



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

Ecole Nationale Polytechnique  
Alger



Université ZIANE Achour  
Djelfa

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau : LRS-Eau

Ecole Doctorale Sciences de l'Eau et Développement Durable

**MEMOIRE**

Présenté à l'Université ZIANE Achour de Djelfa  
En vue de l'obtention du diplôme de

**MAGISTÈRE**

En Sciences de l'Eau et Développement Durable  
Option : Sciences de l'Eau

**THÈME :**

*Contribution à l'étude de la vulnérabilité de la zone côtière  
Algéroise à l'aide d'un système d'information  
géographique (SIG)*

Présenté par : LATRECHE Mostefa Lamine

Soutenu publiquement le 03/10/2013, devant le jury composé de :

Président

Mr: BENCHEIKH Boubaker

M. Conférences - U.Z.A - Djelfa

Directeur de Thèse

Mr: MIHOUBI Mustapha Kamel

M. Conférences - E.N.S.H - Blida

Examineurs

Mr: DEROUICHE Yazid

M. Conférences - U.Z.A - Djelfa

Mr: HANI Mohamed

M. Conférences - U.Z.A - Djelfa

Année Universitaire 2012 – 2013

## **DÉDICACE**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Université **ZIANE ACHOUR - DJELFA**, les étudiants, les enseignants, et  
tous ceux qui contribuent à son développement.*

***L. M. LAMINE***

# REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, je remercie mon Dieu, grâce à lui j'ai pu terminer mes études.*

*Je remercie vivement mes parents, ma famille, et mes amis.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur **Dr. M. K. MIHOUBI**, Maître de conférences et Chef de Département Génie de l'Eau à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida (**ENSH**), qui m'a suivi avec patience pendant la durée de mon travail, grâce à ses aides et ses conseils, j'ai réussi à bien mener ce travail.*

*J'adresse aussi mes sincères remerciements à l'université de **ZIANE ACHOUR** – Djelfa, représentée par son recteur **M<sup>r</sup> le Prof. A. CHOUKRI**.*

*Je remercie particulièrement **M<sup>r</sup> le Prof. A. KETTAB**, Coordonnateur National de l'Ecole Doctorale Sciences de l'Eau et Développement Durable à l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique d'Alger, qu'il a succédé à l'établissement des partenariats avec plusieurs universités dans ce domaine, incluant l'université de **ZIANE ACHOUR** – Djelfa, et il a contribué à son développement.*

*Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail **M<sup>r</sup> Dr. B. BENCHEIKH**, Maître de conférences et Doyen de la faculté des Sciences et de la Technologie à l'université de **ZIANE ACHOUR** – DJELFA, qui a bien voulu présider le jury.*

*Ainsi que **M<sup>r</sup> Dr. Y. DEROUICHE**, Maître de conférences à l'université de **ZIANE ACHOUR** – Djelfa, et **M<sup>r</sup> Dr. M. HANI**, Maître de conférences à l'université de **ZIANE ACHOUR** – Djelfa, qui ont voulu examiner ce modeste travail.*

*Je remercie encore mon ami **S. KAREF** qui n'a cessé de me soutenir et de m'encourager au cours de la réalisation de ce mémoire, et **Mme D. YOUNSI**, Ingénieur à l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de DJELFA, qui m'a aidé avec patience pendant la durée de cette recherche. Et à travers eux je remercie tout le personnel de l'ANRH de Djelfa.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.*

## ملخص :

خليج الجزائر يمتلك اهمية استراتيجية واقتصادية واجتماعية، فهو يتواجد بمركز العاصمة الجزائرية، حيث الكثافة السكانية و العمرانية الهامة، و كثرة المصانع و النشاطات التجارية، ما يجعله عرضة للتلوث، خصوصا على طول سواحلها، بالإضافة الى التغيرات المناخية التي تعرفها الكرة الارضية، كل هذا يشجعنا على دراسة مدى تأثير ساحل خليج الجزائر، و تعرضه لمخاطر ظاهرتي التعرية و اجتياح مياه البحر نحو المياه الجوفية العذبة.

الهدف من هذه الاطروحة، هو معرفة المناطق الساحلية الضعيفة، بتحديد مؤشر الضعف الساحلي على مستوى خليج الجزائر، من خلال الاعتماد على عوامل فيزيائية : جيومرفولوجية و هيدروديناميكية، و كذلك دراسة تعرض المياه الجوفية لمخاطر الملوحة في هاته المناطق. نقدم من خلال هذا العمل دراسة ضعف النظام الساحلي على شكل خرائط توضيحية، يتم انجازها بواسطة نظام المعلومات الجغرافية، الذي يسمح لنا بمعالجة المعلومات، تحليلها، و اقتراح حلول تقنية و وسائل الدفاع اللازمة لحماية السواحل، و توجيهات لإعادة تهيئتها، وفقا لرؤية متكاملة و فعالة على طول الساحل، بما في ذلك المناطق الحساسة القريبة من مصبات الأودية، حيث تبادل و انتقال الرواسب مكثف.

الكلمات الرمزية: خليج – الضعف – مناطق ساحلية - التلوث – خط الساحل - نظام المعلومات الجغرافية – مؤشر الضعف الساحلي.

## Résumé :

La baie d'Alger revêt d'une importance stratégique, économique, et sociale, elle est située au cœur de la capitale algérienne, où la densité de population et urbaine importante, et de nombreuses usines et des activités commerciales, la rendant vulnérable à la pollution, en particulier le long de la côte, en plus les changements climatiques qui se traduisent sur la planète, tout cela nous incitent à étudier l'impact sur la côte de la baie d'Alger, et son exposition aux risques des phénomènes d'érosion et d'intrusion marine.

L'objectif de ce mémoire, est la perception des zones côtières vulnérables, par la détermination de l'Indice Côtier de la Vulnérabilité (ICV) au niveau de la baie d'Alger, en s'appuyant sur des facteurs physiques : géomorphologiques et hydrodynamiques, ainsi que l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines aux risques du biseau salin dans ces zones. Nous apportons par ce travail une étude de vulnérabilité du système côtier et a sous forme des cartes explicatives, établies grâce au Système d'Informations Géographiques (SIG), ce qui nous permet à traiter, à analyser les informations, et de proposer des solutions techniques et des ouvrages de protection et défense nécessaire à protéger les littoraux, et orientations pour aménager, suivant une vision intégrée et efficace le long du littoral, notamment dans les zones sensibles près des embouchures, lieu d'échange et interaction du transit sédimentaire intense.

Mots-clés : Baie – vulnérabilité - zones côtières - pollution – trait de la côte - système d'informations géographiques - ICV.

## Abstract :

Bay of Algiers has a strategic importance, economic, and social, it is situated at the heart of the Algerian capital, where the population density and urban important, and many factories and commercial activities, making it vulnerable to pollution, especially along the coast, in addition to climate change that result on the planet, all this lead us to study the impact on the coast of the Bay of Algiers, and its exposure to risks of erosion and marine intrusion.

The aim of this work is the perception of vulnerable coastal areas, by determining the Coastal Vulnerability Index (CVI) at the level of the bay of Algiers, through reliance on physical factors : geomorphological and hydrodynamic, as well as the study of groundwater vulnerability to the risks of salt wedge in these areas. We provide in this work a study of vulnerability of the coastal system in form of explanatory maps, established through the Geographic Information System (GIS), which allows us to process, analyze the information, and propose technical solutions and structures for protection and defense necessary to protect coastlines, and guidance to develop, following with an integrated vision and effective along the coast, especially in sensitive areas near river mouths, a place of exchange and interaction of intense sediment transport.

Key words: Bay - vulnerability – coastal areas - pollution - coast line - Geographic Information System – CVI.

# TABLE DES MATIERES

Résumé.....	I
Table des matières.....	II
Table des figures.....	VI
Liste des Tableaux.....	IX
Liste des Acronymes.....	X
Notations et Symboles.....	XIII
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etats de connaissances sur l'hydrodynamique côtière et le transport sédimentaire</b>	
Introduction.....	4
I. 1. Hydrodynamique côtière.....	4
I. 1. 1. Houles.....	4
I. 1. 1. 1. Définition de la houle.....	4
I. 1. 1. 2. Houle régulière.....	6
I. 1. 1. 3. Houle irrégulière.....	7
I. 1. 1. 4. Processus physiques de propagation de la houle.....	7
I. 1. 2. Courants côtiers dus à la houle.....	10
I. 1. 2.1. Courant de retour.....	10
I. 1. 2. 2. Courant sagittal.....	11
I. 1. 2. 3. Courant de dérive.....	11
I. 1. 3. Marée.....	12
I. 1. 3. 1. Marnage.....	12
I. 1. 3. 2. Types de la marée.....	13
I. 2. Transport sédimentaire.....	13
I. 2. 1. Sédimentologie et morphodynamique côtière.....	13
I. 2. 2. Mécanismes du transport sédimentaire.....	14
I. 2. 2. 1. Transport par charriage ( <i>bed load</i> ).....	15
II. 2. 2. 2. Transport par suspension ( <i>suspended load</i> ).....	15
II. 2. 2. 3. Transport en lit fluidisant ( <i>sheet flow</i> ).....	15
I. 2. 3. Transport littoral.....	16
I. 2. 3. 1. Transport des sédiments par la houle.....	17

I. 2. 3. 2. Transport des sédiments par les courants.....	18
I. 2. 4. Morphologie des plages.....	19
I. 2. 4. 1. Formation des barres rectilignes .....	19
I. 2. 4. 2. Formation des barres tridimensionnelles .....	19
I. 2. 5. Dynamique Hydro-sédimentaire dans un estuaire.....	20
Conclusion.....	22
<b>Chapitre II : Etat des lieux du domaine côtier de l'Algérois</b>	
Introduction .....	23
II. 1. Situation administrative et géographique de la zone d'étude .....	23
II. 2. Caractéristiques géologiques.....	25
II. 2. 1. Géologie de l'Algérie .....	25
II. 2. 2. Contexte Géologique de la baie d'Alger .....	26
II. 3. Caractéristiques hydrogéologiques .....	28
II. 4. Caractéristiques hydro-climatologiques.....	32
II. 4. 1. Facteurs climatiques.....	32
II. 4. 2. Réseaux hydrographiques .....	36
II. 4. 3. Facteurs hydrodynamiques.....	39
II. 4. 3. 1. Régime de la houle .....	39
II. 4. 3. 2. Régime des courants .....	39
II. 5. Bathymétrie et sédimentologie.....	42
II. 6. Population et urbanisation.....	45
II. 7. Pollution dans la baie d'Alger.....	47
II. 7. 1. Sources de la pollution .....	47
II. 7. 2. Rejets d'eaux usées .....	48
II. 7. 3. Pollution industrielle .....	50
II. 7. 4. Pollution marine:.....	52
II. 7. 4. 1. Métaux lourds .....	52
II. 7. 4. 2. Hydrocarbures.....	52
II. 7. 4. 3. Azote et phosphore totaux, Matière organique et Polychlorobiphényles (PCB) dans les sédiments .....	53
II. 7. 5. Impact de la pollution marine.....	53
Conclusion.....	54

### **Chapitre III : Système d'informations géographiques (SIG) de gestion des zones côtières**

Introduction .....	55
III. 1. Utilisation des SIG pour la gestion des espaces côtiers.....	56
III. 2. Description générale d'un milieu côtier .....	56
III. 3. Sensibilité et vulnérabilité des zones côtières .....	58
III. 4. Méthodologie de détermination la vulnérabilité physique côtière .....	59
III. 4. 1. Définition de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV) .....	59
III. 4. 2. Paramètres de l'ICV .....	60
III. 5. Evaluation de la vulnérabilité des masses d'eau souterraine.....	62
III. 5. 1. Méthode DRASTIC .....	62
III. 6. Inventaire des données.....	64
III. 7. Constitution d'une base des données.....	65
III. 8. Analyse et traitement des données.....	68
Conclusion .....	69

### **Chapitre IV : Evaluation de la vulnérabilité des zones côtières**

Introduction .....	70
IV. 1. Changements climatiques et leurs impacts sur le niveau marin .....	70
IV. 2. Impacts de la vulnérabilité sur l'évolution du trait de côte de la baie d'Alger.....	74
IV. 3. Facteurs de risques .....	76
IV. 3. 1. Géomorphologie côtière .....	76
IV. 3. 2. Pente côtière.....	78
IV. 3. 3. Taux de la remontée du niveau marin.....	79
IV. 3. 4. Recul du trait de côte .....	80
IV. 3. 5. Amplitude moyenne de la marée .....	82
IV. 3. 6. Hauteur moyenne de la houle .....	83
IV. 4. Indice côtier de la vulnérabilité physique.....	84
IV. 5. Résultats et discussion.....	85
IV. 5. 1. Les variables de l'ICV .....	85
IV. 5. 2. Les valeurs de l'ICV .....	88
IV. 6. Application de la méthode DRASTIC aux zones côtières sensibles selon l'ICV .....	89
Conclusion .....	98

<b>Chapitre V : Aménagement des zones côtières vulnérables et des embouchures</b>	
Introduction .....	99
V. 1. Ouvrages côtiers .....	99
V. 1. 1. Murs et revêtements en enrochements .....	99
V. 1. 1. 1. Murs de soutènement.....	100
V. 1. 1. 2. Digue côtières .....	100
V. 1. 1. 3. Perrés .....	101
V. 1. 2. Brise-lames.....	102
V. 1. 3. Epis.....	104
V. 2. Techniques de protection du littoral .....	106
V. 2. 1. Rechargement des plages .....	106
V. 2. 2. Drainage de la plage (le principe d'ECOPLAGE).....	108
V. 2. 3. Technique de protection STABIPLAGE .....	109
V. 3. Aménagements au niveau des embouchures des oueds.....	111
Conclusion .....	114
<b>Conclusion générale</b> .....	115
Références Bibliographiques.....	117
Annexes .....	126

## **TABLE DES FIGURES**

<b>I. 1</b>	Les caractéristiques d'une houle régulière .....	5
<b>I. 2</b>	Description de la zone de déferlement.....	8
<b>I. 3</b>	Courants induits par la houle .....	11
<b>I. 4</b>	Amplitudes de la marée observées à travers le monde .....	12
<b>I. 5</b>	Interactions sub-morphodynamiques qui contrôlent les processus hydrosédimentaires .....	14
<b>I. 6</b>	: Modes de transport sédimentaire.....	16
<b>I. 7</b>	Quelques types des formes sédimentaires .....	16
<b>I. 8</b>	Transport des sédiments vers le littoral par la houle .....	17
<b>I. 9</b>	: Transport des sédiments par les courants .....	18
<b>I. 10</b>	Formation d'une barre sableuse rectiligne au point de déferlement.....	19
<b>I. 11</b>	Deux types d'embouchure .....	20
<b>II. 1</b>	Limites administratives de la wilaya d'Alger .....	24
<b>II. 2</b>	Description géographique de la zone côtière algéroise.....	25
<b>II. 3</b>	La carte géologique de l'Algérie.....	26
<b>II. 4</b>	Carte géologique de la Mitidja.....	27
<b>II. 5</b>	Les ressources en eaux souterraines de la zone côtière algéroise en 1971 .....	30
<b>II. 6</b>	Carte piézométrique de la baie d'Alger en 2002 et 2005.....	31
<b>II. 7</b>	Carte pluviométrique de la zone côtière algéroise en 1971 .....	32
<b>II. 8</b>	Variations interannuelles des précipitations (1984-2009).....	34
<b>II. 9</b>	Variation des températures mensuelles minimales, moyennes et maximales (1975-2010) .....	35
<b>II. 10</b>	Réseau hydrographique et limite des bassins versants.....	36
<b>II. 11</b>	Bassin versant de l'oued El Harrach.....	37
<b>II. 12</b>	Bassin versant de l'oued El Hamiz .....	38
<b>II. 13</b>	Bilan des courants dans la baie d'Alger .....	40
<b>II. 14</b>	Circulation de l'eau dans le bassin algérien .....	41
<b>II. 15</b>	Carte bathymétrique de la baie d'Alger .....	42
<b>II. 16</b>	Carte bathymétrique de la baie d'Alger représentée en 3D Vue sous un angle 85° .....	43
<b>II. 17</b>	Nature du fond de la baie d'Alger .....	44

<b>II. 18</b>	Croissance de la population totale de la Wilaya d'Alger (1996-2008).....	45
<b>II. 19</b>	Evolution de la population dans la wilaya d'Alger (1987-2005).....	46
<b>II. 20</b>	Evolution des zones urbanisées, photographies satellites traitées (1987-2000) .....	46
<b>II. 21</b>	Distribution de la population et principaux rejets d'eaux usées en baie d'Alger.....	47
<b>II. 22</b>	Nombre de rejets en mer recensés par commune.....	49
<b>II. 23</b>	Carte des rejets au port d'Alger.....	50
<b>II. 24</b>	Répartition des zones d'activités et industrielles dans la wilaya d'Alger .....	51
<b>II. 25</b>	Plages recensées et interdites à la baignade au niveau de la baie d'Alger .....	54
<b>III. 1</b>	Description générale des zones côtières .....	57
<b>III. 2</b>	Organigramme de la méthodologie de détermination de vulnérabilité physique du littoral .....	61
<b>III. 3</b>	Diagramme des classes de vulnérabilité de la méthode DRASTIC .....	63
<b>III. 4</b>	Calage d'une carte géographique d'Alger .....	65
<b>III. 5</b>	Description de trait de la côte, les oueds et les communes littorales de la baie d'Alger.....	66
<b>III. 6</b>	Traitement d'une carte selon la vulnérabilité par des couleurs significatifs .....	67
<b>III. 7</b>	Constitution d'une base de données relative à la méthode DRASTIC .....	67
<b>III. 8</b>	Maillage au niveau de la zone côtière de l'Algérois .....	68
<b>III. 9</b>	Représentation sur écran du résultat d'une requête .....	69
<b>IV. 1</b>	Impacts du changement climatique.....	71
<b>IV. 2</b>	Carte globale de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2011).....	72
<b>IV. 3</b>	Taux d'élévation du niveau marin de la Méditerranée (1993-2007) .....	73
<b>IV. 4</b>	Elévation du niveau de la mer de la Méditerranée occidentale .....	73
<b>IV. 5</b>	Communes et Principales plages de la baie d'Alger.....	74
<b>IV.6</b>	Evolution moyenne du trait de côte de part et d'autre de l'embouchure de l'oued El Harrach sur une période pluriannuelle (1957 -1999).....	75
<b>IV. 7</b>	Carte géomorphologique de la baie d'Alger .....	77
<b>IV. 8</b>	Etat de la vulnérabilité côtière selon la géomorphologie pour la baie d'Alger .	78
<b>IV. 9</b>	Etat de la vulnérabilité côtière selon la pente côtière pour la baie d'Alger .....	79
<b>IV. 10</b>	Etat de la vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau marin pour la baie d'Alger .....	80

<b>IV. 11</b> Etat de la vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte pour la baie d'Alger .....	81
<b>IV. 12</b> Etat de la vulnérabilité côtière selon l'amplitude moyenne de la marée pour la baie d'Alger .....	82
<b>IV. 13</b> Etat de la vulnérabilité côtière selon la hauteur moyenne de la houle pour la baie d'Alger .....	83
<b>IV. 14</b> Carte de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV) pour le littoral de la baie d'Alger .....	84
<b>IV. 15</b> Histogrammes de classification des variables de l'ICV .....	87
<b>IV. 16</b> Pourcentage du littoral de la baie d'Alger pour chaque degré de vulnérabilité physique.....	88
<b>IV. 17</b> Cartes de vulnérabilité selon la profondeur de la nappe aux zones sensibles..	90
<b>IV. 18</b> Cartes de vulnérabilité selon la recharge nette aux zones sensibles .....	91
<b>IV. 19</b> Cartes de vulnérabilité selon la lithologie de l'aquifère aux zones sensibles..	92
<b>IV. 20</b> Cartes de vulnérabilité selon le type de sol aux zones sensibles .....	93
<b>IV. 21</b> Cartes de vulnérabilité selon la topographie aux zones sensibles.....	94
<b>IV. 22</b> Cartes de vulnérabilité selon l'impact de la zone non saturée aux zones sensibles .....	95
<b>IV. 23</b> Cartes de vulnérabilité selon la conductivité hydraulique de l'aquifère aux zones sensibles .....	96
<b>IV. 24</b> Carte de vulnérabilité (DRASTIC) des zones sensibles selon l'ICV .....	97
<b>V. 1</b> Mur en béton .....	100
<b>V. 2</b> Digue frontale.....	101
<b>V. 3</b> Perré en enrochements.....	102
<b>V. 4</b> Brise-lames.....	104
<b>V. 5</b> Technique des ouvrages épis .....	105
<b>V. 6</b> Récupération des plages par la technique du rechargement artificiel .....	106
<b>V. 7</b> Schéma descriptif du système d'ECOPLAGE .....	108
<b>V. 8</b> Principe de fonctionnement du système d'ECOPLAGE.....	109
<b>V. 9</b> Applications de la technique de STABIPLAGE .....	109
<b>V. 10</b> Schéma de fonctionnement d'un STABIPLAGE en pied de dune .....	110
<b>V. 11</b> Schéma descriptif d'une coupe transversale d'une digue à talus .....	112
<b>V. 12</b> Des coupes transversales de différents types de digues .....	113

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>II. 1</b>	Tableau récapitulatif des points d'eau et des débits extraits réalisés en 1997, complété en 2001-2002 dans la plaine de la Mitidja .....	29
<b>II. 2</b>	Caractéristiques des stations pluviométriques .....	33
<b>II. 3</b>	Précipitations moyennes interannuelles (1984-2009) .....	33
<b>II. 4</b>	Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (1975-2010).....	34
<b>II. 5</b>	Valeurs moyennes de l'humidité selon la station de Dar El Beida (1975-2010)	35
<b>II. 6</b>	Vitesses moyennes mensuelles du vent dans la station de Dar El Beida (1975-2010) .....	36
<b>II. 7</b>	Caractéristiques de sous bassins versants de Oued El Harrach et Oued El Hamiz .....	37
<b>II. 8</b>	Evolution de la population de la wilaya d'Alger entre 1966 et 2008.....	45
<b>II. 9</b>	Teneurs des métaux lourds (la baie d'Alger) .....	52
<b>II. 10</b>	Teneurs en HPA dans la baie d'Alger .....	52
<b>III. 1</b>	Paramètres de la méthode DRASTIC, leurs propriétés, et leurs poids.....	63
<b>IV. 1</b>	Taux nets (en m/an) de l'évolution du trait de côte de : Bordj El Bahri et Bordj El Kiffan (1959-2011) .....	76
<b>IV. 2</b>	Taux nets (m/an) de l'évolution du trait de côte de Bordj El Bahri (1959-2008) .....	76
<b>IV. 3</b>	Classification géomorphologique pour l'ICV.....	77
<b>IV. 4</b>	Classification de la pente côtière pour l'ICV.....	79
<b>IV. 5</b>	Classification du taux de l'élévation du niveau marin pour l'ICV .....	80
<b>IV. 6</b>	Classification d'évolution du trait de côte pour l'ICV .....	81
<b>IV. 7</b>	Classification de l'amplitude moyenne de la marée pour l'ICV.....	82
<b>IV. 8</b>	Classification de la hauteur moyenne de la houle pour l'ICV .....	83

## **LISTE DES ACRONYMES**

ANDT	Agence Nationale de Développement du Tourisme
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
APPL	Agence de Protection et de Promotion du Littoral
BW	Eau de fond
CAR/ ASP	Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
CERC	Cellules Economique Régionales de la Construction
CETMEF	Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales
CGMW	Commission de la carte géologique du monde
DPAT	Direction de Planification et de l'Aménagement du Territoire
DRASTIC	Dérivé des initiales des sept paramètres physiographiques et hydrogéologiques (en termes anglais)
DRHEE	Direction des Ressources Hydrauliques et de l'Economie de l'Eau
DW	Eau méditerranéenne profonde
ENSSMAL	Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (Ex. ISMAL)
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GRESARC	Groupe de Recherche sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtier
ICV	Indice Côtier de Vulnérabilité (CVI)
IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
LCHF	Laboratoire Central d'Hydraulique de France
LEM	Laboratoire d'Etudes Maritimes

LIW	Eau intermédiaire Levantine
MATET	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
MAW	Eau atlantique modifiée
MEEDDM	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer de France
METAP	Programme d'Assistance Technique pour la Méditerranée
NWWA	Association Nationale des Eaux des Forages
ONM	Office National de la Météorologie
OHI	Organisation Hydrographique Internationale
ONERC	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
PAC	Programme d'Aménagement Côtier
PAM	Plan d'Action pour la Méditerranée
PAP	Programme d'Actions Prioritaires
PCB	Polychlorobiphényles
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PSU	Unité Pratique de Salinité
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIG	Système d'Information Géographique
STEP	Station d'épuration
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
USEPA	Agence Américaine de la Protection de l'Environnement
USGS	Commission Géologique des États-Unis

WGS84	Système Géodésique Mondial 1984
WIW	Eau hivernale intermédiaire
ZIP	Comité Zone d'Intervention Prioritaire

## NOTATIONS ET SYMBOLES

<b>A</b>	[ - ]	Paramètre de forme de la plage lié aux caractéristiques des sédiments
<b>Ac</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à la lithologie de l'aquifère
<b>Ap</b>	[ - ]	Poids du paramètre lié Lithologie de l'aquifère
<b>Cc</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à la conductivité hydraulique de l'aquifère
<b>Cp</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à la conductivité hydraulique de l'aquifère
<b>D</b>	[L]	Diamètre médian des grains
<b>Dc</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à la profondeur de la nappe
<b>Dp</b>	[ - ]	Poids du paramètre lié à la profondeur de la nappe
<b>E</b>	[ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> ]	Energie de la houle
<b>H</b>	[L]	Hauteur de la houle (différence entre la crête et le creux)
<b>ID</b>	[ - ]	Indice DRASTIC
<b>Ic</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à l'impact de la zone non saturée
<b>Ip</b>	[ - ]	Poids du paramètre lié à l'impact de la zone non saturée
<b>K</b>	[ - ]	Coefficient de transport solide
<b>L</b>	[L]	Longueur d'onde (distance séparant deux crêtes successives)
<b>Q</b>	[L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]	Débit solide de transit littoral
<b>Rc</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié à la recharge nette
<b>Rp</b>	[ - ]	Poids du paramètre lié à la recharge nette
<b>Sc</b>	[ - ]	Côte du paramètre lié au type de sol
<b>Sp</b>	[ - ]	Poids du paramètre lié au type de sol

<b>T</b>	[T]	Période de la houle (temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe)
<b>Tc</b>	[-]	Côte du paramètre lié à la topographie de la zone d'étude
<b>Tp</b>	[-]	Poids du paramètre lié à la topographie de la zone d'étude
<b>U</b>	[-]	Nombre d'Ursell
<b>Vmoy</b>	[L T <sup>-1</sup> ]	Vitesse moyenne mensuelle du vent
<b>a</b>	[L]	Amplitude de la houle (correspond à la distance entre la crête de la vague et le niveau moyen au repos)
<b>a</b>	[-]	Paramètre lié aux caractéristiques géomorphologiques de la zone côtière
<b>b</b>	[-]	Paramètre lié à la pente de la zone côtière
<b>c</b>	[-]	Paramètre lié à l'élévation du niveau moyen de la mer
<b>d</b>	[L]	Profondeur d'eau (la profondeur au repos)
<b>d</b>	[-]	Paramètre lié au taux du recul du littoral
<b>e</b>	[L]	Espacement entre deux brise-lames
<b>e</b>	[-]	Paramètre lié à l'amplitude moyenne de la marée
<b>f</b>	[-]	Paramètre lié à la hauteur moyenne de houle près des côtes
<b>f(α)</b>	[-]	Fonction de l'obliquité α de la houle ( $f(\alpha) = \sin \frac{7\alpha}{4}$ )
<b>g</b>	[LT <sup>-2</sup> ]	Accélération de la pesanteur
<b>h</b>	[L]	Profondeur de l'eau liée à la technique du rechargement des plages
<b>k</b>	[L <sup>-1</sup> ]	Nombre d'onde
<b>l</b>	[L]	Longueur du brise-lame
<b>lc</b>	[L]	Distance du brise-lames à la côte

<b>m</b>	[ - ]	Coefficient lié au rechargement des plages de l'ordre 0,4 à 0,8
<b>x</b>	[L]	Distance au trait de côte liée à la technique du rechargement des plages
<b>w</b>	[LT <sup>-1</sup> ]	Vitesse de chute des sédiments
<b><math>\alpha</math></b>	[ - ]	Angle de l'obliquité de la houle
<b><math>\gamma</math></b>	[ - ]	Cambrure de la houle
<b><math>\varepsilon</math></b>	[ - ]	Hauteur relative
<b><math>\eta</math></b>	[L]	Hauteur d'élévation du plan d'eau
<b><math>\theta</math></b>	[ - ]	Direction de propagation de la houle
<b><math>\mu</math></b>	[ - ]	Profondeur relative
<b><math>\rho</math></b>	[ML <sup>-3</sup> ]	Masse volumique de l'eau
<b><math>\varphi</math></b>	[ - ]	Phase de la houle
<b><math>\omega</math></b>	[T <sup>-1</sup> ]	Pulsation de la houle

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le littoral est un milieu complexe et sensible, effectivement, il combine deux domaines différents, le côté terrestre et le côté marin, chaque côté influe sur l'autre, en plus, le littoral se considère un espace vital, qui subit de plusieurs pressions anthropiques (sociale, économique, touristique,...) et nombreux risques dûs aux changements climatiques, les catastrophes naturelles, les pollutions,...etc, pour éviter les impacts de ces aléas, et assurer la protection à notre environnement, doivent être posées des stratégies efficaces et durables de la gestion des zones côtières vulnérables (Robin et Gourmelon, 2005).

L'étude de l'hydrodynamique côtière contribue à la connaissance les facteurs influents sur la côte (la houle, la marée, les courants marins, l'élévation du niveau de la mer), et elle permet de savoir les processus des sédiments causés par : accrétion ou érosion.

Le littoral algérien s'étend sur une frange de plus de 1200 km de côtes, comme les pays de la Méditerranée, il connaît des perturbations au système écologique (naturelles et humaines), dans notre cas, on va évaluer la vulnérabilité côtière physique au long de la baie d'Alger, qu'elle est située en cœur du littoral algérois, avec une longueur de côte environ de 50 km, à partir la pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'ouest jusqu'au cap Matifou (Bordj El- Bahri) à l'est.

L'objectif de ce travail consiste en la détermination de l'indice côtier de la vulnérabilité physique (ICV) au niveau de la baie d'Alger et l'indice DRASTIC qui évalue l'état des eaux souterraines dans les zones côtières les plus vulnérables, en utilisant une approche méthodologique peut définir les zones vulnérables que les autres, par faire une combinaison entre différents paramètres, hydrodynamique (la hauteur de la houle, l'amplitude de la marée, et le taux d'élévation du niveau marin), morphologiques (la structure géologique, l'intensité de la pente côtière), et historique (le recul historique du trait de la côte). La réalisation de cette étude est réalisée grâce au Système d'Information Géographique (SIG) qui nous aide à prendre les décisions adéquates en vue d'une gestion du système côtier.

Pour ce faire notre mémoire est structuré ainsi, un premier chapitre concerne une connaissance générale des facteurs influant sur l'évolution des zones côtières, nous avons expliqué, d'un part, la dynamique des vagues, des courants et le phénomène de la marée, et d'autre part, le comportement des sédiments et leur mécanisme de déplacement au voisinage des côtes et des embouchures des oueds, afin de comprendre les changements de la morphologie des plages.

Le deuxième chapitre présente la situation géographique, géologique, hydrogéologique, et hydroclimatologique de la baie d'Alger, cette zone se caractérise par une intensité urbaine et populaire, qu'est-ce qui la expose à des risques de pollution (pollution des eaux de la mer, des oueds et des nappes), en raison les rejets domestiques et industriels non traités, qui contribuent à la vulnérabilité du littoral (phénomène d'érosion) et des eaux souterraines.

Le troisième chapitre traite la contribution du Système d'Informations Géographique (SIG) pour déterminer la vulnérabilité des zones côtières au niveau de la baie d'Alger, en utilisant l'Indice Côtier de Vulnérabilité (ICV) qui se base sur la combinaison de six variables différents (des paramètres hydrodynamiques, morphologiques et historiques), la carte finale peut expliquer le degré de dégradation du littoral (recul du tarit de la côte), après avoir savoir les zones sensibles, nous allons étudier la vulnérabilité des eaux souterraines dans ces zones, en appliquant la méthode DRASTIC qui se fonde sur sept paramètres géologiques, stratigraphiques, hydrogéologiques, pédologiques, et hydrauliques.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté l'influence des changements climatiques sur la variation du niveau de la mer à l'échelle du globe, et au niveau de la Méditerranée occidentale (le taux de la remontée est faible, presque 1mm/an). A l'aide de logiciel MapInfo 8.0, nous avons obtenu la carte de vulnérabilité côtière de la baie d'Alger, et la carte de vulnérabilité (DRASTIC) des zones sensibles selon l'ICV.

Pour le cinquième et dernier chapitre, nous avons décrit comment protéger le littoral contre l'érosion et la disparition des plages, et aussi contre le risque des inondations au niveau des embouchures (accumulation des sédiments et érosion des berges des oueds). L'aménagement des zones côtières sensibles ou affectées, se fait par des techniques de défense ou des ouvrages de protection, chaque méthode et ses

caractéristiques, son efficacité et son domaine d'utilisation, selon le type de la vulnérabilité du site, et le type de risque.

A la fin de notre travail nous présentons une synthèse relative à l'évolution de la côte de la baie d'Alger, et l'évaluation de sa vulnérabilité physique, et la valorisation des aménagements et méthodes de protection utilisés.

Il est important de signaler aussi, que le SIG étant un outil qui n'apporte pas de solutions, mais il permet aux utilisateurs et les décideurs de gérer les problèmes, et assurer la gestion nécessaire.

La construction d'un SIG est un établissement une base de données (banque de données), elle est basée sur cinq fonctions : Abstraction pour donner une image conceptuelle sur notre projet, Acquisition est l'opération de la collection des informations nécessaires (des cartes, des tableaux, des formules,...), on passe directement à l'Archivage pour stocker les données manipulées d'une manière bien organisée et structurée, et l'étape la plus importante est l'Analyse, qui relative au manipulation et traitement des données, finalement, il faut exposer tout ce qu'on a fait par des cartes, des graphiques, ou des tableaux, cette étape s'appelle Affichage. Il y a plusieurs logiciels utilisables pour établir un SIG.

## **CHAPITRE I**

# **ETATS DE CONNAISSANCES SUR L'HYDRODYNAMIQUE CÔTIÈRE ET LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE**

## **INTRODUCTION**

La connaissance des risques que contribuent à recul du trait de la côte et touchent la zone côtière, elle nous oblige que nous faisons une analyse bibliographique sur l'hydrodynamique côtière et les conditions hydrodynamiques (vagues, courant, marée) qui induisent un transport sédimentaire responsable de l'évolution morphologique de la plage.

Dans ce contexte, on va connaître, d'une part, les phénomènes physiques qui modifient la houle lors de sa propagation, et les différents types des courants induits par la houle et leurs impacts, et le rôle de la marée dans le système hydrodynamique et sédimentaire, et d'autre part, on explique le mécanisme et les différents modes de transport littoral, et la dynamique des sédiments au niveau des embouchures et les zones estuariennes.

## **I. 1. HYDRODYNAMIQUE CÔTIÈRE**

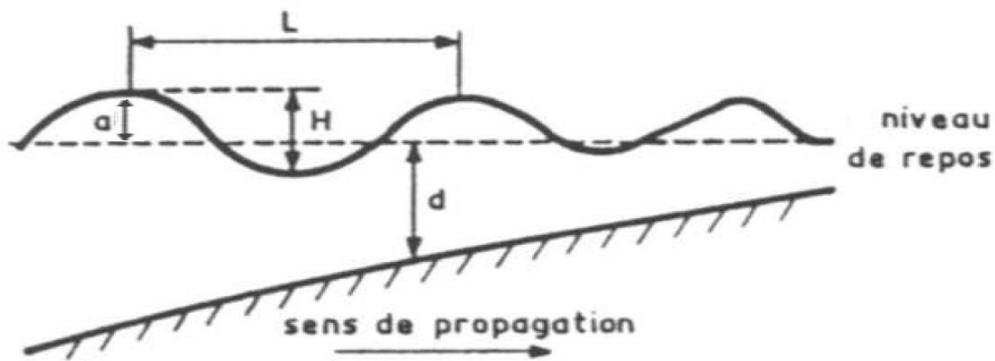
### **I. 1. 1. Houles**

#### **I. 1. 1. 1. Définition de la houle**

La houle est un ensemble d'ondulations créées par l'action du vent sur la surface de la mer, lorsqu'un vent souffle on observe d'abord ce que l'on appelle une mer de vent, plus le vent est fort et plus la distance de frottement sur l'eau est grande, plus la houle est forte, c'est ce que l'on appelle le « fetch ».

La dynamique de la houle est caractérisée par les paramètres suivants :

- **H** : la hauteur de houle (dénivellation maximale entre une crête et un creux successifs)
- **L** : la longueur d'onde (distance séparant deux crêtes successives)
- **T** : la période de la houle (temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe)
- **a** : l'amplitude de la houle (correspond à la distance entre la crête de la vague et le niveau moyen au repos).
- **d** : la profondeur (la profondeur au repos)



**Figure I. 1** : Les caractéristiques d'une houle régulière (Bonnefile, 1992)

A partir des paramètres caractérisant la dynamique des houles, on peut introduire trois termes adimensionnés et sont définis par les relations suivantes :

- La cambrure :

$$\gamma = \frac{H}{L} \quad (\text{I.1})$$

- La hauteur relative :

$$\varepsilon = \frac{H}{d} \quad (\text{I.2})$$

- La profondeur relative :

$$\mu = \frac{d}{L} \quad (\text{I.3})$$

Les deux derniers termes (la hauteur relative et la profondeur relative) renvoient respectivement aux effets non linéaires et aux effets de dispersion.

Un autre paramètre adimensionnel, appelé nombre d'Ursell ou nombre de Stokes défini comme le rapport entre le paramètre de non linéarité et le carré du paramètre de dispersion :

$$U = \frac{\varepsilon}{\mu^2} = \frac{HL^2}{d^3} \quad (I.4)$$

On utilise ce paramètre pour aider à déterminer la validité des différents modèles de la houle.

### I. 1. 1. 2. Houle régulière (monochromatique et monodirectionnelle)

La modélisation de la houle consiste à considérer une onde sinusoïdale simple appelée houle régulière. Il s'agit d'une onde caractérisée par une seule période et une seule direction de propagation. L'élévation de surface libre, notée  $\eta$ , est fonction de la position spatiale du point considéré et du temps  $t$ .

Elle s'écrit sous la forme :

$$\eta(x, y, t) = a \cos[k(x \sin\theta + y \cos\theta) - \omega t + \varphi] \quad (I.5)$$

où les notations suivantes sont employées :

- $a$  est l'amplitude de la houle (égale à la moitié de la hauteur :  $H/2$ ).
- $\omega$  est la pulsation de la houle.
- $k$  est le nombre d'onde ( $k = 2\pi/L$ ) qui est donné par la relation de dispersion linéaire des ondes de surface libre, en fonction de la pulsation et de la profondeur  $d$  :

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (I.6)$$

- $\theta$  est la direction de propagation de la houle.
- $\varphi$  est la phase de la houle.

La quantité d'énergie mécanique par unité de surface de la houle égale à :

$$E = \frac{1}{2} \rho g a^2 = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (I.7)$$

avec les notations suivantes :

- $\rho$  : est la masse volumique de l'eau.
- $g$  : est l'accélération de la pesanteur.
- $H$  : est la hauteur de houle ( $H = 2a$ ).

