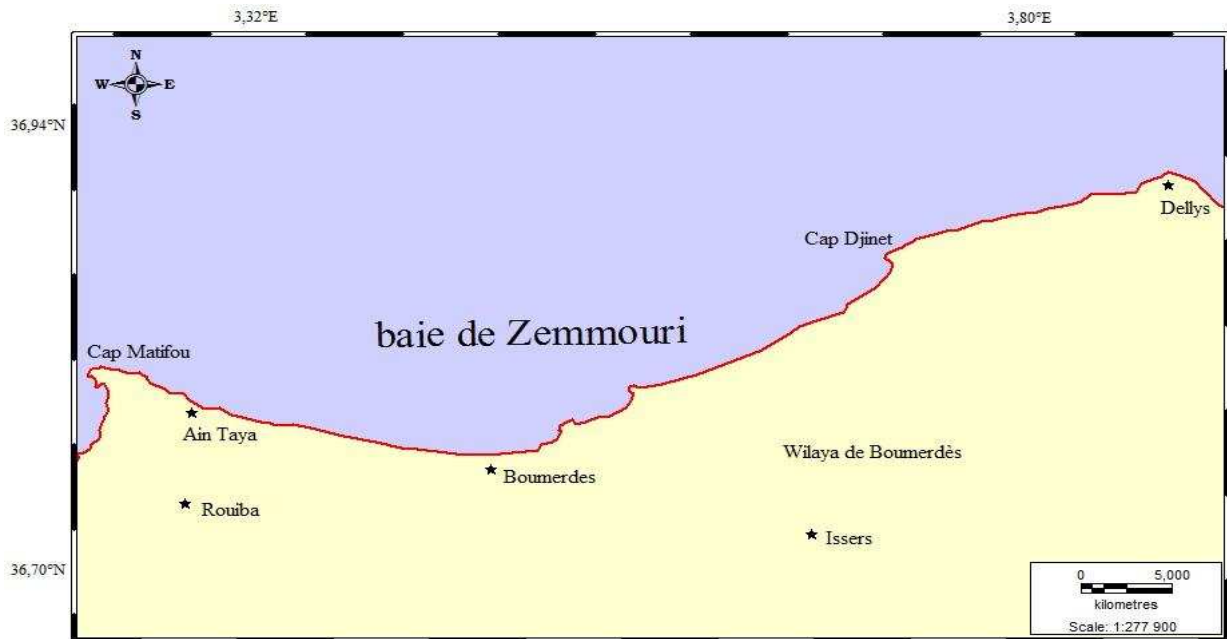


Figure 7: Situation géographique de la baie Zemmouri El Bahri (Google Earth 2014)

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 Djinnet.

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 Djinnet; 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.2.2. 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 (fig.8).

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 présents au niveau des plages récentes de Cap Djinnet.

Les dunes anciennes sont développées parallèlement au littoral et sont représentées par des sables plus au moins argileux (Alloui L, 1985).

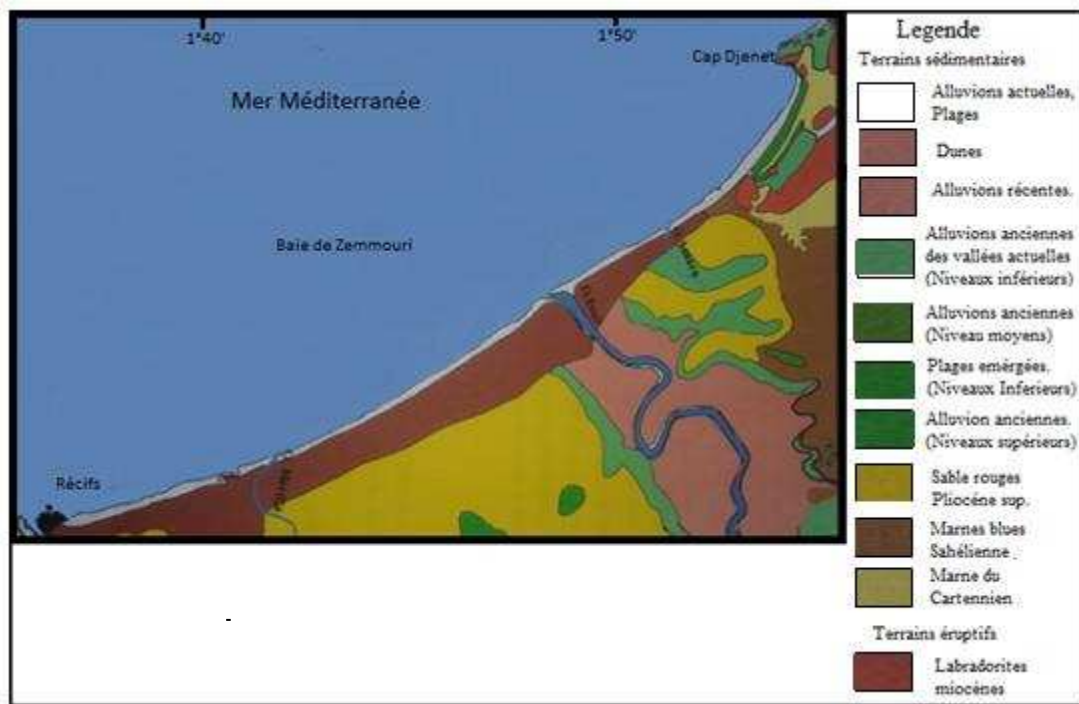


Figure 8: Carte géologique du secteur d'étude : Stratigraphie et lithologie. Ficheur, 1999 (in Alloui L, 1985)

II.2.3. Sédimentologie

L'étude sédimentologique permet de répartir 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.2.3.1. Sédiment calcaire

Des îles de Sanjas à l'île Agueli, le substratum affleure à plusieurs points et constitue 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.2.3.2. Sédiment siliceux

Aux abords de Cap Matifou jusqu'à Cap Djinnet 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

Djinnet 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 sablons siliceux,

30 % d'argiles et 20 % de calcaires (*Ferrani et Chehaima, 1998*).

II.2.3.3. 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*).

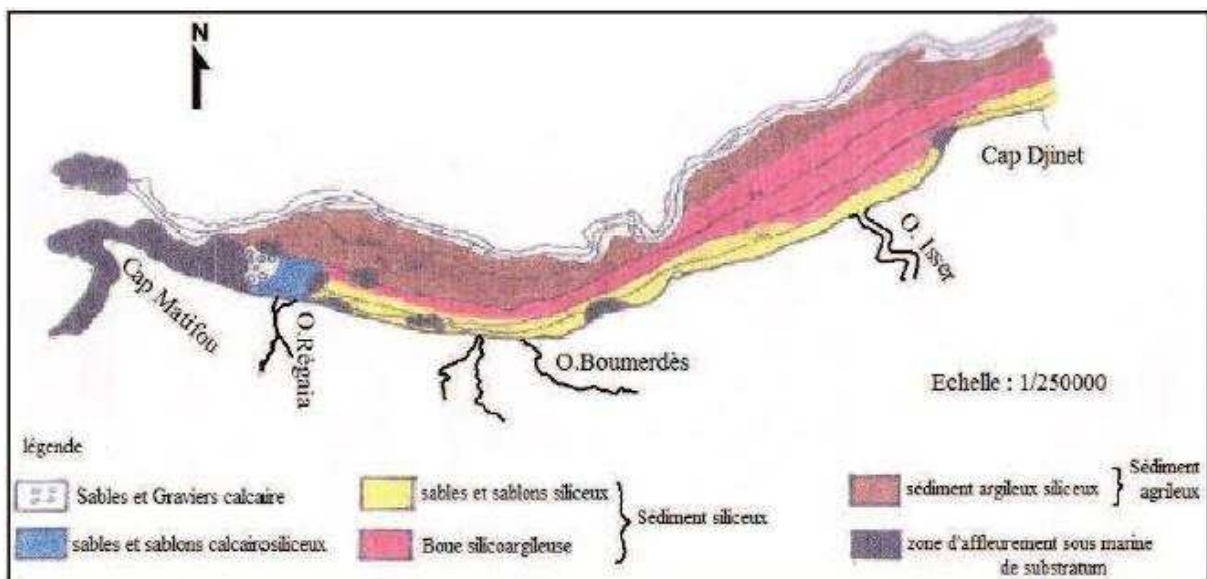


Figure 9: Nature de la couverture sédimentaire dans la baie de Zemmouri (*Leclair, 1972*)