### I. 1. 1. 3. Houle irrégulière

La houle réelle n'est pas monochromatique, c'est à dire définie par une seule période. Elle ne se propage pas avec la même célérité ni dans la même direction. Au contraire, l'énergie des ondes est répartie sur une gamme de fréquences et sur un intervalle de directions de propagation ; on parle alors de houle aléatoire ou irrégulière et multidirectionnelle. L'irrégularité de la houle se traduit en écrivant qu'un état de mer résulte de la superposition d'une infinité de composantes sinusoïdales élémentaires. Dans ce cas, un champ de houle aléatoire multidirectionnelle est modélisé de la manière suivante :

$$\eta(x, y, t) = \sum_{m=1}^M a_m \cos[k_m(x \sin\theta_m + y \cos\theta_m) - \omega_m t + \varphi_m] \quad (I.8)$$

Pour définir l'énergie par unité de surface libre d'une houle irrégulière multidirectionnelle, on utilise la formule suivante :

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{1}{2} \rho g a_m^2 \quad (I.9)$$

### I. 1. 1. 4. Processus physiques de propagation de la houle

La houle est affectée, au cours de sa propagation, par des nombreux processus et phénomènes physiques, l'étude de ces processus est nécessaire et très important pour la connaissance du comportement des vagues et leur influence sur le rivage, on cite les principaux processus :

#### ✚ Levée « Shoaling » et réfraction de la houle

A l'approche du littoral, Les fonds remontent par rapport au large, et les caractéristiques de la houle évoluent, par un gonflement de la vague, ce phénomène s'appelle « Shoaling », dont l'amplitude de la houle va faiblement décroître, et sa longueur et la vitesse de phase, quant à elles, diminuent du large vers la côte (Brière,

2005). La variété de milieu bathymétrique contribue au changement de direction et de vitesse de la propagation des ondes, c'est la réfraction de la houle.

La célérité des vagues dans l'eau dépend de la profondeur, de la vitesse du courant et plus modérément de leur amplitude. En particulier la célérité est plus faible si la profondeur est plus faible. Ceci permet d'avoir une interprétation du fait que les crêtes des vagues deviennent presque parallèles à la plage lorsqu'elles se rapprochent du rivage : la partie de la crête en eau plus profonde se propage plus vite que la partie en eau peu profonde et la crête tourne vers la plage. On constate également qu'il y a une convergence au voisinage d'un cap et un épanouissement dans une baie.

On distingue habituellement la réfraction due à la topographie des fonds et la réfraction due à la présence de courant.

### ✚ Déferlement

Les vagues sont instables dans la zone de levée, une fois la limite de stabilité atteinte, elles vont déferler et leur énergie va rapidement être dissipée dans une zone que l'on appelle zone de surf (figure I. 2). Lors de la propagation d'une houle du large vers la côte, sa longueur d'onde  $L$  diminue tandis que sa hauteur augmente  $H$ , par conséquent, la cambrure  $H/L$  va augmenter.

Le déferlement des vagues est un aspect essentiel de la dynamique des états de mer, et en particulier de la dynamique littorale. Les processus dissipatifs, dont le déferlement, sont un des termes importants du bilan d'énergie pour le champ de vagues et demandent un paramétrage adéquat dans le calcul des états de mer.

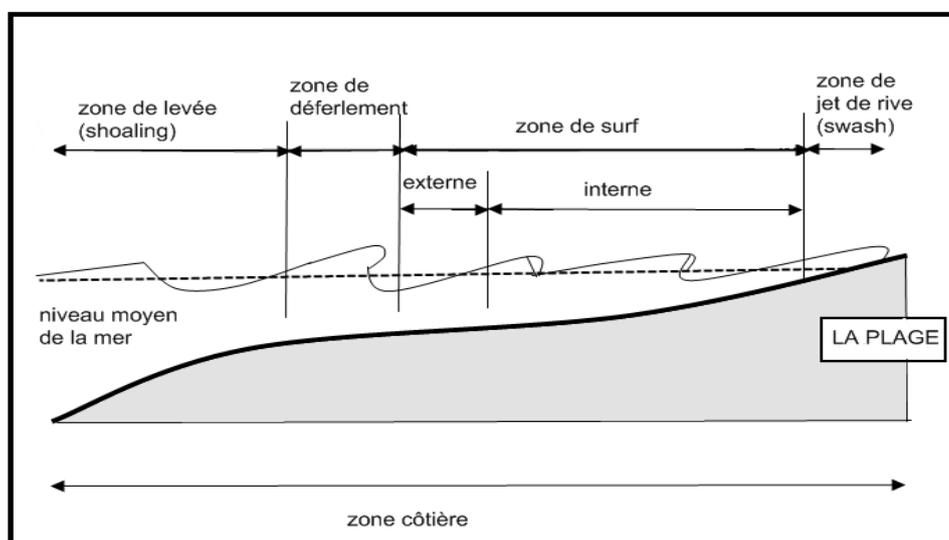


Figure I. 2 : Description de la zone de déferlement (Sénéchal, 2003)

Le déferlement est accompagné des phénomènes suivants (Susbielles et Bratu, 1981):

- la vitesse des particules d'eau à la crête de la vague devient égale à la célérité de l'onde.
- la condition de pression nulle à la surface libre ne peut plus être satisfaite.
- l'accélération des particules d'eau, à la surface libre, devient supérieure à celle de la pesanteur.
- la surface libre devient verticale.

### **Diffraction de la houle**

La diffraction due à la présence d'obstacles (comme un navire, ou de l'extrémité d'une jetée), ce phénomène se traduit par une diffusion de l'énergie à travers les orthogonales de la houle et par une forte variation de la direction de la houle. Le transfert s'effectue des zones agitées vers les zones calmes.

La diffraction permet d'expliquer la pénétration des vagues à l'intérieur d'un port ou d'une embouchure protégée par une jetée. Lorsque les vagues rencontrent l'extrémité de l'obstacle les lignes de crêtes sont perturbées et suivent des directions en éventail de façon à contourner l'ouvrage de protection.

### **Réflexion de la houle**

La propagation des vagues en profondeur variable engendre une partie de l'énergie qui est réfléchi, si une vague rencontre un obstacle vertical et imperméable, l'énergie réfléchi est beaucoup plus importante que si cette même vague se propage sur un fond de faible pente.

La présence d'un obstacle ou d'une irrégularité bathymétrique marquée peut conduire à la réflexion (partielle ou totale) de la houle. Ce phénomène doit impérativement être pris en compte lors de la conception d'un port afin d'éviter une amplification de l'agitation. En effet, devant une paroi réfléchissante un système d'ondes stationnaires pourrait s'instaurer de hauteur égale au double de la hauteur de l'onde incidente.

La réflexion joue un rôle prépondérant, car elle est l'un des vecteurs de la dissipation de la houle. La réflexion intervient en particulier sur la dynamique des sédiments en

piéd d'ouvrage, sur la stabilité des structures, sur l'agitation dans les bassins portuaires.

### **Phénomène de dissipation par frottement sur le fond**

Le forçage par les vagues et le frottement sur le fond sont deux paramètres essentiels et responsables à l'instabilité morphodynamiques. Lorsqu'une houle se propage en direction d'une côte, la plupart de la dissipation de son énergie en dehors de la zone de déferlement s'effectue dans la couche limite de fond. Cette dissipation d'énergie est directement liée aux forces horizontales agissant sur les sédiments composant le fond, et elle est faible par rapport à celle liée à la turbulence provoquée par le déferlement bathymétrique.

L'effet de la friction au fond est plus complexe car il dépend de la nature du fond, et il affecte les vagues seulement lorsqu'elles sont en eau suffisamment « peu profonde » (dès que la vitesse n'est pas nulle au fond).

## **I. 1. 2. Courants côtiers dus à la houle**

La dynamique des vagues au voisinage de la côte peut générer des courants marins, après le déferlement de la houle, la majeure partie de son énergie se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau, une fraction de l'énergie demeure mécanique transmet au fluide un courant de masse, l'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. On distingue trois types des courants :

### **I. 1. 2.1. Courant de retour**

Le courant de retour est un transport de masse d'eau dirigé vers le large qui contrebalance les excès de masse d'eau apportés par la propagation et le déferlement de la houle vers la côte (Svendsen, 1984). Ce courant est responsable d'un fort transport sédimentaire vers le large et de la migration de barres pendant les épisodes de tempête. Les courants de retour sont stables dont leur intensité est proportionnelle à la hauteur de vagues.

### I. 1. 2. 2. Courant sagittal

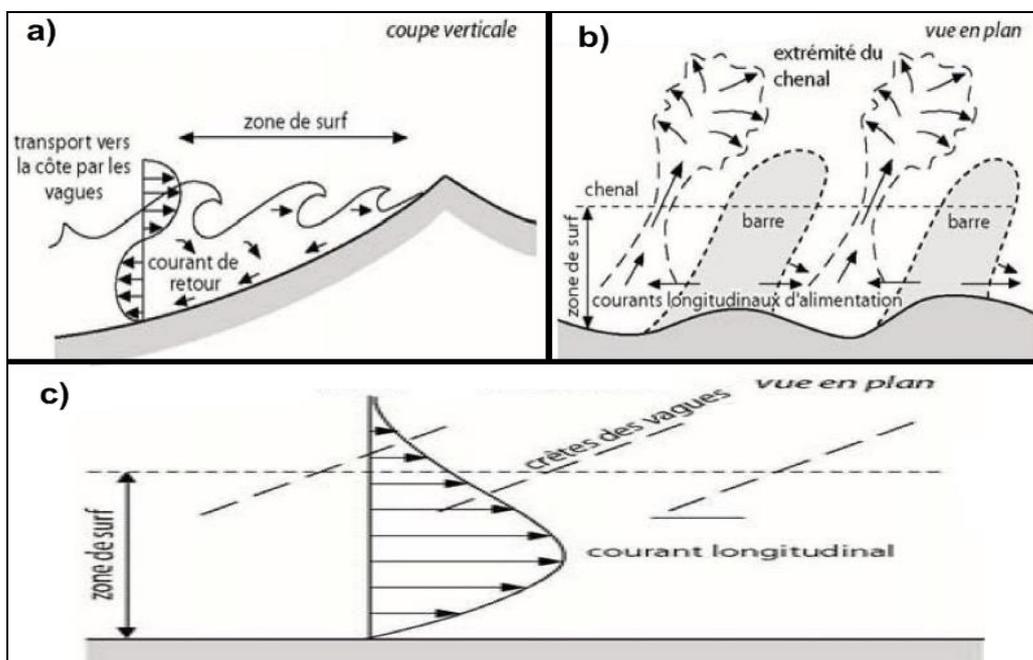
Généralement, les bathymétries sont complexes, et l'élévation de la surface libre moyenne n'est pas uniforme le long de la côte. Alors, cette variété forme un type de courant s'appelle le courant sagittal ou courant d'arrachement, dirigé vers le large, qui compense l'afflux d'eau à la côte suivant des chenaux préférentiels. Ces courants sont verticalement uniformes au niveau des dépressions bathymétriques et deviennent moins homogènes en s'éloignant vers le large, les vitesses maximales étant alors observées en surface (Haas et Svendsen, 2002).

En fonction de la configuration de la bathymétrie, les courants sagittaux peuvent être intenses même si la houle n'est pas forte et agir sur le transport de sédiments.

### I. 1. 2. 3. Courant de dérive

Dans le cas d'une vague propage vers la côte avec une incidence oblique, elle peut générer un courant parallèle à la plage en déferlant, ce courant est appelé le courant de dérive, et son intensité est maximale derrière le point de déferlement (Castelle, 2004), il joue un rôle important dans la dynamique de la zone de surf car il est l'un des moteurs principaux du transport de sédiments (Brière, 2005).

Ce type de courant est généralement uniforme sur la colonne d'eau et est important par sa contribution au transport sédimentaire dans le sens longitudinal (Bujan, 2009).



**Figure I. 3 :** Courants induits par la houle d'après Masselink et Hughes (2003, modifié) :  
a) courant de retour ; b) courant sagittal ; c) courant de dérive

### I. 1. 3. Marée

La marée est un phénomène oscillatoire affectant la surface par la variation du niveau de la mer, qui provoquée par l'interférence de l'attraction de la lune et du soleil et de la rotation de la terre. La période de l'onde de marée est généralement proche de 12h30 (marée semi-diurne). L'amplitude de l'onde varie en fonction de la position respective de la lune et du Soleil. L'amplitude est maximale à la nouvelle lune et la pleine lune (marée de vive eau), elle est minimale au premier et au dernier quartier (marée de morte eau). Elle est inférieure au mètre en pleine mer. A proximité des côtes, l'amplitude est augmentée par un phénomène de résonance et peut dépasser la dizaine de mètres. La période peut être également modifiée jusqu'à ne produire qu'un cycle de marée par jour (marée diurne).

#### I. 1. 3. 1. Marnage

Le marnage est la différence entre une pleine mer et une basse mer successives, il varie selon la période de vive-eau, moment où il est plus fort et la période de morte-eau où il est plus faible. Les marnages peuvent être très différents d'une zone à l'autre.

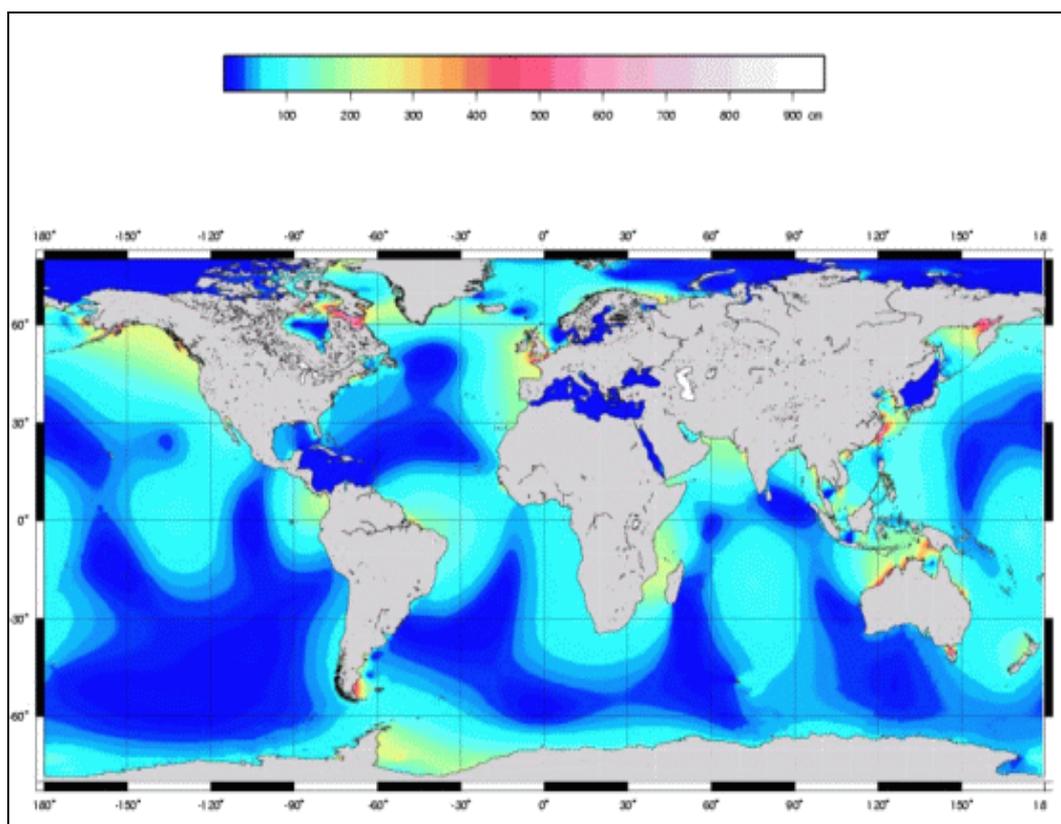


Figure I. 4 : Amplitudes de la marée observées à travers le monde (<http://www.shom.fr/>)

### **I. 1. 3. 2. Types de la marée**

Selon le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), on distingue quatre grands types de marée selon les importances relatives des composantes semi-diurnes et diurnes. Ces quatre types de marée ont été observés dans le monde entier.

#### **➤ Type semi-diurne**

Les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. Ce type de marée est prépondérant en Atlantique.

#### **➤ Type diurne**

Les composantes semi-diurnes sont négligeables devant les composantes diurnes. Il y a une pleine mer et une basse mer par jour.

#### **➤ Type semi-diurne à inégalité diurne**

C'est un cas intermédiaire entre les deux marées précédentes. Les composantes diurnes ne sont pas négligeables. La marée présente toujours deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs des pleines mers ou des basses mers consécutives peuvent être très différentes.

#### **➤ Type mixte**

Autre cas intermédiaire, mais cette fois, les composantes diurnes sont très importantes. Il y a tantôt deux pleines mers et deux basses mers par jour (lorsque la Lune est à l'équateur) et tantôt une pleine mer et une basse mer par jour (lorsque la déclinaison de la Lune est proche de son maximum).

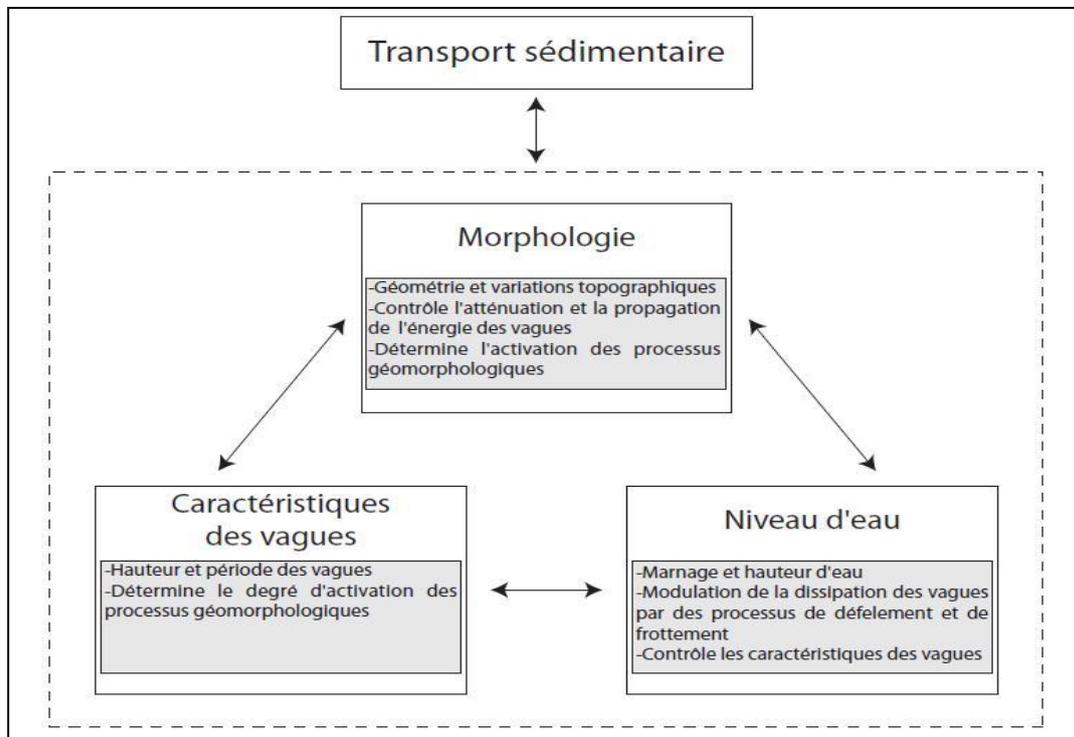
## **I. 2. TRANSPORT SEDIMENTAIRE**

### **I. 2. 1. Sédimentologie et morphodynamique côtière**

La sédimentologie est la science qui traite de la description, de la classification, des sédiments et des roches sédimentaires (OHI, 2000), et qu'elle peut étudier les différents processus de production des sédiments, les mécanismes de leur transport et de leur mise en place sous forme de couches sédimentaires. La dynamique des sédiments permet d'expliquer l'évolution du trait de littoral (érosion ou avancement),

cette évolution est principalement commandée par les caractéristiques des vagues, les niveaux d'eau et les variations de la morphologie côtière elle-même.

Chaque composant influence et est sous l'influence des autres, et les trois composants (morphologie, niveau d'eau et caractéristiques des vagues) alimentent les processus de transport sédimentaire, qui à leur tour influencent le système côtier (Jeanson, 2009).



**Figure I. 5 :** Interactions sub-morphodynamiques qui contrôlent les processus hydrosédimentaires d'après Daly et Brander (2006 modifié)

### I. 2. 2. Mécanismes du transport sédimentaire

L'écoulement de l'eau est le responsable de transport des sédiments, les particules sédimentaires peuvent être transportées de différentes façons, c'est l'interaction entre le fluide (intensité et régime) et les paramètres des grains (taille, densité, forme, etc.) qui va être le paramètre déterminant pour la mise en mouvement des sédiments. En milieu marin, la morphologie du fond va jouer un rôle important sur le transport des sédiments (type des particules sédimentaires, la pente costière, ...).

Les modes de transport sédimentaire, traditionnellement, sont deux modes permettant de distinguer deux mécanismes de transport différents : transport par charriage et transport en suspension (Cayocca, 1996), mais il y a un autre mode particulier, qui s'appelle transport en lit fluidisant (*sheet flow*).

### **I. 2. 2. 1. Transport par charriage (*bed load*)**

Selon Fredsoe et Deigaard (1992), le transport par charriage est la part du transport total pour laquelle les grains sont toujours plus ou moins en contact avec le fond au cours du transport (Marieu, 2007), dont l'écoulement est lent ou que les particules sont lourdes. Les grains peuvent glisser ou rouler (traction), comme les grains de sables, leur forme (sub-sphérique) permet d'expliquer ce type de transport, les grains aussi peuvent faire des petits sauts (saltation) au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique, dont la hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci. Parfois, ce type de transport se classe comme un mode intermédiaire entre le transport par charriage et le transport en suspension.

### **II. 2. 2. 2. Transport par suspension (*suspended load*)**

Ce mode concerne les sédiments qui se transportent sans être en contact avec le fond, et sont soulevées et déplacées dans la colonne d'eau sous l'effet des vitesses verticales turbulentes dans le fluide (Fredsoe et Deigaard, 1992). Le transport en suspension est indépendant au transport par saltation, dont les particules en suspension peuvent traverser des distances importantes, et leur vitesse de chute est annulée par des circulations de fluide ascendantes (dirigées du fond vers la surface ou parallèlement à la surface).

Le régime hydrodynamique peut déterminer quelles particules vont être en suspension, les sédiments en régime laminaire (écoulement calme) vont avoir des caractéristiques de taille, de forme et de densité différentes par rapport au régime turbulent. Comme exemple, les grains de sables peuvent alterner son mode de transport à un autre selon les conditions hydrodynamiques (l'intensité des vagues).

### **II. 2. 2. 3. Transport en lit fluidisant (*sheet flow*)**

Le transport en lit fluidisant, appelé aussi transport par ruissellement en nappe, correspond aux particules qui se déplacent dans une zone proche du fond de manière désorganisée, lorsque les courants sont intenses et les sédiments relativement grossiers, le mouvement de ces particules constitue une couche sédimentaire qui se mobile horizontalement de l'ordre de quelques centimètres de hauteur, et à l'intérieur de cette couche, les particules sont supportées par des forces associées aux collisions entre eux.

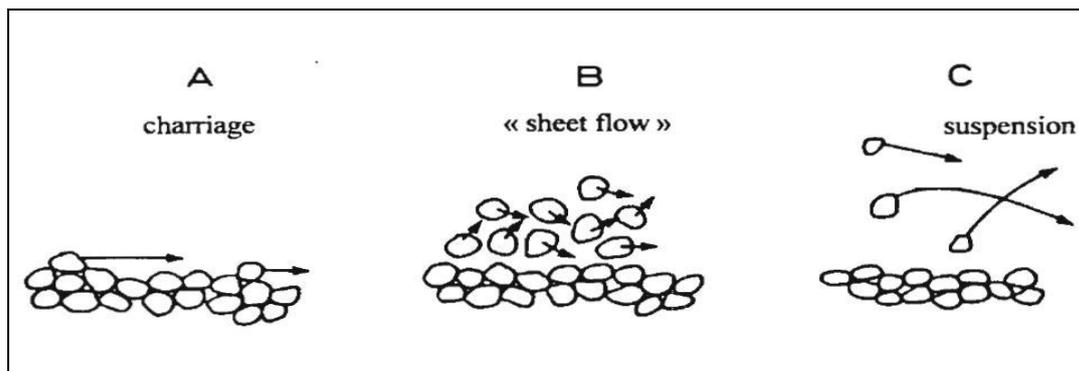


Figure I. 6 : Modes de transport sédimentaire, d'après Fredsoe (1993)

### I. 2. 3. Transport littoral

Le littoral est un milieu relie la terre avec la mer, et toujours, il va en évolution (accrétion ou érosion), les processus hydro-sédimentaires dans ce milieu contribuent de manière significative au développement du trait de la côte à des échelles de temps et d'espace très variées. Le transport sédimentaire littoral (mouvement des sédiments marins) se fait sous les effets de la houle et du courant et sous forme éolienne (l'effet des vents), sous l'action des vagues et des courants, l'écoulement d'eau va transporter les sédiments du fond puis les redépose, et soumis à cette activité hydrodynamique, la plage va changer sa forme (figure I. 7). Le déplacement des sédiments est à travers les deux directions propres au littoral, la direction longitudinale et transversale (parallèle et perpendiculaire au trait de côte).

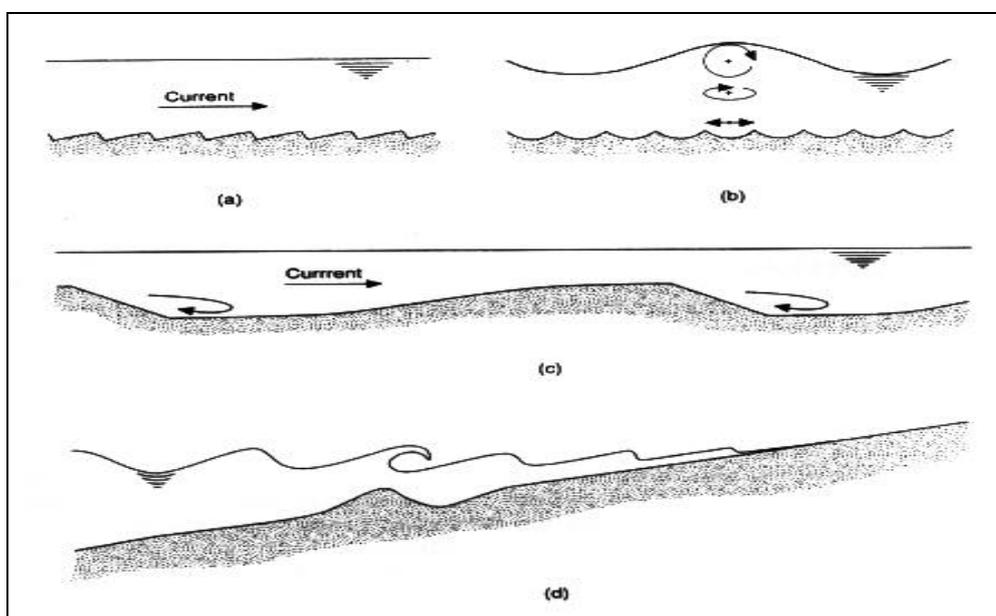


Figure I. 7 : Quelques types des formes sédimentaires selon Soulsby (1997) : a) ride de courant ; b) ride de vague ; c) onde de dune (sable) ; d) barre de déferlement

### I. 2. 3. 1. Transport des sédiments par la houle

La houle joue un rôle très important dans le processus de transport sédimentaire au niveau du littoral, son influence est selon l'obliquité et la direction de sa propagation par rapport au trait de côte, et le type de rivage. Les vitesses orbitales associées aux vagues peuvent intervenir dans le transport sédimentaire, par deux mécanismes (Castelle, 2004), la vitesse orbitale des vagues qui favorise la mise en suspension des sédiments, ensuite les courants peuvent transporter ces sédiments, et le deuxième mécanisme est les contraintes de cisaillement au fond, qu'elles sont plus importantes en présence des courants, et les sédiments se transportent vers le rivage par ces mouvements orbitaux.

En déferlant des vagues et même hors la zone de déferlement, la houle va propager vers la côte, et peut arracher des sédiments au fond et les ramènent en surface vers le haut de plage dans la direction de propagation de la houle, le mouvement de ces vagues est asymétrique (non linéaire) et sur les fonds ridés, le transport des sédiments est largement associé à la turbulence induite par les corps sédimentaires (Cayocca, 1996).

Le transport des sédiments par la houle est un facteur principal d'accrétion des plages pendant les épisodes de vagues peu énergétiques. Mais dans la zone de déferlement, les courants de retour induisent souvent un transport sédimentaire vers le large plus intense que celui induit par l'asymétrie des vagues (Castelle, 2004).

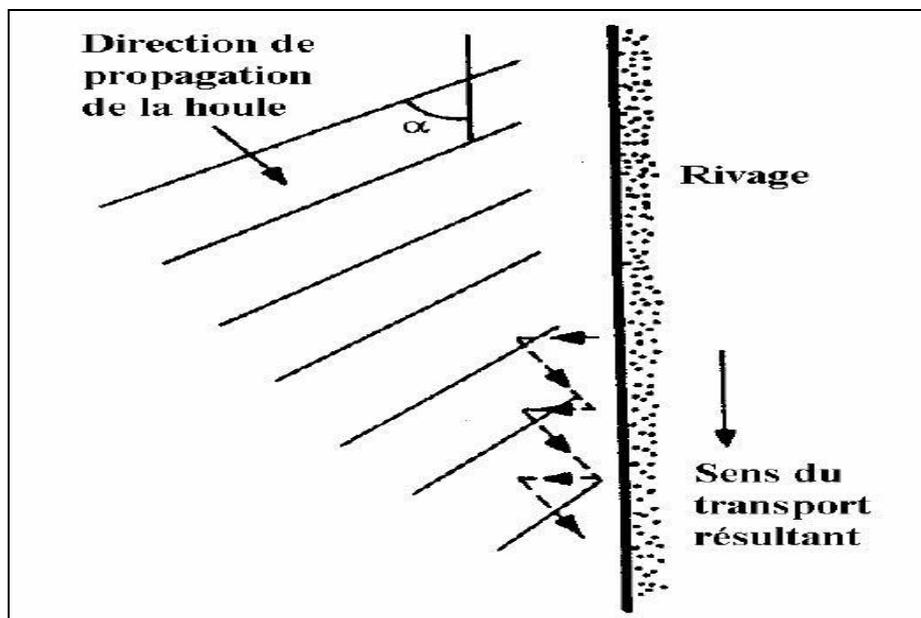


Figure I. 8 : Transport des sédiments vers le littoral par la houle (Bonnefile, 1992)

### I. 2. 3. 2. Transport des sédiments par les courants

Le transport des sédiments se fait par façon complexe, selon l'action de la mer et la direction de propagation par rapport au littoral, les courants induits par la houle contribuent au déplacement des particules et formation des barres (dunes) sédimentaires, dont la direction du transport soit longitudinale, ou bien transversale.

La dérive littorale est déplacement des volumes importants des sédiments d'un lieu à un autre au long du rivage (Castelle, 2004) dans le sens parallèle au littoral, elle résulte de l'action des courants de dérive.

Le transport transversal est un mouvement des sédiments dans la direction perpendiculaire à la côte, il est considéré comme une tendance a priori sur un plus court terme que le transport longitudinal (Bujan, 2009). Les courants de retour ne sont pas le seul facteur qui responsable sur ce type de transport (les vagues, les ondes infragravitaires et les vents peuvent transporter les sédiments dans le sens transversal), mais ces courants contribuent à manière significative au déplacement des particules de la côte vers le large, et peuvent exposer la plage à l'érosion et former des barres sédimentaires perpendiculaires au littoral.

Généralement, les courants sagittaux comme les courants de retour, ils peuvent transporter des quantités importantes des sédiments vers le large, et provoquent une instabilité dans le système sédimentaire, lors leur propagation, dont ils coupent les barres rectilignes de sables, ce système de courants contribue à des échanges sédimentaires importants entre la zone de déferlement et la plage sous-marine (Castelle, 2004). Dans les barres sédimentaires tridimensionnelles, le courant sagittal peut jouer un rôle de courant de dérive (Bujan, 2009), les particules se déplacent longitudinalement au littoral (en sens parallèle au trait de côte).

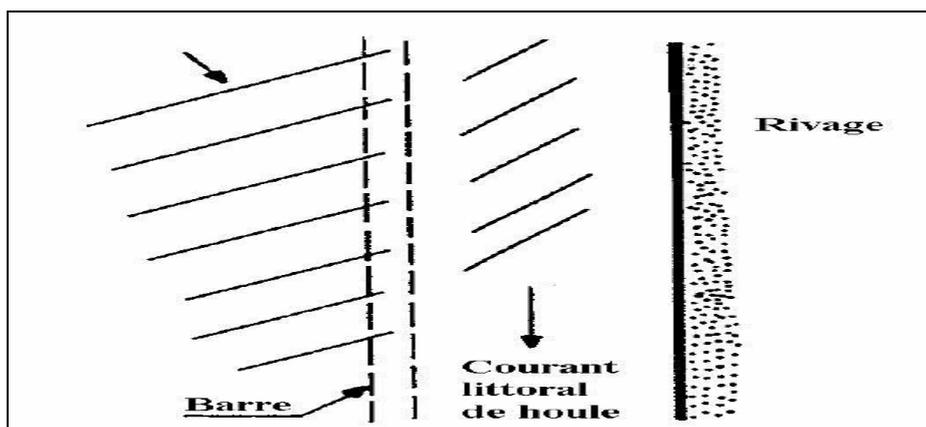


Figure I. 9 : Transport des sédiments par les courants (Bonnet, 1992)

### I. 2. 4. Morphologie des plages

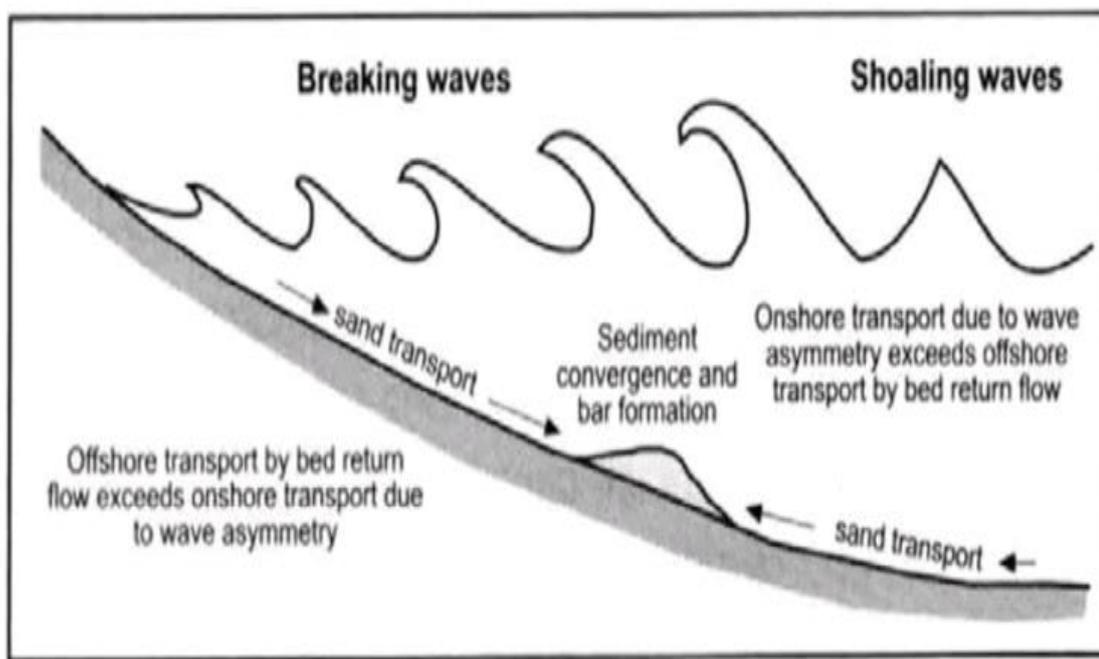
Comme nous avons remarqué, le système sédimentaire côtier n'est pas stable, les actions des vagues et des courants jouent un rôle principal et important dans la formation des barres (bancs) sableuses, on distingue deux types de barres : les barres rectilignes et les barres tridimensionnelles.

#### I. 2. 4. 1. Formation des barres rectilignes

Au point de déferlement des vagues, des barres sableuses sous-marines se forment parallèlement au littoral (barres rectilignes) à cause de convergence des flux sédimentaires (Dally et Dean, 1984 *in* Castelle, 2004), sous l'effet de l'asymétrie des vagues qui propagent vers le rivage, et l'effet du courant de retour au sens contraire, de la côte vers le large (figure I. 10).

#### I. 2. 4. 2. Formation des barres tridimensionnelles

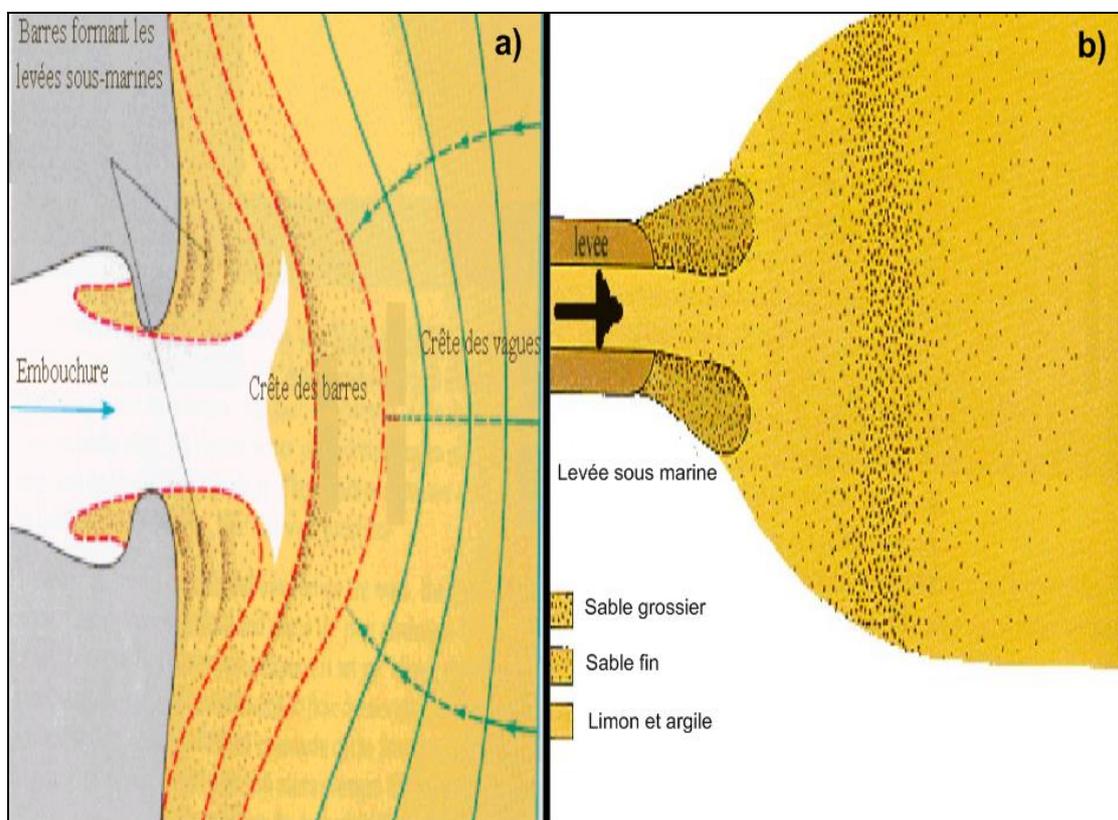
Les barres tridimensionnelles ou non rectilignes, sont des bancs de sable formés souvent au haut de plage (Castelle, 2004), comme nous avons cité, les courants sagittaux contribuent à couper les barres rectilignes par des chenaux de vidange, ces chenaux ne sont pas en parallèle au trait de la côte, la perturbation des sédiments rend les barres structurées prendre des formes variées.



**Figure I. 10 :** Formation d'une barre sableuse rectiligne au point de déferlement, d'après (Masselink et Hughes, 1993)

### I. 2. 5. Dynamique Hydro-sédimentaire dans un estuaire

Plusieurs définitions ont été élaborées pour déterminer les zones estuariennes, Pritchard (1967) a défini l'estuaire comme « zone où l'eau de mer est mesurablement diluée à l'eau douce issue du drainage des sols ». On peut dire que l'estuaire est une zone d'intersection la mer avec un fleuve (ou un Oued), dont les dépôts des particules transportées par les eaux fluviales et marines façonnent la morpho-structure des paysages estuariens (Adopo et *al*, 2008). Mais le mot embouchure n'est pas exactement l'estuaire, la différence entre les deux est l'importance de l'influence de la marée (Maillet, 2005), si la marée est prépondérante, on peut parler d'estuaire, mais lorsque les vagues ou le fleuve dominant, l'exutoire est une embouchure (Elliot et McLusky, 2002). Il y a plusieurs classifications des embouchures, on peut distinguer deux types selon les paramètres hydrodynamiques : embouchures dominées par les apports fluviaux et embouchures dominées par les vagues.



**Figure I. 11** : Deux types d'embouchure, d'après Wright (1977) : a) embouchure dominée par les vagues b) embouchure dominée par les apports fluviaux.

La connaissance de la dynamique sédimentaire dans les estuaires permet d'appréhender les processus d'envasement et de colmatage dont ces milieux sont le siège. Elle contribue aussi à la compréhension des caractères physicochimiques et biologiques de ces environnements complexes qui représentent des zones de transit, de transfert et de stockage (Avoine et *al*, 1986).

Au niveau de l'estuaire et l'embouchure, on peut remarquer deux catégories des mouvements de masses d'eau (Le Hir et *al*, 2001):

- La dynamique des vagues : les mouvements des vagues sont oscillants (perturbation) avec une courte période de quelques secondes.
- La dynamique des courants : les mouvements des courants sont ensemble de l'eau sur des distances de plusieurs dizaines de mètres et bien au-delà, ces mouvements ont des échelles de temps assez grandes, de quelques heures ou plus.

A l'approche de l'embouchure d'un chenal, les vagues et les courants peuvent transporter les sédiments des plages vers l'embouchure, et les courants de jusant jouent le rôle contraire par mobiliser les sédiments vers le large.

Le by-pass au niveau des embouchures est le processus par lequel les sédiments sont transférés de la côte amont vers la côte aval de l'embouchure par rapport au courant de dérive. C'est un phénomène essentiel qui détermine la stabilité de l'embouchure (Dubranna, 2007), les embouchures peuvent être stables selon leur position, et leur géométrie, ou les deux (Balouin, 2001).

Le transport sédimentaire dans les zones estuariennes est très complexe, plusieurs auteurs qui expliquent le mécanisme naturel de by-pass des sédiments au niveau des embouchures, dont le transfert des sédiments se fait selon deux modes (Dubranna, 2007) :

- Par l'intermédiaire des barres sableuses qui forment le delta de jusant (la masse sableuse qui s'accumule côté mer) et migrent vers la côte aval.
- Sous l'effet des courants de marée, auquel cas le sédiment pénètre dans le chenal lors du flot (accumulation des sables dans le côté interne de l'embouchure) ou sous l'effet de la dérive littorale, puis est transporté vers le large par les courants de jusant.

## CONCLUSION

La présente synthèse bibliographique porte sur l'hydrodynamique côtière, et le transport sédimentaire littoral, ainsi sur les embouchures des fleuves et la zone estuarienne.

Nous avons pu mettre en évidence l'importance d'étudier le comportement et les processus physiques de propagation de la vague : la réfraction, le déferlement, la réflexion, la diffraction,...etc, ainsi les courants induits par la houle (courant de retour, courant sagittal et courant de dérive) et le mouvement de la marée, qu'ils contribuent au déplacement des particules (transversalement ou longitudinalement par rapport à la côte), et forment les barres sableuses au long de rivages, et au niveau des embouchures.

La morphodynamique sédimentaire en milieu littoral et au niveau de la zone estuarienne résulte des couplages complexes et des rétroactions qui existent entre le mouvement de l'eau induit par le courant et les vagues, et le mouvement des sédiments.

## **CHAPITRE II**

# **ETAT DES LIEUX DU DOMAINE CÔTIER DE L'ALGEROIS**

## **INTRODUCTION**

La zone côtière algéroise est une région de plus en plus affectée par une pression démographique, une pollution inquiétante et une perturbation écologique.

Ce chapitre présente un contexte intégral sur la baie d'Alger (caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, hydro climatologiques, sédimentologiques,...), on a fait, aussi, un aperçu général sur la pollution marine et ses sources (urbaines, industrielles,...), et les différents types de la pollution (métaux lourds, les hydrocarbures, les matières organiques,...), pour une connaissance claire sur l'état actuel et les causes de la vulnérabilité de la zone d'étude.

## **II. 1. SITUATION ADMINISTRATIVE ET GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE**

La ville d'Alger étant la capitale du pays, centre de l'ensemble des activités et siège des institutions politiques (ministères, ambassades, administrations), La wilaya d'Alger s'étend sur une superficie de 809,22 km<sup>2</sup> et compte 13 circonscriptions administratives qui regroupent 57 communes dont 22 occupent la partie littorale de la wilaya, elle est limitée par la mer Méditerranée au Nord, par la wilaya de Blida au Sud, par la wilaya de Tipaza à l'Ouest et par la wilaya de Boumerdès à l'Est.



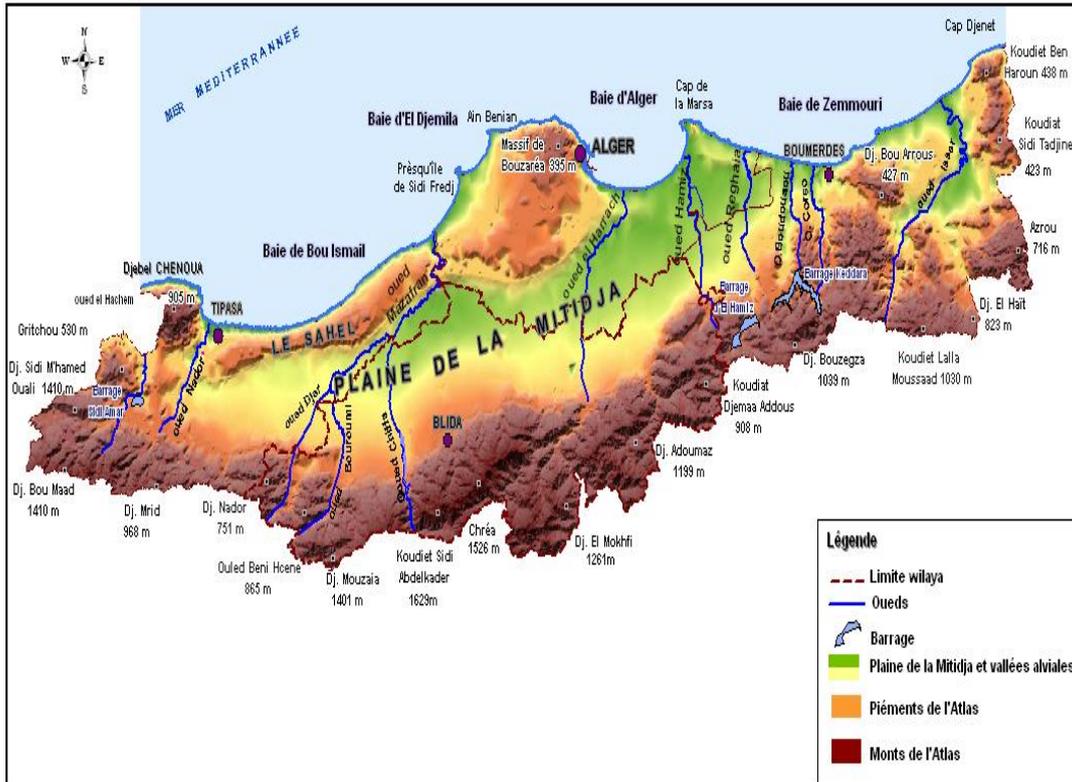


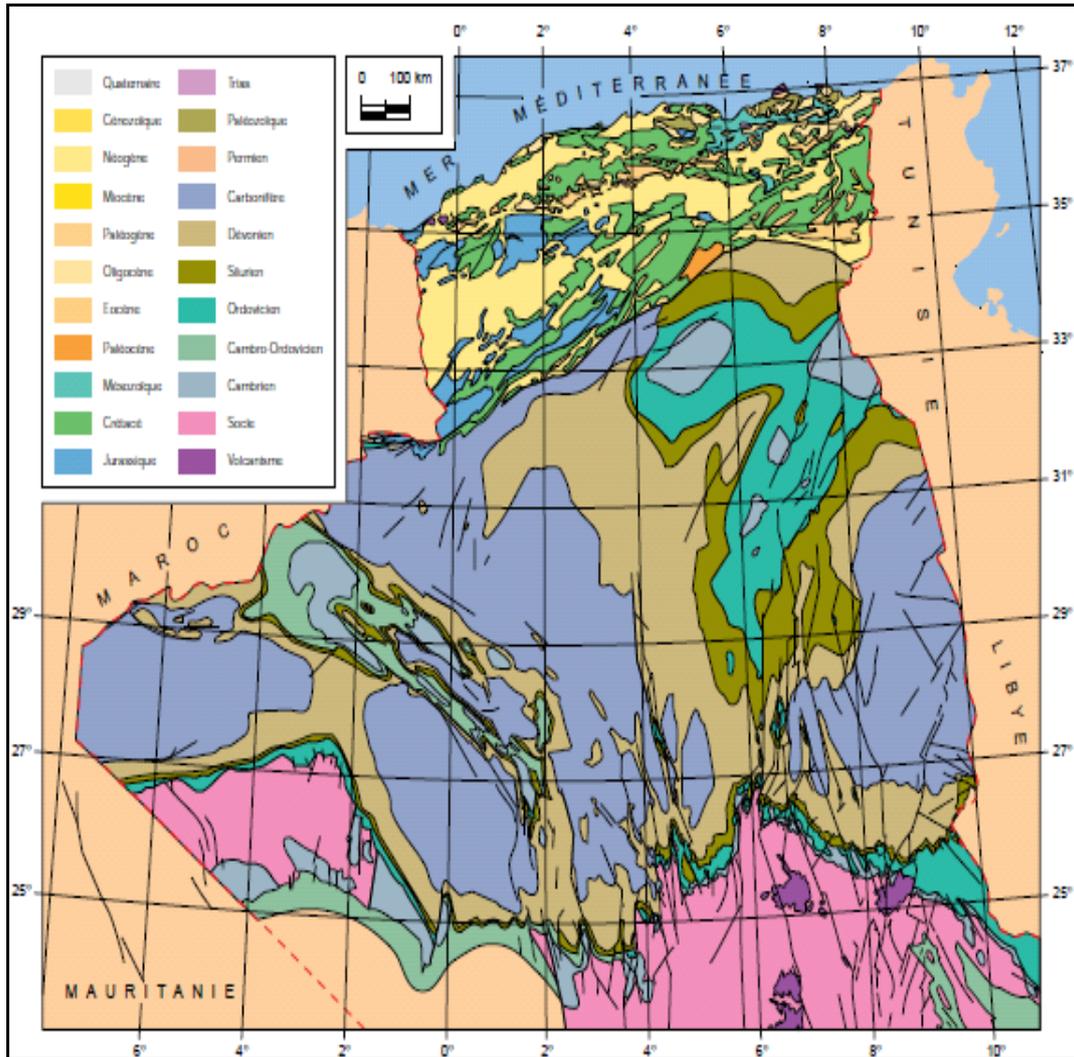
Figure II. 2 : Description géographique de la zone côtière algéroise (PAC Algérie)

## II. 2. CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

### II. 2. 1. Géologie de l'Algérie

L'Algérie comprend quatre grands domaines du nord au sud:

- l'Atlas tellien (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales
- les Hauts Plateaux;
- l'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.
- le Sahara est un désert formé de grandes étendues de dunes, de plaines caillouteuses et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains. Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement, la limite méridionale du Sahara algérien.



**Figure II. 3 :** La carte géologique de l'Algérie (d'après carte géologique internationale de l'Afrique (feuille n°2), CGMW/UNESCO 1990 pour le Nord de l'Algérie et document SONATRACH)

## II. 2. 2. Contexte Géologique de la baie d'Alger

La baie d'Alger constitue l'extrémité orientale de la plaine de la Mitidja qui est une zone de subsidence continue, cette dernière a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas blidéen.

Du point de vue de la géologie et la morphologie régionale, la région d'Alger est subdivisée en quatre ensembles bien définis:

- Le massif d'Alger (massif de la Bouzaréah) : il forme le point le plus haut de la région à 407 m d'altitude. Il est bordé au Nord et à l'Est par la mer méditerranée, à l'Ouest par les dépôts néogènes discordants et au sud par le bassin de la Mitidja.

- Le Sahel d'Alger: Allongé d'Est en Ouest, il englobe les reliefs qui s'étendent entre le massif d'Alger, la rive gauche de l'Oued El Harrach et la rive droite de l'Oued Mazafran. On y distingue: un ensemble essentiellement calcaire-gréseux à lumachelles; un faciès marin à marnes bleues (sahel marneux); et des dépôts continentaux argilo-caillouteux rouges à bruns (le piémont sud du Sahel).
- La plaine littorale d'El-Hamma: Il s'agit d'une petite plaine alluviale côtière, limitée au sud par la corniche mollassique, à l'Est par le massif d'Alger et à l'Ouest par Oued El Harrach. Cette plaine a une altitude variant de 2 à 15 m.
- La plaine de la Mitidja: Pour Glangeaud (1932), la Mitidja est un vaste synclinorium bordé au Nord et au Sud par des flexures. C'est une plaine synclinale à remplissage Mio-Plio-Quaternaire orienté suivant un axe Est-Nord-est / Ouest-Sud-ouest. Elle est limitée au Nord par l'anticlinal sahélien et à l'Est par le massif cristallophyllien de la Bouzaréah.

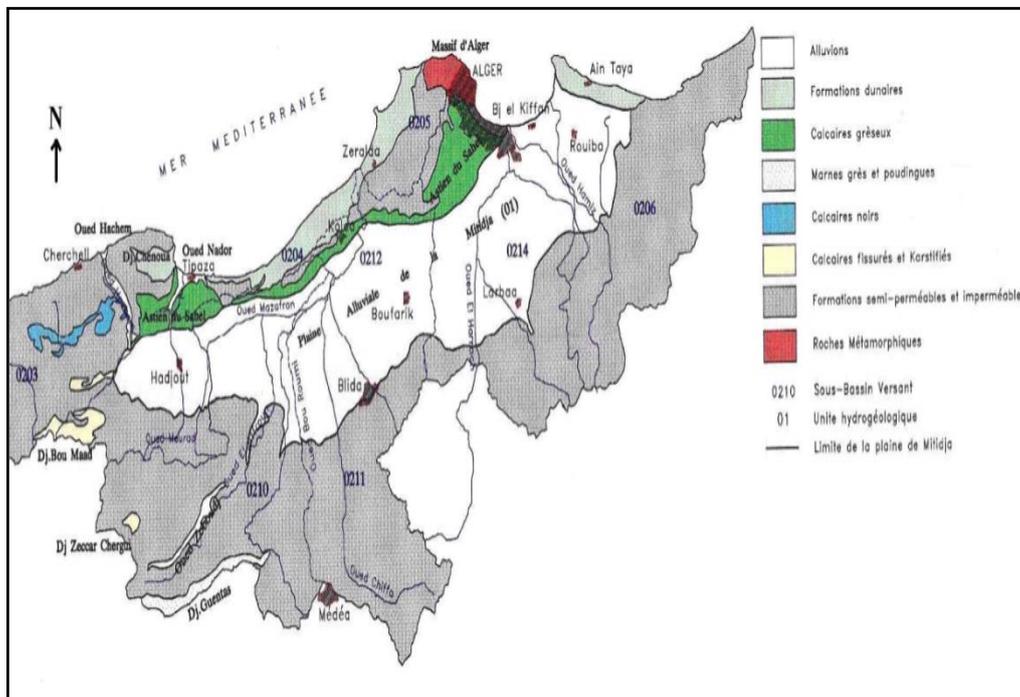


Figure II. 4 : Carte géologique de la Mitidja (Bennie et Partners, 1983)

Un cordon littoral se développe entre oued El Harrach et Bordj El Kiffan où il sépare la rive maritime des zones basses septentrionales de la Mitidja formant une barrière sablo gréseuse parallèle au rivage (LEM, 1999).

La zone d'étude est constituée de dépôts marins de quartz, galets, dunes consolidées et de grès marins à lumachelles, ces terrains correspondent aux dépôts du Pléistocène ... les dépôts actuels se résument en :

- ❖ Sable plus ou moins argileux ;
- ❖ Alluvions récentes ;
- ❖ Plages actuelles ;
- ❖ Les formations dunaires occupent une position intermédiaire entre la côte et les terrains tyrrhéniens.

### **II. 3. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES**

Des nombreuses études ont fait pour objet connaissance l'hydrogéologie de la Mitidja et la zone côtière algéroise : Géohydraulique 1968-1972, Bennie and Partners 1979-1983, Sir MacDonald and Partners 1992 et Toubal 1998),

Du point de vue hydrogéologique, la baie d'Alger renferme deux principaux réservoirs aquifères à savoir :

#### **a) Aquifère de l'Astien**

Il se trouve sous la majeure partie du bassin alluvial et affleure au niveau du sahel et de l'atlas blidéen. Les marnes jaunes semi-perméables d'El Harrach constituent le toit de cet aquifère, sauf dans la partie Est où il est en contact direct avec l'aquifère de la Mitidja, et Les marnes bleues du Plaisancien constituent le substratum. La nappe est généralement captée entre 250 à 300m de profondeur au-dessous de la surface de la plaine.

Les estimations de la transmissivité indiquées par la société Géohydraulique (1968-1972), et le bureau d'étude Bennie et Partners (1979-1980) varient de 90 à 2000m<sup>2</sup>/jour. Le coefficient d'emmagasinement, estimé à partir des essais de pompage de courte durée (Bennie et Partners 1979-1980) est compris entre  $5.10^{-6}$  et  $5.10^{-3}$ . L'aquifère de l'astien s'alimente par infiltration efficace des précipitations (dans les zones où la nappe est libre), et par infiltration des eaux des nappes alluviales sus-jacentes, par drainage à travers la formation d'El Harrach (présence de passés de sable et de graviers).

**b) Aquifère quaternaire**

Cet aquifère est séparée de l'aquifère Astien par une couche épaisse de marnes jaunes, sauf à l'Est du Hamiz « poche de Rouiba » où ils sont en contact direct.

La formation de l'aquifère quaternaire est composée principalement de graviers et de galets alternant avec des limons et des argiles, couvrant toute l'étendue de la plaine.

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est d'environ 100 à 150 m sur une grande partie de la plaine de la Mitidja, elle diminue en direction de l'Atlas et atteint 40 m au niveau de la baie d'Alger.

Le réservoir alluvial du Quaternaire est alimenté essentiellement par l'infiltration des précipitations à partir des Oueds (El Harrach et Hamiz), et Les écoulements souterrains de l'Astien vers la nappe alluviale à travers la formation d'El Harrach (phénomène de drainage).

• **Ressources en eau et la surexploitation des aquifères**

Les ressources souterraines contribuent aux besoins de l'alimentation en eau potable, de l'industrie et l'irrigation, les forages alimentent directement ou par adduction la wilaya d'Alger.

La prolifération des forages et de la sécheresse persistante de ces deux dernières décennies ont entraîné des rabattements importants dans certaines régions qui ont pour conséquence la diminution des débits dans les forages.

**Tableau II. 1 :** Tableau récapitulatif des points d'eau et des débits extraits réalisés en 1997, complété en 2001-2002 dans la plaine de la Mitidja.

Usages	Nombre d'ouvrages inventoriés		Débits (m <sup>3</sup> /an)	
	Forages	Puits	Forages	Puits
<b>AEP</b>	578	10	1,45 10 <sup>8</sup>	2,55 10 <sup>4</sup>
<b>Irrigation</b>	3172	157	1,24 10 <sup>8</sup>	2,62 10 <sup>6</sup>
<b>Industrie</b>	162	5	8,73 10 <sup>5</sup>	1,79 10 <sup>4</sup>
<b>Non utilisé</b>	281	/	/	/
<b>Total par type d'ouvrage</b>	4193	172	2,70 10 <sup>8</sup>	2,66 10 <sup>6</sup>
<b>total</b>	4365		2,73 10 <sup>8</sup>	

Source :(ANRH)



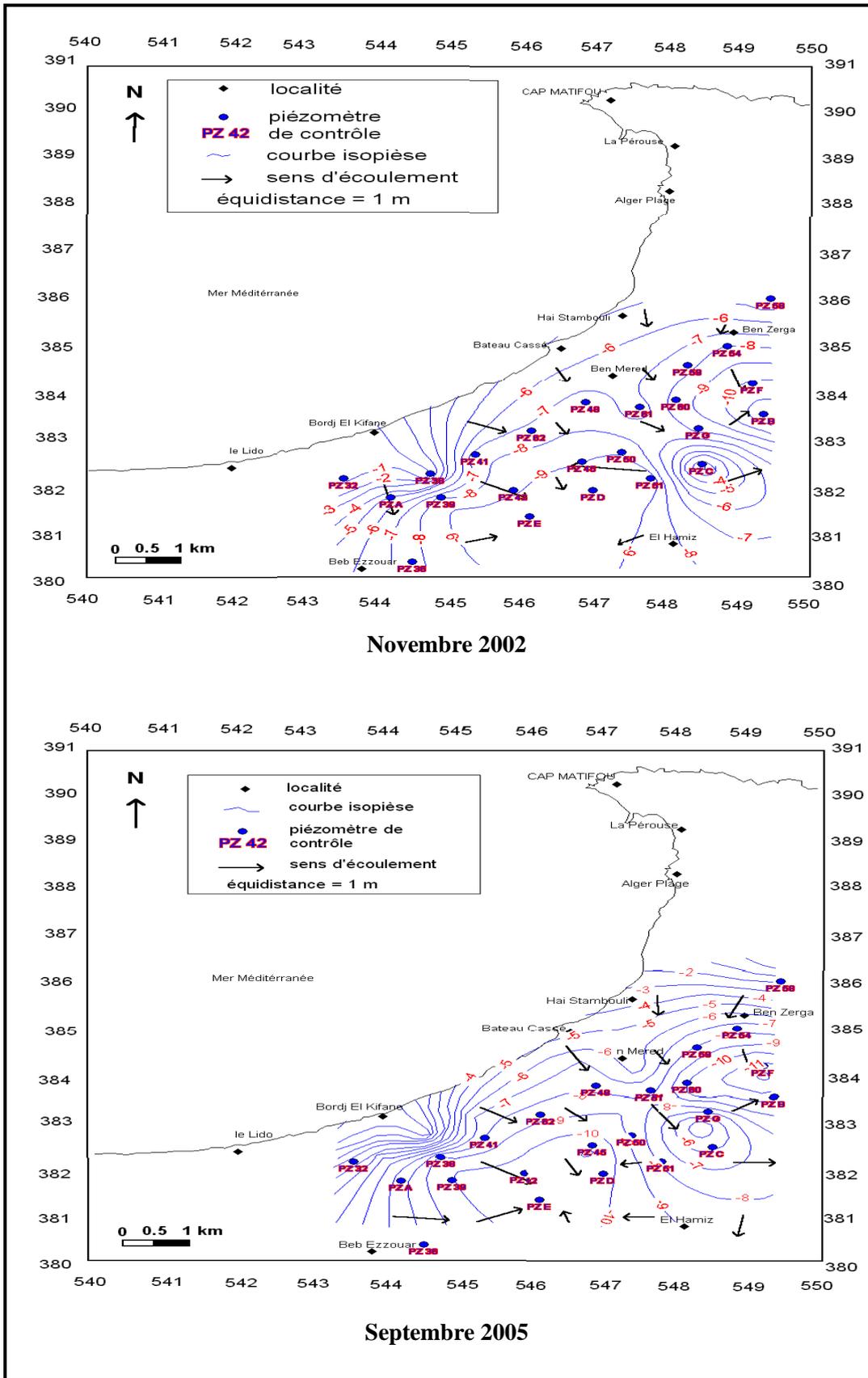


Figure II. 6 : Carte piézométrique de la baie d'Alger en 2002 et 2005 (Djoudar-Hallal et Toubal, 2008)

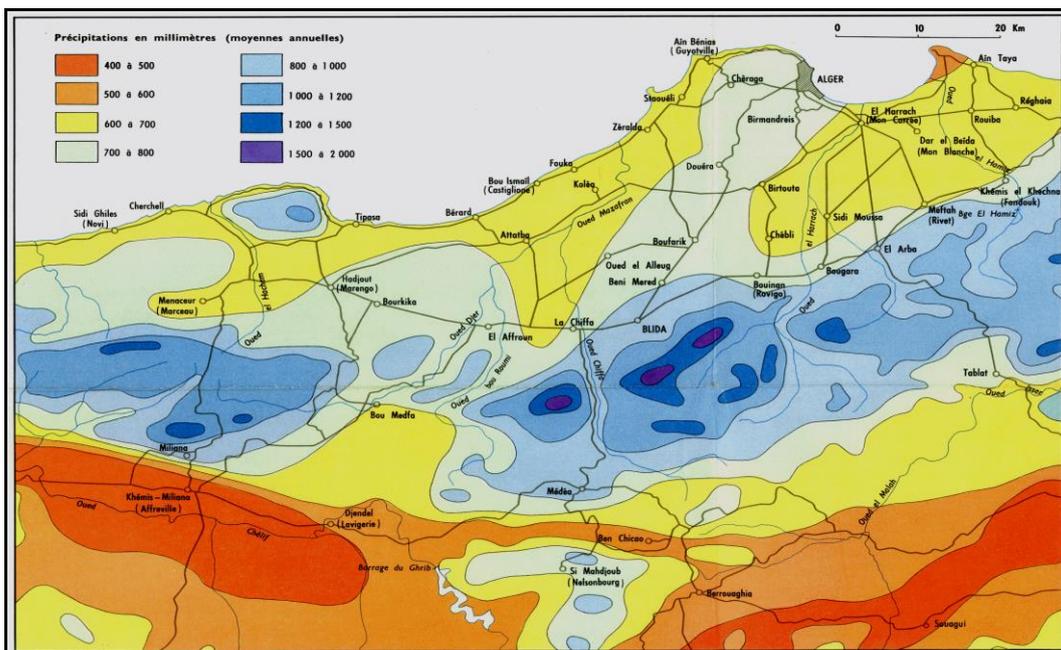
## II. 4. CARACTERISTIQUES HYDRO-CLIMATOLOGIQUES

### II. 4. 1. Facteurs climatiques

La connaissance des conditions météorologiques et hydrologique est très importante pour une bonne compréhension des régimes hydrodynamique régnant dans notre secteur d'étude.

#### a) Précipitations :

Les précipitations dans la zone côtière algéroise se caractérisent par leur grande variation spatiale, dont elles augmentent d'Ouest à l'Est et diminuent à mesure qu'on s'éloigne du littoral, du Nord au sud, et la hauteur des pluies augmente avec l'altitude et l'exposition des versants aux vents humides (Figure II.7).



**Figure II. 7 :** Carte pluviométrique de la zone côtière algéroise en 1971 (1/500 000) (ANRH)

#### • Équipements de la zone d'étude :

On recense à l'intérieur de la zone d'étude 3 postes pluviométriques répartis à des altitudes de 20 m jusqu'à 140 m (tableau II.2), qui présentent des séries complètes comblées par les régressions linéaires allant de 1984 à 2009.

L'étude des précipitations s'appuie sur les observations de la station pluviométrique de « Bir Mourad Raïs », la station de « Baraki » et la station de « Ouled Ali », ces observations sont fournies par le service climatologique de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

**Tableau II. 2 :** Caractéristiques des stations pluviométriques

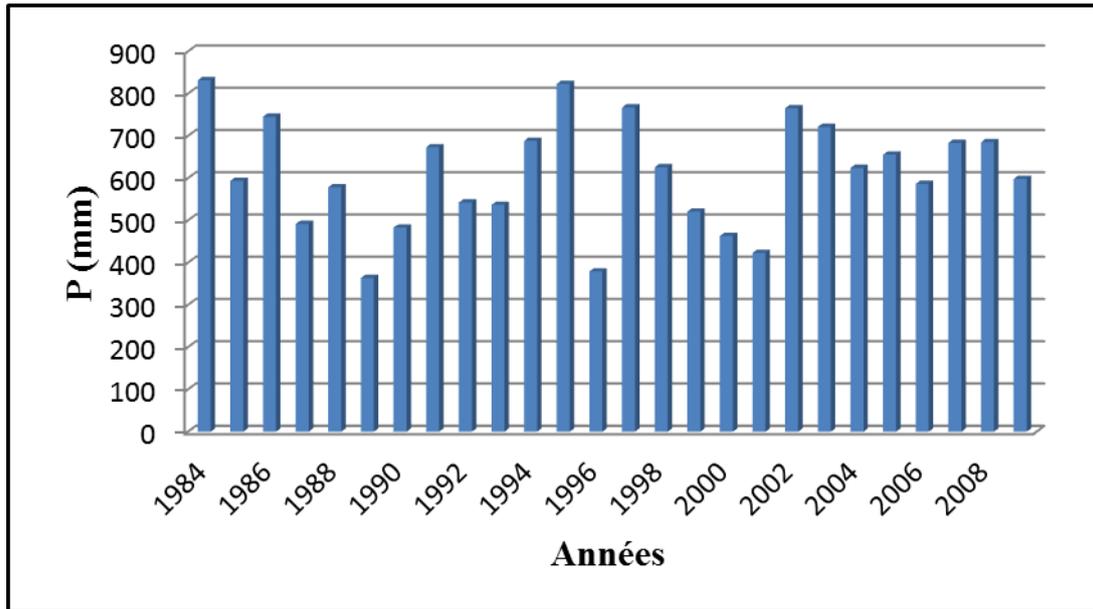
station	Code	Coordonnées (m)		
		X	Y	Z
Bir Mourad Rais	020509	531,100	382,800	140
Baraki	021421	535,050	376,500	20
Ouled Ali	020627	553,000	371,650	67

- **Précipitations moyennes interannuelles :**

Le tableau (II.3), regroupe les moyennes annuelles des hauteurs de pluies en (mm) de chaque station, on peut remarquer une variation de pluies annuelles d'une station à l'autre, les moyennes des précipitations annuelles varient de 364 à 832 mm.

**Tableau II. 3 :** Précipitations moyennes interannuelles (1984-2009) (ANRH)

Années	Bir Mourad Rais	Baraki	Ouled Ali
1984	937	755,1	803,2
1985	552,7	576,4	651,8
1986	816,3	740,6	679
1987	478,8	548,2	447,8
1988	641,7	541,7	552,2
1989	441,2	335,6	314,6
1990	567,5	415	465,9
1991	685,7	585,4	748,2
1992	617,1	533,3	476,5
1993	564,2	512,4	533,8
1994	712	707,3	645,9
1995	976,9	701,9	790,8
1996	421	396,2	320,7
1997	777,8	703,5	820,4
1998	693,8	581,3	601,6
1999	574,3	470,3	517,6
2000	545,8	430,7	412,9
2001	558,1	401,5	309,7
2002	811,9	639,7	845
2003	809	671,7	683,4
2004	742,6	610,6	519,8
2005	803,1	596,9	567
2006	660,1	558,1	540,9
2007	724,7	674,3	651,2
2008	829,5	619,8	605,8
2009	682,1	541,9	570,2
<b>Moyenne</b>	<b>677,9</b>	<b>571,1</b>	<b>579,8</b>



**Figure II. 8 :** Variations interannuelles des précipitations (1984-2009)

En analysant le graphique (Figure II.8), nous remarquons une irrégularité interannuelle des pluies, le maximum qui dépasse 700 mm est enregistré pendant les années 1984, 1986, 1995, 1997, 2002 et 2003, et le minimum est enregistré pendant les années 1989 et 1996 (inférieur à 400 mm).

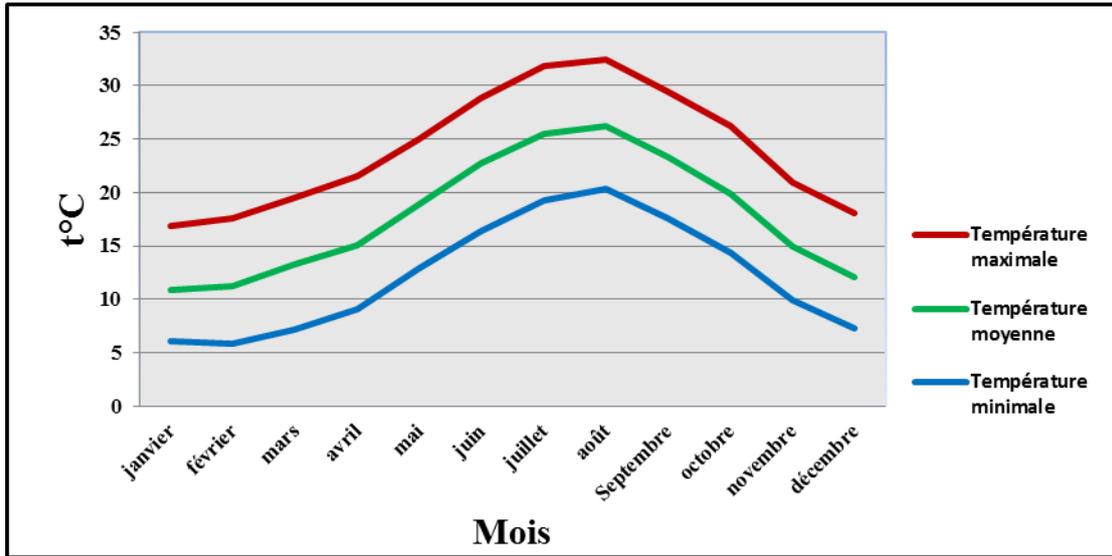
#### b) Température de l'air :

La température joue un rôle très important dans l'évaluation du bilan hydrologique et la connaissance des caractéristiques climatiques d'une région.

Dans notre zone d'étude, on a consisté à une série de 36 ans (Tableau II.4) recueilli au niveau de la station météorologique de Dar El Beida, située au Sud-est de Bordj El Kiffan à environ 6 Km et à une altitude de 24 m dont les coordonnées géographiques sont: latitude égale 36°43 N et longitude égale 03°15 E.

**Tableau II. 4 :** Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (1975-2010)

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Min</b>	16,9	17,6	19,5	21,6	25	28,8	31,8	32,5	29,4	26,2	21	18,1
<b>Max</b>	10,9	11,3	13,3	15,1	18,9	22,8	25,5	26,2	23,3	19,9	15	12,1
<b>Moy</b>	6,1	5,8	7,2	9,1	12,9	16,4	19,3	20,3	17,6	14,4	9,9	7,3



**Figure II. 9 :** Variation des températures mensuelles minimales, moyennes et maximales (1975-2010) Station (Dar El Beida)

Les températures sont relativement douces, il y a une baisse entre le mois de septembre et janvier et une augmentation régulière de février à août, la valeur moyenne annuelle est de 17,9 °C, et les moyennes mensuelles varient entre 10,9 °C en janvier et 26,2 °C en août.

**c) Humidité :**

Les valeurs d'humidité sont fournies par l'office Nationale de la Météorologie (O.N.M) au niveau de la station climatologique de Dar El Beida, qu'elle a permis d'établir le tableau suivant :

**Tableau II. 5 :** Valeurs moyennes de l'humidité selon la station de Dar El Beida (1975-2010)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Humidité relative (%)</b>	82	79	80	78	77	73	73	72	71	74	78	80

L'humidité moyenne annuelle est élevée, de l'ordre de 76 %, et évaluée régulièrement durant l'année, mais reste au-dessus de 71% pendant tous les mois.

**d) Vent :**

Les enregistrements des vitesses du vent dans la zone de la baie d'Alger ont pris toujours à la même station météorologique de Dar El Beida pour la période de 1975 à 2010 et dont les données sont indiquées dans le tableau suivant :

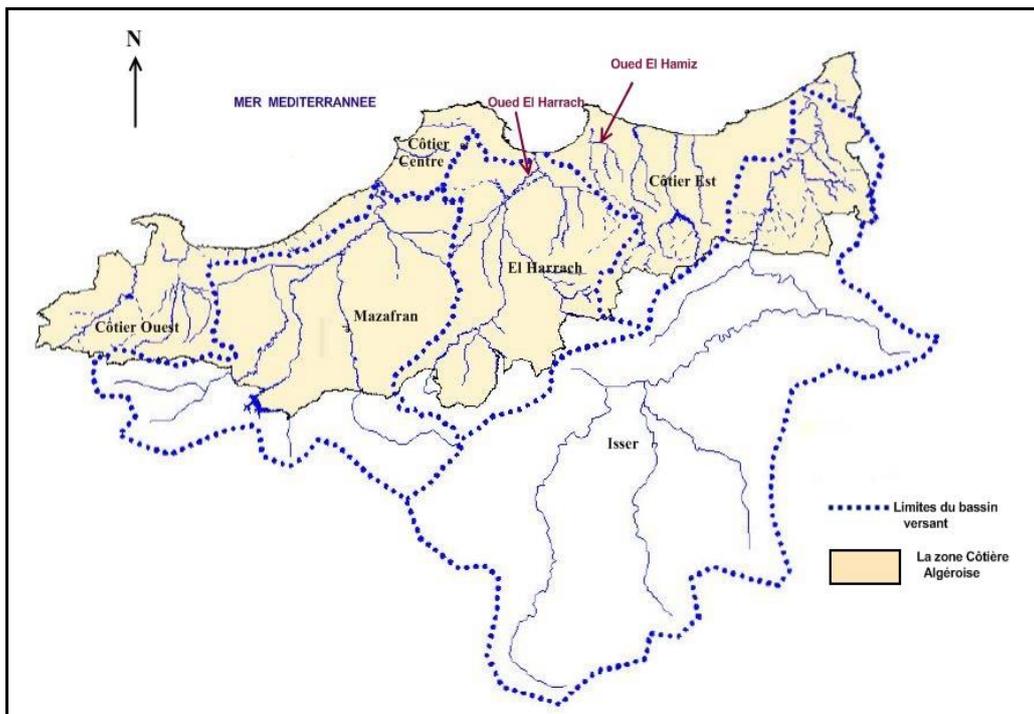
**Tableau II. 6 :** Vitesses moyennes mensuelles du vent dans la station de Dar El Beida (1975-2010)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Vmoy (m/s)</b>	2,3	2,4	2,4	2,8	2,7	2,9	2,8	2,6	2,5	2,1	2,4	2,5

**II. 4. 2. Réseaux hydrographiques**

La baie d'Alger est alimentée en apports par les oueds (oued el Harrach, oued el Hamiz), ces cours d'eau prennent leur source dans l'Atlas Blidéen et coulent dans la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer.

Les régimes hydrauliques de ces oueds se caractérisent par un long étiage et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps.



**Figure II. 10 :** Réseau hydrographique et limite des bassins versants (PAC Algerie)

Oued El Harrach et oued El Hamiz sont caractérisés par les surfaces et périmètres suivants:

**Tableau II. 7** : Caractéristiques de sous bassins versants de Oued El Harrach et Oued El Hamiz

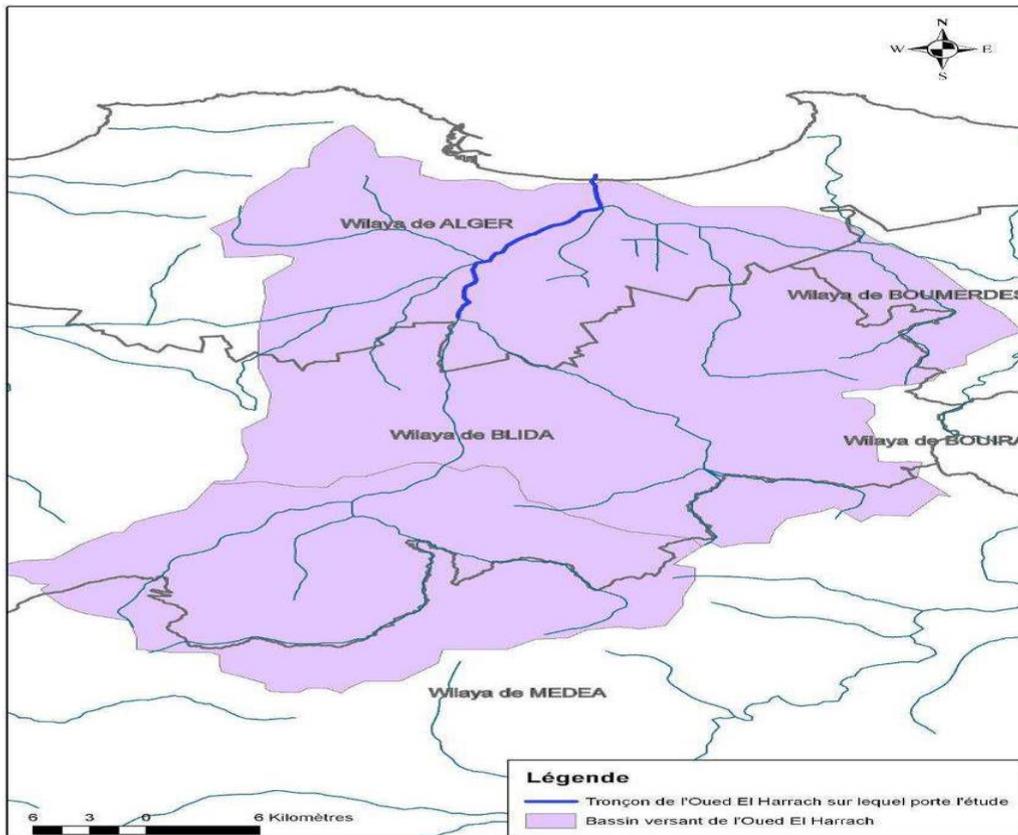
Sous bassins versants	Code	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètres (Km)
Oued El Harrach	02-14	1236,28	188,17
Oued El Hamiz	02-06	283,21	102,11

**a) Oued El Harrach**

Son bassin versant englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemaa, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest.