II.2.4. 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.2.4.1. La température

La moyenne des minima (m) du mois le plus froid est de 5,9° C enregistrée 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 thermiques (M-m) sont relativement faibles est comprise entre $9,1 < M-m < 11$ (Ferrani et Chehaima, 1998).

II.2.4.2. 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.2.5. Réseau hydrographique

Au niveau de cette baie se déverse une multitude d'oueds de nature et d'importances variables, ceux-ci entraînent des apports plus ou moins importants le long des côtes de labaiie. Ces apports actuels peuvent provenir de deux systèmes différents :

II.2.5.1. Le système Est : qui est celui de l'oued Isser, un 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.2.5.2. Le système Ouest : qui est celui des petits oueds côtiers situés a l'ouest de Zemmouri El Bahri (courbet marine) : o.Boudouaou, o.Regaiia, o.Boumerdes et o.Safsaf, qui ont des débits moins importants et de courtsréduits, 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.

II.3. La baie d'Alger

II.3.1. Situation géographique

La baie d'Alger s'étend au débouché du bassin de la Mitidja. Elle est limitée à l'Ouest par le massif de BOUZAREAH et à l'Est par le cap Matifou. Au Sud par le bassin de la Mitidja et au nord par la mer Méditerranée.



Figure 10: la situation géographique de la baie d'Alger (Google Earth 2014)

II.3.2. Cadre Géologique :

II.3.2.1. Géomorphologie de la région d'Alger

La région d'Alger peut être subdivisée en plusieurs ensembles géomorphologiques d'âge et de nature distincts.

a) Le massif de Bouzaréah ou le massif d'Alger

Selon une direction Est –Ouest, il s'étend à une longueur de 20 Km et sa largeur maximale est de 6Km. Ce relief constitué de roches cristallophylliennes est boisé et recoupé par un réseau de talwegs profonds. Sa topographie est très accidentée et son sommet qui culmine à 470m constitue le point le plus haut de la région d'Alger.

Les piémonts Nord et Est de ce massif forment la côte abrupte et déchiquetée comprise entre Ain Benian et le port d'Alger.

b) Le sahel d'Alger

Il englobe tous les petits reliefs qui s'étendent de Bouzaréah (au Nord) et les rives gauches de l'Ouest d' El Harrach (au Sud et Sud-Est) et à droite de l'Oued Mazafran (au Sud-Ouest) on y distingue :

Le plateau molassique

Cet ensemble essentiellement calcaro-gréseux à lumachelle et marnes jaunes se compose de plateaux étagés sur lesquels sont construits plusieurs quartiers d'Alger (Ben Aknoun, El Madania, Bir Mourad Raïs). ce plateau est limité par de grandes falaises.

Le sahel marneux

Ce faciès marin à marnes bleues se caractérise par une topographie mamelonnée, parcourue par un réseau hydrographique chevelu, typique des terrains peu perméables.

Le piémont Sud du sahel :

Il est formé de dépôts continentaux argilo-caillouteux rouges à bruns, qui offrent des pentes assez fortes tournées vers la Mitidja.

c) La pleine de la Mitidja

Allongée suivant un axe général Ouest Sud-Ouest et Est Nord-Est, limité au Nord par le sahel d'Alger et au Sud par l'Atlas de Blida. Cette pleine est couverte de dépôts quaternaires continentaux d'argile et de gravier alternés. Elle est parcourue par Oued El Harrach et Oued Hamiz et par quelques-uns de leurs affluents tels que : Oued Djemâa, Bouroumi, Smar, Barek, Guergour.

d) La pleine littoral d'El Hamma

Limitée au Sud par la corniche molassique, à l'Est par le massif de à l'Ouest par l'Oued El Harrach, cette petite plaine alluviale côtière a une altitude qui varie de 2 à 15 mètres.

e) Le cordon littoral dunaire

Il s'agit d'une petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage. Elle se développe entre la rive droite d'Oued El Harrach et Bordj El Bahri, bordant au Nord la partie des zones basses septentrionales de la Mitidja.

II.3.3. Stratigraphie de la région d'Alger

La région d'Alger a connu une très grande lacune de sédimentation au cours du Secondaire et de base du Tertiaire (Éocène-Oligocène) seul le Primaire et le Mio-plio-quaternaire y est représenté, mais la formation la plus importante est celle du quaternaire.

II.3.3.1. Les formations Quaternaires

La mer réoccupe la zone septentrionale de la région d'Alger au Calabrien. Elle correspond à une oscillation positive du niveau marin dans un contexte globalement régressif.

La répartition des dépôts pléistocènes est dirigée par la composition du glacio-eustatisme et des mouvements tectoniques post-Astienne.

Les terrasses marines étagées dans le secteur occidental du sahel (unités transgressives inverses) et superposées dans sa partie orientale (Unités transgressives) attestent de la relation tectonique-sédimentation tout au long du Palio-quaternaire, d'une façon générale chaque cycle climato-sédimentaire est surmonté par des formations continentales qui matérialisent les phases régressives.

II.3.3.2. Dépôts pléistocènes continentaux

Le faciès continental villafranchien est à cheval sur les étages pliocènes et Pléistocènes. On trouve largement représenté dans la Mitidja et sur les bordures :

a) La formation d'El Harrach

La villafranchien est connu sous le nom de formation de marnes El Harrach. C'est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtre ou grise par endroits, avec quelques cailloutis et lentilles de gravier épaisses de 2 à 6 mètres. La série de marne, épaisse de 200m environ, diminue d'épaisseur vers l'Atlas. Les marnes sont visibles à El Harrach, sur le flanc Sud du Sahel et l'extrémité occidentale de la pleine de la Mitidja.

b) La formation de la Mitidja

Représentée dans toute la pleine de la Mitidja à l'exception de la partie occidentale, cette série compte une épaisseur moyenne de 100 à 200 mètres, diminuant vers les bordures de la baie d'Alger. Elle comprend des matériaux grossiers : graviers, galets, hétérométriques, dans une matrice-argileuse.

c) Les formations de Mazafran

Ces formations sont constituées de limons gris et d'argile limoneuse que l'on rencontre dans les zones basses de la pleine de la Mitidja, sur une épaisseur de 10m en moyenne.

d) Les dépôts de piémont de l'Atlas

Ils sont constitués de gros éléments anguleux emballés dans une matrice limoneuse et couche de gravier. Le territoire repose essentiellement sur des roches schisteuses avec une présence de granit et de grès. Les sols sont saturés, souvent caillouteux, de profondeur variable. On note également la présence de tuf. Quant aux plaines littorales, elles sont constituées de sols sableux moins unifiés à l'Est (Bordj El kiffan) convenant aux cultures maraîchères. (*Akif Fet Cheniti F, 2006*).