Il s'écoule du sud vers le nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer.

Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5,41m<sup>3</sup>/s, et la vitesse de ruissèlement des eaux dans les sous bassins versant est 1,84m/s.



**Figure II. 11** : Bassin versant de l'oued El Harrach (DRHEE, 2010)

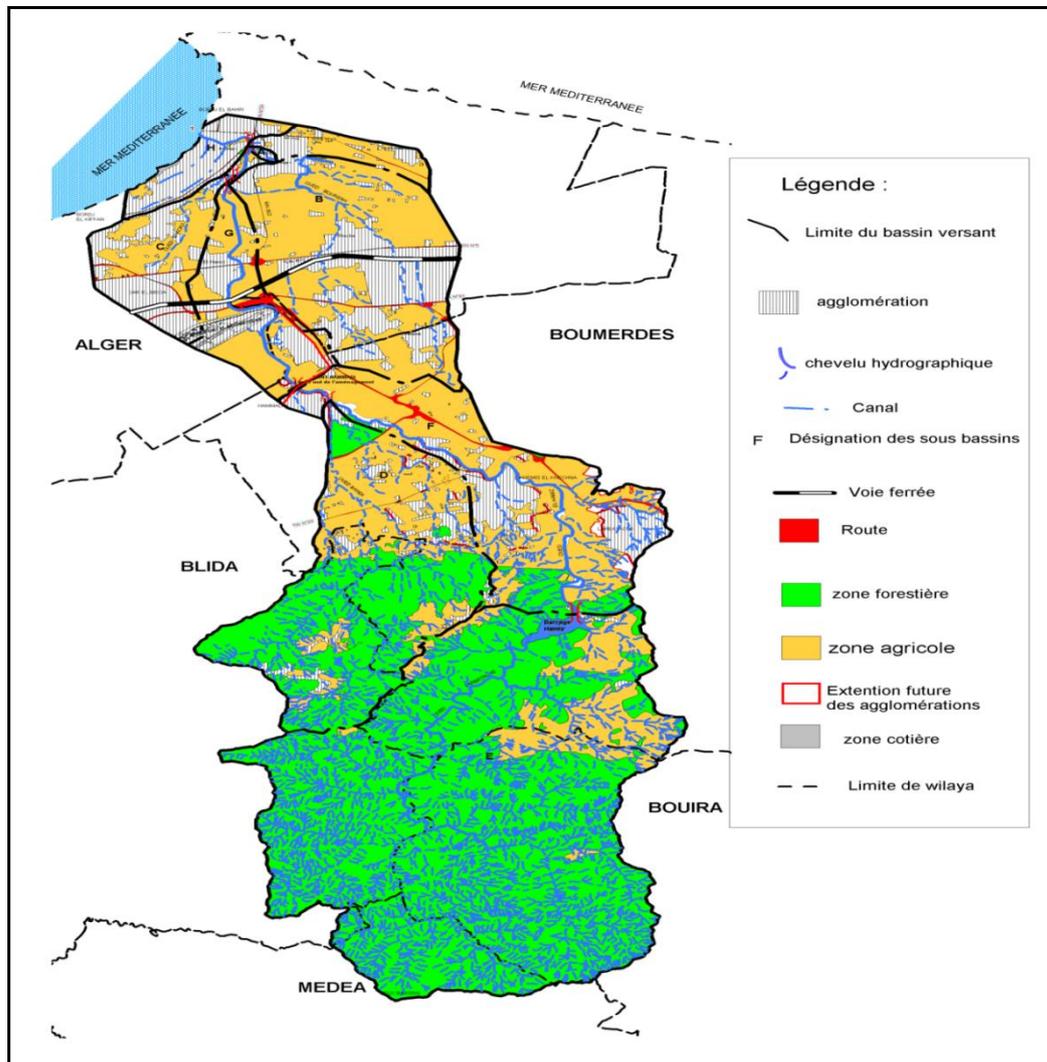
Oued El Harrach reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influe sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger, ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel.

**b) Oued El Hamiz**

Il prend source dans l'Atlas Blidéen avant de traverser la plaine de la Mitidja, la présence du barrage El-Hamiz en amont réduit considérablement les apports terrigènes venants vers la baie d'Alger.

Les principaux affluents sont oued Segia (oued Bouera), et oued Barek (dérivé artificiellement dans l'oued El Hamiz).

La vitesse de ruissèlement des eaux dans les sous bassins versant est 2,59m/s.



**Figure II. 12 :** Bassin versant de l'oued El Hamiz (DRHEE, 2011)

## II. 4. 3. Facteurs hydrodynamiques

### II. 4. 3. 1. Régime de la houle

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle.

Dans le cas général de houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40 m à -60 m"(Houma-Bachari, 2009).

Selon des nombreuses études : Benzohra, 1993; Belkessa et *al.*, 2008; LEM,1998, les houles dans la baie d'Alger sont de direction W-NW (300°) en hiver, et elles sont de direction N-NE (20°-40) en été.

### II. 4. 3. 2. Régime des courants

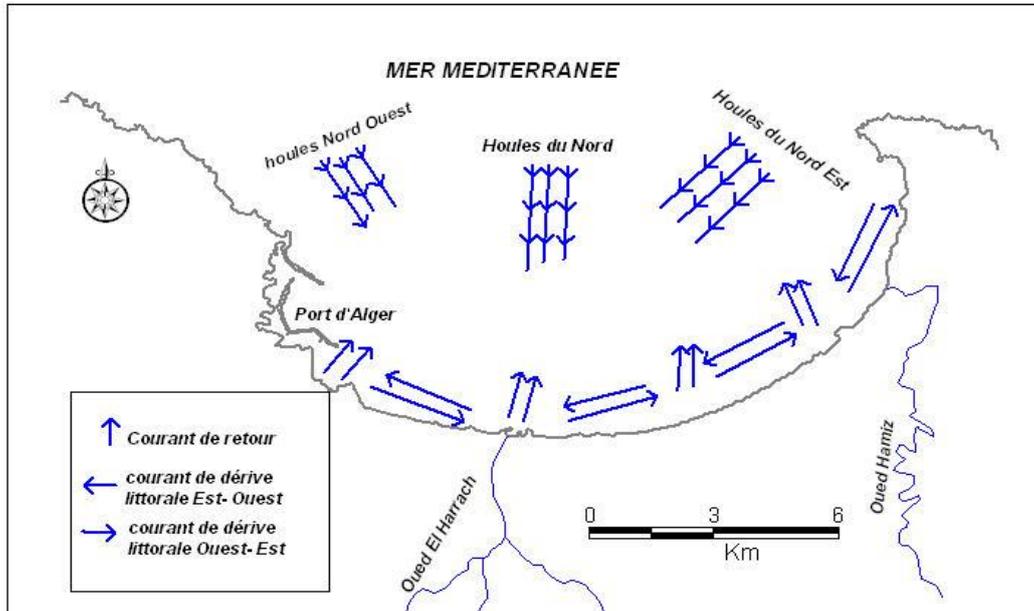
L'évaporation dans la mer Méditerranée est plus grande par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, elle est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an, ce déficit est compensé par un flux d'eau atlantique (31600 Km<sup>3</sup>/an) entrant vers l'Est par le détroit de Gibraltar, avec une vitesse généralement de l'ordre de 0,5 à 1 m/s, au large des côtes algériennes. Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre courant littoral vers l'ouest (LEM, 1998; Benzohra, 1993)

Dans la baie d'Alger, on note l'existence de deux types de courants :

**a) Courant de retour :** qui correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ils sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

**b) Courants de dérive littorale :** La houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (Millot, 1987). Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

Dans la baie d'Alger, la dérive générale engendrée par le courant atlantique (contre courant atlantique) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h. A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM, 1998).



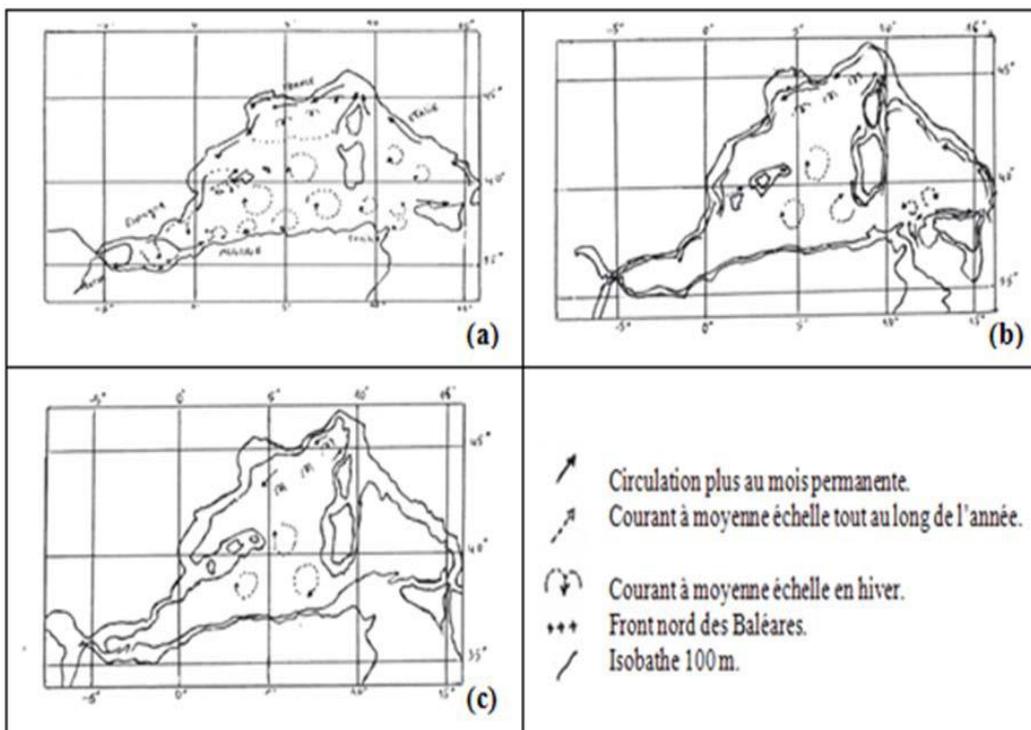
**Figure II. 13 :** Bilan des courants dans la baie d'Alger. (LEM, 1998)

Comme le bassin algérien, la baie d'Alger a la même circulation, selon Chouikhi et al, (1993) les masses d'eau sont décrites comme suit :

- **MAW** (Modified Atlantic Water), ou l'Eau Atlantique Modifiée : elle constitue l'essentiel du courant algérien, qui est défini comme une veine de 30 à 40Km de largeur et de 150 à 200m d'épaisseur, c'est de l'eau océanique qui est modifiée par interaction avec l'atmosphère et le mélange avec les eaux méditerranéennes, elle est caractérisée par des températures variables en surface (15 à 23°C), et des salinités variant de 36,5 à 38 Unité Pratique de Salinité (PSU) (*Practical Salinity Unit*). Ce courant circule d'ouest en est ayant des vitesses maximales de l'ordre 80-100 cm/s (Perkins et al, 1990; Millot et Taupier, 2005).
- **WIW** (Winter Intermediate Water), ou l'Eau Hivernale Intermédiaire : elle forme dans le bassin nord occidental (mer catalane, golfe du Lion), lors de

convections hivernales, elle se situe entre 150 et 250 m, avec un minimum relatif de température (12,65 à 13,20°C) et une salinité d'environ 38,3 PSU.

- **LIW** (Levantine Intermediate Water), ou l'eau Intermédiaire Levantine : formée en Méditerranée, elle se situe sous la WIW entre 250-300 m et 500-600 m est reconnaissable par des maxima relatifs de température potentielle (13,2 à 14° C).
- **DW** (Winter Mediterranean Deep Water), ou l'Eau Méditerranéenne Profonde : elle se situe sous la LIW, elle est identifiable vers 600-700 m par de faible température variant de (12,75à 12,90° C) et une salinité entre 38,42 et 38,47 PSU. Elle se forme au cours d'hivers rigoureux par le mélange de LIW et MAW.
- **BW** (Bottom Water), ou Eau de Fond : ayant une épaisseur de quelques centaines de mètres. Episodiquement, elle se situe près du fond, et relativement plus chaude et plus salée que l'eau profonde.



(a): Circulation de l'Eau Atlantique Modifiée (MAW), (b): Circulation de l'Eau Levantine Intermédiaire (LIW), (c): Circulation de l'Eau Profonde (DW).

**Figure II. 14 :** Circulation de l'eau dans le bassin algérien (Millot, 1989)

## II. 5. BATHYMETRIE ET SEDIMENTOLOGIE

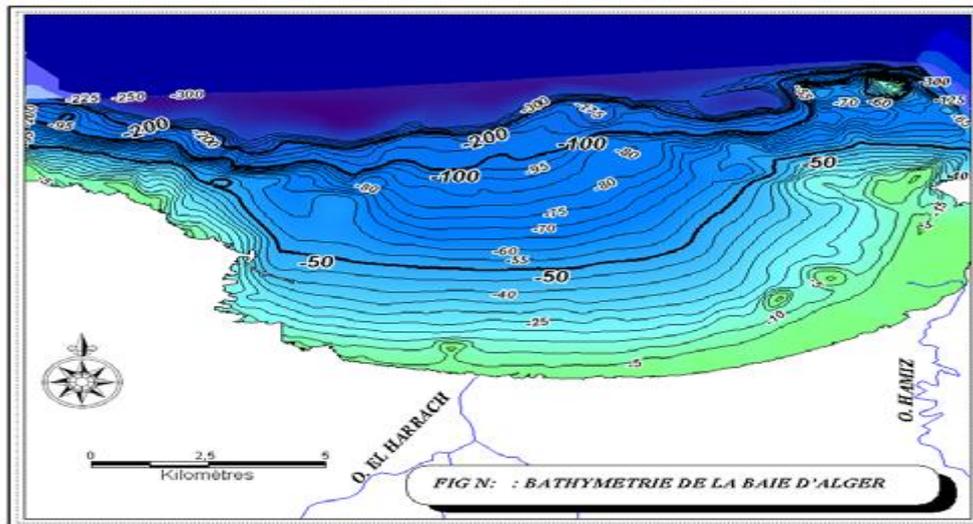
La connaissance de la bathymétrie et l'étude sédimentologique sont pour le but de déterminer les facteurs de contrôle de la distribution et le transport des sédiments surtout au niveau des embouchures des oueds, l'ensablement de l'embouchure est provoqué par l'action de la houle et des courants marins et progresse dans le temps mais peut s'accroître fortement en cas de houle de grande amplitude. Au l'inverse, un dégagement du chenal ensablé est provoqué par les crues de l'Oued.

A l'embouchure, la section critique du chenal est plutôt étroite et profonde. Lors d'une crue de l'oued, les vitesses importantes chassent les sédiments à l'embouchure et ce chenal est agrandi, lorsque les débits de l'oued sont beaucoup plus faibles, les courants marins et la houle vont remplir le chenal jusqu'à ce qu'il reprenne son état d'origine.

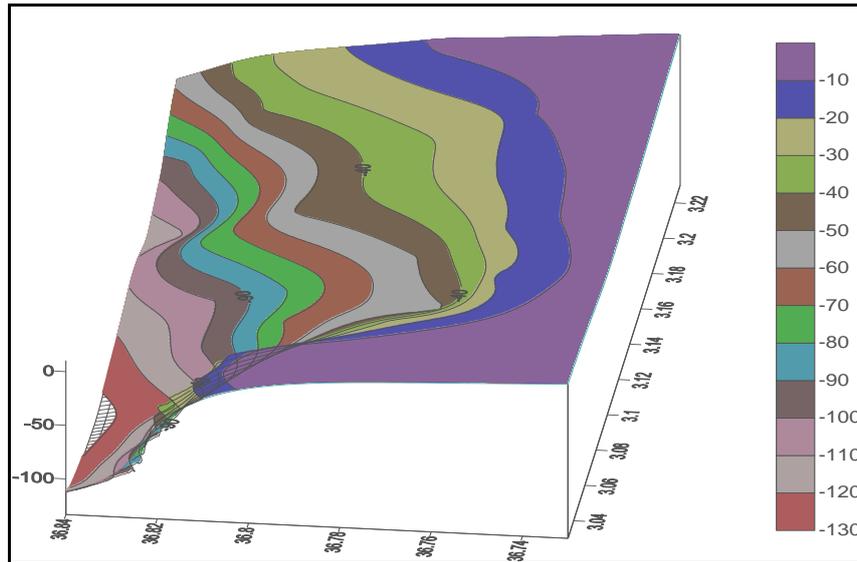
- **Bathymétrie de la baie d'Alger :**

La pente continentale passe du massif de la Bouzaréah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, le rivage s'incurve entre la pointe de Rais Hamidou et le cap Matifou et délimite une baie très régulière, bien encadrée dans les terres émergées, le fond de cette baie est en pente douce, uniforme, de 0 à 100 mètres, l'isobathe 50m est à 4,1 km de la côte, celui de 100m est à 7,6 km, quant à celui de 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1 km de la côte (Houma-Bachari, 2009).

La carte bathymétrique (Figure II.15) constitue un document fondamental, et nécessaire pour reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine.



**Figure II. 15 :** Carte bathymétrique de la baie d'Alger (Houma *et al*, 2006)



**Figure II. 16:** Carte bathymétrique de la baie d'Alger représentée en 3D  
Vue sous un angle 85° (Houma, 2009)

La nature du fond de la baie d'Alger est variée, on distingue d'une part, les fonds rocheux qui se trouvent aux extrémités de la baie, d'autre part, les fonds vaseux et sableux au centre.

- **Sédimentologie de la baie d'Alger :**

La baie d'Alger est occupée par cinq classes qui se répartissent d'une manière régulière et continue sur toute la baie (Rebzani-Zahaf, 2003): sable, sable vaseux, vase sableuse (50-75%), vase (75-95%) et vase (> 95%). (Figure II.17)

Ces classes se récapitulent en trois faciès sédimentaires comme suit :

- ❖ **Faciès sableux :** Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires, et en prolongement des caps où ils s'étendront à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie. (Belkessa, 1999; Maouche, 1987). On distingue 3 types :
  - **Les sables fins :** sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
  - **Les sables moyens :** sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.

- **Les sables grossiers** : sont prédominants dans le secteur est où ils sont mélangés aux faciès pélitiques (du Cap Matifou vers l'embouchure de Oued El Hamiz).
- ❖ **Faciès carbonatés** : On les retrouve dans la bordure ouest jusqu'à des profondeurs de 35 à 50m, et dans la bordure est à des profondeurs plus élevées, au droit du Cap Matifou. Ils sont limités aux bordures rocheuses, ainsi qu'aux hauts-fonds rocheux de la baie. (Houma-Bachari, 2009).
  - **Bordure Ouest** : La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.
  - **Bordure Est** : Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.
  - **Le haut-fond du Matifou** : la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.
- ❖ **Faciès pélitiques** : Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction pélitique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds. La fraction pélitique apparaît à partir de -10m de profondeur où elle représente 10 %  
 Les faciès vase sableux à vaseux constituent 70 % des dépôts superficiels de la baie d'Alger. (Bachari et al., 2004).

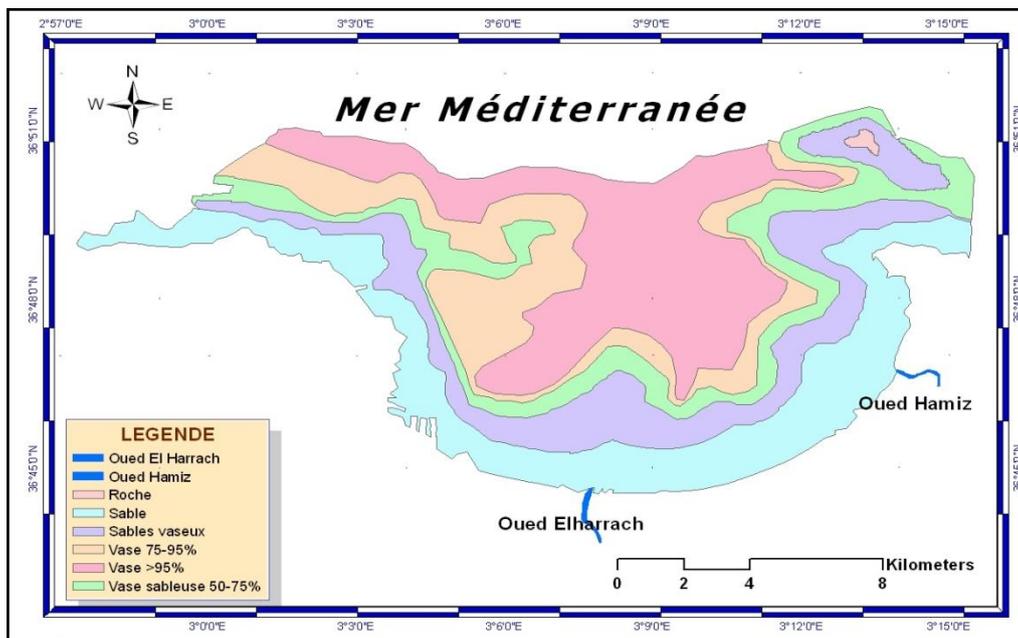


Figure II. 17 : Nature du fond de la baie d'Alger. (Maouche, 1987)

## II. 6. POPULATION ET URBANISATION

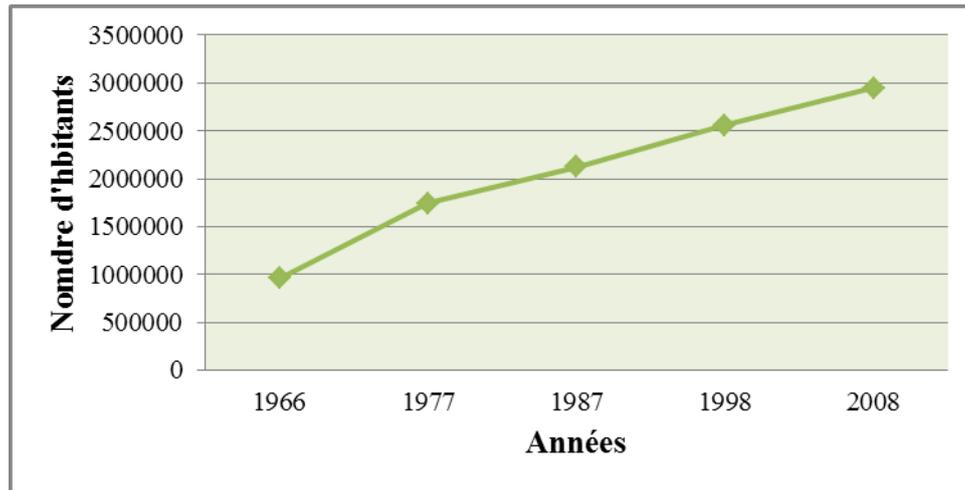
La population totale de la wilaya d'Alger est de 2.947.466 habitants, soit une densité de 3.642 habitants par km<sup>2</sup> (RGPH, 2008), elle représente 7,31% de la population nationale. Le taux d'accroissement moyen/an dans la wilaya d'Alger durant la période entre les deux recensements 1998/2008 était de 1,4%.

**Tableau II. 8 :** Evolution de la population de la wilaya d'Alger entre 1966 et 2008

Année	Population
1966	960.000
1977	1.744.760
1987	2.122.319
1998	2.562.424
2008	2.947.466

(Source: Monographie de la wilaya d'Alger 2008, DPAT)

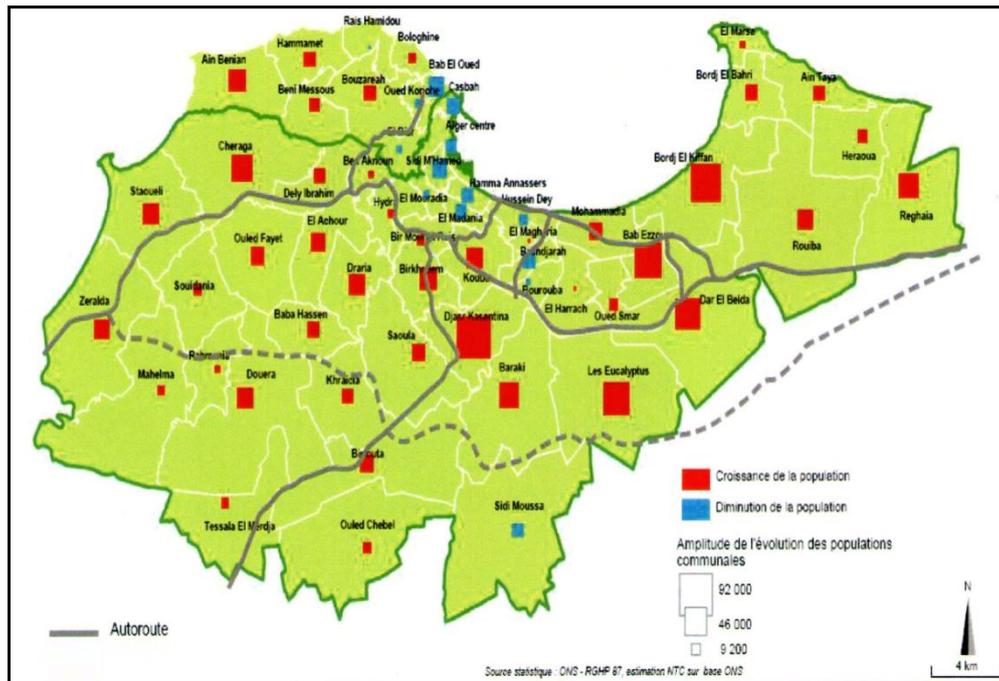
Ces trois dernières décennies se sont caractérisées par une croissance continue et régulière de population de l'ordre de 400 000 habitants entre chaque recensement de 1977, 1987, 1998 et 2008. (Figure II.18)



**Figure II. 18 :** Croissance de la population totale de la Wilaya d'Alger (1966-2008)

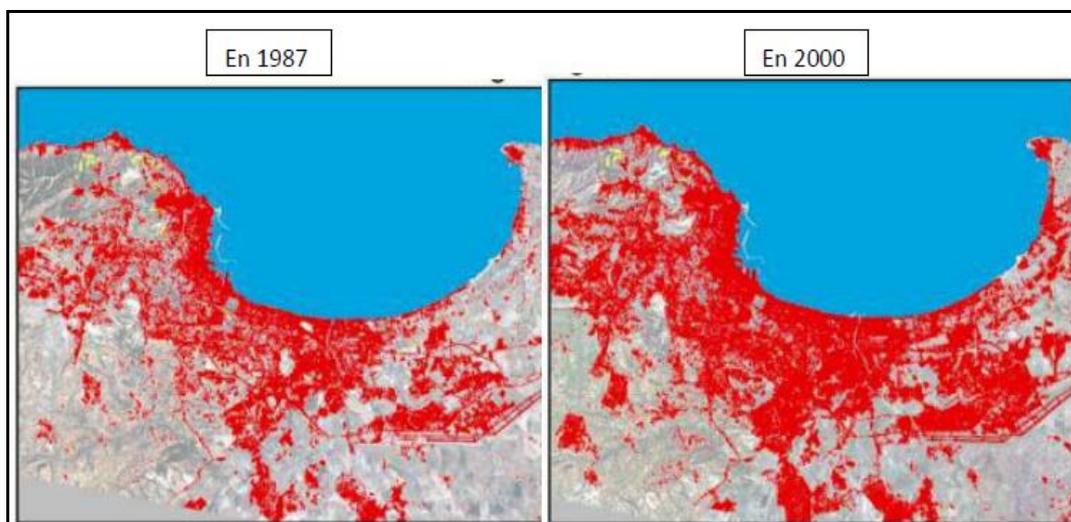
La population est de plus en plus concentrée sur la baie d'Alger, ce qui est très consommateur d'espace, d'autant que la crise de l'habitat entraîne une prolifération de constructions illégales à la périphérie des centres urbains.

La figure suivante représente l'évolution de la population dans la wilaya d'Alger par commune durant de 18 ans (1987 à 2005).



Figures II. 19 : Evolution de la population dans la wilaya d'Alger (1987-2005) (DRHEE)

Les dynamiques d'urbanisation récentes, prises à 18 années d'intervalle en 1987 et 2000 (Figures II.20), montrent que la tache urbaine (en rouge) s'est étendue et élargie, progressant essentiellement dans les communes de Baraki, Les Eucalyptus et Dar El Beida, on note également le processus de remplissage des communes de Mohammadia et Bordj El Kiffan qui s'étendent le long de la côte Est de la baie d'Alger.



Source : World Bank. Images satellite traitées, S. Angel, 2005.

Figures II. 20 : Evolution des zones urbanisées, photographies satellites traitées (1987-2000)

L'urbanisation et l'implantation des infrastructures se concentrent sur le littoral (ports, aéroports, routes, projets d'unités touristiques) et multiplient les remblais construits sur la mer, souvent se traduisent généralement par d'importants rejets terrigènes qui asphyxient les milieux environnants.

## II. 7. POLLUTION DANS LA BAIE D'ALGER

Le littoral algérois subit de lourdes pressions sur ses ressources (sols, biodiversité terrestre et marine, ressources en eau...) à cause la densité des activités urbaines, industrielles et agricoles, qu'elles contaminent la côte et contribuent à l'érosion et la vulnérabilité de ces zones.

### II. 7. 1. Sources de la pollution

Les sources de la pollution, pratiquement, sont les rejets d'eaux usées urbains et industriels, ces eaux usées sont chargées de matières organiques, matières en suspension, des matières dissoutes (sels minéraux et substances organiques diverses), détergents et des huiles lubrifiantes, génèrent des pollutions organiques et chimiques, cette situation est aggravée par la quasi absence de traitement des eaux (Houma-Bachari et al, 2004).

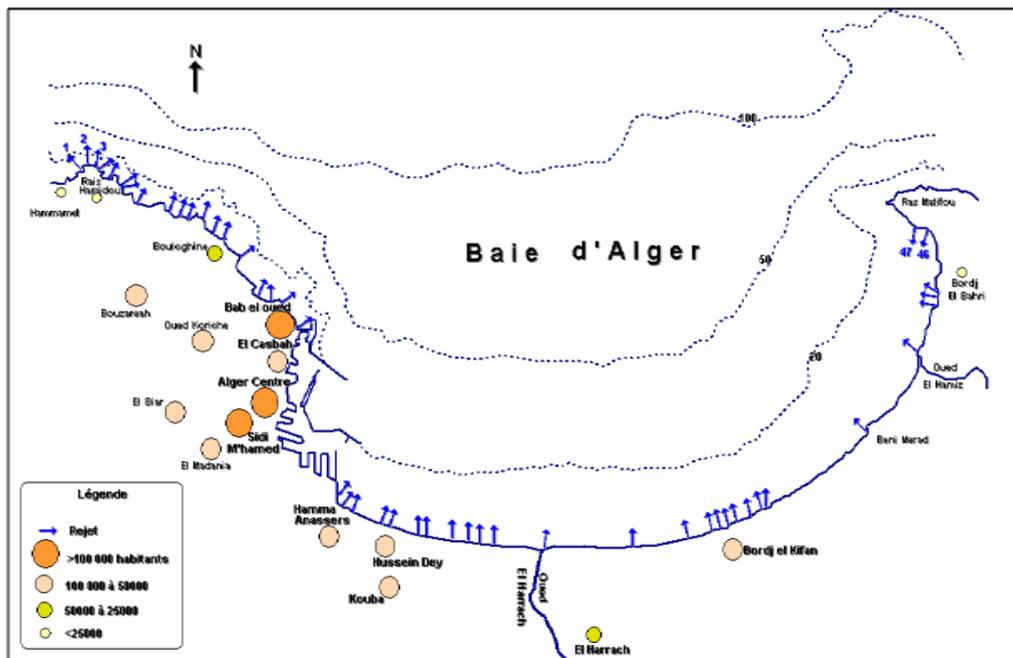


Figure II. 21 : Distribution de la population et principaux rejets d'eaux usées en baie d'Alger d'après (Bakalem, 2004)

Parmi les zones urbanisées et/ou industrialisées, on peut citer entre autres :

- **Le port d'Alger** : il reçoit une grande partie des eaux usées de la ville d'Alger, également les eaux usées découlant des activités propres à un port et les eaux usées de la zone industrielle portuaire. Ces apports d'eaux usées générant des perturbations en milieu marin, font du port d'Alger un milieu perturbé.
- **Hussein Dey** : Zone principalement soumise aux rejets urbains et à l'influence des activités portuaires.
- **El Harrach** : Il traverse la zone industrielle d'Alger et y draine tous les types de pollutions physique, chimique et biologique. Au niveau de El Harrach, l'oued prend l'aspect d'un égout à ciel ouvert et se rejette directement à la mer dans la Baie d'Alger. Les principaux affluents servent de transporteurs des eaux usées domestiques et industrielles et sont : Oued Ouchaiah, Oued Smar et Oued Zouine.

Il présente une eau fortement polluée dû aux rejets d'eaux usées urbaines et industrielles qui s'y déversent sans être traitées, provoquant inévitablement l'eutrophisation de ce milieu qui devient un milieu enrichi en matières organiques, en azote et en phosphore.

- **Bordj El Kiffan** : Située à une dizaine de kilomètre à l'Est d'Alger, ce secteur connaît un développement industriel et urbain qui l'expose à une pollution assez accentuée selon le sens du courant et par l'influence des oueds El-Harrach et El-Hamiz.
- **El Hamiz** : C'est le deuxième cours d'eau de la baie d'Alger: il s'y verse à l'Est de la baie près du cap Matifou. L'activité industrielle y est faible ; il présente une charge polluante moins importante.

### **II. 7. 2. Rejets d'eaux usées :**

Au niveau de la baie d'Alger, sa forme spécifique limite un brassage et un échange significatif d'eau de mer ce qui rend cet écosystème sensible aux substances polluantes qui y sont rejetées.

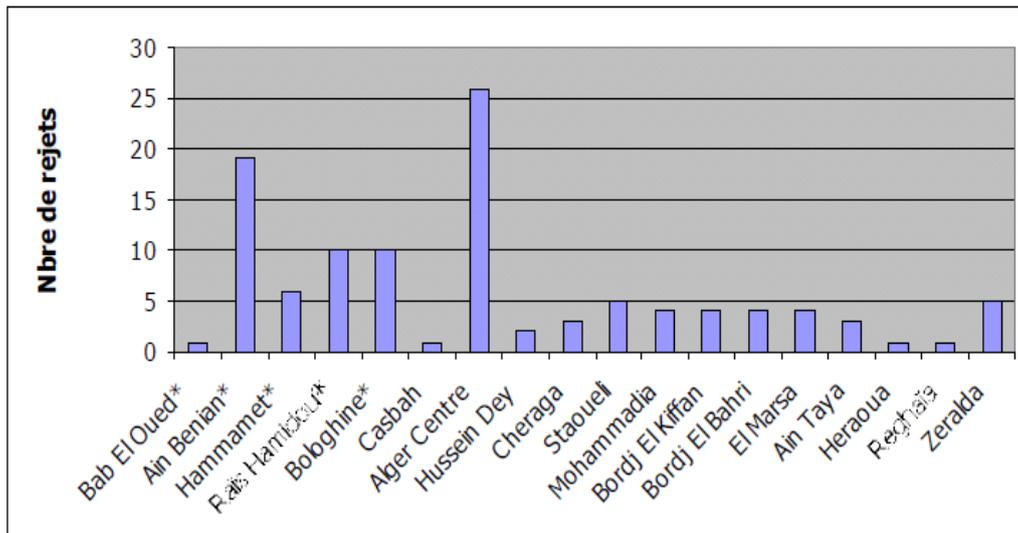
Les principales sources de pollution sont :

- Les émissaires urbains d'Alger qui déversent en mer les eaux résiduaires industrielles et domestiques surtout à l'ouest de la baie entre le port d'Alger et l'Oued El Harrach ;
- Le port d'Alger ou sont situées aussi des industries polluantes importantes ;
- L'oued Kniss, étant un oued canalisé drainant les eaux résiduaires d'une grande partie du centre d'Alger ;
- L'oued El Harrach, étant le récepteur surtout des eaux résiduaires des zones industrielles de la ville d'Alger ainsi que de la STEP de Baraki ;
- L'oued El Hamiz ;

Selon le recensement de 2004, la wilaya d'Alger contient 109 points de rejets :

- 28 points de rejets sur le bassin versant Beni Messous ;
- 52 points de rejets sur le Bassin versant El Harrach ;
- 29 points de rejet sur le bassin versant Reghaia.

Le graphique suivant représente le nombre de rejets directs recensés par commune côtière :



**Figure II. 22 :** Nombre de rejets en mer recensés par commune (\* : Communes du massif de Bouzaréah), Source : Direction de l'environnement

On remarque à travers ce graphique, les 4 communes qui présentent le nombre de rejets directs en mer le plus important sont :

- Alger Centre avec 26 rejets recensés ;
- Ain Benian, avec 19 rejets ;
- Rais Hamidou et Bobghine avec 10 rejets à chacun.

### II. 7. 3. Pollution industrielle :

Les rejets industriels renferment des polluants de grandes diversités (lavage, extraction, refroidissement, chimie...etc), les eaux usées des industriels sont dans leurs quasi-totalités déversées :

- Soit dans le réseau d'assainissement et seront éventuellement traités (causant parfois des dysfonctionnements des installations des STEP) des avant d'être évacuées dans le milieu naturel,
- Soit directement dans le milieu récepteur.

L'activité industrielle dans la baie d'Alger se répartit selon 3 zones principales :

#### a) Zone d'activité du port d'Alger :

Le port d'Alger est un vaste complexe portuaire de 185 hectares en communication avec les eaux de la baie d'Alger grâce à deux passes: la passe Nord et la passe Sud. Ces passes permettent une certaine circulation des eaux entre le port et la baie, et de ce fait un renouvellement des masses d'eaux portuaires.

Le port d'Alger se compose de trois bassins : le bassin du Vieux Port, le bassin de l'Agha, le bassin de Mustapha. (Figure II.23)

Les eaux usées industrielles portuaires renferment des déchets provenant de l'industrie des corps gras et des silos à blé, des hydrocarbures résultant de l'activité des unités de transformation, transport et stockage des hydrocarbures, des produits chimiques divers (peintures, métaux lourds) et des eaux usées chaudes et chlorées provenant de différentes industries (chantier naval, aires de stockage, centrale thermique).

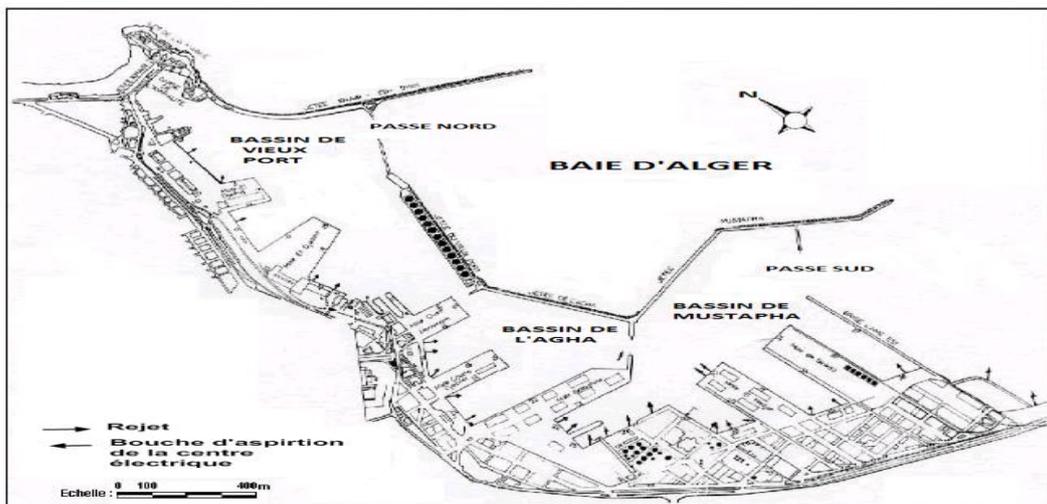


Figure II. 23 : Carte des rejets au port d'Alger, d'après (Bakalem, 2004)

**b) Zone d'activité du sous bassin d'El Harrach :**

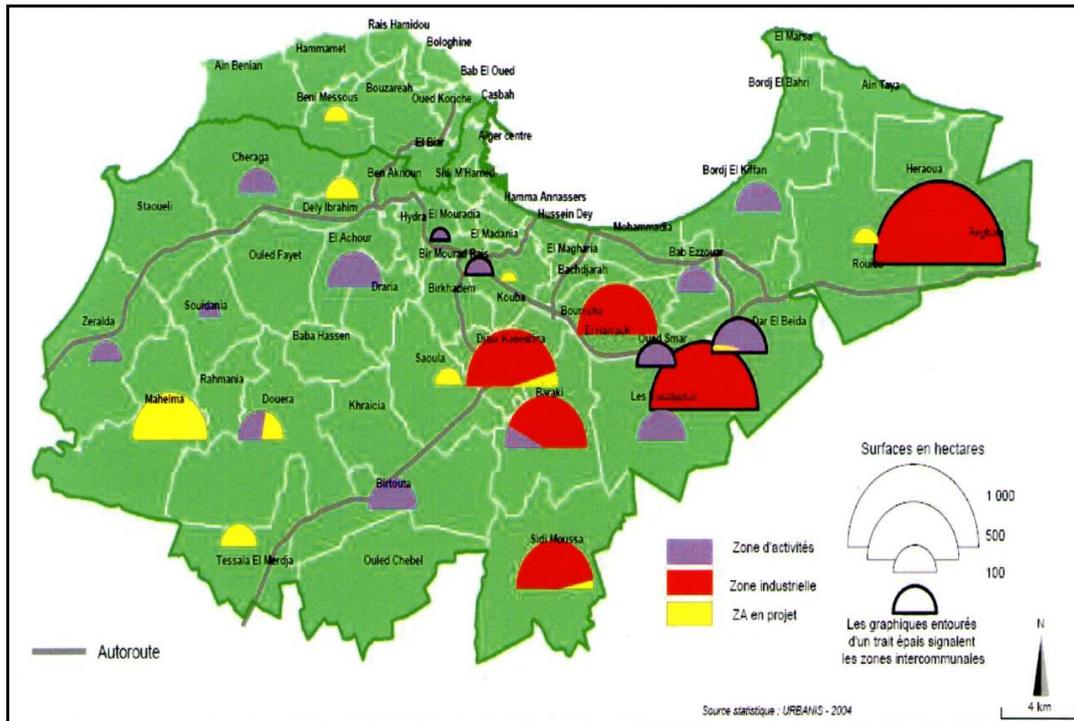
Cette zone est caractérisée par une abondante activité industrielle qui se répercute sur la qualité de l'eau de l'Oued El Harrach, elle se divise en 3 sous-zones industrielles importantes :

- La zone industrielle de l'Oued Smar, occupe une superficie de **320 ha**, regroupant **228** unités industrielles ;
- La zone industrielle de Gué de Constantine d'une superficie de **124 ha**, rassemblant **32** unités industrielles ;
- La zone industrielle d'El Harrach d'une superficie de **70ha**, avec **47** unités industrielles.

**c) Zone d'activité du sous bassin de l'Oued Réghaia :**

Dans cette zone, il y a 2 sous-zones industrielles importantes :

- La zone industrielle de Rouïba, regroupant **50** unités industrielles ;
- La zone industrielle de Réghaia, regroupant **29** unités industrielles.



**Figure II. 24 :** Répartition des zones d'activités et industrielles dans la wilaya d'Alger

(DRHEE, 2005)

**II. 7. 4. Pollution marine:****II. 7. 4. 1. Métaux lourds**

Selon l'Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ISMAL) (1988-1999) et le Programme d'Assistance Technique pour la Méditerranée (METAP) (1994), la pollution par les métaux dans les sédiments montre une contamination inquiétante, largement au-dessus des valeurs admises, résultat de l'importante activité au niveau du port et à son exposition directe aux effluents d'origine tellurique. Elle traduit les influences anthropiques et semble dépendre également des conditions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires qui régissent la baie.

Le tableau suivant représente les teneurs de quelques métaux dans les sédiments de la baie d'Alger :

**Tableau II. 9 :** Teneurs des métaux lourds (la baie d'Alger)

Minéraux	Teneurs des Métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$ )
Cuivre (Cu)	24,23-72,73
Plomb (Pb)	16,19-93,36
Cadmium (Cd)	0,16-1,12
Zinc (Zn)	112,92-253,46
Manganèse (Mn)	235,7-397,41
Mercure (Hg)	1,88-10,74

**II. 7. 4. 2. Hydrocarbures**

Les rejets liquides et gazeux d'industries côtières, les déchets domestiques, les boues toxiques provenant de la raffinerie d'Alger rejoignent le milieu marin sans traitement.

Les sédiments de la baie d'Alger sont fortement pollués par les hydrocarbures polycycliques aromatiques, cette pollution est concentrée dans la partie centrale de la baie.

**Tableau II. 10 :** Teneurs en HPA dans la baie d'Alger (ISMAL, 1989-1999)

	Hydrocarbures aromatiques (HPA) $\mu\text{g/l}$ : Valeurs limites
Hussein Dey	1,144-4,912
El Harrach	1,281-3,015
Bordj El Kiffan	0,813-1,518
El Hamiz	0,908-1,23

### **II. 7. 4. 3. Azote et phosphore totaux, Matière organique et Polychlorobiphényles (PCB) dans les sédiments**

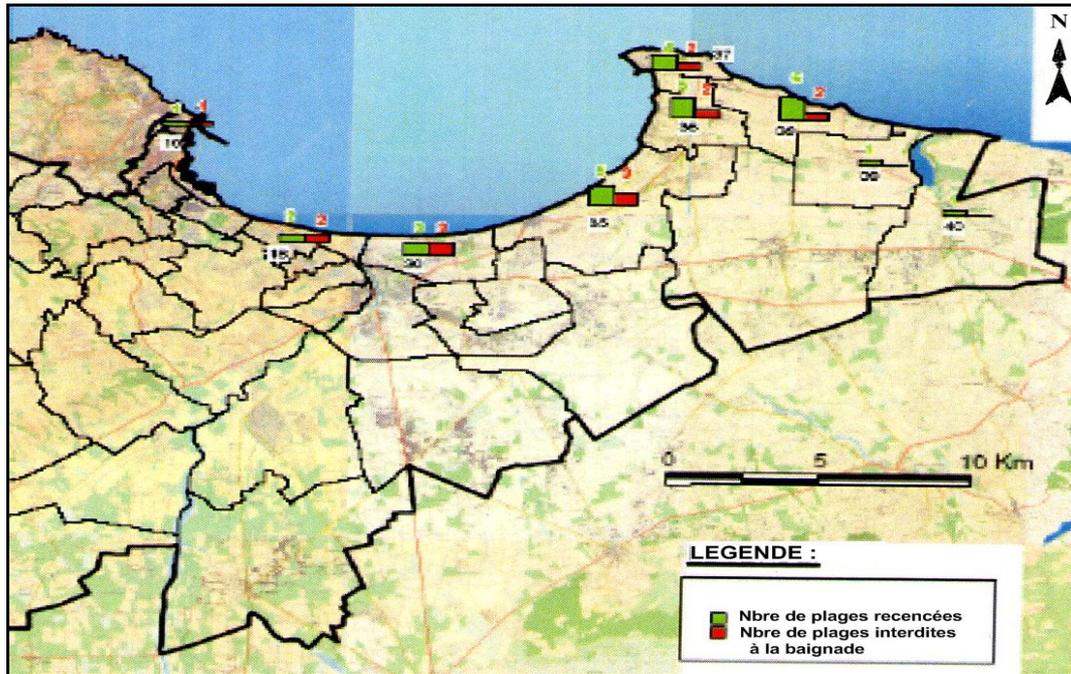
Les concentrations dans les sédiments de l'intérieur du port d'Alger en azote et en phosphore totaux sont les plus importantes de la côte algérienne: Ntot: 1,09-12 mg N/Kg MS et pour le Ptot: 0,73-3,4 mg P/Kg MS.

Ce port présente les plus fortes charges en matières organiques (4,5-26,1%). De plus, la somme des Polychlorobiphényles (PCB) est (220-15470 µg/Kg MS).

### **II. 7. 5. Impact de la pollution marine**

Selon le travail de (PAC-Alger ; 2006), la situation environnementale de la baie d'Alger se caractérise par: baignade

- une pollution marine inquiétante (contamination par les métaux lourds, les hydrocarbures, l'azote et le phosphore, la matière organique et les PCB);
- le phénomène de l'érosion côtière (recul du trait de côte et éboulement de falaises) qui prend de plus en plus d'ampleur, soit un recul moyen dans la zone algéroise de 2,25 m/an. Cette situation est générée par la disparition presque totale du cordon dunaire, la disparition du haut de plage, l'extraction abusive du sable de plage et des oueds, les aménagements d'ouvrages de protection non appropriés, la sur-fréquentation estivale des plages. Ce problème a transformé des plusieurs plages aux endroits interdits à la baignade au niveau de la baie d'Alger surtout au voisinage des embouchures des oueds (Oued El Harrach et Oued El Hamiz). (la figure II.25)
- des modifications physico-chimiques du milieu qui entraînent la raréfaction de certaines espèces vulnérables, la dégradation des habitats marins et insulaires.



**Figure II. 25 :** Plages recensées et interdites à la baignade au niveau de la baie d'Alger  
(DRHEE, 2005)

## CONCLUSION

Tous ce qu'on a présenté dans ce chapitre, il exprime l'état actuel de la baie d'Alger, qu'elle subit de lourdes pressions par l'évolution de la population et les zones d'urbanisation, ces pressions inquiètent la dureté du sol par la diminution des espaces verts et les rejets domestiques qui déversent directement dans les oueds ou vers la mer sans traitement.

La surexploitation des eaux souterraines provoque une baisse du niveau de la nappe et une avancée de l'intrusion marine, ce phénomène engendre des risques environnementaux.

La pollution élevée particulièrement la pollution industrielle qu'affecte les ressources en eau (superficielles et souterraines) et les sols et les zones côtières (recul du trait de la côte, l'érosion et la sédimentation surtout aux niveaux des embouchures des oueds).

En l'absence de la surveillance, le littoral algérois reste toujours menacé, et ça qui traduit la vulnérabilité de la baie d'Alger.

## **CHAPITRE III**

# **SYSTEME D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG) DE GESTION DES ZONES CÔTIÈRES**

## **INTRODUCTION**

Généralement, la zone côtière ou le littoral subit à des pressions naturelles et humaines, car sa situation géographique entre deux milieux, milieu terrestre et milieu marin. La croissance des activités humaines dans l'espace côtier montre la sensibilité et la complexité du littoral, donc l'absence de la gestion contribue à perte des plusieurs plages, et interdiction des autres.

L'importance de la gestion des zones côtières nous oblige de poser des stratégies pour aménager et protéger notre patrimoine naturel, par utilisation de la technologie et exploitation le domaine de l'informatique, et la cartographie.

Les systèmes d'informations géographiques ont connu des évolutions, par le développement rapide de la technologie, les SIG nous aident à définir les problématiques précisément, et gérer bien les processus de la méthodologie pour prendre la décision, à partir de la collection des données, puis le stockage et le traitement de ces données, enfin la représentation et la mise en place des outils à l'aide à la décision.

Notre objectif dans ce contexte est la mise en œuvre d'un SIG pour la gestion des zones côtières, en basant sur des paramètres physiques influents sur le développement du trait de la côte et les ressources hydriques souterraines.

### III. 1. UTILISATION DES SIG POUR LA GESTION DES ESPACES CÔTIERS

Les SIG touchent pratiquement la plupart des domaines et résolvent des problématiques de plus en plus complexes, le domaine de gestion et d'aménagement des zones côtières comme les autres domaines a connu des avancés avec l'apparition des SIG : organisationnels (les manières de travail), techniques (les matériels et les outils de travail) et méthodologiques (les méthodes scientifiques adoptées). Les différents risques qui menacent le littoral (la pollution, la concentration des populations, l'érosion, l'inondation,...) peuvent constituer des informations (des données graphiques, qualitatives ou quantitatives), on structure par ces informations une base des données, cette dernière se gère par un logiciel SIG, qui nous aide à organiser et afficher les cartes géographiques sous formes des couches, et traiter toutes les données, en plus stocker les informations comme une banque des données, cette technologie contribue à proposer des solutions et prendre des décisions pour une bonne gestion.

### III. 2. DESCRIPTION GENERALE D'UN MILIEU CÔTIER

La zone côtière est un espace exigü, caractérisé par un linéaire considérable et par une pression humaine importante. Elle est le siège de multiples enjeux environnementaux, économiques et humains (Gourmelon et Robin, 2005), cet espace résolument complexe du fait de sa situation à l'interface entre deux eaux, l'eau salée de la mer d'un côté, et l'eau douce des bassins versants côté terre. Il se compose à 4 zones en interaction :

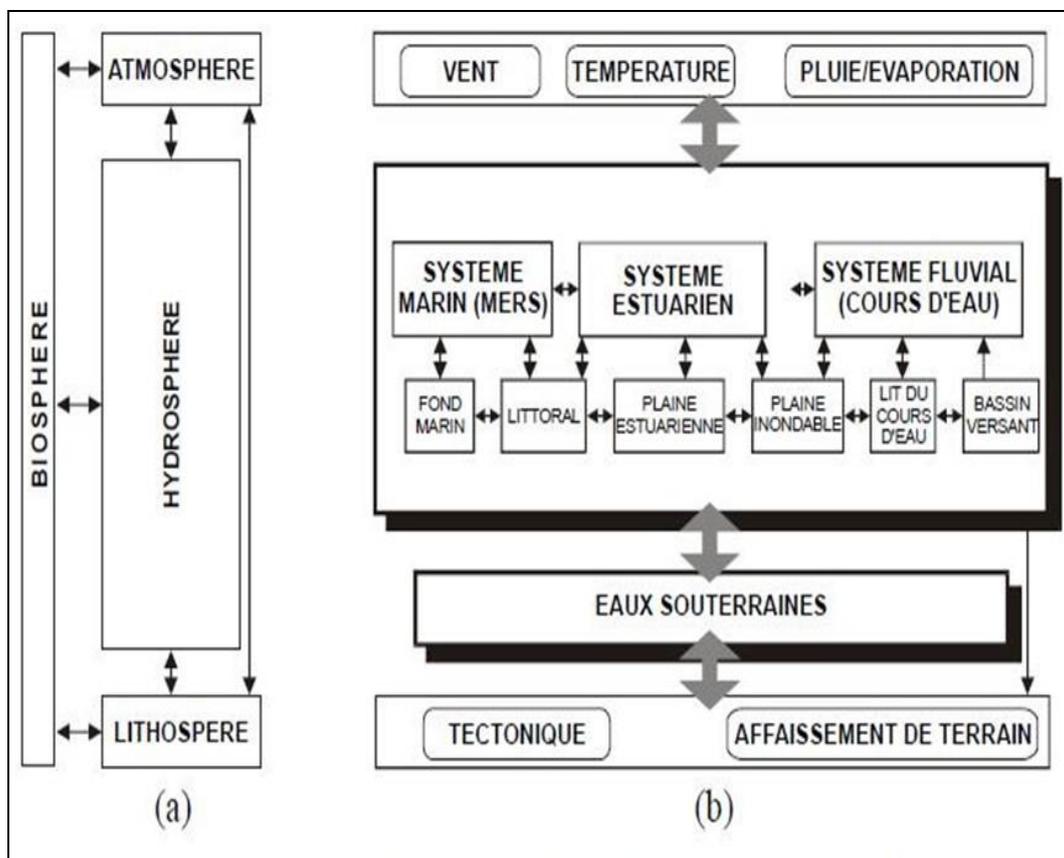
**Eaux côtières :** sont l'ensemble de l'air, l'eau et le fond marin, elles se caractérisent par des paramètres typiques sont la qualité de l'air et de l'eau, la salinité, la température et les caractéristiques du fond marin telles que les propriétés des sédiments et leurs qualités.

**Bande littorale :** L'eau et le substrat représentent les composantes principales de la bande littorale. Le plat profil en long des plages et leur profil perpendiculaire à la côte, ainsi que les caractéristiques des matériaux de la plage (forme, poids spécifique et distribution de la taille des grains), sont les éléments les plus importants du fond marin.

Les différentes formations de plage abritent une diversité d'écosystèmes et d'habitats, dont certains sont vitaux pour combattre l'érosion.

**Estuaire :** C'est la zone d'intersection entre les fleuves ou les rivières et la mer. L'eau douce et l'eau salée, ainsi que les sédiments en suspension, sont les éléments principaux constituant les estuaires. L'interaction complexe entre ces composantes définit leur structure unique qui est à l'origine de leurs traits morphologiques et de leur potentiel écologique.

**Plaine côtière :** Le substrat est l'élément structurant principal de l'arrière-pays. La topographie, la composition des sols et les propriétés géotechniques sont les aspects les plus importants pour définir l'aptitude de la plaine côtière à l'habitation.



**Figure III. 1 :** Description générale des zones côtières (PAP, 1999)  
 a) Schéma générale des composantes naturelles du système  
 b) Eléments de la composante abiotique

La relation entre les 4 zones s'apparait dans le schéma (ci-dessus) par des interactions des processus à l'interface entre l'eau, l'air et le substrat, de tels exemples sont les vagues causées par le vent ou les fluctuations du niveau de l'eau, le transport solide ou l'érosion dans le bassin versant, le phénomène de l'invasion marine.

La connaissance des compositions du littoral permet de définir la sensibilité et la complexité de ce milieu et les risques qui menacent l'écosystème d'un part, et le côté humaine et économique d'autre part.

### **III. 3. SENSIBILITE ET VULNERABILITE DES ZONES CÔTIÈRES:**

Le littoral, territoire sensible a subi, et continue encore de subir, le plus de pressions des composantes physiques, biologiques et anthropiques, sous l'effet de ces pressions, le milieu naturel marin engendre des réactions qui s'expriment directement en fonction de la sensibilité du milieu récepteur et des facteurs de risques.

- La sensibilité est fonction des caractéristiques intrinsèques du milieu et varie selon ses spécificités. Elle est définie par la capacité du milieu à subir des altérations compte tenu de sa richesse (ou biodiversité) et de sa capacité à résister à un stress (résilience).
- Le risque est fonction des activités que l'homme mène en zone côtière et varie selon les types d'actions développés. Les facteurs engendrant des risques de dégradation proviennent notamment de diverses nuisances ou apports polluants, des aménagements du littoral, de la surexploitation des ressources, etc., mais ils peuvent également être liés à des facteurs naturels, éventuellement aggravés par l'action de l'homme (apports terrigènes).

La prise en compte de la sensibilité des milieux et des risques qu'ils encourent conduit à mettre en évidence des zones à problèmes, dites «vulnérables».

### III. 4. METHODOLOGIE DE DETERMINATION LA VULNERABILITE PHYSIQUE CÔTIERE

La vulnérabilité physique signifie quelle mesure dans la zone côtière est susceptible de subir des perturbations d'ordre physique telles que l'inondation, l'érosion, la migration des plages et la déstabilisation des dunes littorales suite à une élévation du niveau de la mer. Le long de tout littoral présente un ensemble des bandes ou des segments, chaque segment côtier ou chaque rivage aura une responsabilité à répondre défavorablement à un risque, c'est le degré de vulnérabilité, il est défini par l'indice côtier de vulnérabilité -ICV- (Gornitz et *al.*1994).

#### III. 4. 1. Définition de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)

L'indice côtier de vulnérabilité (CVI) connu sous l'appellation anglo-saxonne *Coastal Vulnerability Index* est une méthode empirique est largement utilisée aux USA (*United States Geological Survey* (USGS) a utilisé cette méthode d'évaluer la vulnérabilité potentielle de la côte américaine à l'échelle nationale (Thieler et Hammar-Klose, 1999)), et sur d'autres plages du monde.

Cet indice est critiquable dans la mesure où tous les paramètres pèsent le même poids dans l'équation empirique, alors que les forçages jouent différemment sur les différents types de côtes (falaises, côtes basses exposées aux houles, plages de baies...). De plus, cette approche mélange les forçages (marée, houle, montée de la mer) avec leurs conséquences géomorphologiques (taux de recul du rivage).

L'ICV est calculé d'après la formule de Gornitz et *al.* (1994). C'est la racine carrée du produit des différentes paramètres ou variables divisée par le nombre de variables utilisées:

$$CVI = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d \times e \times f)}{6}} \quad (III.1)$$

- a*- Caractéristiques géomorphologiques,
- b*- Pente de la zone côtière (cote « basse » ou « haute »),
- c*- Montée historique locale du niveau moyen de la mer,
- d*- Taux du recul du rivage, indicateur de l'érosion littorale,
- e*- Amplitude moyenne de la marée,
- f*- Hauteur moyenne de houle près des côtes.

Chaque variable est dotée d'une valeur relative de risque basée sur l'importance potentielle de sa contribution aux changements physiques sur la côte pendant que le niveau de la mer monte. Ces six variables ont été sélectionnées en raison de leur utilisation dans la mesure des risques pour le littoral.

Elles sont classées selon une échelle linéaire de 1 à 5, la valeur 1 correspondrait à un risque très faible, et 5 au plus élevé (Gornitz et *al*, 1994).

Après la détermination des valeurs de l'ICV, on crée 4 catégories par utilisation des quartiles statistiques (0-25%, 25-50%, 50-75% et 75-100%) et par l'inspection visuelle des données, ces catégories se caractérisent respectivement à une faible vulnérabilité, modérée, élevée, et très élevée. Chaque valeur calculée tombe dans le quartile pertinent, alors chaque région côtière se caractérise en conséquence.

### III. 4. 2. Paramètres de l'ICV

**Géomorphologie:** elle est associée au risque d'érosion d'un secteur côtier. Les plages ayant la géologie de sable ou vase ont beaucoup plus de risque d'érosion que des plages faites de rochers.

**Pente côtière:** Elle permet une évaluation non seulement du risque relatif à la rapidité potentielle du recul du trait de côte mais également du risque d'inondation, car les régions côtières à pente faible devraient régresser plus rapidement que les zones à déclivité plus raide (Pilkey et Davis, 1987).

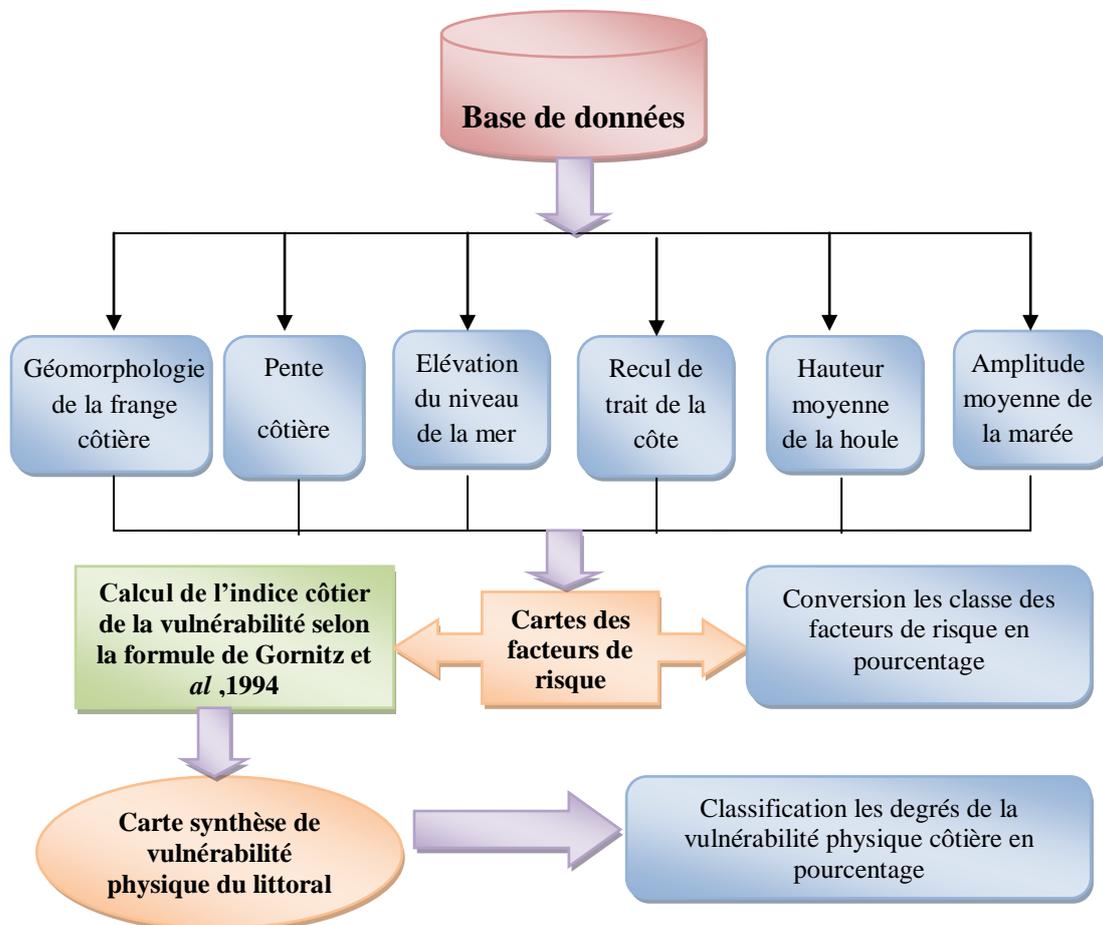
**Taux de la remontée du niveau marin:** Il se déduit par un réseau de stations marégraphiques. Le changement relatif de niveau de la mer à chaque localité est composé du composant eustatique et des mouvements verticaux de la terre. La subsidence des zones côtières en excès du taux eustatique de l'élévation de niveau de la mer font face à de plus grands risques d'inondation.

**Recul du trait de côte:** La position du trait de côte peut être déterminée à 4 ou 5 dates différentes selon les secteurs, et les taux d'érosion du littoral ont été calculés à partir de l'analyse des photographies aériennes sur une période variant de 40 à 45 ans en moyenne.

**Amplitude de la marée:** l'amplitude moyenne de la marée est la différence entre la hauteur d'une pleine mer ou d'une basse mer et le niveau moyen (SHOM), elle est liée aux risques permanents et épisodiques d'inondation. Des excursions de marée élevées tendent à dissiper l'énergie de la houle, limitant l'érosion active durant les marées hautes.

**Hauteur moyenne de la houle :** La hauteur de la houle utilise comme un indicateur de l'énergie des vagues, ce qui affecte le développement des reliefs côtiers et entraîne le bilan sédimentaire, et menace la stabilisation des ouvrages. La capacité à mobiliser et transporter des matériaux de plage / côte est fonction de la hauteur des vagues.

La structuration d'une base de données pour déterminer la vulnérabilité physique du littoral (ICV), elle se base sur le traitement d'ensemble des cartes graphiques (carte géographique, photo aérienne, image satellitaire,...) et des données descriptives (des informations rattachées directement) (figure III.2).



**Figure III. 2 :** Organigramme de la méthodologie de détermination de vulnérabilité physique du littoral

### III. 5. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE

Le but de faire une étude de vulnérabilité côtière est de déterminer les zones sensibles à l'érosion de côte et l'élévation du niveau marin. Sans doute, la vulnérabilité concerne aussi les eaux souterraines dans les zones qui sont très vulnérables. La pollution des nappes et le phénomène de l'invasion marine constituent un grand risque, l'importance de l'évaluation de la vulnérabilité des nappes est de fournir de l'information nécessaire à la construction du réseau de surveillance des masses d'eau. On adopte pour cela un modèle ou une méthode qui s'appelle la méthode DRASTIC, elle est basée sur un système de cotation numérique, intégrant un SIG (Map info 8 .0), qui permet l'usage de base de données graphiques digitalisées ou directement saisies.

#### III. 5. 1. Méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC a été développée en 1987 aux Etats-Unis par la "*National Water Well Association*" (NWWA) en collaboration avec « *the U.S. Environmental Protection Agency* » (US EPA). Elle fournit un modèle d'évaluation du potentiel de contamination des aquifères indépendamment du type de polluant et qui prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines. Ce modèle a le grand avantage d'être très facilement intégrable dans un SIG.

L'acronyme DRASTIC est dérivé des initiales des sept paramètres physiographiques et hydrogéologiques (en termes anglais) utilisés dans le modèle (tableau III. 1).

L'indice de vulnérabilité DRASTIC, noté I, résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre, dont chaque indice partiel est déduit en multipliant sa cote par son poids relatif. La formule suivante permet le calcul de l'indice DRASTIC :

$$ID = (Dc.Dp)+(Rc.Rp)+(Ac.Ap)+(Sc.Sp)+(Tc.Tp)+(Ic.Ip)+(Cc.Cp) \quad (III.2)$$

Où :

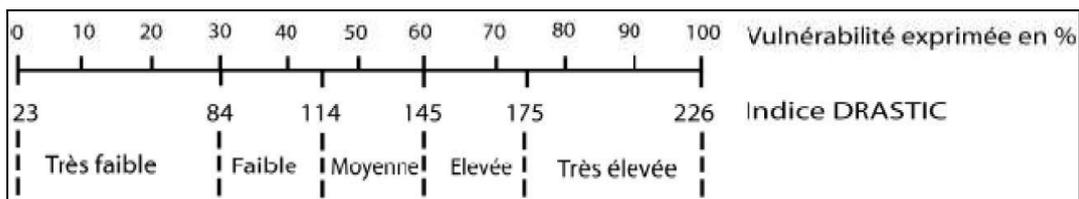
**Dc** : cote du paramètre **D** ;

**Dp** : poids du paramètre **D**.

**Tableau III. 1 :** Paramètres de la méthode DRASTIC, leurs propriétés, et leurs poids

<i>Symbole</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Propriétés</i>	<i>Poids</i>
<b>D</b>	Profondeur de la nappe	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup de temps pour atteindre la surface piézométrique.	<b>5</b>
<b>R</b>	Recharge nette	Véhicule principal pour le transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé.	<b>4</b>
<b>A</b>	Lithologie de l'aquifère	Caractéristique par la granulométrie des terrains saturés. Elle intervient dans le piégeage du polluant qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.	<b>3</b>
<b>S</b>	Type de sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.	<b>2</b>
<b>T</b>	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important est par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible.	<b>1</b>
<b>I</b>	Impact de la zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains qui la constituent. La percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers...)	<b>5</b>
<b>C</b>	Conductivité hydraulique de l'aquifère	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide.	<b>3</b>

L'indice DRASTIC s'étale sur intervalle d'entiers allant de 23 à 226 (figure III, 3), le risque de contamination des eaux souterraines augmente avec la valeur de cet indice, et la vulnérabilité à la pollution est plus importante pour des côtes plus élevées.



**Figure III. 3 :** Diagramme des classes de vulnérabilité de la méthode DRASTIC selon Aller et al (1987)

### III. 6. INVENTAIRE DES DONNEES

L'opération d'inventaire consiste à identifier, décrire, localiser, trier et structurer les données relatives à la zone côtière que nous allons étudier.

Dans notre étude qui concernant au littoral de la baie d'Alger, et pour mener à bien la tâche d'inventaire des données, d'importants efforts ont été déployés. Ceci a permis de recueillir diverses informations et documentations de différents organismes, citons :

- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Alger ;
- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Blida ;
- Direction des Ressources Hydrauliques et de l'Economie de l'Eau de la wilaya d'Alger (DRHEE);
- Office National de la Météorologie (ONM) ;
- Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL) ;
- Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM).

Les données recueillies sont :

- Fichiers de piézomètres et de forage de la zone d'étude
- Fichiers des taux de recul les rivages de la baie d'Alger
- Données concernant à l'élévation du niveau marin de la Méditerranée, et l'amplitude de la marée.
- Carte des hauteurs de la houle au niveau de la baie d'Alger
- Données pédologiques et topographiques du site d'étude.
- Carte géographique, carte géomorphologique, carte géologique, carte bathymétrique, carte hydrogéologique, carte de la recharge efficace, carte de la conductivité hydraulique de la région d'étude.

Les données telles qu'elles sont recueillies durant l'inventaire et l'analyse ne peuvent être intégrées directement à la base de données. Pour leur intégration, on a procédé à :

- ✓ La préparation des données (inventaire et analyse),
- ✓ La numérisation et la conversion des données,
- ✓ L'intégration des données dans la base de données.

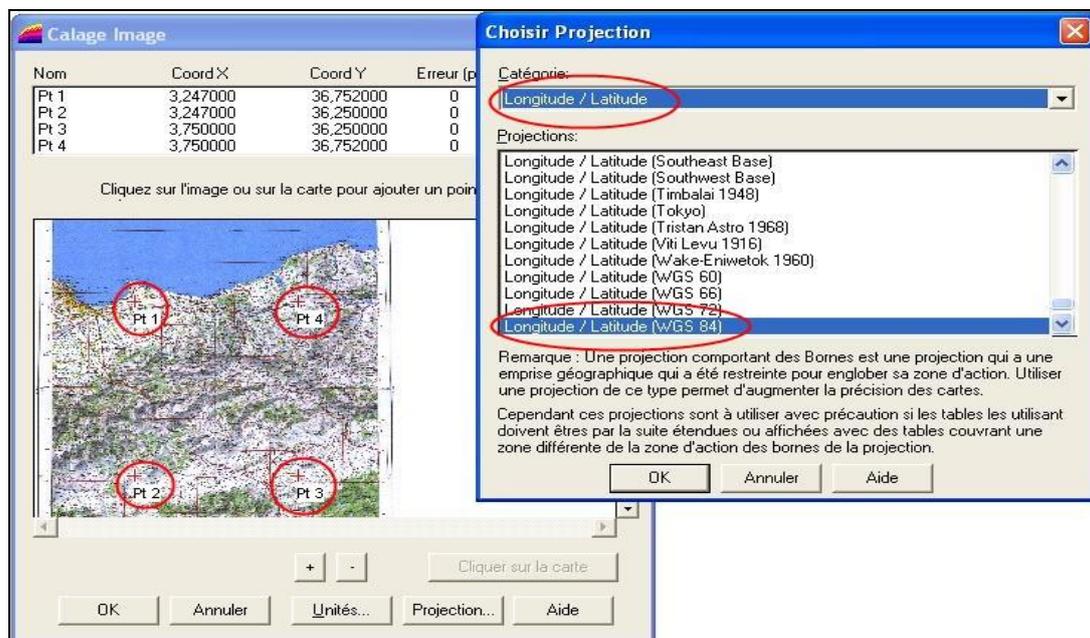
Les données associées sont organisées sous forme de tables. Les attributs sont introduits champ par champ selon la nature du critère à intégrer (qualitatif: caractère ou quantitatif: entier, flottant, virgule fixe,...).

### III. 7. CONSTITUTION D'UNE BASE DES DONNEES

La base des données est le noyau du SIG, elle est un ensemble de données structurées, stockées sur des supports physiques (le disque dur), et gérées par un ensemble de logiciels (MapInfo, ArcGis, ArcView, GéoConcept,...) et de matériels.

Nous allons utiliser le logiciel *MapInfo Professional 8.0*, ce logiciel permet de construire une base de données, et d'élaborer des cartes traitées par trois opérations essentielles :

➤ **Le calage** : généralement le calage est la première étape, avant de pouvoir utiliser une carte ou travailler sur une image raster, il faut pointer sur différents points de calage de la carte et entrer leurs coordonnées (par exemple, longitude et latitude), après avoir calé la carte, MapInfo peut associer une position en longitude et latitude à chaque point se trouvant à la surface de la carte, ceci permet à MapInfo de calculer des surfaces ou des distances et de superposer plusieurs couches de carte dans une seule carte. Dans notre cas, on a utilisé le système longitude/ latitude pour projection de *World Geodetic System 1984 (WGS84)*, ce système importe la carte comme image, puis la cale en fixant 4 points (points de calage) dans la carte, par adopter des coordonnées (X, Y) en degrés décimaux, pour 60 degrés de longitude et 60 degrés de latitude.



**Figure III. 4** : Calage d'une carte géographique d'Alger (1/200000), en utilisant le système de projection (Longitude/ latitude (WGS 84))

➤ **La digitalisation :** la méthode de digitalisation est une numérisation des données qui consiste à remplacer les plans et cartes traditionnels en papier, par des plans numérisés. Cette méthode se révèle la mieux adaptée aux nécessités de notre étude, car elle permet de saisir la géométrie des objets graphiques élémentaires : Point (piézomètre), Ligne (cours d'eau) ou Polygone (commune), etc. Cela permet d'obtenir une table modifiable et utilisable.



**Figure III. 5 :** Description de trait de la côte, les oueds et les communes littorales de la baie d'Alger (digitalisation sur une carte satellitaire de Google, 2012)

➤ **L'analyse thématique :** cette opération permet d'analyser les données associées à notre carte, pour afficher graphiquement des informations concernant les données sous-jacentes, les objets peuvent être colorés en fonction des valeurs (dégradés de couleurs par classes ou coloration individuelle) ou des graphiques thématiques peuvent être créés pour visualiser les valeurs. On peut ainsi réaliser des analyses à une seule variable (classes, valeurs individuelles, densité de points, symboles proportionnels) ou des analyses thématiques à plusieurs variables (graphiques à secteurs ou à barres,...).

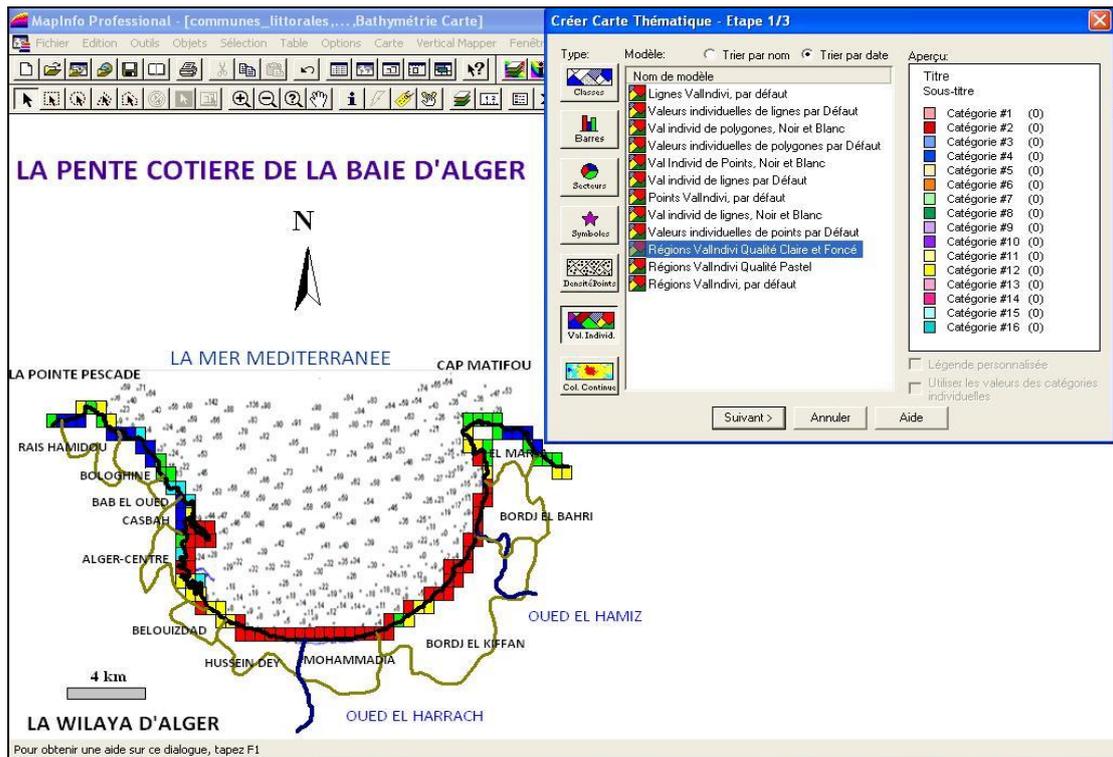


Figure III. 6 : Traitement d'une carte selon la vulnérabilité par des couleurs significatifs

The screenshot shows the "Grille Données" (Data Grid) window in MapInfo Professional. It displays a table with 16 rows and 9 columns. The columns are: Description, Col\_Nam, Row\_Nam, A, T, D, R, S, T, C, and DRASTIC. Each row represents a category from A14 to I15. The values in the columns are consistent across rows, indicating a uniform data set for each category.