II.3.4. Aperçu hydrographique

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

II.3.4.1. 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 domestiques de la Casbah). Il s'agit d'une eau localisé dans les fissures diaclase et fracture.

II.3.4.2. 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.4. La baie de Bou-Ismaïl

II.4.1. Situation géographique :

La baie de Bou-Ismaïl (ex-Castiglione) est située à l'Ouest d'Alger entre 2° 20' E et 2° 55' E, elle s'étend du mont Chenoua à l'Ouest à Ras Caxine à l'Est, couvrant une superficie de 350Km² ; L'ouverture de la baie est de l'ordre de 40 Km, elle est orientée du sud Est au nord Est, donc exposé aux facteurs hydrodynamiques dominants, et subie donc une érosion importante, doublée d'un déficit sédimentaire accru, dû entre autres à la dégradation de l'herbier de posidonie par la pollution. De nombreux ouvrages de protection ont été construits dans différents secteurs de la baie (un mur de soutènement d'une hauteur de 4m, sur un linéaire de 1200m, quatre épis, des brises lames, etc.).

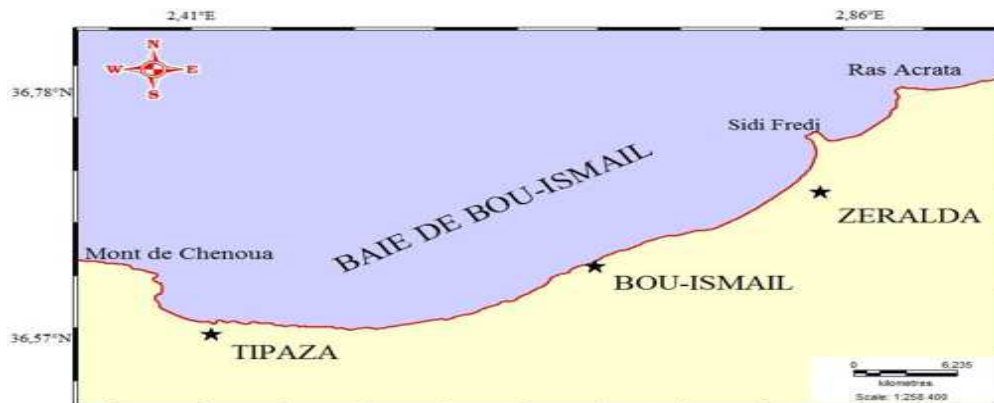


Figure11: situation géographique de la baie de Bou Ismaïl (Google Earth 2014)

II.4.2. Morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismaïl :

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 Km² 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 (Fig.12), 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.

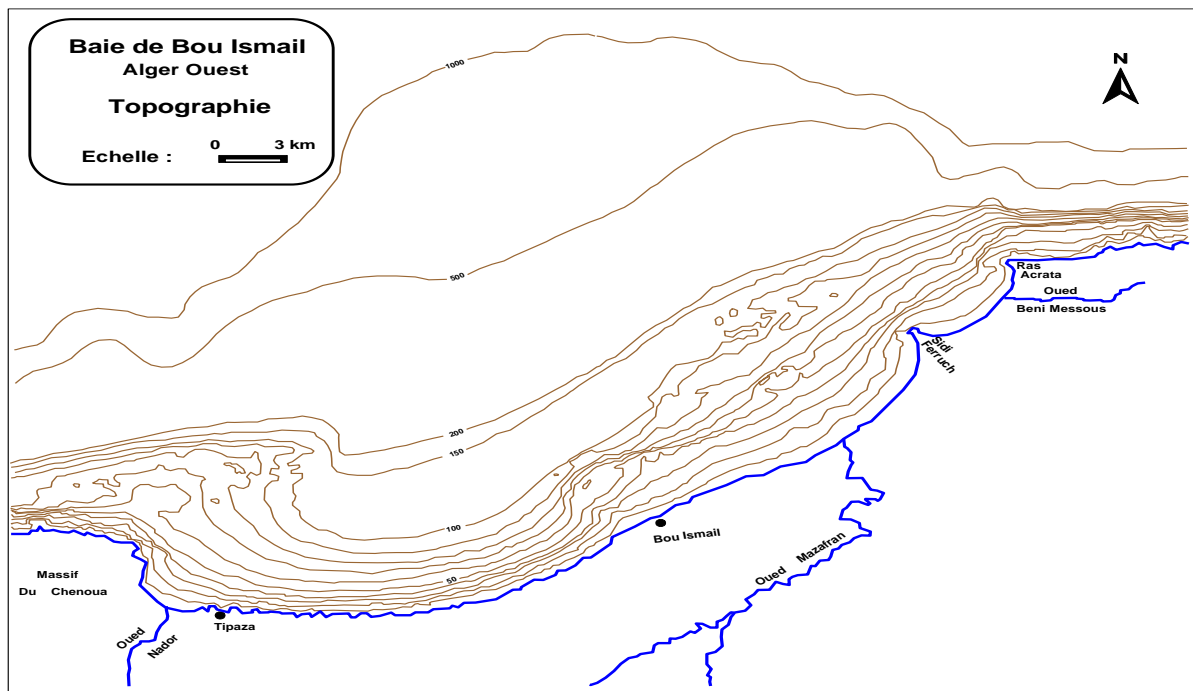


Figure 12:Topographie de la baie de Bou Ismail (*Leclair, 1972*).

II.4.3. Sédimentologie de la baie de Bou Ismail :

La baie de Bou Ismail se caractérise par une texture sédimentologique disparate dont neuf faciès peuvent être identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, et le faciès rocheux (figure 13) (*PAC, 2004*).

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou Ismaïl.

Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importance vasière littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est (*Grimes, 2003*).

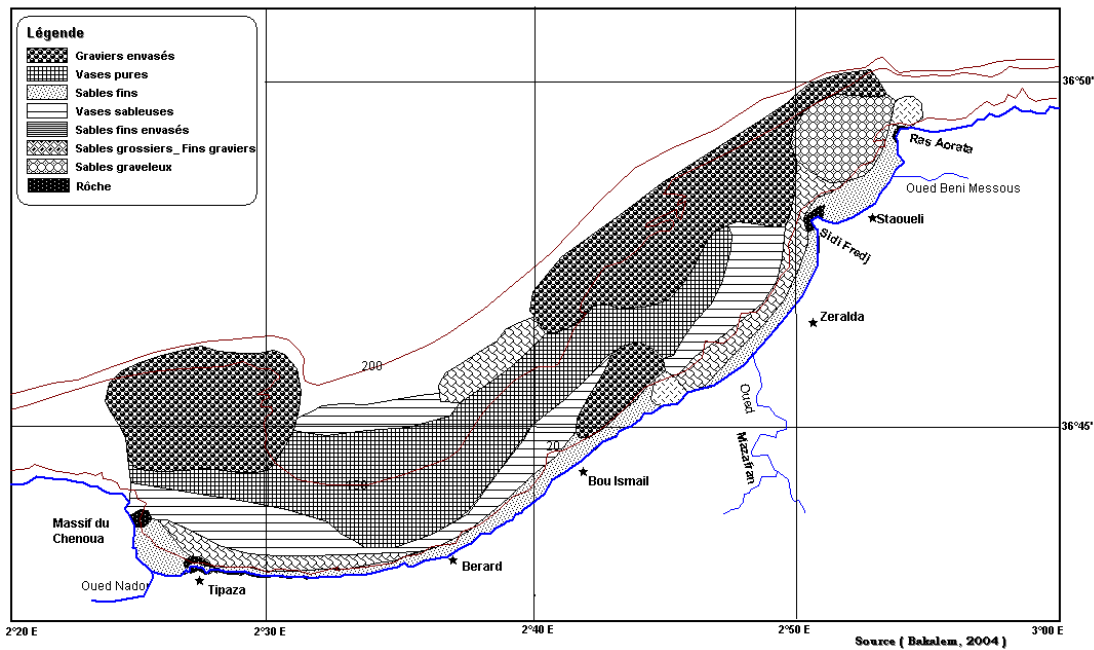


Figure 13: Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismail. (PAC, 2004)