Description	Col_Nam	Row_Nam	A	T	D	R	S	T	C	DRASTIC
A14	A	14	8	6	2	6	10	10	4	130
A15	A	15	8	6	2	6	10	10	4	130
B14	B	14	8	6	2	6	10	10	4	130
B15	B	15	8	6	2	6	10	10	4	130
B16	B	16	8	6	2	6	10	10	4	130
C14	C	14	8	6	2	6	10	10	4	130
C15	C	15	8	6	2	6	10	10	4	130
C16	C	16	8	6	2	6	10	10	4	130
C17	C	17	8	6	2	6	10	10	4	130
C18	C	18	8	6	2	6	10	10	4	130
D14	D	14	8	6	2	6	10	10	4	130
D15	D	15	8	6	2	6	10	10	4	130
D16	D	16	8	6	2	6	10	10	4	130
D17	D	17	8	6	2	6	10	10	4	130
D18	D	18	8	6	2	6	10	10	4	130
E14	E	14	8	6	2	6	10	10	4	130
E15	E	15	8	6	2	6	10	10	4	130
E16	E	16	8	6	2	6	10	10	4	130
E17	E	17	8	6	2	6	10	10	4	130
F15	F	15	8	6	2	6	10	10	4	130
F16	F	16	8	6	2	6	10	10	4	130
F17	F	17	8	6	2	6	10	10	4	130
G15	G	15	8	6	2	6	10	10	4	130
G16	G	16	8	6	2	6	10	10	4	130
G17	G	17	8	6	2	6	10	10	4	130
H15	H	15	8	6	2	6	10	10	4	130
H16	H	16	8	6	2	6	10	10	4	130
H17	H	17	8	6	2	6	10	10	4	130
I15	I	15	8	6	2	6	10	10	4	130

Figure III. 7 : Constitution d'une base de données relative à la méthode DRASTIC

### III. 8. ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES

Dans notre zone d'étude, pour calculer l'indice côtier de la vulnérabilité, et appliquer la méthode DRASTIC, nous avons fait un maillage au long de la côte de la baie d'Alger, à partir la commune de Raïs Hamidou (la pointe Pescade) jusqu'à la commune d'El Marsa (Cap Matifou), et au niveau de la superficie de la zone vulnérable (les communes de : Hussein Dey, Mohammadia, Bordj El Kiffan, et Bordj El Bahri), la cellule est un carré de 500 m de coté, chaque cellule a sa donnée, et chaque donnée présente un niveau de la vulnérabilité , le type des données soit une carte (géographique, géologique, hydrogéologique,...), une photographie aérienne, un tableau Excel, ou une valeur rattachée directement. L'établissement de la carte finale est en faire la superposition des tables traitées, chaque table représente un paramètre responsable de déterminer les risques de l'érosion (recul du littoral), ou de la pollution (contamination des nappes).



**Figure III. 8 :** Maillage au niveau de la zone côtière de l'Algérois

La tâche du traitement et l'analyse des données nous permet de formuler un nombre infini de requêtes répondant à diverses interrogations. Les requêtes effectuées ont permis d'avoir une analyse détaillée de la vulnérabilité côtière, qui touche l'évolution du trait de la côte, et les ressources d'eau souterraines.

A titre d'illustration, on présente l'affichage de la vulnérabilité côtière selon l'état géomorphologique du littoral de la baie d'Alger (figure III. 9).

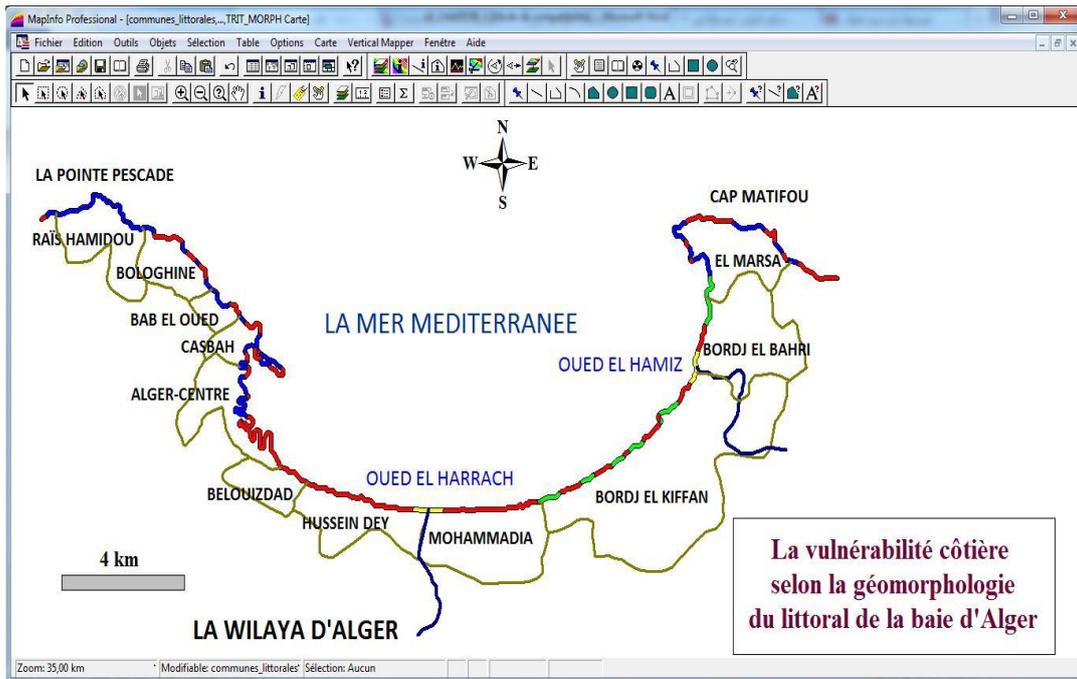


Figure III. 9 : Représentation sur écran du résultat d'une requête

## CONCLUSION

La gestion et l'aménagement des milieux côtiers comme tous les domaines, il peut se gérer par architecture d'un SIG (en utilisant le logiciel MapInfo), ce dernier nous aide à la décision (méthodologie, ensemble des outils et des logiciels, simulation, conception).

L'établissement d'une carte de vulnérabilité de la zone côtière doit commencer par l'inventaire de toutes les informations existantes et concernées, pour structurer une base de données riche et utilisable, par ce que chaque donnée (soit une carte soit une table attributaire) peut-être un facteur du risque, ou peut présenter une zone sensible.

On a vu dans ce chapitre, la méthodologie de détermination de la vulnérabilité physique du littoral à partir de calculer l'indice côtier de vulnérabilité (ICV) par utilisation des paramètres physiques (géomorphologie, pente, élévation du niveau de la mer, recul du trait de côte, amplitudes de la marée et de la houle), et la méthode DRASTIC, qui permet de déterminer la vulnérabilité des nappes (la pollution des eaux souterraines), en adoptant des paramètres géologiques, hydrogéologiques, pédologiques et topographiques.

## **CHAPITRE IV**

# **EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES ZONES CÔTIERES**

### **INTRODUCTION**

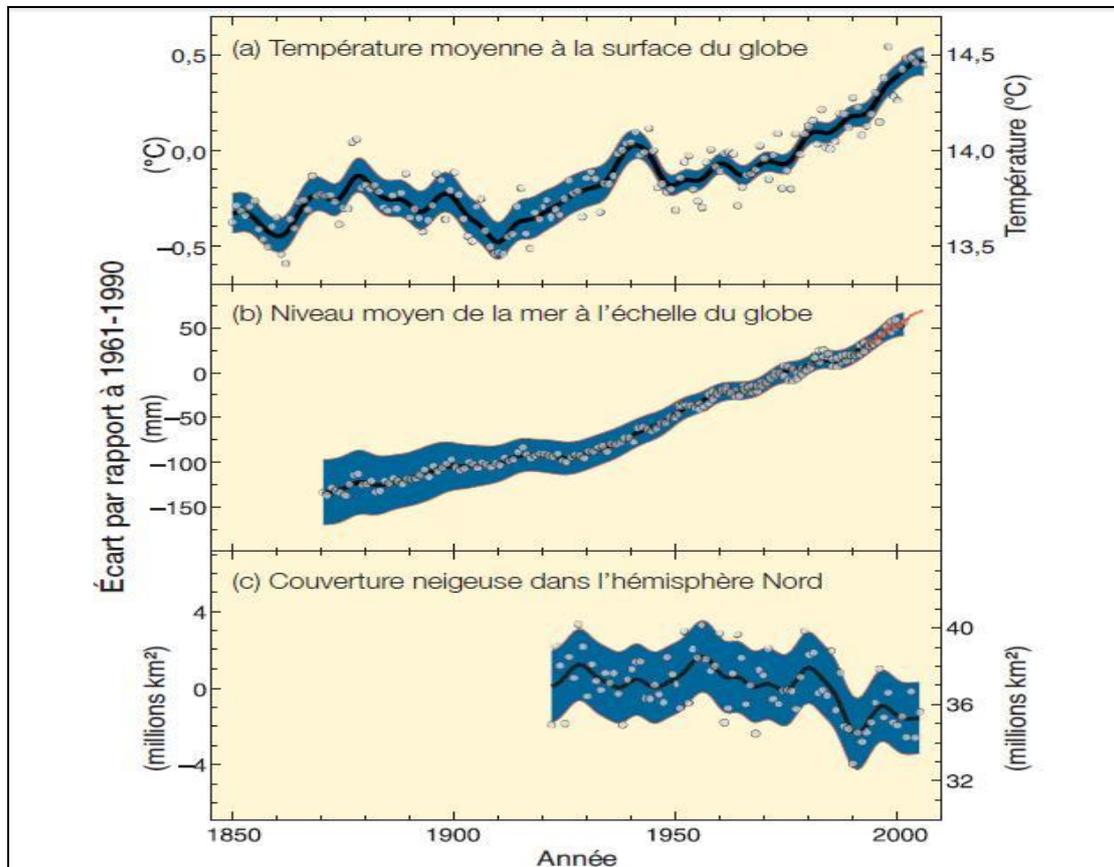
L'étude de la vulnérabilité côtière peut définir les facteurs responsables à la perturbation du système côtier, les variations climatiques et les forçages hydrodynamiques (les effets des vagues, et des marées) constituent les principaux facteurs, les impacts néfastes de ces facteurs sur la côte expliquent des plusieurs phénomènes dangereux : la submersion marine, la variation de la bathymétrie (les fonds proches), l'érosion du trait de côte, le risque de la vulnérabilité de la nappe et l'intrusion d'eau salée, et des effets biologiques.

Dans ce contexte, nous présentons l'état actuel de la côte de la baie d'Alger, et la combinaison de différents paramètres de risque pour obtenir la carte globale de la vulnérabilité physique et la carte de vulnérabilité de la nappe, en utilisant la méthodologie de détermination de l'indice côtier de la vulnérabilité (ICV), par la formule de Gornitz et *al* (1994), et la méthode DRASTIC pour évaluer les risques de contamination des eaux souterraines.

### **IV. 1. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LE NIVEAU MARIN**

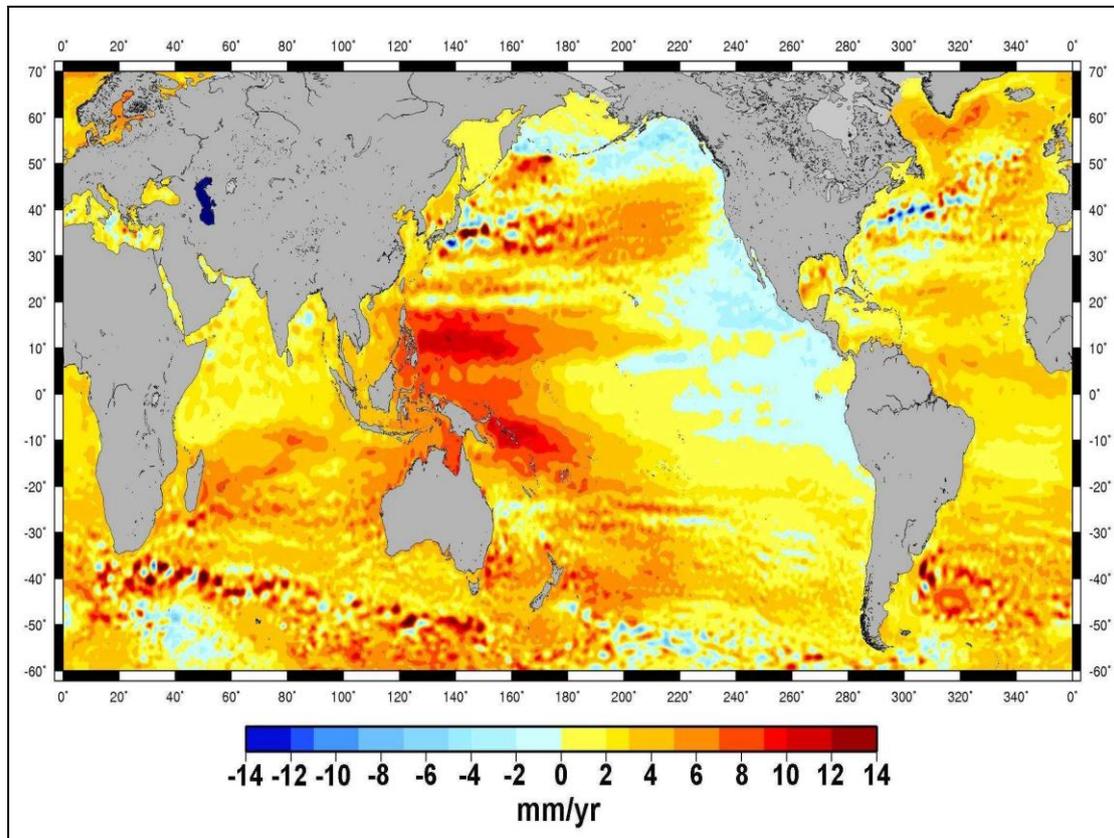
Le niveau moyen de la mer se définit par le dictionnaire hydrographique édité par l'Organisation Hydrographique Internationale OHI (la 5ème édition, Monaco, 1998), il est : « Moyenne des hauteurs de marée observées à un endroit déterminé pendant un intervalle de temps donné, les hauteurs de marée étant prises au moins toutes les heures et mesurées à partir d'un niveau de référence prédéterminé (zéro des cartes) ».

Les milieux côtiers s'influencent directement par les variations climatiques, le réchauffement du système climatique est sans équivoque, à l'échelle du globe, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau moyen de la mer (GIEC, 2007), il y a toujours une relation entre l'augmentation de la température et la remontée du niveau marin (figure IV.1), et cela est principalement dû à l'accroissement très perceptible des gaz à effet de serre qui s'est accentué depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle contribue à l'amplification de ces changements. Ce phénomène constitue une menace réelle à l'encontre des espaces naturels, notamment littoraux et marins, de leurs paysages, de la biodiversité qu'ils abritent et des ressources naturelles qu'ils prodiguent. (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2010.)



**Figure IV. 1 :** Impacts du changement climatique : a) La température moyenne à la surface du globe, b) Le niveau moyen de la mer à l'échelle du globe, et c) La couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord en mars-avril (GIEC, 2007)

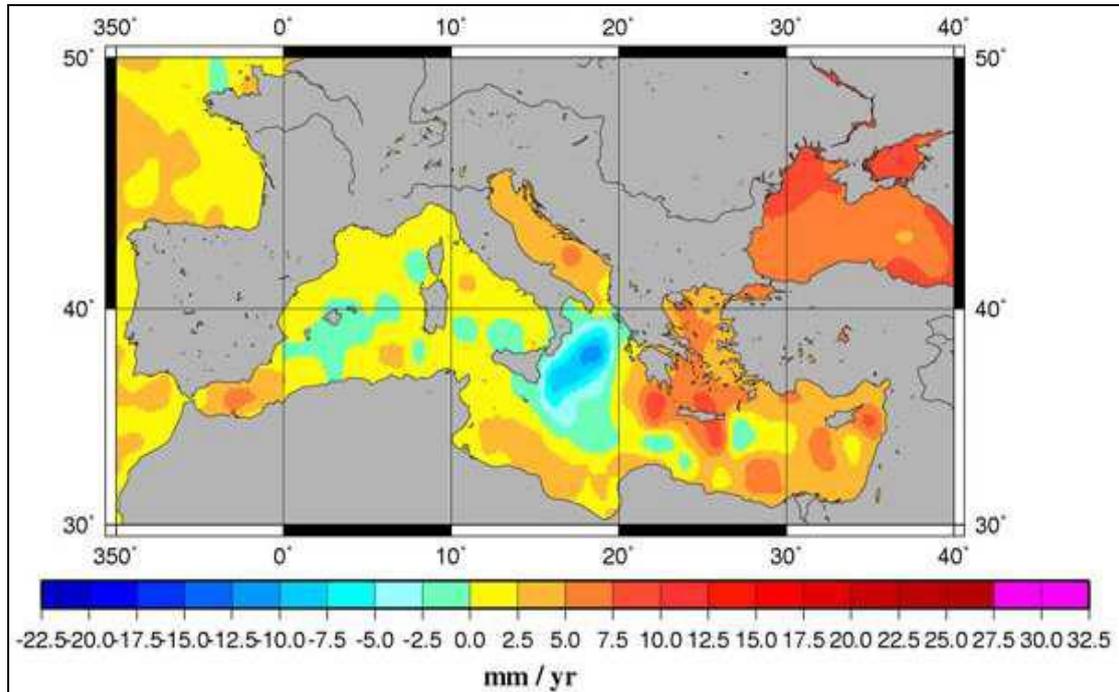
Selon le rapport de l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) (Février, 2012), on trouve une tendance à l'élévation du niveau de la mer sur la majorité des océans du globe, exception faite de l'Est du Pacifique Nord et équatorial et de certaines régions limitées spatialement (figure IV. 2). Pour la mer Méditerranée, le niveau de la mer s'élève à un rythme un peu inférieur à la moyenne globale, avec un taux de variation compris de l'ordre de 2 mm/an sur la période 1993-2010.



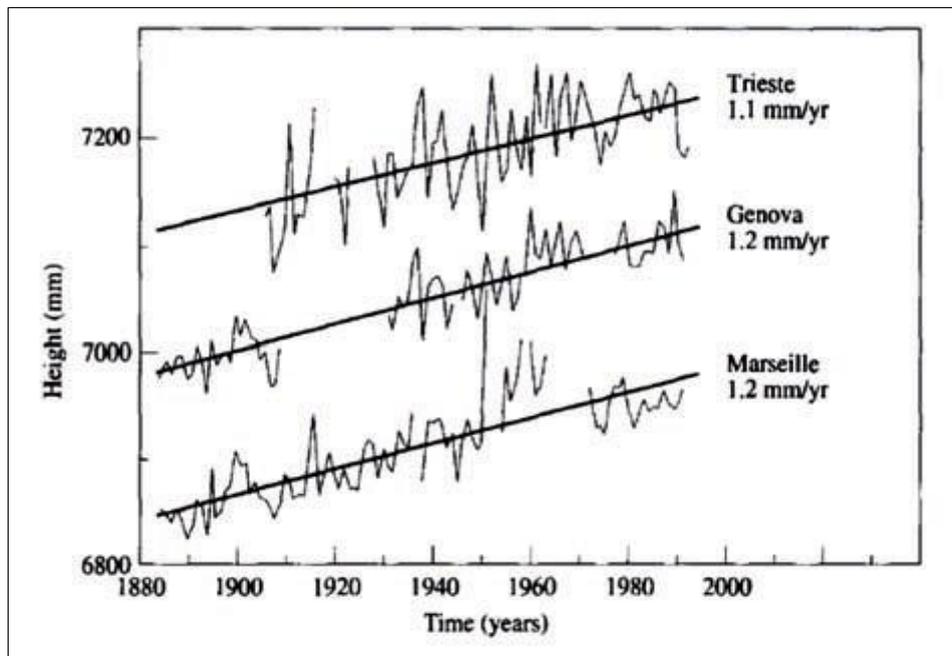
**Figure IV. 2 :** Carte globale de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2011) d'après Topex/Poseidon, Jason-1 et Jason-2 (ONERC, 2012).

Plusieurs d'études ont présentés des observations sur l'évolution du niveau de la mer Méditerranée, elles s'appuient sur des données marégraphiques (mesurer par un marégraphe : Appareil d'enregistrement la hauteur du niveau de la mer), ou altimétriques (prendre par satellite : Topex/Poseidon (lancé en 1992), Jason-1 (2001) et Jason-2 (2008)), en Méditerranée occidentale, d'après Letetrel (2009), et sur site d'observation est Marseille (France), dans une long période 1885-2007, le taux de variation du niveau de la mer varie entre  $1,10 \pm 0,10$  mm/an, presque même valeur estimée par (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008) environ de 1 mm/an, pour trois stations

ayant une série historique plus longue, Marseille, Gênes et Trieste, montre des valeurs de remontée variables entre + 1.1 et + 1.2 mm/an (figure IV. 4), on remarque que la remontée du niveau marin est faible, et ne constitue pas un risque élevé.



**Figure IV. 3 :** Taux d'élévation du niveau marin de la Méditerranée (1993-2007) d'après Topex/Poseidon et Jason-1 (d'après l'ONERC, 2012)



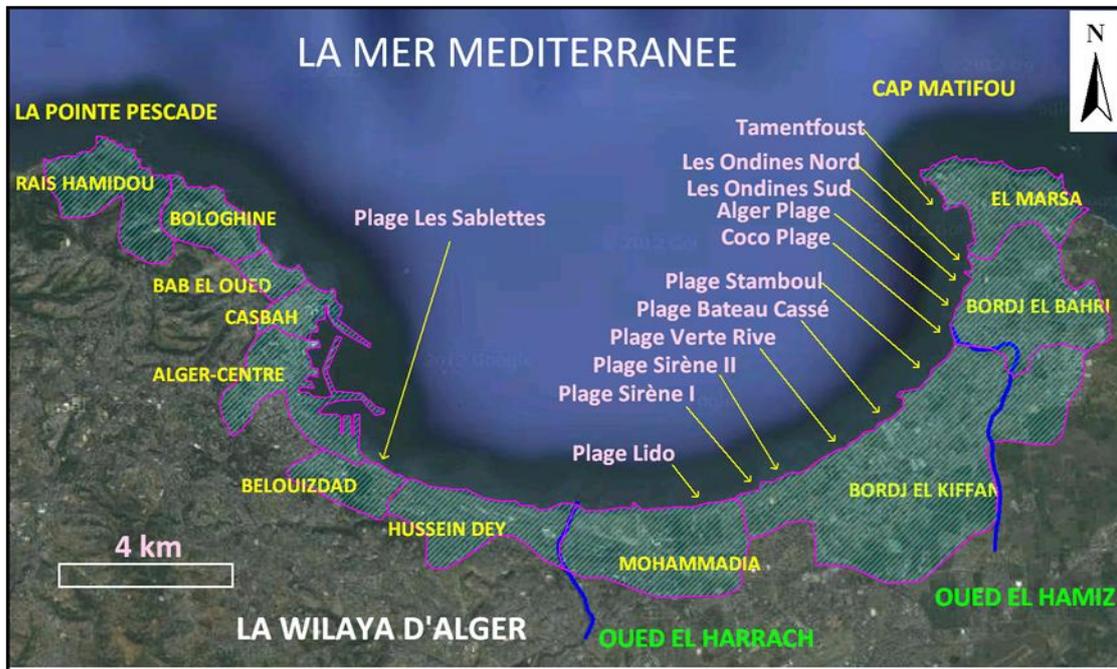
**Figure IV. 4 :** Elévation du niveau de la mer de la Méditerranée occidentale selon trois séries de données (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008)

## IV. 2. IMPACTS DE LA VULNERABILITE SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DE LA BAIE D'ALGER

Le littoral de la baie d'Alger s'étend environ 50 km à partir la pointe Piscade jusqu'au cap Matifou, il comprend onze communes et deux zones estuariennes, on cite ces communes de l'ouest à l'est :

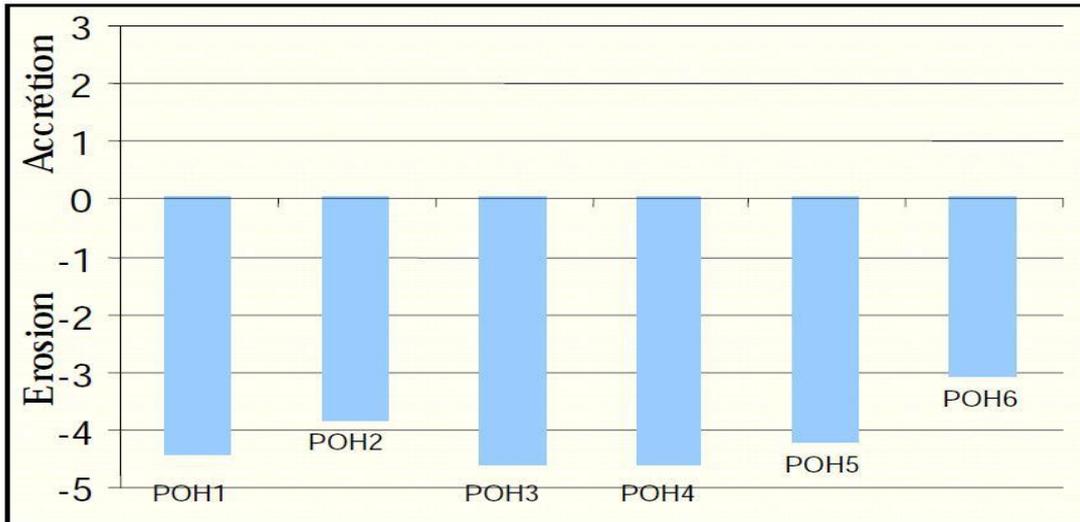
Raïs Hamidou (la pointe Pescade), Bologhine, Bab el Oued, Casbah, Alger-Centre, Belouizdad, Hussein Dey, Mohammadia, Bordj el Kiffan, Bordj el Bahri, et El Marsa (Cap Matifou).

Oued El Harrach et Oued El Hamiz se jettent dans la mer méditerranée, l'embouchure de Oued El Harrach se situe entre deux communes : Hussein Dey et Mohammadia, et Oued El Hamiz traverse entre de Bordj el Bahri et Bordj el Kiffan, mais il se déverse dans la mer à travers la commune de Bordj el Bahri.



**Figure IV. 5 :** Communes et principales plages de la baie d'Alger (Google, 2012)

Le rapport du Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de mai 2005 a mis en évidence un recul moyen de 2,25m/an de la côte algéroise (se consiste de 3 Wilayas : Alger, Tipaza et Boumerdes), sur la période de (1957-1999), l'embouchure de l'oued El Harrach enregistre une valeur maximale du recul du trait de côte qui varie entre (-3 à -4.5 m par an).



**Figure IV. 6 :** Evolution moyenne du trait de côte de part et d'autre de l'embouchure de l'oued El Harrach sur une période pluriannuelle (1957 -1999)

L'Agence de Protection et de Promotion du Littoral Algérois (APPL) a complété la surveillance du littoral algérois jusqu'à 2011, pour la zone de la baie d'Alger, la surveillance concerne les plages des communes de Bordj el Kiffan et de Bordj El Bahri. Le reste de la côte de ce secteur demeure soit inaccessible ou aménagé en cordons enrochement.

**Commune de Bordj el Bahri :** Durant la période allant de 1959 et 2008 la plage des Ondines Nord a gagné la mer d'un taux net moyen de (+0,21m/an), au cours la même période, les deux plages Ondines Sud et Alger Plage n'ont pas montré des variations notables (tableau IV .2). Les taux moyens nets d'évolutions ont insignifiants devant la marge d'erreur estimée à (0,19m/an). En ce qui concerne Coco Plage, la ligne de rivage se manifeste de la même manière que les plages précédentes.

**Commune de Bordj el Kiffan :** Sur les deux plages de l'extrémité Est de cette commune à savoir Stamboul et Bateau Cassé, l'érosion constatée entre (1959 et 2011) a été évalué à (-0,56m/an) au niveau de la plage Bateau Cassé, et à (-0,69m/an) au niveau de la plage de Stamboul (tableau IV.1).

**Tableau IV. 1 :** Taux nets (en m/an) de l'évolution du trait de côte de : Bordj El Bahri et Bordj El Kiffan (1959-2011) (APPL, 2011)

COMMUNE	Plage	Périodes							
		1959-1972	1972-1980	1980-1984	1984-1999	1999-2003	2003-2008	2008-2011	1959-2011
Bordj El Bahri	Coco plage	-0,94	+0,75	-0,96	+2,67	-1,09	2,28	-	0,16
Bordj El Kiffan	Stamboul	+0,39	+0,70	-2,82	-1,01	-	0,57	-	0,69
	Bateau Cassé	+0,03	-0,68	-0,82	-0,46	1,24	-	-	0,56
	Verte Rive	-0,71	+0,47	-0,01	-0,75	2,02	-	-	0,13
	Sirène II	+0,63	-0,34	+0,12	+1,43	0,21	-	-	0,44
	Sirène I	+0,92	+0,92	-0,15	-0,51	-	0,61	-	0,16

NB: les valeurs en jaune sont comprises dans la marge d'erreur estimée à 0,10m entre deux dates

**Tableau IV. 2 :** Taux nets (m/an) de l'évolution du trait de côte de Bordj El Bahri (1959-2008) (APPL, 2011)

COMMUNE	Plage	Périodes						
		1959-1972	1972-1980	1980-1984	1984-1999	1999-2003	2003-2008	1959-2008
Bordj El Bahri	Ondines Sud	+0,20	+0,97	+0,22	-0,25	+0,82	+0,21	
	Ondines Nord	+0,32	-0,34	-0,14	+0,97	-1,70	-0,04	
	Alger Plage	+0,09	+0,78	+0,14	-0,88	+0,56	+0,13	

NB: les valeurs en jaune sont comprises dans la marge d'erreur estimée à 0,10m entre deux dates

### IV. 3. FACTEURS DE RISQUES

#### IV. 3. 1. Géomorphologie côtière

La formation géomorphologique de la baie d'Alger se compose de trois types différents (figure IV.8):

- A partir la commune de Raïs Hamidou jusqu'à Alger centre, et la commune d'El Marsa : miocène et roches plus anciennes.
- La commune de Belouizdad jusqu'à l'exutoire d'Oued El Harrach : formations dunaires consolidées.
- La rive droite d'Oued El Harrach jusqu'à la commune de Bordj el Bahri (la plaine de la Mitidja oriental) : alluvions de la Mitidja.

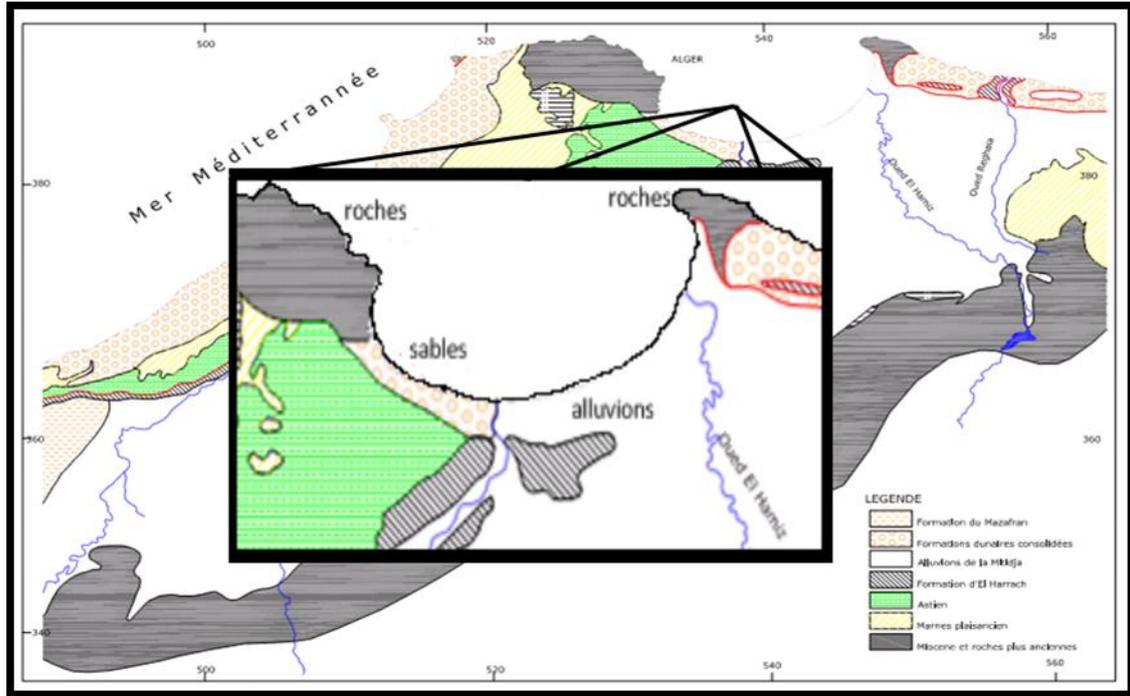


Figure IV. 7 : Carte géomorphologique de la baie d'Alger (DRHEE, 2011)

On a aussi deux zones estuariennes : l'exutoire d'Oued El Harrach, et Oued El Hamiz, et la nature des fonds de toutes les plages de la baie d'Alger est sableuse. Chaque type morphologique a sa classe de vulnérabilité, le tableau suivant représente ces classes (selon la classification de Gornitz et al, 1994) :

Tableau IV. 3 : Classification géomorphologique pour l'ICV (Gornitz et al, 1994)

	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Géomorphologie	Falaise et Côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse Dépôt glaciaire Plaine alluviale	Plage à galet Estuaire Lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves

La vulnérabilité presque très bas au niveau les deux extrémités de la baie, mais le creux de la baie d'Alger est très vulnérable, on remarque aussi que le facteur de risque est modéré au long de la rive de Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri.

Selon l'aspect géomorphologique de la baie d'Alger (figure IV. 8), le phénomène d'érosion menace une grande part du littoral, et il peut entraîner la disparition de certaines plages.

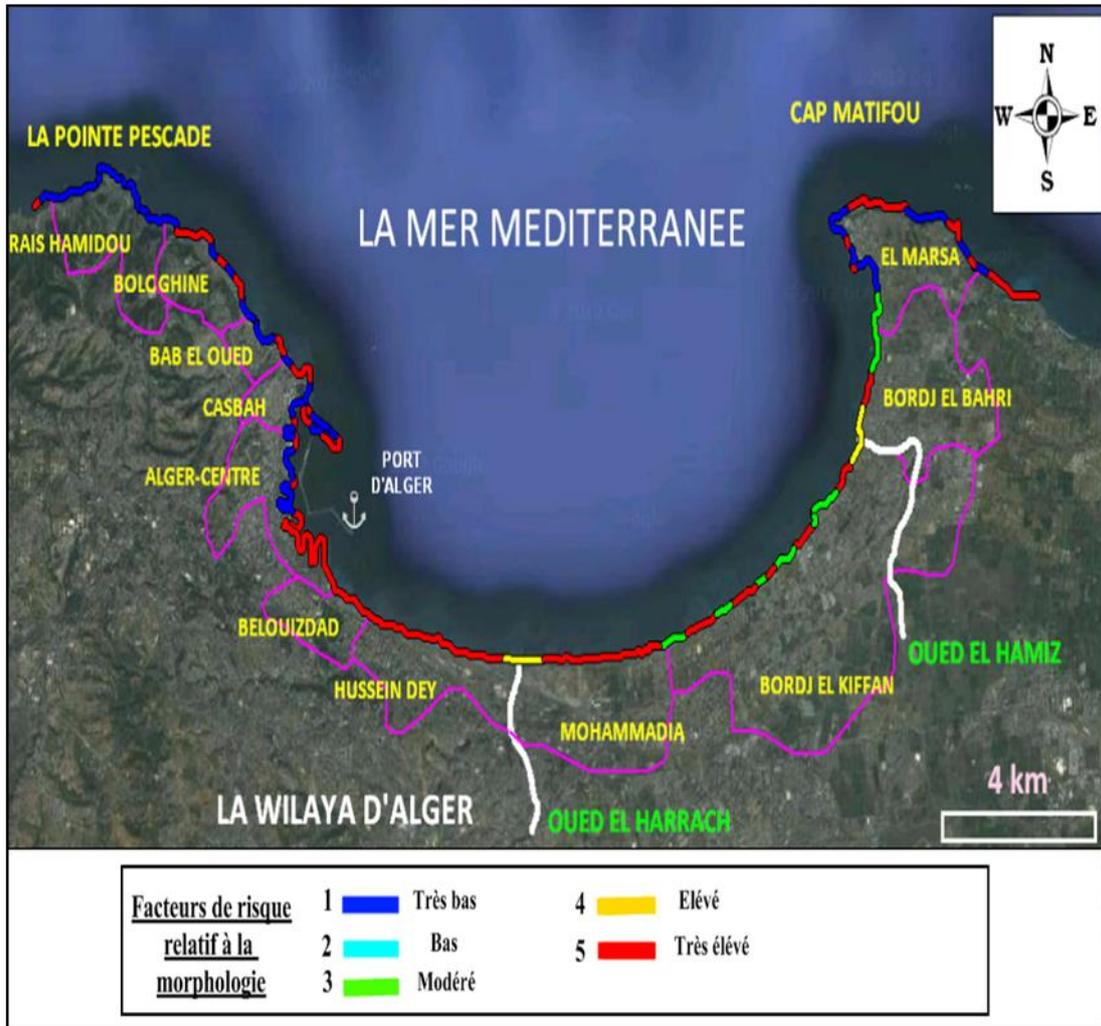


Figure IV. 8 : Etat de la vulnérabilité côtière selon la géomorphologie pour la baie d'Alger

#### IV. 3. 2. Pente côtière

La pente régionale de la zone côtière a été calculée à partir d'une grille d'élévations topographiques et bathymétriques s'étendant environ 50 km, la pente pour chaque cellule (maille) de la grille a été calculée en définissant deux extrêmes d'élévation pour chaque cellule de la grille individuelle.

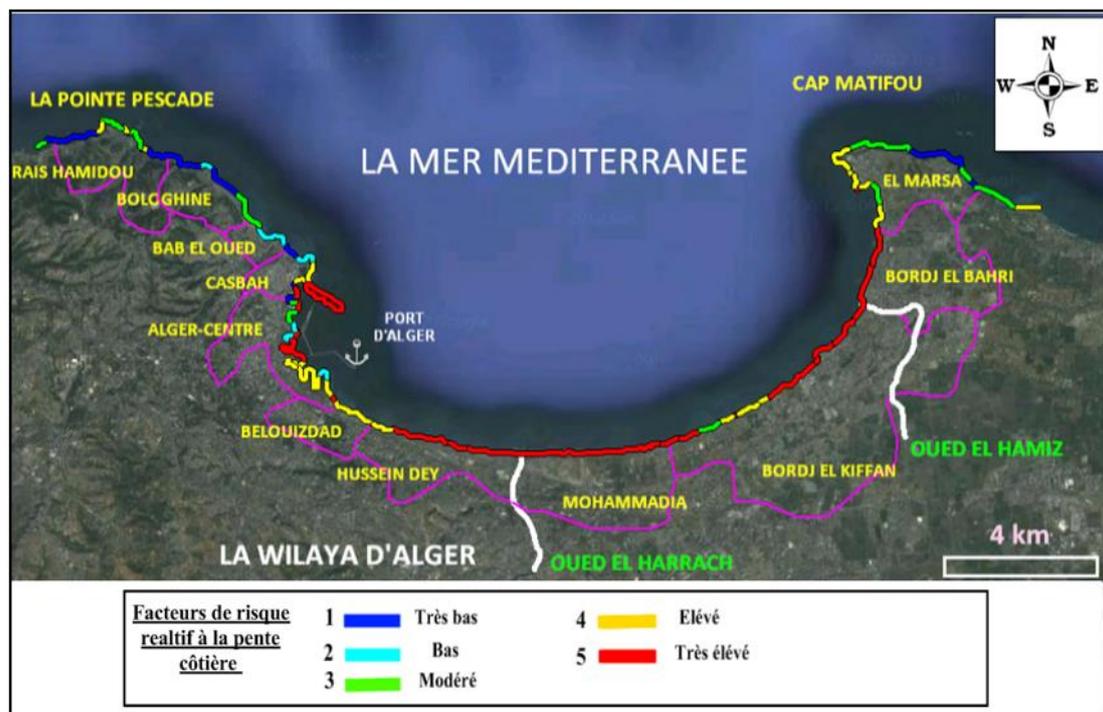
Pour ce qui est de la côte de la baie d'Alger, les deux extrémités de la baie présentent une pente généralement plus élevée dont les valeurs maximales sont 23 % au niveau de la commune de Raïs Hamidou et Bolghine, et 19 % à la commune d'El Marsa, on enregistre une douce pente au creux de la baie dont elle varie entre 1 et 2,5 %, mais la valeur minimale se trouve à la commune de Bordj El Bahri (0,6%).

La vulnérabilité relative à la pente côtière montre des valeurs plus élevées le long du creux de la baie et les rivages orientaux que les zones occidentales.

Le tableau suivant présente les différentes classes des facteurs de risque relatif à la pente côtière (d'après Thieler et Hammar-Klose, 1999) :

**Tableau IV. 4 :** Classification de la pente côtière pour l'ICV (Thieler et Hammar-Klose, 1999)

	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Pente côtière (%)	> 12	12-9	9-6	6-3	< 3



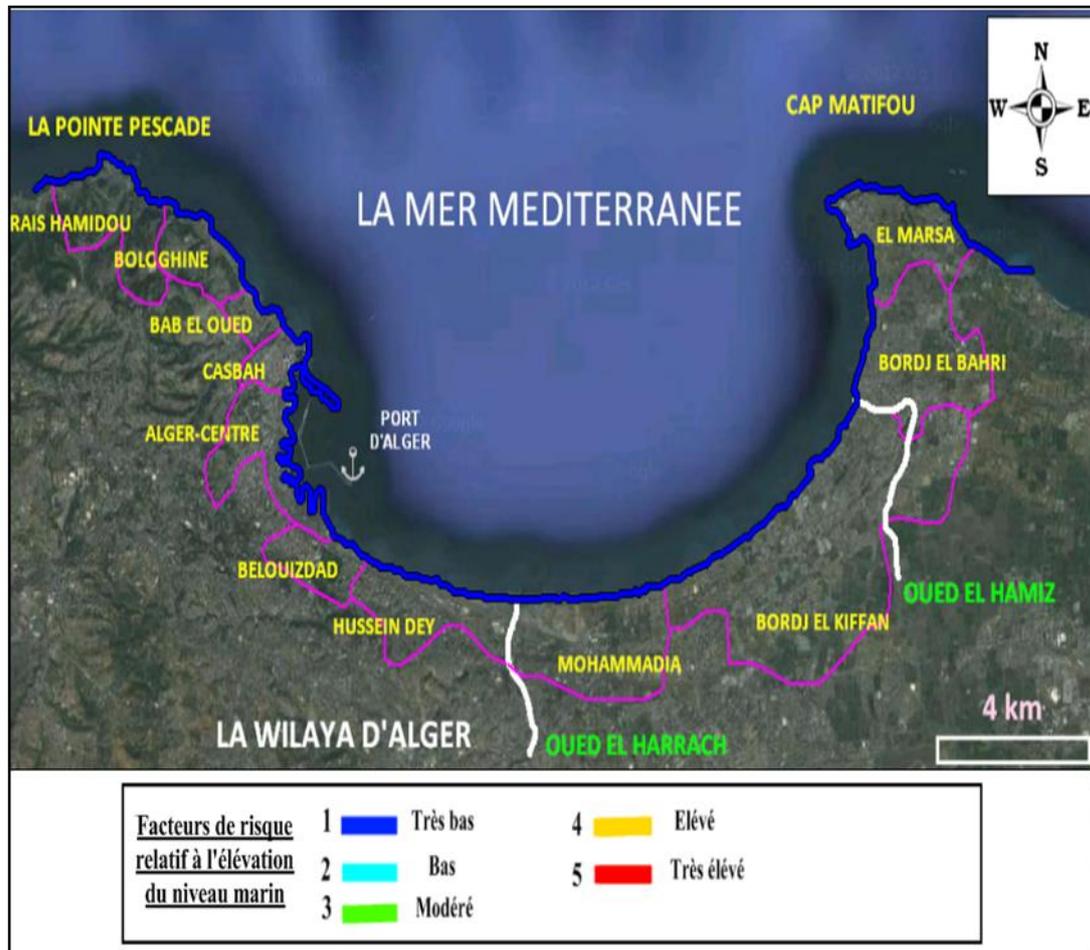
**Figure IV. 9 :** Etat de la vulnérabilité côtière selon la pente côtière pour la baie d'Alger

### IV. 3. 3. Taux de la remontée du niveau marin

Ce facteur relatif au changement climatique et l'augmentation de la température du globe, la baie d'Alger située dans la région occidentale de la mer méditerranée, et comme nous avons vu précédemment, le taux de l'élévation du niveau de la mer ne dépasse pas la valeur de 1,1 mm/an (Letetrel, 2009), cette valeur reste inférieure 1,8 mm/ an (tableau IV. 5), et selon Gornitz et *al* (1994), et Thieler et Hammar-Klose (1999), cette valeur est très bas, elle ne constitue aucun risque sur la côte.

**Tableau IV. 5 :** Classification du taux de l'élévation du niveau marin pour l'ICV (Gornitz et al, 1994)

	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an)	< 1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	> 3,4



**Figure IV. 10 :** Etat de la vulnérabilité côtière selon l'élévation du niveau marin pour la baie d'Alger

#### IV. 3. 4. Recul du trait de côte

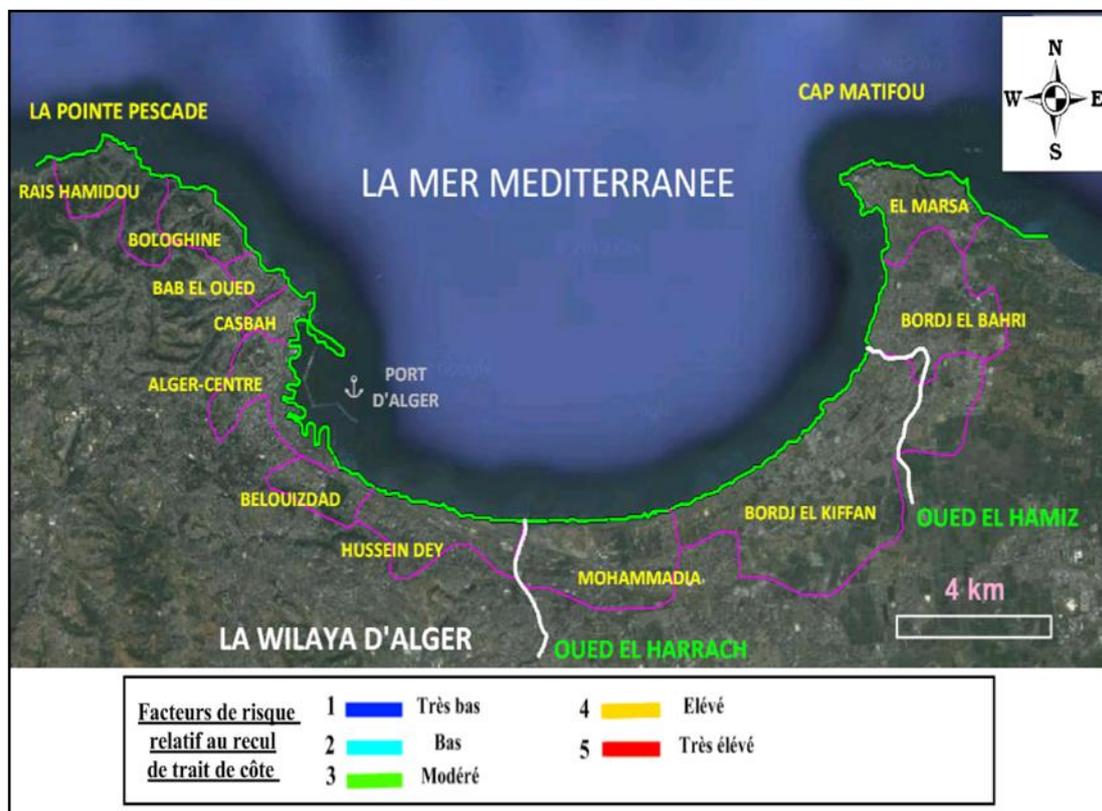
L'évolution du trait de côte est dérivée de l'augmentation ou diminution du taux d'élévation marine annuelle avec le temps, selon l'Agence de Protection et de Promotion du Littoral (APPL, 2006) le rivage de la baie d'Alger est en régression.

L'analyse des données issues de l'étude de l'évolution du trait de côte élaborée par le Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM), par une approche tendancielle de 42 ans à la période (1972-2014). Les rivages de la baie d'Alger sont enregistrées un recul

modéré, mais il y a des variations de taux d'évolution (érosion ou accrétion) d'une plage à l'autre, les zones qui sont situées à l'Est de la baie (plage Samboul, plage Bateau cassé, et la côte de la commune de Mohammadia) connaissent un recul plus des zones occidentales, on remarque aussi une avancée de trait de côte (+0,2 m/an) au niveau de plage « les sablettes » (proche au port d'Alger). Selon la classification de (Gornitz et al, 1994), le littoral de la baie d'Alger est stable, en deux les cas (recul ou avancée) son évolution ne dépasse pas un mètre par an.

**Tableau IV. 6 :** Classification d'évolution du trait de côte pour l'ICV (Gornitz et al, 1994)

	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Recul / avancée du trait de côte (m/an)	> (+2,0)	(+1,0)-(+2,0)	(-1,0)-(+1,0)	(-1,1)-(-2,0)	< (-2,0)
	<b>Accrétion</b>		<b>Stable</b>	<b>Erosion</b>	



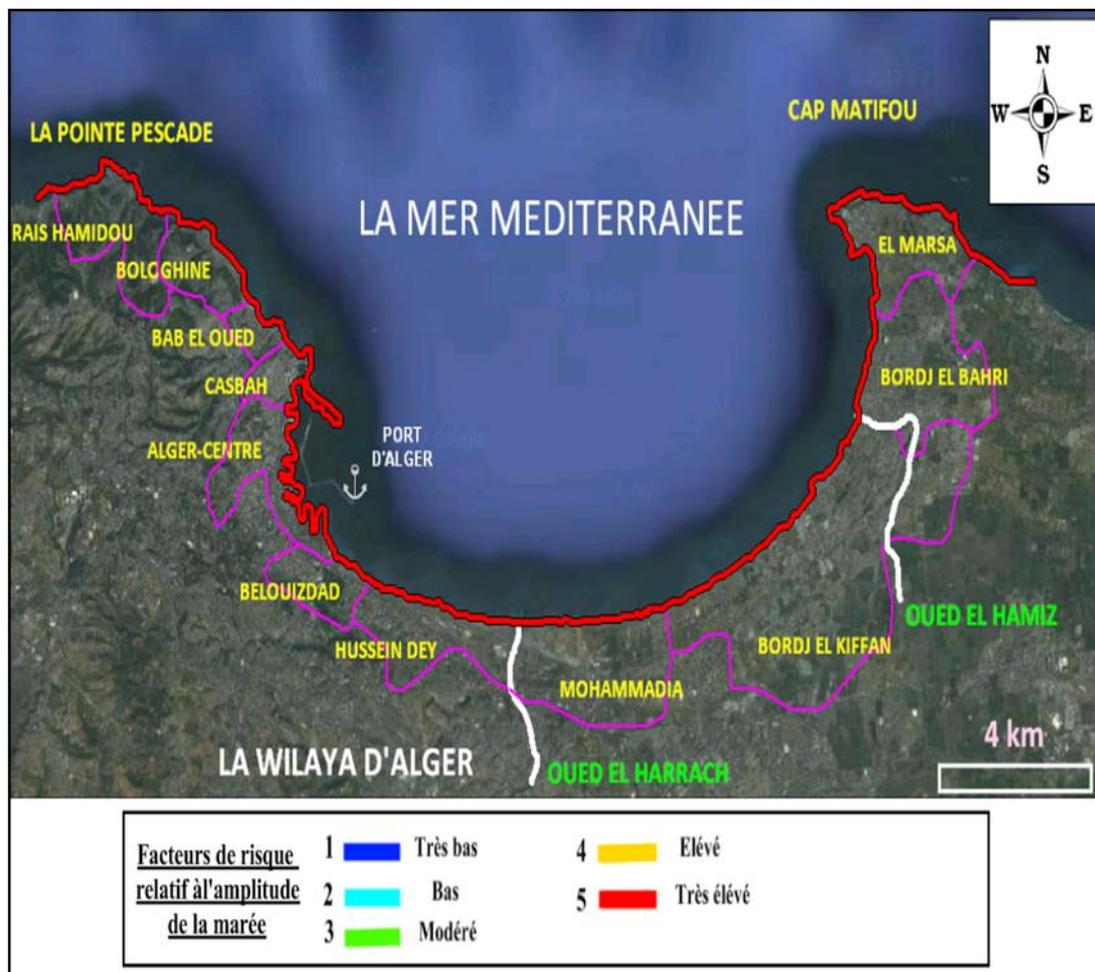
**Figure IV. 11 :** Etat de la vulnérabilité côtière selon l'évolution du trait de côte pour la baie d'Alger

**IV. 3. 5. Amplitude moyenne de la marée**

La marée en le bassin Méditerranée est du type microtidal, car elle a une faible amplitude (environ 40 cm) (SHOM), il n’y a pas une grande différence au niveau de la baie d’Alger, et d’après le Laboratoire d’Etudes Maritimes (LEM), l’amplitude moyenne de la marée est 0,34 m, selon la base de données de Gornitz et al. (1994) (tableau IV. 7) le risque de ce facteur est très élevé.

**Tableau IV. 7 :** Classification de l’amplitude moyenne de la marée pour l’ICV (Gornitz et al, 1994)

	Classe de l’indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Amplitude moyenne de la marée (m)	> 6,0	4,1-6,0	2,0-4,0	1,0-1,9	< 1,0



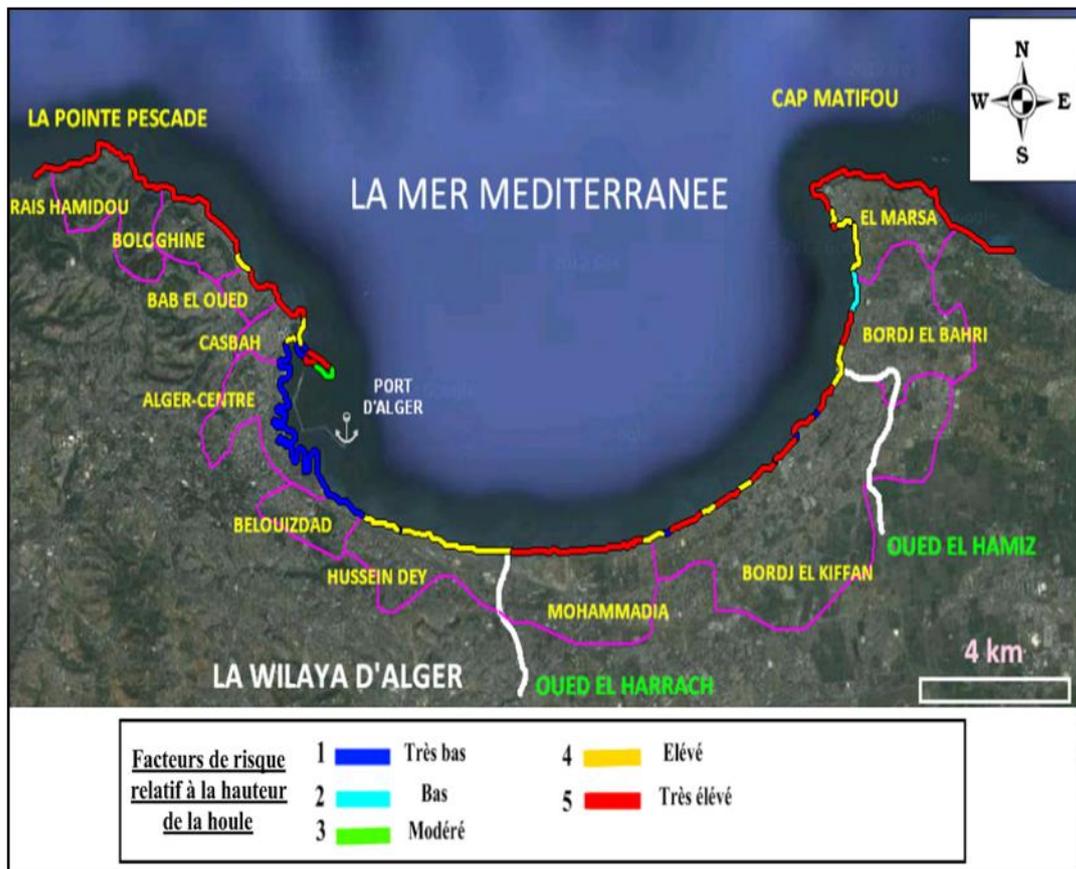
**Figure IV. 12 :** Etat de la vulnérabilité côtière selon l’amplitude moyenne de la marée pour la baie d’Alger

**IV. 3. 6. Hauteur moyenne de la houle**

La forme de notre littoral (une baie) permet d'enregistrer des variations dans les valeurs des hauteurs moyennes de la houle, les vagues se propagent de l'ouest vers l'est, et l'extrémité ouest de la baie (le port d'Alger) joue de rôle d'un obstacle, alors on peut remarquer une diminution de la hauteur de vague qui atteint à 0,1 m (les rivages des communes d'Alger centre et Belouizdad), mais aux extrémités de la baie d'Alger (la commune de Raïs Hamidou et El Marsa) la hauteur moyenne de la houle peut dépasser 4,5 m (LEM).

**Tableau IV. 8 :** Classification de la hauteur moyenne de la houle pour l'ICV (Gornitz et al, 1994)

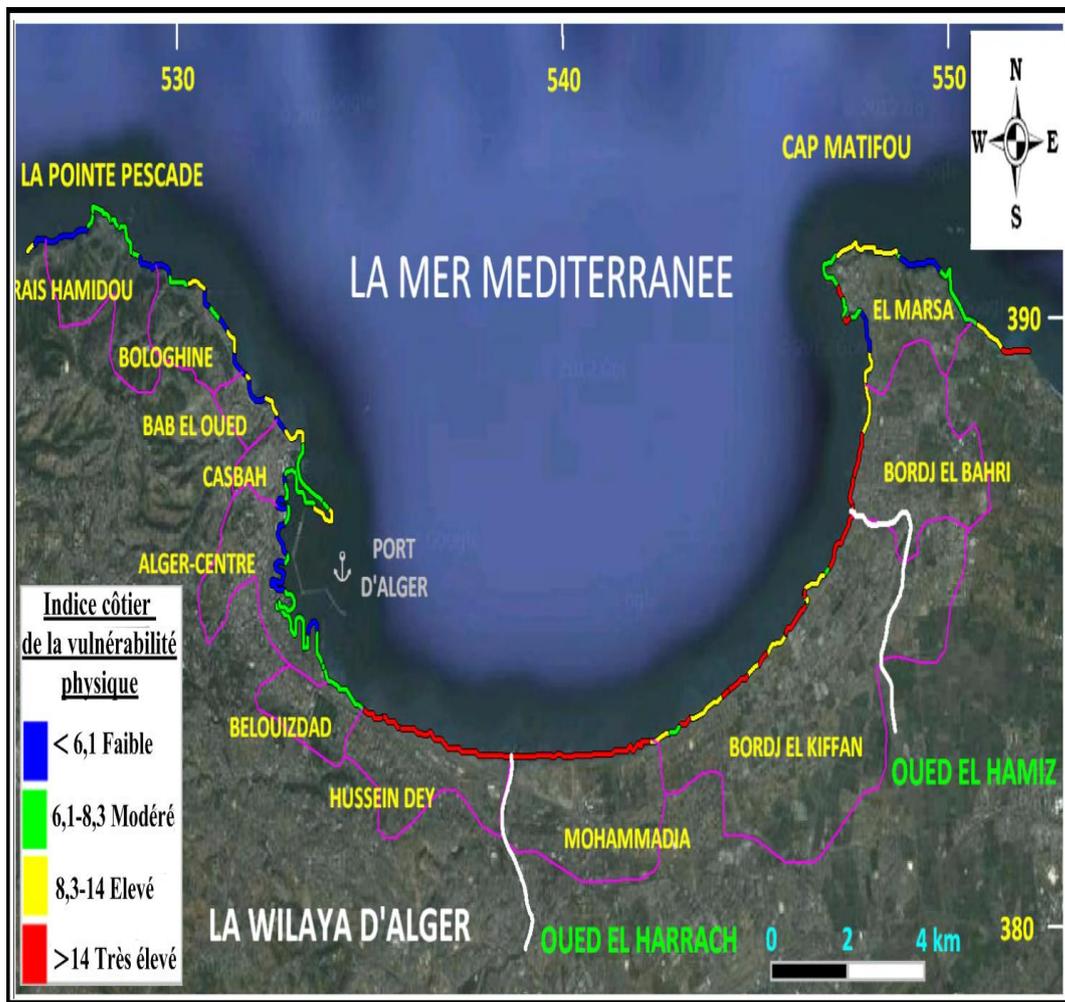
	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Amplitude moyenne de la houle (m)	< 0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,05-1,25	> 1,25



**Figure IV. 13 :** Eta de la vulnérabilité côtière selon la hauteur moyenne de la houle pour la baie d'Alger

#### IV. 4. INDICE CÔTIER DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE

L'ensemble de tous les paramètres de risques a permis de déterminer l'indice côtier de la vulnérabilité selon la formule de Gornitz et *al.* (1994). Cet indice peut détecter les zones les plus sensibles et les facteurs responsables de risque. Les valeurs de cet indice que nous avons calculé varient entre 1,6 et 17,7 avec une valeur moyenne de 10,3, et la médiane est 8,3. En utilisant la méthode des gammes de quartiles (25%, 50%, 75%, 100%) et par l'inspection visuelle des données, on divise les résultats de l'ICV en quatre catégories, si l'ICV inférieur à 6,1 le risque est faible, et modéré entre 6,1 à 8,3, et dans la gamme de 8,3 à 14 le risque est élevé, si supérieur à 14 on dit le risque est très élevé. Sur la carte de la vulnérabilité côtière, nous avons donné à chaque classe de risque une couleur significative.



**Figure IV. 14 :** Carte de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV) pour le littoral de la baie d'Alger

## IV. 5. RESULTATS ET DISCUSSION

### IV. 5. 1. Les variables de l'ICV

La géomorphologie, comme une variable non numérique, exprime la réponse relative de différents types de la forme de terres côtières et l'élévation de niveau de la mer. Le faciès géomorphologique de la baie d'Alger se divise en deux parties, la nature du fond proche de la côte (presque une bande d'un kilomètre de largeur est sableuse) (Maouche, 1987), et la géomorphologie terrestre qui se divise en quatre types, on remarque le type de sol alluvial à l'Est de la baie d'Alger (communes de Bordj El Kiffan, Bordj El Bahri et El Marsa), ce type présente une vulnérabilité modérée, par un pourcentage 9,12% du trait de la côte (4,5 km). Les zones sableuses présentent la grande valeur par 27 km du long de la côte (environ de 54%), ces zones sont très vulnérables. On trouve une vulnérabilité faible dans les zones rocheuses 32% (presque 16 km), qui consiste une grande partie au niveau des deux extrémités de la baie (à partir la commune de Raïs Hamidou jusqu'à la commune d'Alger Centre, et la commune d'El Marsa). La moindre valeur présente un risque élevé par 4,7 % (2,4km), qu'elle concerne les deux estuaires d'oued El Harrach (commune de Mohammadia) et d'oued El Hamiz (commune de Bordj El Bahri) (figure IV. 14).

Parmi les variables considérées, la pente côtière est l'indicateur principal du risque d'inondation. La vulnérabilité très élevée est relative à la pente douce (<3%), qui présente une grande proportion environ de 40%, et 23% pour une vulnérabilité élevée (où la pente côtière varie entre 3 et 6%), les valeurs de vulnérabilité modérée (9-6 %), faible (12-9 %) et très faible (> 12 %) sont remarquées dans les régions rocheuses (la pente plus forte), elles sont successivement 15,7%, 7% et 14,1% (figure IV. 14).

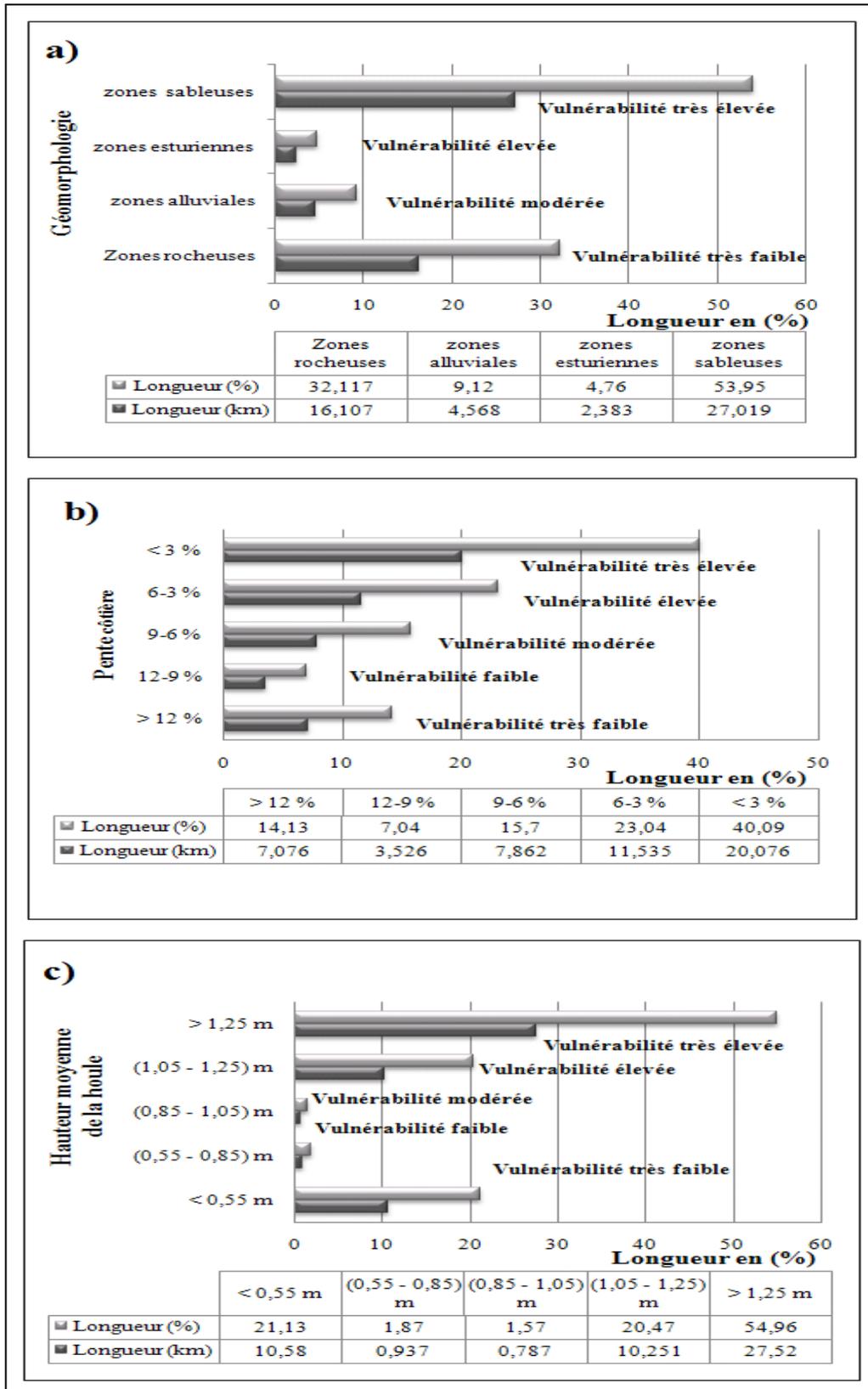
Le changement relatif de niveau de la mer est considéré comme avoir la même valeur au long de littoral de la baie d'Alger, cette variable ont pris la valeur de 1,1 millimètres par an (vulnérabilité très faible, car elle est inférieure 1,8 mm /an), qui est taux global eustatique moyen d'élévation de niveau de la mer pour la période de temps entre 1885 et 2007 (Letetrel, 2009).

Selon les études du Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM), la variation du trait de la côte de la baie d'Alger est stable ((-1,0)-(+1,0) m/an, troisième classe dans le tableau IV.6), le recul du littoral est élevé (risque d'érosion) au niveau des quelques plages (communes de Mohammadia et Bordj El Kiffan) par rapport les autres plages, l'embouchure de oued El Harrach est la zone plus vulnérable, par un taux de recul

environ de 0,8 m/ an, au contraire, les rivages de la commune de Belouizdad connaissent une avancée du trait de la côte.

La marée au niveau de la baie d'Alger est du type microtidal, avec une valeur d'amplitude 0,34 m (LEM), selon Gornitz et al, 1994, cette valeur représente une vulnérabilité très élevée puisque inférieure 1m (5<sup>ème</sup> classe du tableau IV.7).

La houle est un facteur principal du risque d'érosion, dans la baie d'Alger, la hauteur de la houle varie selon la direction de propagation, et la morphologie du fond. Les vagues diffusent de l'Ouest vers le Sud-est, comme nous avons présenté dans l'histogramme de la vulnérabilité côtière relative à la hauteur de la houle (la figure IV. 15), 27,5 km du littoral se caractérisent par une vulnérabilité très élevée (55%), et une vulnérabilité élevée (10,25%), au long de la côte de la commune de l'Hussein Dey et quelques zones dans les communes de Bordj El Kiffan, Bordj El Bahri et El Marsa. Faibles proportions de vulnérabilité modérée et faibles (1,6 %, 1,9%). Les vagues au niveau des communes de Belouizdad et Alger Centre constituent un risque très bas (21,1% de la côte de la baie d'Alger), parce que le port d'Alger joue un rôle d'obstacle qui diminue la hauteur de vagues et dissipe leur énergie.



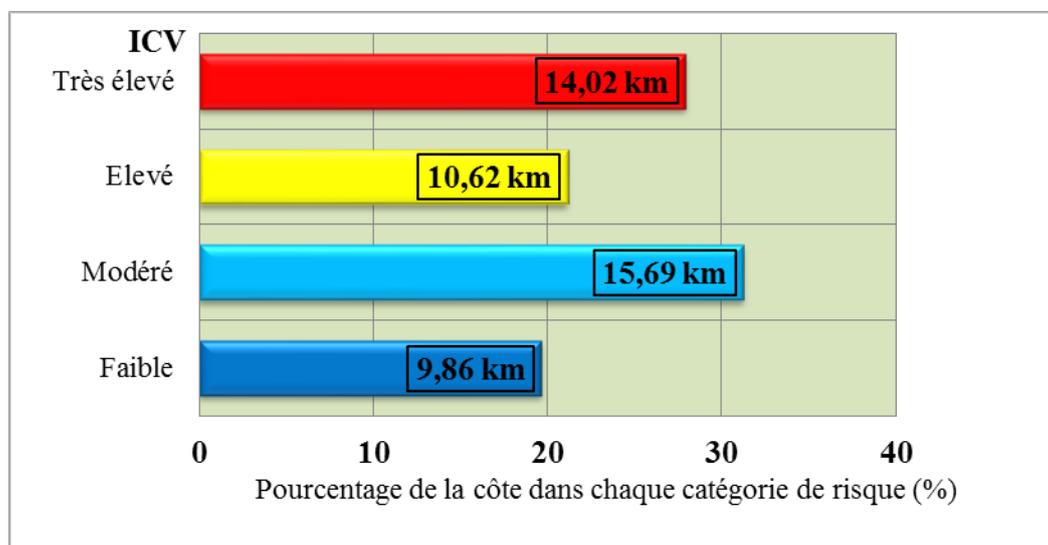
**Figure IV. 15 :** Histogrammes de classification des variables de l'ICV (a : morphologie côtière ; b : pente côtière ; c : hauteur moyenne de la houle), concernant le littoral de la baie d'Alger (longueur et pourcentage relatifs) dans les 5 classes de vulnérabilité (très faible, faible, modérée, élevée, très élevée), selon Gornitz et al, 1994 ; Thieler et Hammar-Klose, 1999.

#### IV. 5. 2. Les valeurs de l'ICV

On peut remarquer que la vulnérabilité au niveau des rivages de : Hussein Dey, Mohammadia, et grande partie de Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri est très élevée, cela est dû principalement à la morphologie de ces zones, la structure des plages ici soit sableuses ou alluviales, où la pente est très faible, c'est ce qui rend la côte plus vulnérable aux érosions de sols et aux inondations, surtout au niveau de l'embouchure de oued El Harrach et oued El Hamiz, en raison d'absence de la protection et l'aménagement efficaces.

Les régions Est et Ouest de la baie d'Alger sont moins affectées, car sa structure morphologique est rocheuse, et sa pente généralement plus élevée, et malgré la grande intensité des vagues au niveau de ces zones, mais la vulnérabilité est presque modérée, sauf quelques rivages qui connaissent une faible vulnérabilité (Raïs Hamidou, El Marsa, et au niveau du port d'Alger).

L'histogramme suivant montre le pourcentage du littoral de la baie d'Alger selon les différents degrés des risques, on constate qu'environ de 50 % du littoral de la baie d'Alger subit un risque réel, presque de 28 % de long de côte sont des zones à très haut risque par 14,02 km, et supérieur à 10 km sont classées comme des zones à risque élevé 21 %, le risque modéré présente la grande proportion 31% (15,69 km du long de la côte), enfin, on remarque une valeur considérable des zones côtières à faible risque environ de 20% (9,86 km).



**Figure IV. 16 :** Pourcentage du littoral de la baie d'Alger pour chaque degré de vulnérabilité physique

## **IV. 6. APPLICATION DE LA METHODE DRASTIC AUX ZONES CÔTIÈRES SENSIBLES SELON L'ICV**

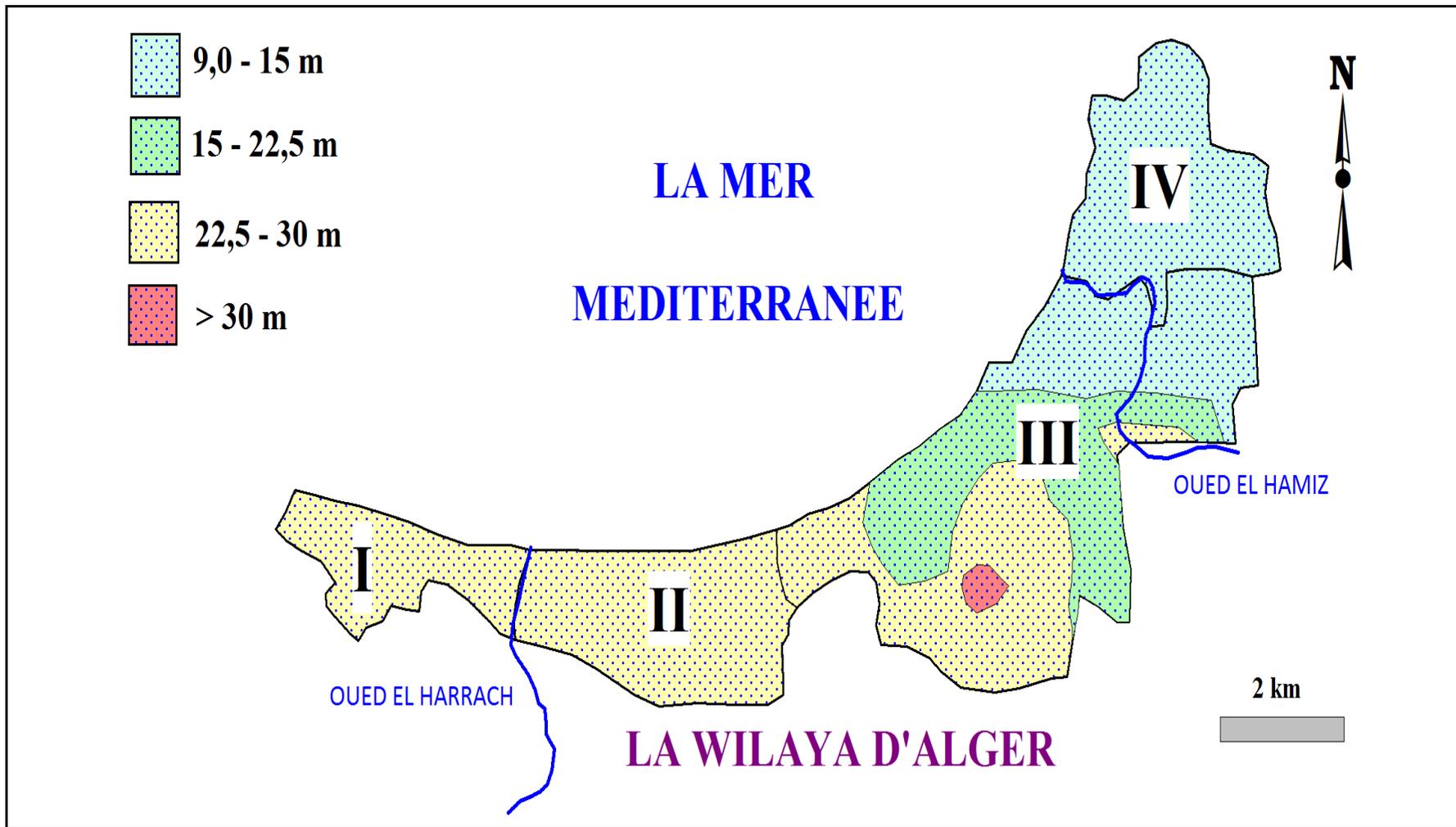
Les eaux souterraines sont considérées vulnérables lorsqu'un contaminant donné peut pénétrer et être transporté au sein de leur régime d'écoulement. D'après la détermination de l'indice côtier de la vulnérabilité au niveau de la baie d'Alger, on a vu que les quatre communes (Hussein Dey, Mohammadia, Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri) sont les plus vulnérables, à cet égard, nous avons utilisé la méthode DRASTIC pour étudier la vulnérabilité des nappes dans ces zones, et nous avons adopté sur les données collectées à travers l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Alger, et de Blida, et aussi par des études précédentes.

L'ANRH a retenu des points de mesures constitués de puits, de piézomètres et de forages non exploités pour faire l'objet d'un réseau piézométrique de la nappe dans l'espace et dans le temps, la profondeur de la nappe (D) dans notre zone d'étude selon des mesures menées à l'année 2011, il est varié entre 12 à 34 m, et la recharge efficace (R) varie entre 115 à 165 mm/an (figure IV. 18).

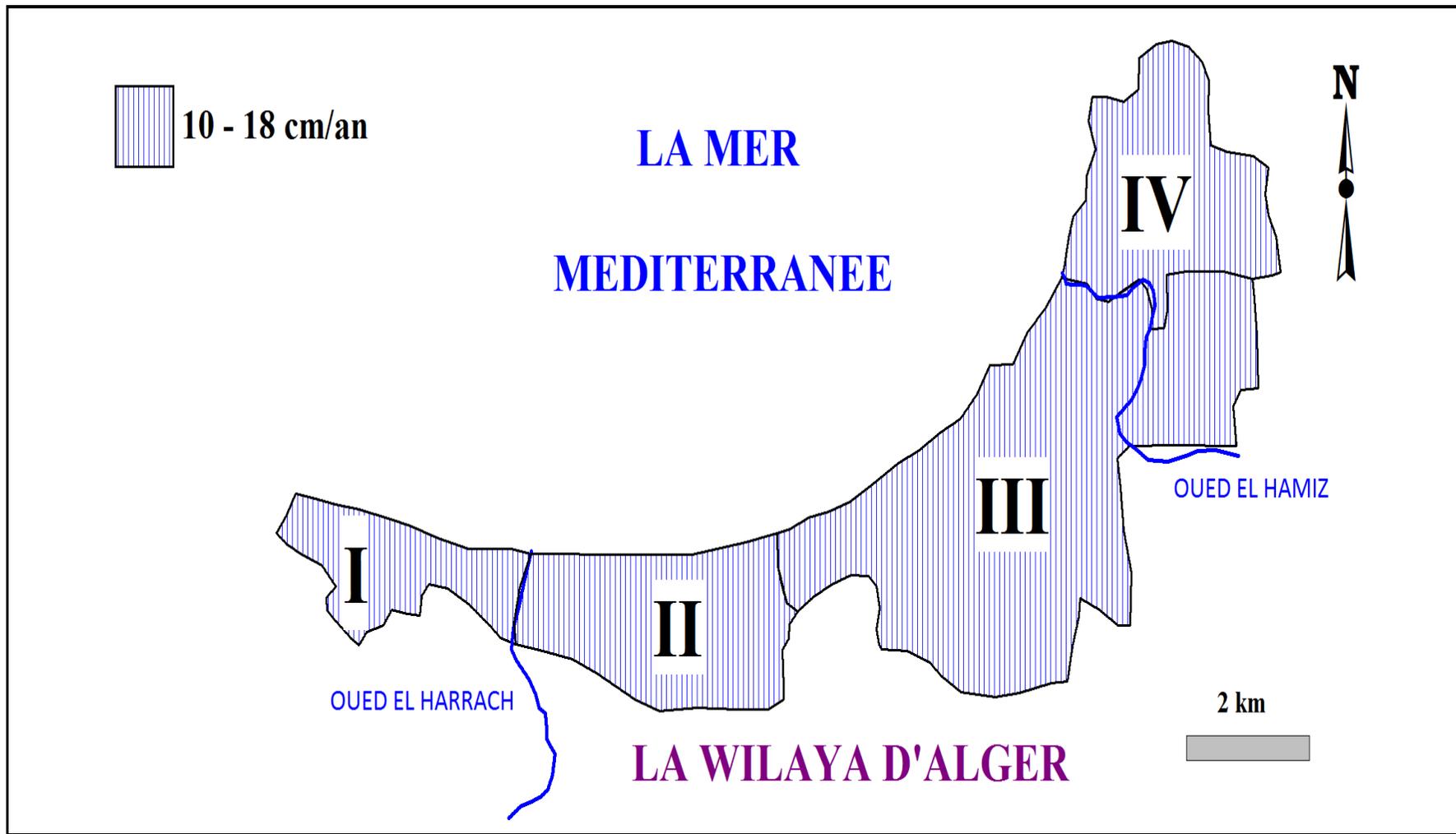
Le paramètre (T) ou la topographie, est généralement plane, avec une pente faible d'environ 0,5%, et pouvant atteindre 2 à 5% dans une petite partie dans la commune de Bordj El Kiffan (sud de la commune).