II.4.4. Réseau hydrographique :

II.4.4.1. L'oued Mazafran : est formé des oueds Chiffa, Djer et Bouroumi. Le régime hydrographique de cet oued est 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 de 82.61%, débouchant au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zéralda. (A.N.R.H, 2003)

II.4.4.2. L'oued Nador se situe entre Tipaza et le Mont Chenoua, il regroupe trois oueds, Bou Yersen, Bou Ardon et Merrad, son étendue est de 230 km² avec un débit de 0,89 m³/s. (Benzohra, 1993).

II.4.4.3. L'oued de Beni-Messous est situé entre El Djamila et club des Pins, Son débit est faible par rapport aux débits des oueds précédemment cité et estimé à 0.245 m³/s.

II.4.5. Géologie

La série lithologique synthétique établit par (Betrouni, 1983), correspond de haut en bas à (Fig.14) :

- 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.

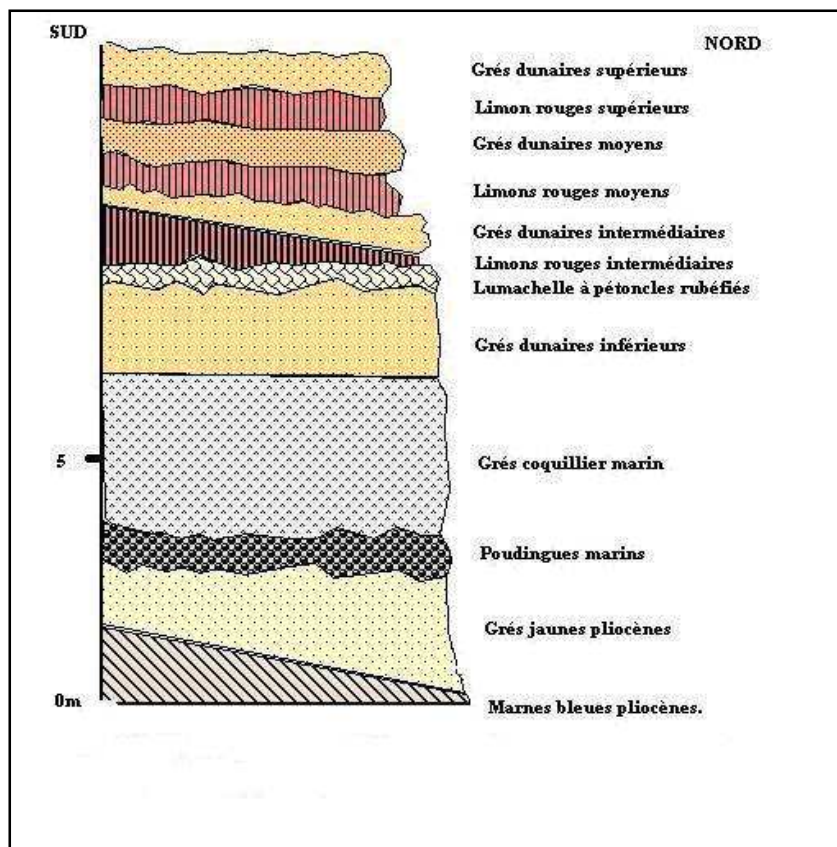


Figure 14: Coupe stratigraphique synthétique du tyrrhénien dans la baie de Bou Ismail (Betrouni, 1983).

II.4.6. Conditions météorologiques dans la baie de Bou Ismail

II.4.6.1. Climat

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

II.4.6.2. 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 supérieure de 2m/s (*Asso, 1982 in Zeghdoudi, 2006*).

II.4.6.3. Température et précipitations

À 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.4.7. Facteurs hydrodynamiques

II.4.7.1. Les courants

La baie de Bou Ismail est soumise a un courant général 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 large de cotes (*in Dergali. M.A, 1997*).

II.4.7.2. 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.4.7.2.1. 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.4.7.2.2. 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*).

III.Sidi Fredj

III.1. Présentation de la zone

Sidi Fredj est une presqu'île appartient à la baie de Bou Ismail, formant le cap Est de cette baie et la limite ouest de la baie d'El Djamila. Elle est située à une trentaine de kilomètres à l'ouest d'Alger, délimitée par le cap de Ras Acras à l'est et du mont de Chenoua à l'ouest. Cette presqu'île est orientée vers le Nord-ouest et située à 1 km au bord de la mer.

Le littoral de Sidi Fredj est caractérisé par la présence d'un promontoire rocheux qui, abrite le port de Sidi Fredj, est soudé à l'arrière-pays par un tombolo d'environ 1 km de longueur et 200 m de largeur, dont l'axe est orienté vers le Nord-Ouest. Ce promontoire forme une sorte d'épi naturel, dont l'axe est du sens Sud-ouest, Nord-est débordé des deux côtés du tombolo donnant naissance à deux anses sableuses (l'un situé à l'Est de la presqu'île, l'autre à l'ouest) relativement abritées de part et d'autre de l'extrémité des côtes sableuses.

La zone de Sidi Fredj est divisée en deux parties : la partie Est et la partie ouest.

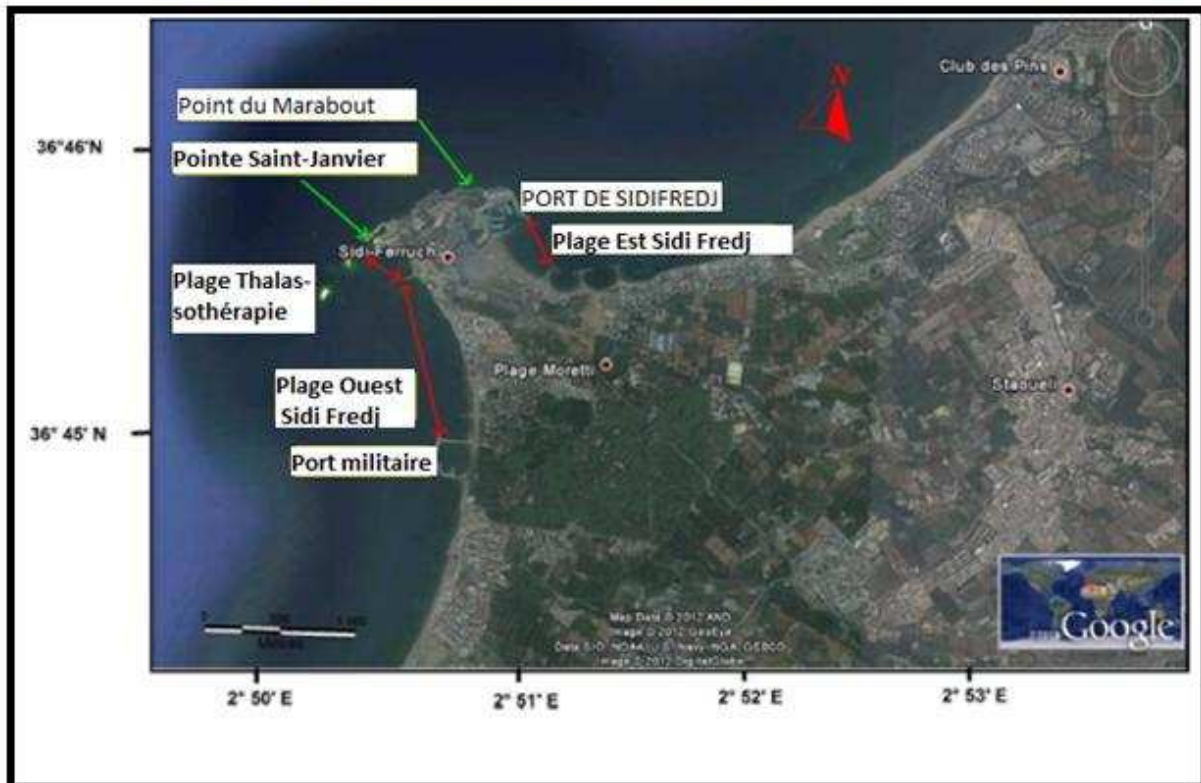


Figure 15: Situation géographique de la presqu'île de Sidi Fredj (Google Earth 2013)

III.2. Réseau hydrographique

La dynamique sédimentaire de la zone de Sidi Fredj est influencée essentiellement par Oued Mazafran et celui de Beni Messous.

III.3. Cadre géologique

Les affleurements de la presqu'île de Sidi-Fredj sont les prolongements de l'important ensemble cristallin de la grande Kabylie, auquel se rattache le massif granitique de Thénia (Leclaire., 1972).

De point de vue géologique la presqu'île de Sidi-Fredj est caractérisée par deux ensembles :

Le socle dont les affleurements sont considérés comme une partie du massif d'Alger qui est formé par des roches métamorphiques (gneiss, micaschistes et calcaires métamorphiques (Degiovanni., 1973). Les formations sédimentaires déposées au-dessus du socle sont d'âge pliocène, calabrien et en fin quaternaire.

III.4. données naturelles la zone côtière de Sidi Fredj

III.4.1. Donnée océanographique

III.4.1.1. 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.4.1.2. Les courants

Le long des cotes 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.4.2. 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 montre que la région de sidi Fredj est caractérisé 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 les températures sont très élevés, la saison est caractérisée par une chaleur intense, varie entre 25°C et 38°C

III.4.2.1. 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 qu'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.4.2.2. 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.4.3. 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 situent 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.

III.5. État du site

Plusieurs facteurs agissent sur l'évolution de la plage Est de Sidi Fredj, le premier est d'ordre naturel, il s'agit de l'action de la houle, pendant la période hivernale sont les houles les plus dominantes proviennent du secteur Nord-Ouest, elles engendrent une dérive littorale d'Ouest vers l'Est, touchant beaucoup plus la zone de Moretti. Cependant pendant la saison estivale, les houles les plus dominantes proviennent du secteur Nord-Est, favorisant l'engraissement de la plage située à l'abri de la jetée Sud du port.

La construction du port est considérée comme le facteur principal pour la modification des régimes de la houle, ce qui a accéléré la dérive littorale devant El Minzah, Riad et Moretti, provoquant ainsi une zone d'érosion irréversible. Autre facteur déclenchant l'érosion intense de ce secteur, est l'édification du village Moretti sur la haute, ce qui a entraîné la réduction de l'estran, de plus la construction d'un chemin de promenade soutenu par un muret vertical a provoqué l'intensification de l'attaque de la houle. (*Ottman, 1965 ; Bird, 1987 in Boutiba,*)

Chapitre III :

Matériels et méthode

I. Méthodologie d'application de l'indice de vulnérabilité côtière multi-échelle de Mclaughlin et Cooper (2010)

I. 1. La gestion de l'érosion/submersion marine : Un problème de cartographie décisionnelle multicritères

L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) est une des méthodes les plus simples et les plus utilisées pour évaluer de la vulnérabilité côtière à l'élévation du niveau de la mer, en particulier quant à l'érosion et /ou inondation (*Gornitz et al., 1991*). Le CVI fournit une base numérique simple pour classer des sections de la côte en terme de potentiel de changement. Cet indice peut être utilisé par les gestionnaires pour identifier les régions, zones ou secteurs où le risque est relativement élevé. Les résultats du CVI sont ensuite présentés sous forme de cartes de vulnérabilité, qui montrent les régions et/ou les facteurs qui contribuent au changement du rivage (*Gutierrez et al., 2009*).

L'étude de l'évolution des aléas côtiers dans le contexte du changement climatique présente ainsi les caractéristiques suivantes (*BRGM, 2012*)

- **caractère évolutif des processus** : en effet les processus sous-jacents des aléas côtiers sont dynamiques et évoluent avec le temps (exemple : élévation du niveau marin) ;
- **La multiplicité des aléas** et la diversité des critères : les critères utilisés pour réaliser la cartographie de la vulnérabilité côtière sont multiples
 - forçages : vagues, vent, courant ;
 - état ou caractéristiques de la côte : géologie, topographie ;
 - pressions : apports de sédiments, niveau marin, etc.).
- **Caractère hétérogène des données** : les données sont hétérogènes en qualité (ex : exactitude et précision) et en quantité ;
- **Abondance et diversité des données** : dans certain nombre de cas, il peut y avoir un grand nombre de données sont disponibles et qu'il faut faire les choix pertinents des données à utiliser.

I.2. Le choix des variables

La disponibilité de la donnée est un facteur important dans la sélection des paramètres qui décrivent la vulnérabilité côtière à différentes échelles. Le temps d'acquisition et de traitement des données est aussi un facteur important. Dans notre cas, certaines données ont été extraites des grandes bases de données sur l'internet (DEM, bathy, etc.), d'autres ont carrément été confectionnées, notamment des séries temporelles sur les forçages côtiers.

D'ailleurs dans la littérature, 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.

1. Nature de la côte,
2. Forçages côtiers (exposition aux vagues et autres) (souvent non disponibles et qui ont dû être confectionnées.
3. Données socio-économiques (éléments socio-économiques pour lesquels l'érosion côtière constitue un risque).

I.3. La quantification ou attribution d'un score à chaque variable

Les données utilisées pour le calcul des indices de vulnérabilité sont disponibles à différentes échelles et exprimées dans différentes unités de mesure. Elles sont qualitatives ou quantitatives. Pour les combiner, il faut les standardiser, en leur assignant un score de 1 à 5 tel que proposé par *Gornitz (1990)*. Dans lequel 5, montre que la variable participe d'une façon significative à la vulnérabilité de la côte et 1, indique qu'elle participe moins. Le classement des variables est empreint de subjectivité, et les critères de classement doivent être clairement définis.

Pour cette étude, nous avons choisi trois échelles de travail :

- le niveau national, tout le littoral algérien (1500 km) en utilisant une grille de 500 x 500m²,
- le niveau régional (littoral centre de Chenoua à Cap Djenet) en utilisant une grille de 25 m x 25 m² et enfin
- le niveau local (plage de Sidi Fredj) balayé par 1 x 1m².

La limite terrestre de la zone côtière pour l'étude à toutes les échelles spatiales a été définie à 1km à l'intérieur des terres à partir de la moyenne des hautes eaux. Le tableau ci-dessous montre les variables utilisées à chacune des trois échelles de l'indice et comment elles ont été classées sur l'échelle de vulnérabilité de 1-5.

Tableau 3: Classification des variables de la vulnérabilité.

Adapté de Mclaughlin et Cooper. (2010).

| Sous-indice | Variable | Ordre de la vulnérabilité côtière | | | | |
|-------------|---|-----------------------------------|---|--|---|--|
| | | Très bas | Bas | Modéré | Elevé | Très élevé |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| CC | Type de rivage | falaises (>40m) | hautes Falaises moyennes (20 – 40m) | Falaises basses (10-20m) | Petits reliefs | Dunes/plages |
| CC | Cours d'eau | Absence | | | | Présence |
| CC | Géologie | Massifs cristallins | Massifs calcaires | Terrasses marines, dunes gréseuses | | |
| CC | Etat de la posidonie | Végétation marine conservée. | | Végétation marine dégradée/ | | Végétation très dégradée/ |
| CC | Artificialisation du rivage | < 5% | 5 – 20 % | 20 – 30 % | 30 – 50% | > 50% |
| FC | Hauteur des vagues | > 5.0 | 3,5 -5,0 | 2-3,5 | 1,0 – 2,0 | >1 |
| FC | Evolution du rivage (érosion/accrétion) | +50% du rivage est en accrétion | Entre 10-30% du rivage est en accrétion | 10% du ravage est en accrétion/érosion | Entre 10 – 30% du rivage est en érosion | Plus de 5% du rivage est en érosion |
| SE | Densité de population | Pas d'habitat | Village | petite agglomération | grande agglomération | ville |
| SE | Routes et voies ferrées | Absent | | | | Autoroute, voie double, voie rapide |
| SE | Occupation du sol | Plan d'eau | Pelouse naturelle/ zone côtière | Forêt | Agriculture | Infrastructure urbaine et industrielle |

Pour calculer le CVI au niveau de la baie de Bou Ismail, nous avons eu à utiliser un questionnaire qui a été distribué à des experts ayant une importante connaissance de la zone étudiée. Ce qui a permis d'avoir des éclaircissements et une actualisation des données disponibles voir annexe I.

I.4. Le calcul des indices

Le nombre de variables utilisées pour le calcul de l'indice de vulnérabilité côtière peut varier dramatiquement. *Queleennec (1989)* a utilisé uniquement trois variables principales pour identifier les zones côtières à haut risque en Europe alors que *Williams et al. (1993)* a utilisé 54 variables pour évaluer la vulnérabilité des dunes côtières dans Devon et Cornwall.

Dix-huit travaux (18) sur les indices ont été revus par Cooper et *McLaughlin (1998)*, la majorité de ces travaux utilisent entre six et dix-neuf (6 à 19) variables pour calculer les divers indices.

Les valeurs numériques des trois indices calculés (celui des caractéristiques de la côte, des forçages côtiers et des attributs socio-économiques) sont additionnées dans le SIG et les résultats sont ensuite normalisés en donnant les résultats comme pourcentage du score maximum et minimum possible. Un exemple de calcul du sous-indice pour les caractéristiques de la côte est donné ci-dessous :

Addition des variables des caractéristiques côtières = (couches géologiques) + l'élévation + rivières + buffer terrestre + Orientation + type de trait de côte.

Les résultats de l'addition des variables pour l'échelle nationale varient de 7 à 31 avec un score maximal de 35 et un minimum de 7. Les résultats de ce premier calcul ont ensuite été transformés en pourcentage de la gamme des scores possibles tels montré ci-dessous :

$$([\text{Addition des variables cc}] - 7) / 28 \times 100$$

Puisque les scores ont été normalisés, il a été alors possible de fusionner les trois sous indices dans un seul et unique indice. Gomitz et White ont trouvé qu'un algorithme basé sur la somme des variables est moins sensible que celui basé sur les produits des variables.

Les trois sous-indices ont ainsi été additionnés et divisé par 3 tels que ci-dessous :

$$\text{La vulnérabilité côtière} = \frac{\text{les sous indices des caractéristiques côtières} + \text{les sous indices de forçage} + \text{les sous indices socio-économiques}}{3}$$

Les indices ont été testés dans une étude du taux historique de l'érosion côtière et la présence de structures de protection. Les résultats ont ensuite été transformés en cartes en couleur de la vulnérabilité côtière, permettant de reconnaître plus facilement les zones les plus vulnérables.

Tableau 4: Niveaux de la vulnérabilité

| | Niveau de vulnérabilité |
|----------------|-------------------------|
| 0 < CVI < 20 | Très bas |
| 20 < CVI < 40 | Bas |
| 40 < CVI < 60 | Modéré |
| 60 < CVI < 80 | Haut |
| 80 < CVI < 100 | Très haut |

Tableau 5: Résultats de quelques unités physiographiques

| Unité physiographique | IVC |
|-----------------------------------|-------|
| Falaises hautes | 26,39 |
| Falaises moyennes | 30,83 |
| Falaises basses | 34,17 |
| Massifs dunaires | 41,94 |
| Plages et Basses plaines côtières | 61,11 |

I.5. Les variables spécifiques à chaque échelle spatiale

Un niveau de détail élevé est requis à l'échelle locale afin de distinguer entre zones de sensibilité différente. Ainsi, avec la variation de l'échelle certaines variables ont été introduites d'autres, négligées. Par exemple, à l'échelle nationale (le long de côte algérienne), la géologie a été considérée comme une variable essentielle pour distinguer entre zones de sensibilité différente à l'érosion par les vagues. Plus la résolution spatiale de la zone d'étude augmente, pour aller vers le niveau local, la variable géologie devient obsolète parce qu'elle a une résolution insuffisante pour différencier la vulnérabilité dans une zone précise qui comprend une seule lithologie (la zone a la même lithologie).

A l'échelle régionale, c'est-à-dire à l'échelle de la Baie de Bou Ismail, il est possible d'introduire plus de détails sur la morphologie du rivage ou "variable formation superficielle". Ces formations sont classées selon leur pente, le volume et la lithologie, le tout doit

déterminer leur vulnérabilité. Par exemple, une falaise à forte résistance va avoir une forte pente et un haut volume par comparaison à une côte basse et à terrain meuble.

Un certain nombre de variables peuvent être utilisées dans le calcul des indices aux trois échelles spatiales, avec une augmentation du niveau de détail avec l'élévation de la résolution spatiale de la zone d'étude.

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Après avoir classé les valeurs de vulnérabilité à partir des variables collectées, l'IVC a été calculé selon l'équation précédente, et divisées en classes de vulnérabilité de très faible, faible, modérée, forte et très forte. Les zones de forte vulnérabilité couvrent plus du tiers du linéaire côtier (36%) algérien ; elles couvrent les zones de basses plaines côtières et des bassins intérieurs, mal drainés, densément urbanisés, notamment à l'est et au centre du pays. Les principaux paramètres affectant la vulnérabilité sont la densité de la population, l'occupation du sol, et le taux d'érosion. Les zones de vulnérabilité modérée couvrent les falaises moyennes et basses de la bordure tellienne, qui est au contact direct des rivages, surtout au centre et à l'Est (Kabylie), (soit 35% du linéaire côtier).

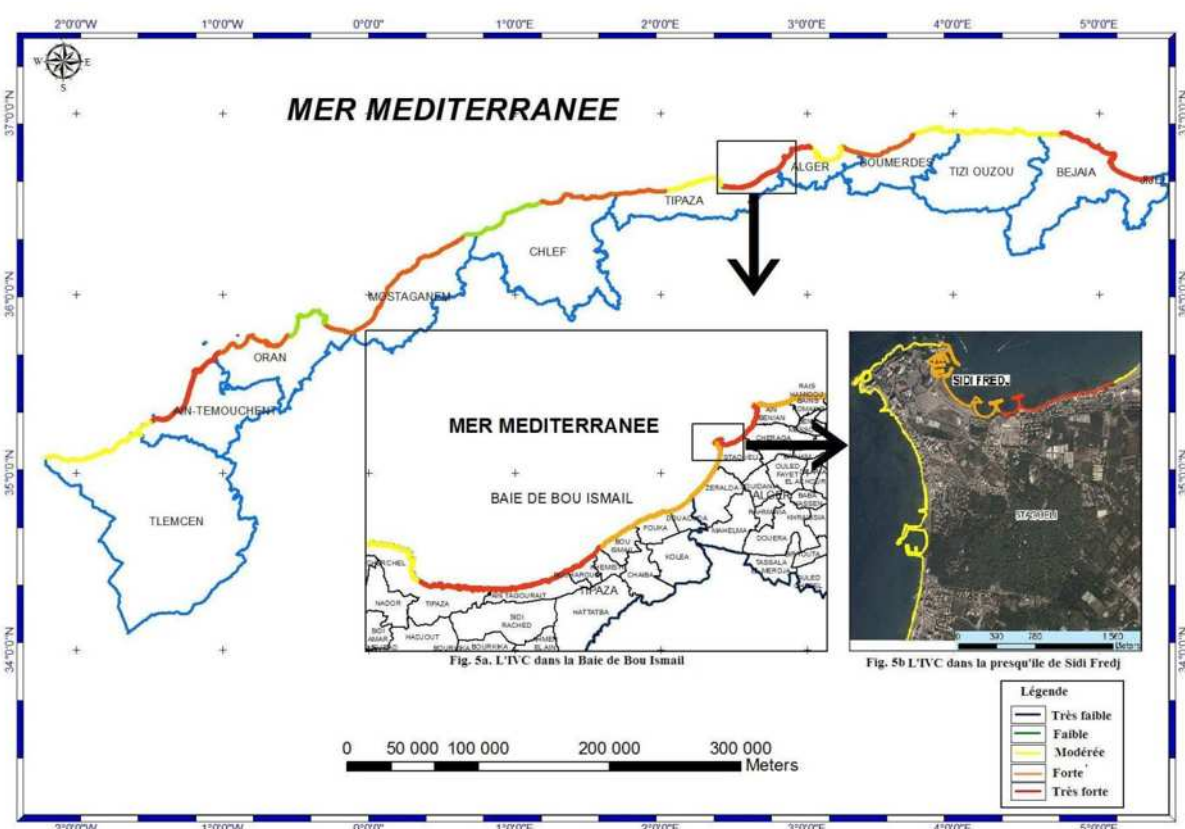


Figure 16: Cartes de l'indice de vulnérabilité côtière aux trois échelles spatiales de l'étude.

Des indices de vulnérabilité ont été créés, pour différents usages et sur la base de quel risque doit-on la vulnérabilité. Leurs efficacités reposent sur la disponibilité de la donnée (quelles sont les données disponibles). Dans cette étude, nous avons pu assimiler des données à différentes échelles spatiales et les adapter pour décrire la vulnérabilité côtière dans un format commun aux trois échelles. Cette étude a montré que l'échelle spatiale est un élément dans le développement d'indices de vulnérabilité

côtière. Il n'y a pas une échelle unique pour tous les besoins. Les différentes échelles ont tendance à (refléter) monter les différentes priorités, et l'influence d'une variable va augmenter ou diminuer avec le changement d'échelle. Comme le notait *Bian (1977)*, « l'argument de base à propos de l'échelle est que la donnée véhicule une information différente lorsqu'elle est présentée à différentes échelles » Ceci est vrai pour l'environnement côtier puisque les processus qui agissent à différentes échelles conditionnent différents aspects de la côte. La limitation temporelle dans l'utilisation des indices doit aussi être notée puisque les variables sont des images statiques d'une période de temps donné.

Les indices multi-échelles comme ceux présentés ici ont la capacité d'être utilisés pour assister à concevoir la politique côtière pour faire face aux divers dangers. La présentation de l'information à une échelle significative pour l'unité spatiale de gestion améliore l'utilité de cette information pour le développement ou l'adaptation des stratégies.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion

En confirmant les résultats d'études antérieurs et les hypothèses de vulnérabilité émises sur certaines sections de la côte algérienne, comme sur la Baie de Bou Ismail et le secteur Est de la presqu'île de Sidi Fredj, l'IVC s'est avéré un outil très pertinent d'aide à la décision sur un espace caractérisé par un manque de données, notamment sur les processus physiques qui ont une influence importante dans l'érosion côtière en particulier au niveau local e régional.

Même si ces résultats ne sont qu'une évaluation préliminaire, cet indice nous a permis d'identifier par région les zones pilotes qui vont faire l'objet d'observation, ainsi que les principaux paramètres à mesurer dans le cadre du programme de recherche MerMex, y compris le niveau de la mer. Cependant ces sont les facteurs socioéconomiques qui ont été les plus déterminants dans cette évaluation. L'approche intégrant les variables socio-économiques aux facteurs d'état et aux forçages côtiers est la plus intéressante.

Au niveau régional et local, d'autres variables socioéconomiques doivent intégrer dans le calcul de ce sous-indice pour tenir compte des spécificités régionales et locales, notamment en matière de tourisme et de pêche.

Références bibliographique

AGOUMI, A. 2003. Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques. Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. Institut international du développement durable. Climate Change Knowledge Network.

ALLOUI, L. S. 1999. L'extraction des granulats marins en Algérie : problématique et perspective cas de la baie d'Alger, baie de Zemmouri. *Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger*, 165 p.

ANNANE, G., KEMILA, G., LADJIMI, F. 2007. Inventaire et impacts des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou Ismail. *Mémoire d'ingénieur DEA, université de Nantes*. 60 p.

AOUIDAD, Z. 1997. Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans le sédiment superficiel et les particules en suspension dans la baie de Bou Ismail. *Mémoire Ingénieur ENSSMAL-Alger*.

ASSO. 1982. Contribution à l'étude des polluants métallique chez la moule *Perne perna* (L) dans la région d'Alger.

AUZENDE, J.M. 1978. Histoire tertiaire de la Méditerranée occidentale. *Thèse Doctorat d'État, Univ. Paris 7, Paris*, 152 p.

BAHA, M., BENHALIMA, M. 2013. Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs dans les eaux costières algéroises (les baies d'Alger, de Bou-Ismaïl et de Zemmouri). *Mémoire Ingénieur ENSSMAL-Alger*.

BEKORTBI, C. 2000. Pratique et pollution de lutte contre l'érosion marine en Algérie. *Mémoire de DEA, université de Nantes*. 60 p.

BELLHASENE, Y. 2002. Le port de Sidi Fredj : dragage et site de dépôt de matériaux. *Mémoire de DEUA. ISMAL*.

BENZOHRRA, M. 1993. Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb, 9-11 novembre 1992, INOC. pp. 33-44.

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-Alger*, pp. 122-123.

BRAÏK, D. 1989. Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl. Etude des Paramètres physiques et chimiques. Approche biosédimentaire. *Mémoire Ingénieur d'état en aménagement I.S.M.A.L*, 92 p.

CHAVANCE, P., 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. (347). Pp. 113-134.

CICIN-SAIN, B., KNECHT, R.W. 1998. Integrated coastal and ocean management, Concepts and practises. Island Press, Washington D.C.

DE GIOVANNI, C. 1973. Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi-Freuch (Ouest d'Alger). *Thèse de doctorat- Géologie marine et sédimentologie- Univ D'Aix Marseille*, 105p.

- DERGALI, M.A. 1997.** Reconnaissance du port d'Annaba et quelques aspects de son impact sur l'environnement côtier. *Mémoire Ingénieur ENSSMAL-alger.*
- DJELLOULI, Y., SACI, A. 2003.** Catastrophe naturelle : Les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab el Oued (Algérie). Publication de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 15, 2003 . pp. 236-242.
- DURIYAPONG, F., KANCHANA, N 2011.** Coastal vulnerability assessment: a case study of Samut Sakhon coastal zone. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*.33 (4), 469-476, Jul. - Aug. 2011.
- EGIS EAU / IAU-IDF 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. MARS 2013. 12 p.
- FERRANI, A., CHEHAIMA, L.T. 1998.** Contribution a l'élaboration des données de base de la baie de Zemmouri et l'étude du site de Palm Beach (Baie de Bou-Ismaïl). *Mémoire d'ingénieur- ISMAL-Algérie*, 127 p.
- GORNITZ, V. 1990.** Vulnerability of the east coast, USA to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*. 1(9),pp. 201-237.
- 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, 64 p.
- HAMMAR, E.S., et al. 2003.** Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to sea-level rise. United States Geological Survey. Open-File Report 02-233.
- HAOUA, M., LALAOUI, A. 2006.** Analyse corrélative des paramètres physico-chimiques indicateurs de la pollution aquatique dans la zone Est de Sidi Fredj (port et plage Est). *Mémoire d'ingénieur ENSSMAL-Alger.*
- LARARA, M., et al. 2012.** Littoral algérien et risques de Tsunamis. *Bulletin du Service Géologique National*. Vol.23, n°3, pp 241-251.
- LECLAIRE, L. 1968.** Contribution à l'étude géomorphologique de la marge continentale algérienne, *Cah. Océano.*, XX, 6, 451-521.
- LECLAIRE, L. 1972.** La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Aléro-Balear (Précontinent algérien). *Mémoire du muséum national d'histoires naturelles-nouvelle série-Tome XXIV-Ed Du muséum*, 319 p.
- LOKMANE, D. 1993.** Caractéristique physico-chimiques des eaux de la baie de Zemmouri. *Mémoire DEUA, option, chimie marine, ISMAL, ALGER.*
- MATE. 2006.** Rapport sur l'état l'avenir de l'environnement, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement ; 490 p.
- MCFADDEN, L., NICHOLLS, R.J., PENNING, E. 2007.** Managing Coastal Vulnerability. Elsevier, Oxford, U.K.. 262 p.
- MCLAUGHLIN, S., COOPER, J. A. G. 2010.** A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers *Environmental Hazards*, 9 (3) , pp. 233-248.

- MILLOT, C. 1987.** Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Océanologica. Acta*,10. 143-149 p.
- OTTMANN, F. 1965.** Introduction à la géologie marine et littorale. Ed Masson et Cie, Paris.259 p.
- OUKAZI, H. 1993.** Le port de plaisance de Sidi Fredj: approche critique a travers son fonctionnement et l'impact sur l'environnement immédiat. . *Mémoire Ingénieur d'état en aménagement I.S.M.A.L.*
- PALMER, B. J., et al 2011.**Preliminary coastal vulnerability assessment for KwaZulu-Natal, South Africa, *Journal for Coastal Research*, 64, 1390-1395.
- PNUD. 2001.** Etudes de vulnérabilité de trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) face aux changements climatiques réalisées dans le cadre du projet PNUD-FEM RAB94G31 : 2000–2001.
- PROGRAMME D'AMENAGEMENT COTIER ALGEROIS (PAC). 2004.** Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoa. Bilan et diagnostic-partie I caractéristiques physiques- *Projet PAC/ MATE-PAM/CAR ASP*, 64p.
- RAMIERI, E., et al 2011.** Methods for assessing coastal vulnerability to climate change, ETC CCA Technical Paper 1/2011, Retrieved from: <http://cca.eionet.europa.eu/reports/1>.
- ROBIN., et al. 2004.** Les risques côtiers en Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'Association de Géographes français* 2004 (3) : 298-314.
- ZEGHDOUDI., et al. 2006.** Contribution a l'étude de l'exploitation de *Trachurus trachurus* (LINNE, 1758) dans la baie de Bouismail. *MémoireIngénieur-ENSSMAL-Alger*.

ANNEXE

Annexe I

L'Indice multi-échelles de la vulnérabilité côtière (IVC)

Application sur le littoral centre (du Chenoua au Cap Djinet)

Questionnaire pour experts¹

Pour intégrer l'avis des experts dans la détermination du poids de chaque paramètre dans le calcul de l'indice de la vulnérabilité côtière, veuillez octroyer un score sur une échelle de 1 à 10 à chacune des variables du tableau ci-dessous.

Nom et Prénom de l'expert :

1. Caractéristiques physiques de la zone côtière :

| Variables | score | Observation |
|---|-------|-------------|
| Type de rivage | | |
| – Falaises hautes (>40m) | | |
| – Falaises moyennes (20 – 40m) | | |
| – Falaises basses (10- 20m) | | |
| – Dunes et plages | | |
| Cours d'eau | | |
| – Présence | | |
| – Absence | | |
| Géologie | | |
| Etat de la posidonie | | |
| – Végétation marine conservée | | |
| – Végétation montrant des signes de dégradation | | |
| – Végétation marine dégradée | | |
| Artificialisation du rivage | | |
| – De 5 à 20 % | | |
| – De 20 à 30 % | | |
| – De 30 à 50 % | | |
| – > 50% | | |

¹ Un expert est un scientifique qui étudie la question depuis un certain nombre d'années et a accumulé beaucoup de connaissances

2. Forçages côtiers

| Variables | score | Observation |
|---|-------|-------------|
| Régime d'énergie (courants) | | |
| – Vents limités | | |
| – Vents modérés | | |
| – Vents forts | | |
| Hauteur des vagues | | |
| – Basses (1 à 2m) | | |
| – Moyennes (2 à 4 m) | | |
| – Hautes (> 5.0) | | |
| Tendance d'évolution du rivage (érosion/accrétion) | | |
| – Touche plus de 5% du rivage | | |
| – Touche entre 10 et 30% | | |
| – Plus de 50% | | |

3. Variables socio-économiques

| Variables | | |
|--------------------------|--|--|
| L'habitat | | |
| – Pas d'habitat | | |
| – Petite agglomération | | |
| – Grande agglomération | | |
| – Ville | | |
| Occupation du sol | | |
| – Forêt | | |
| – Agriculture | | |
| – Infrastructure | | |
| Site et Monuments | | |
| – Présence | | |
| – Absence | | |
| Infrastructure | | |
| – Route | | |
| – Voie ferrée | | |