La région d'étude est plaine alluviale, elle se caractérise par formations des sables consolidés (grès), gravier et argile, on peut remarquer les paramètres (A), (S) et (I) dans les cartes ci-dessous.

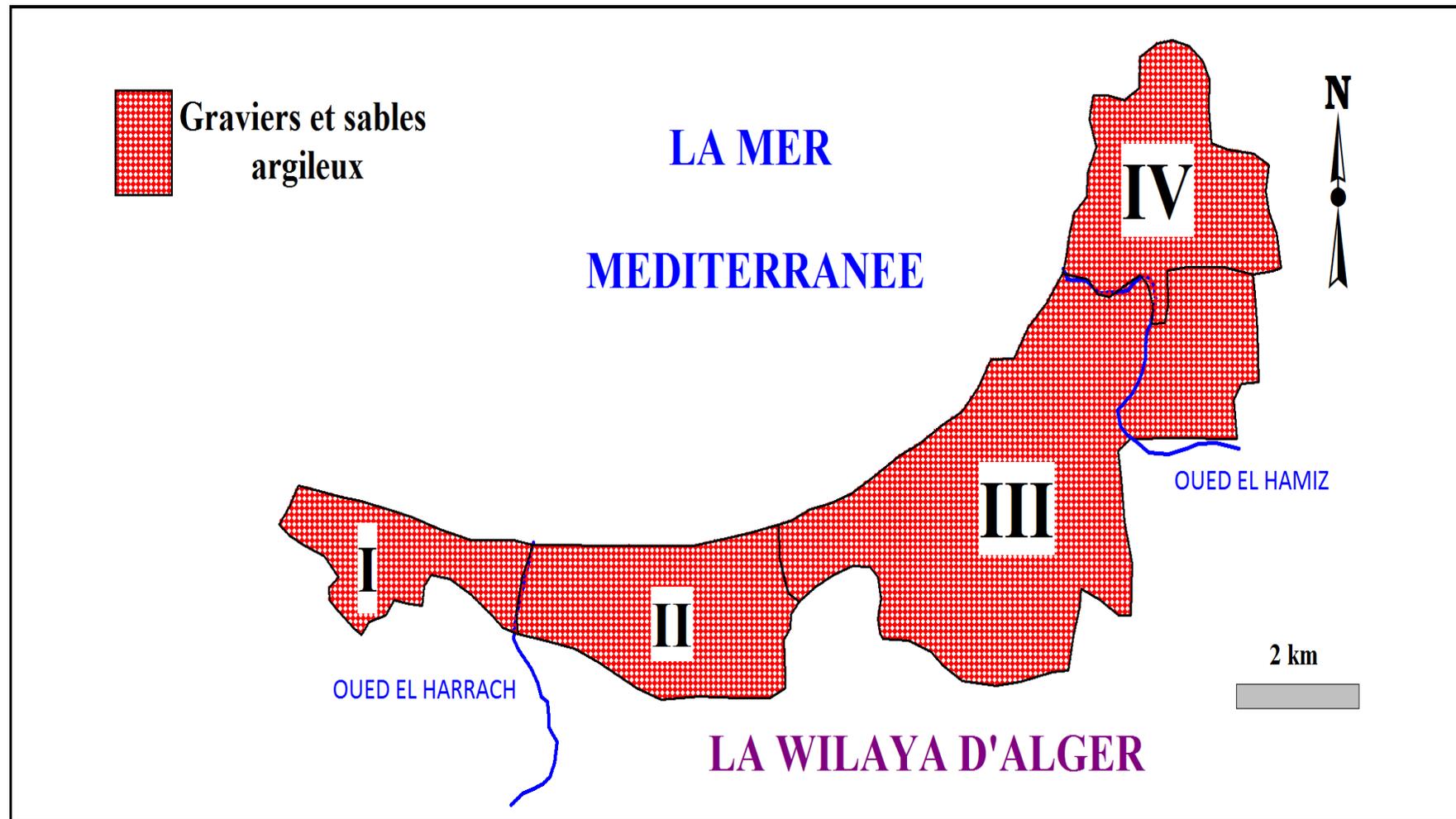
Enfin, la conductivité hydraulique (C), dans les 2 communes de Mohammadia et Bordj El Kiffan est environ de 0,0001 m/s, et plus forte dans les communes de Hussein Dey et Bordj El Bahri par 0,0002 m/s, et 0,0003 m/s dans le sud de Mohammadia (figure IV. 23).



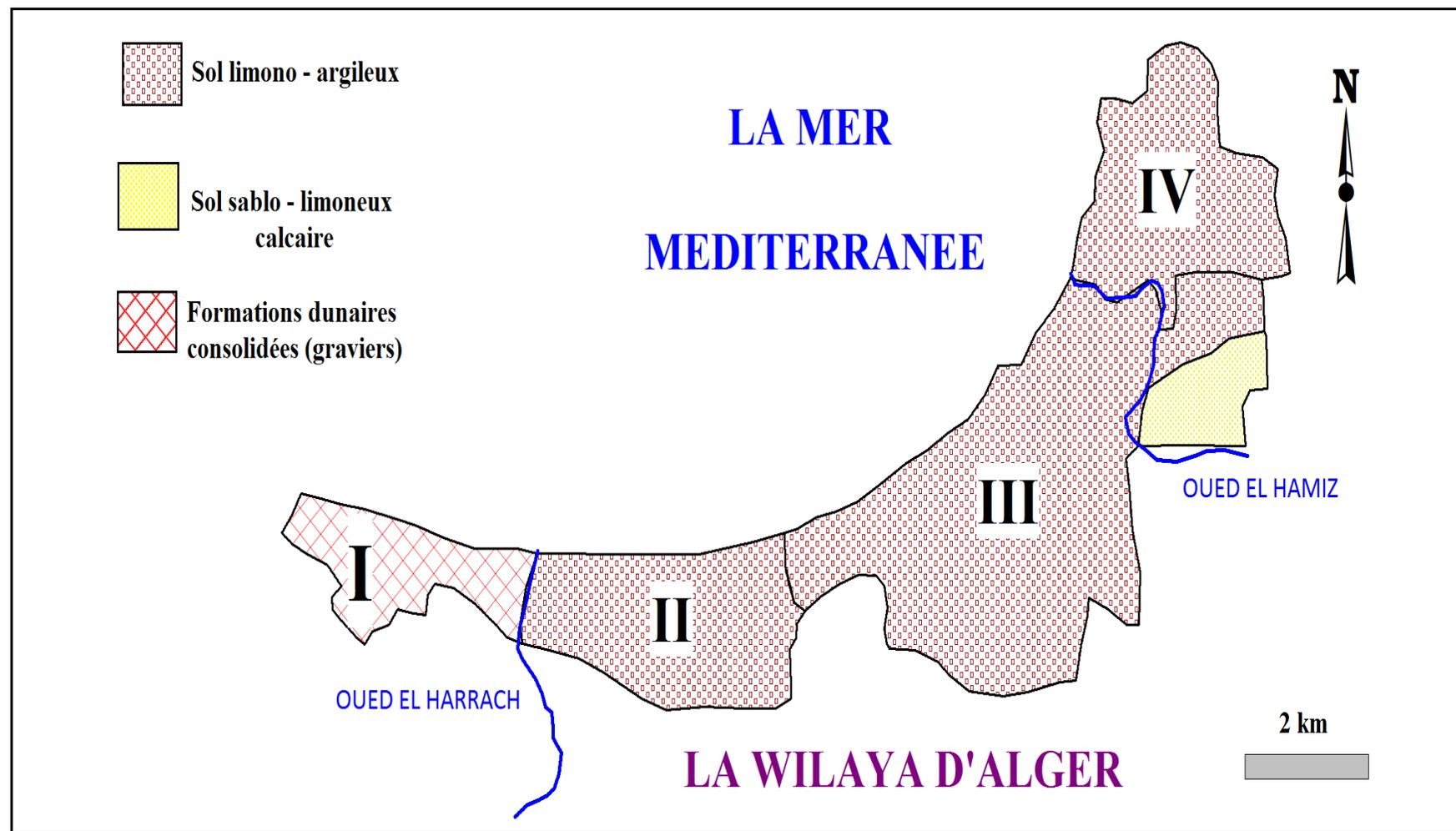
**Figure IV. 17 :** Carte de vulnérabilité selon la profondeur de la nappe (D) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



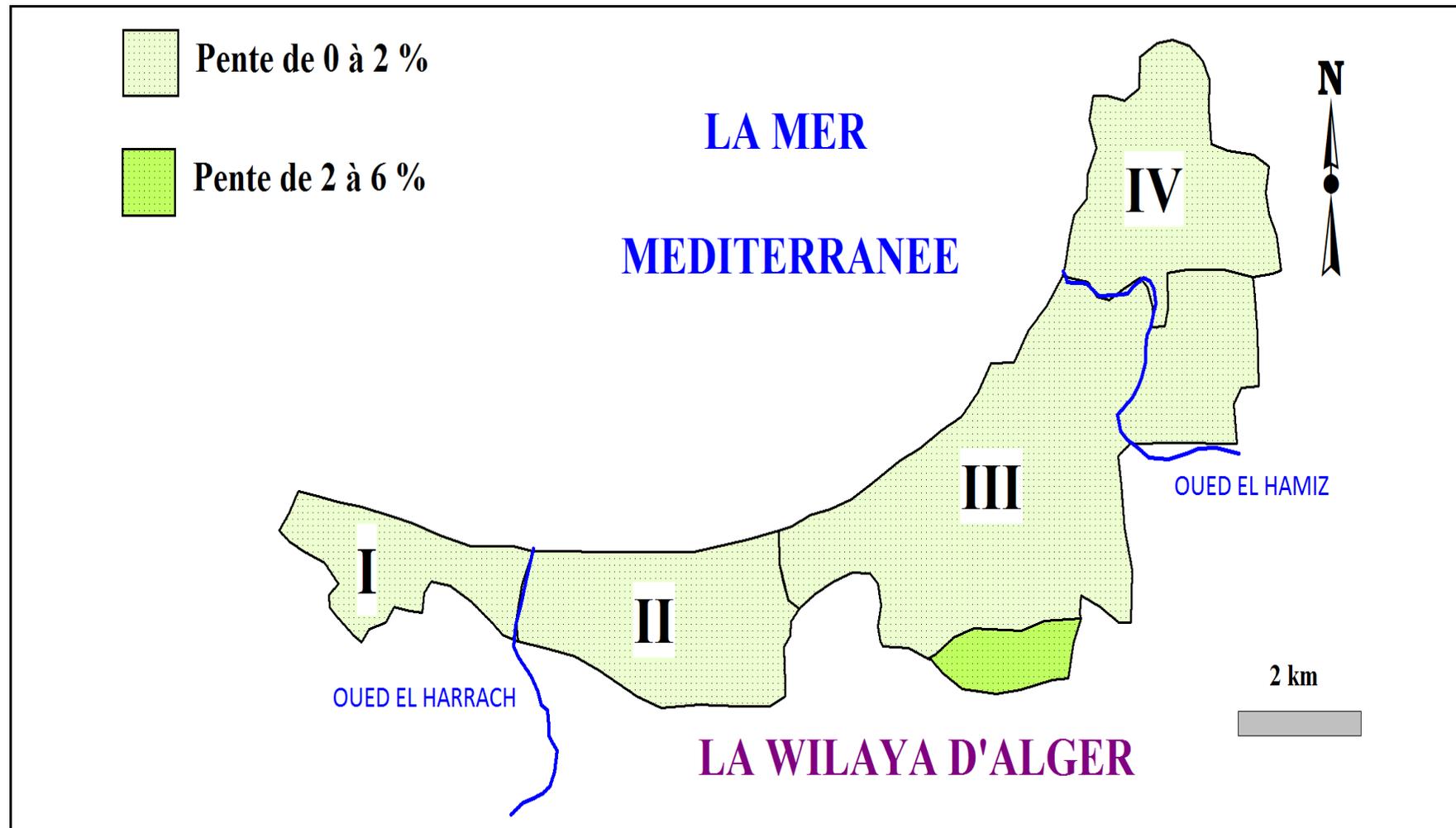
**Figure IV. 18 :** Carte de vulnérabilité selon la recharge nette (R) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



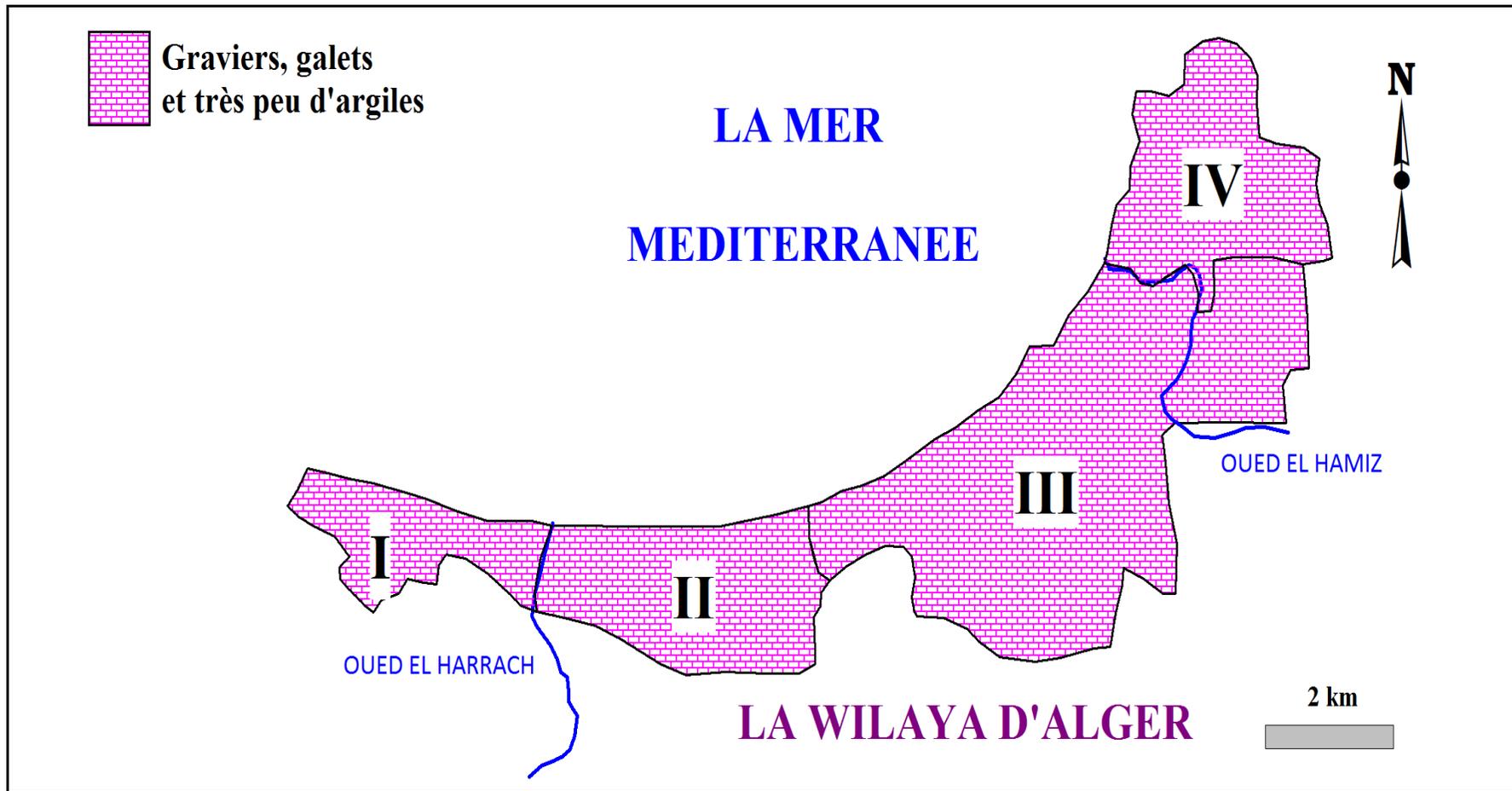
**Figure IV. 19 :** Carte de vulnérabilité selon la lithologie de l'aquifère (A) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



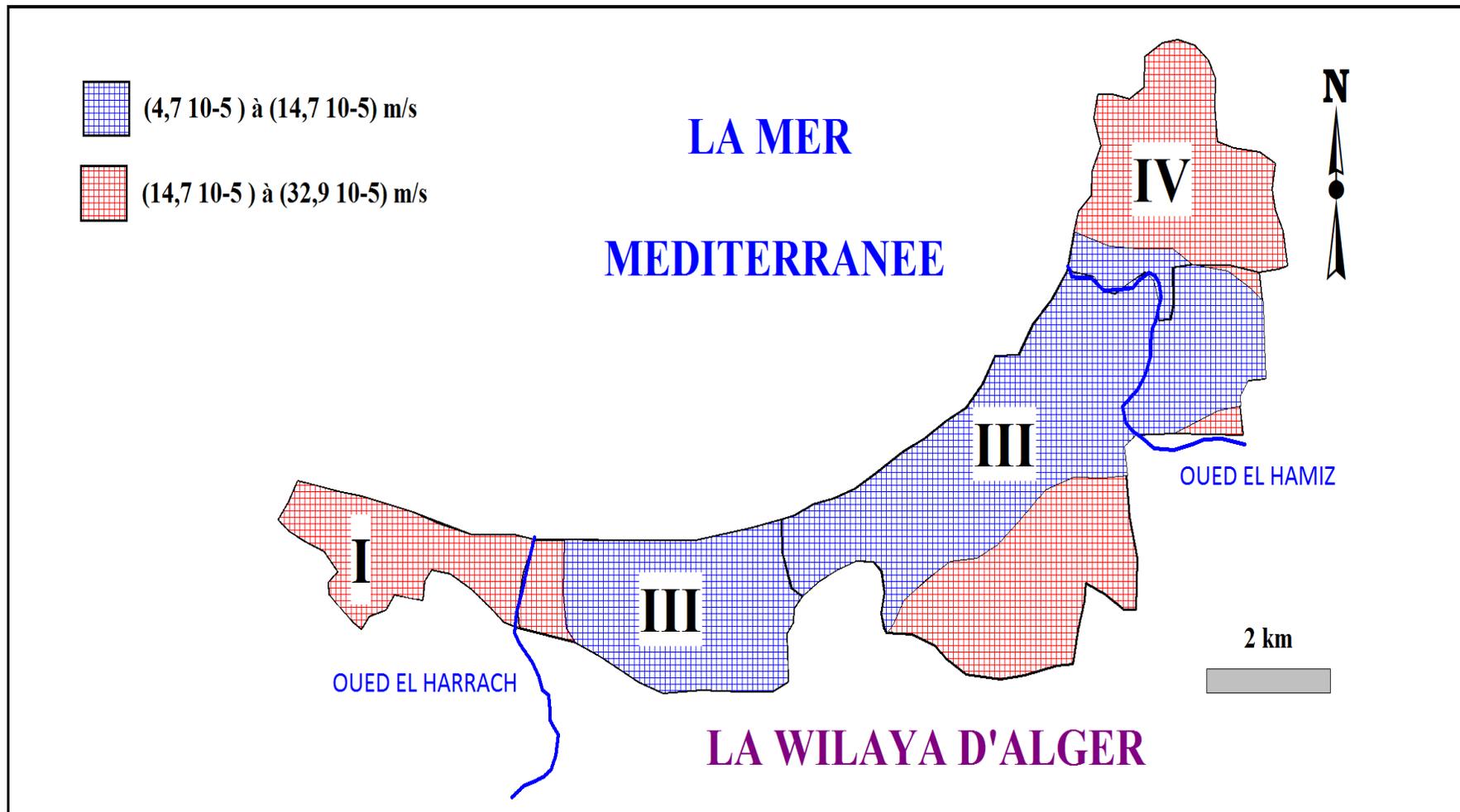
**Figure IV. 20 :** Carte de vulnérabilité selon le type de sol (S) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



**Figure IV. 21 :** Carte de vulnérabilité selon la topographie (T) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



**Figure IV. 22 :** Carte de vulnérabilité selon l'impact de la zone non saturée (I) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri



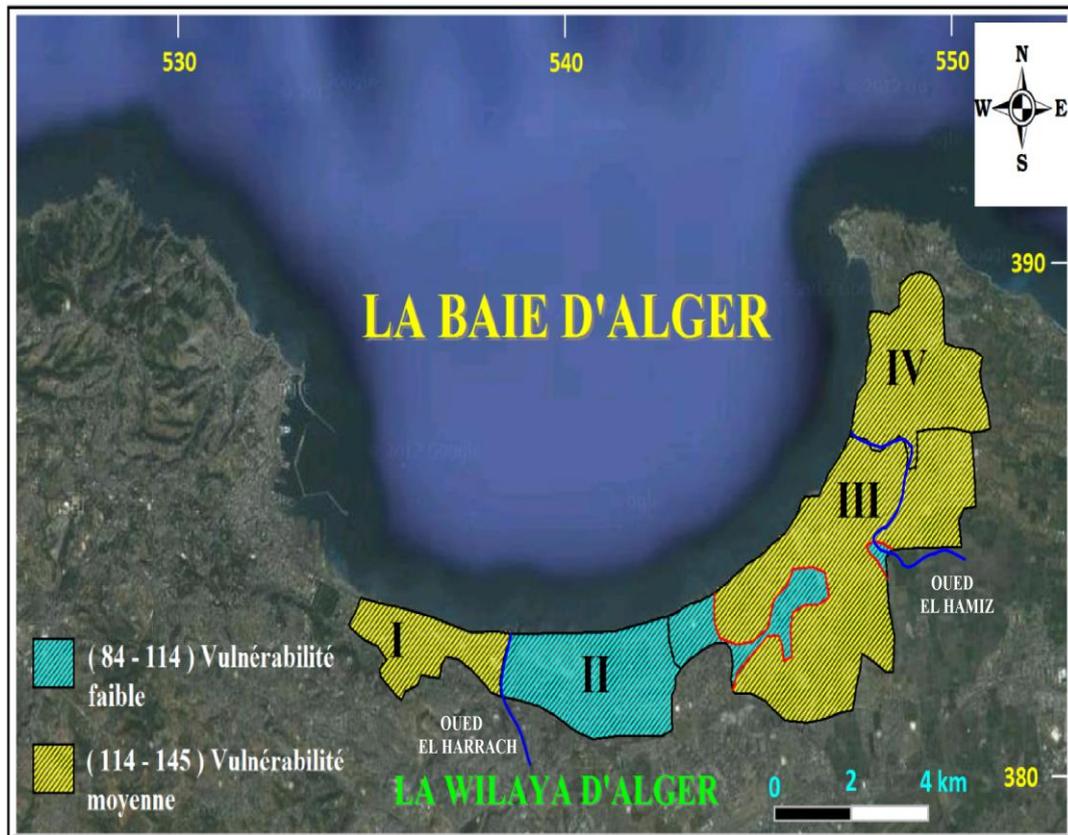
**Figure IV. 23 :** Carte de vulnérabilité selon la conductivité hydraulique de l'aquifère (C) aux zones sensibles : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri

La combinaison des sept cartes thématiques établies permet de dresser la carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe de notre région (les 4 communes), selon la méthode DRASTIC et à l'aide du logiciel de MapInfo (figure IV, 24).

L'indice de vulnérabilité obtenu varie de 110 à 136, dont 30% de la superficie sont des zones à faible vulnérabilité (pas d'un grand risque), et 70% sont des zones moyennement vulnérables.

Les communes de l'Hussein Dey, Bordj El Bahri et la plupart de Bordj El Kiffan sont des zones à moyenne vulnérabilité où la profondeur de l'eau relativement faible (environ de 10 m au niveau de Bordj El Bahri), et on peut remarquer une faible vulnérabilité concentrée au niveau de la commune de Mohammadia et une partie de Bordj El Kiffan, dont le niveau des eaux souterraines un peu profond (34,47 m marqués au niveau d'un piézomètre situé dans Mohammadia).

La surexploitation des ressources souterraines a contribué à diminution de risque de la pollution des nappes, mais on peut prévoir le danger dans les zones intérieures (la Mitidja), comme nous sommes confrontés aussi le risque de phénomène de l'invasion marine dans ces zones.



**Figure IV. 24** : Carte de vulnérabilité (DRASTIC) des zones sensibles selon l'ICV : communes I : Hussein Dey ; II : Mohammadia ; III : Bordj El Kiffan ; IV : Bordj El Bahri

## CONCLUSION

Pour le littoral de la baie d'Alger, les secteurs les plus vulnérables sont ceux avec les pentes les plus faibles, qui se composent essentiellement de vastes zones sableuses, et alluviales, en particulier, les communes de : Hussein Dey, Mohammadia, Bordj el Kiffan, et Bordj el Bahri. Le niveau de la mer s'accroît par faible vitesse (ne dépasse pas 1,1 mm/an), et le trait de la côte régresse modérément au long du littoral, avec des quelques exceptions (une accrétion à plage Les Sablettes, et une érosion élevée à plage Stamboul et Bateau cassé). En ce qui concerne les facteurs hydrodynamiques, on a vu un risque très élevé à cause l'amplitude moyenne de la marée (34 cm présentant le type microtidal), et une variation de l'intensité de la houle, puisque notre zone sous forme d'un golfe, et les installations portuaires du port d'Alger constituent un obstacle qui diminue la force des vagues, c'est ce qui rend le risque dans les régions de : Alger Centre et Belouizdad est très bas, et dans les autres secteurs, le risque presque très élevé.

Le fruit de notre travail est la détermination des zones côtières les plus vulnérables par calcul l'ICV, et la vulnérabilité des eaux souterraines dans ces zones par la méthode DRASTIC, grâce à Mapinfo, nous avons pu à établir, d'une part, la carte de la vulnérabilité physique côtière de la baie d'Alger, qui a montré une vulnérabilité très élevée, pratiquement au niveau des rivages de : Hussein Dey, Mohammadia, Bordj El Kiffan, et Bordj El Bahri de pourcentage environ de 30 % du long de la côte, et presque 20% sont des zones à vulnérabilité élevée, le risque modéré sur 30% du littoral, et 20% qui reste constitue un risque bas remarquable au niveau des deux extrémités de la baie d'Alger (les zones rocheuses). D'autre part, nous avons suivi le travail de vulnérabilité du littoral par étude de l'état des eaux souterraines au niveau des quatre communes où la vulnérabilité côtière très élevée, en utilisant la méthode DRASTIC, nous avons relevé que 70 % de la zone d'étude (Hussein Dey, Bordj El Kiffan, et Bordj El Bahri) sont des zones moyennement vulnérables, et la vulnérabilité au niveau de la commune de Mohammadia est faible. Des zones qui incitent l'établissement d'un système de gestion intégrée des zones côtières afin assurer un développement durable aux différentes ressources potentielles.

## **CHAPITRE V**

# **AMENAGEMENT DES ZONES CÔTIÈRES VULNERABLES ET DES EMBOUCHURES**

## **INTRODUCTION**

L'étude de la vulnérabilité du littoral, elle permet de déterminer le degré de d'altération et de dégradation au niveau de chaque zone côtière (plage, port, estuaire), et les sources de risque principales, à travers le chapitre précédent, on a vu les impacts de la dynamique de la mer sur la côte, et la sensibilité morphologique. Afin d'assurer une protection du littoral, et un aménagement des secteurs affectés et sensibles, on va découvrir les différentes techniques de la défense, et les équipements côtiers, et aussi leurs utilisations, leurs caractéristiques et leur efficacité.

## **V. 1. OUVRAGES CÔTIERS**

Les équipements littoraux se considèrent comme des aménagements lourds de défense, généralement classées en fonction de leur position par rapport au niveau de la mer (émergées et submergées) et de leur typologie (les ouvrages longitudinaux et les ouvrages transversaux), ils s'utilisent principalement pour protéger les zones côtières aux effets néfastes de la dynamique de la mer, préserver les plages, et lutter contre l'érosion de la côte.

On distingue trois types d'ouvrages : les murs et enrochements, les brise-lames, et les épis.

### **V. 1. 1. Murs et revêtements en enrochements**

Ces ouvrages ont pour objet d'assurer la protection de la zone terrestre située derrière eux en s'opposant aux attaques frontales de la houle et à l'action des courants. Ils sont généralement implantés devant des installations urbaines, le long de routes en front de mer et plus généralement en bordure du littoral. Leur rôle essentiel est de s'opposer à

l'attaque de la mer en recevant directement le choc des lames (murs brise mer), en dissipant leur énergie sur un talus d'enrochements (digue a talus), en laissant monter les lames sur une pente douce (digue en pente douce a revêtement lisse). On cite 3 types d'utilisation :

#### **V. 1. 1. 1. Murs de soutènement**

Les ouvrages de soutènement, qui comprennent les murs (murs poids ou en béton armé) et soutènements plans (rideaux de palplanches...), servent au maintien direct du trait de côte en s'opposant à la poussée des terres ; ils permettent ainsi de lutter contre l'érosion des terres. Leurs caractéristiques principales sont une orientation longitudinale, sur le trait de côte ou en arrière-côte, et une pente verticale à légèrement inclinée. Ces ouvrages sont particulièrement sensibles aux problèmes d'affouillement à leur pied dus à leur forte réflectivité, provoquant des désordres sur l'ouvrage, ils sont aussi sensibles aux infiltrations d'eau côté terre et à leur mise en charge, c'est pourquoi ils sont souvent traversés par des barbicanes.



**Figure V. 1 :** Mur en béton (d'après le Comité Zone d'Intervention Prioritaire, 2012)

#### **V. 1. 1. 2. Digues côtières**

Les digues côtières sont des ouvrages faisant obstacle aux écoulements à terre, rattachés au rivage par au moins une extrémité et possèdent deux talus visibles (côté terre et côté mer) éventuellement confortés. Ces ouvrages ont donc pour fonction principale la protection contre la submersion et permettent de protéger des enjeux (par

exemple, un axe de communication routier). Elles peuvent être situées sur le trait de côte ou en arrière-côte en tant que protection de seconde défense.



**Figure V. 2 :** Digue frontale (l'exemple de Beauvoir-sur-Mer, en France) d'après CETMEF (2011)

### **V. 1. 1. 3. Perrés**

Les perrés sont des ouvrages longitudinaux inclinés, pour but de la protection des terres contre la submersion marine, ils protègent la superficielle du talus sous-jacent, ils n'ont aucune action sur la stabilité en masse du talus (contrairement aux murs de soutènement), et leur maintien du trait de côte immédiat dès leur construction, constitués d'un revêtement (en maçonnerie, béton, enrochements liés ou non) recouvrant un talus autostable.

Ces ouvrages sont très sensibles à l'abaissement du niveau topographique de la plage, provoquant un affouillement en pied d'ouvrage et le déstabilisant. Ainsi des systèmes anti-affouillement se trouvent souvent intégrés au pied de l'ouvrage, par exemple des palplanches métalliques ou des enrochements.



**Figure V. 3 :** Perré en enrochements (cas de Noirmoutier, en France) d'après CETMEF (2011)

### V. 1. 2. Brise-lames

Les brise-lames sont des ouvrages parallèles à la côte (ouvrages longitudinaux), mais non rattachés à celui-ci, conçus pour diminuer l'énergie de la houle incidente en créant un déferlement en amont du trait de côte, cette perte d'énergie en arrière de l'ouvrage permet aux sédiments en transit de s'accumuler, créant parfois un tombolo artificiel. Le tombolo permet d'accroître l'espace récréatif d'une plage et de protéger le trait de côte, cependant un brise-lames peut aussi servir uniquement de stabilisation du trait de côte sans engraissement, selon les règles de dimensionnement choisies. Les matériaux de construction sont variables, allant d'une structure « à talus » (présence d'un cœur d'ouvrage) avec carapace en enrochements jusqu'aux caissons bétonnés posés directement sur le fond.

Généralement, On retrouve les brise-lames dans les mers à faible marnage, et dans les petits fonds (environ 1-8 m), si la distance au rivage d'un brise-lame augmente, son efficacité diminue, mais si cette distance est trop faible, le bassin de dissipation de l'ouvrage est trop petit pour absorber l'énergie de la houle après déferlement (Samat, 2007).

Selon le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF), pour qu'un brise lame puisse provoquer la formation d'un tombolo se raccordant à l'ouvrage, il faut que les limites d'expansion de la houle, issues de chacune des extrémités de l'ouvrage, se croisent sur le trait de côte, ce qui conduit dans le cas d'une houle normale à la cote, à la relation :

$$l > 1,2 (l_c + 0,3L) \quad (\text{V. 1})$$

Avec  $l$  : longueur du brise-lame.

$l_c$  : distance du brise-lames à la côte.

$L$  : longueur d'onde de la houle au point considéré.

Le Cellules Economique Régionales de la Construction (CERC) montre que la formation d'un tombolo peut habituellement être évitée si  $l < l_c$ . En revanche si la longueur de l'ouvrage devient supérieure à sa distance à la cote, la probabilité de formation d'un tombolo augmente, et pour  $l > 2l_c$  un tombolo se forme.

Pour éviter le phénomène d'érosion du rivage entre deux brise-lames successifs, il faut l'espacement ( $e$ ) entre deux brise-lames doit être comme suivant (LCHF) :

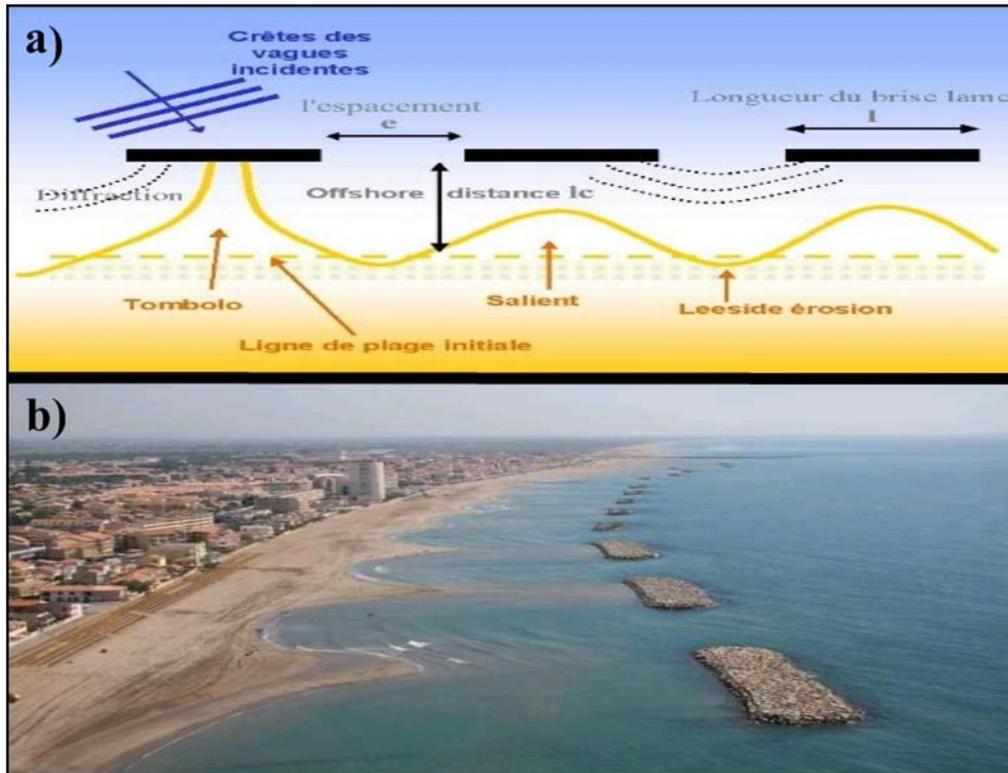
$$e < 0,83 l_c + 0.5L \quad (\text{V. 2})$$

avec  $e$  : espacement entre deux brise-lames.

$l_c$  : distance du brise-lames à la côte.

$L$  : longueur d'onde de la houle au point considéré.

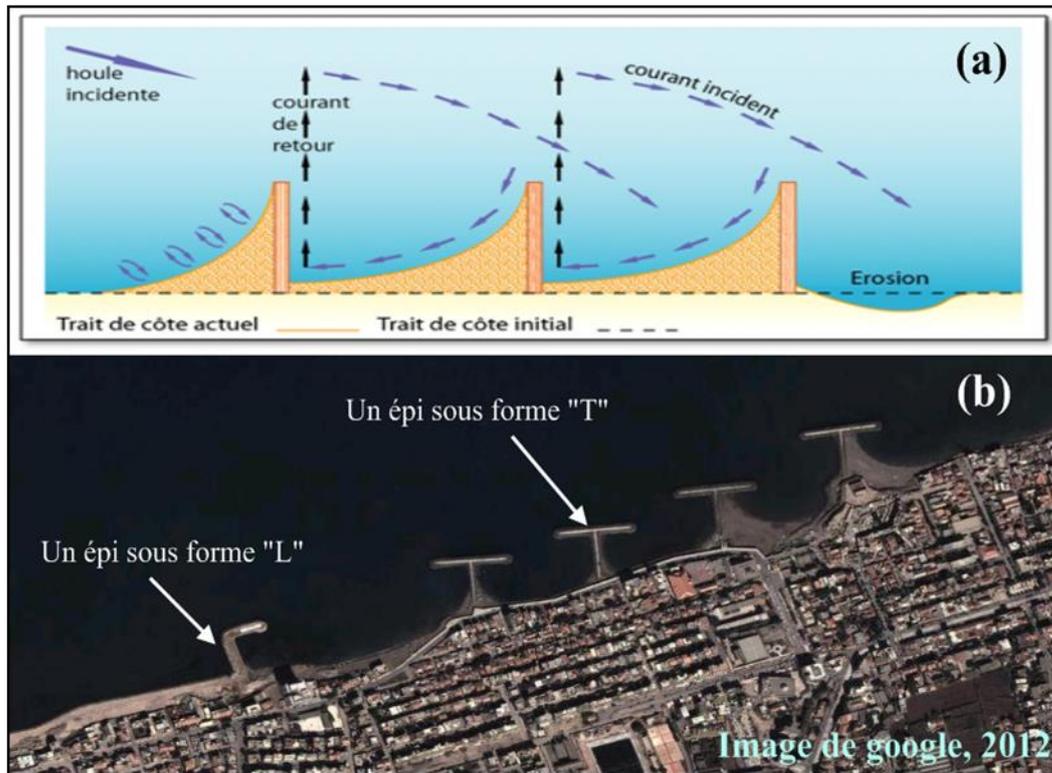
Le CERC recommande un espacement égal à deux fois la longueur d'onde de la houle ( $2L$ ), avec une longueur de chaque ouvrage inférieure à sa distance au rivage (Samat, 2007).



**Figure V. 4 :** Brise-lames : a) Schéma descriptif des brise-lames  
b) Les brise-lames (exemple de Valras, en France) d'après CETMEF (2011)

### V. 1. 3. Epis

Lorsque les mouvements sédimentaires prédominants sont parallèles à la côte (transit littoral), les ouvrages transversaux tels que les épis sont généralement efficaces. Les épis formant un relief par rapport au terrain avoisinant arrêtent tout ou partie des sédiments en transit. Ils contribuent à la stabilisation des plages, et protection des zones portuaires (Migniot, 1990). La construction de ces ouvrages est sous diversités formes (droite, courbe, en "L", "T", "Y"... ) et de matériaux (enrochements, maçonnerie, bois, matériaux géosynthétiques, etc.). Ces techniques jouent le rôle de barrière plus ou moins perméable, capable de piéger une partie des sédiments en transit, ces sédiments forment alors généralement une accumulation en amont de l'ouvrage (dans le sens du transit sédimentaire) et une érosion en aval. L'accumulation peut permettre de lutter contre l'abaissement topographique de la plage ou d'augmenter l'espace récréatif.



**Figure V. 5 :** Technique des ouvrages épis (CETMEF, 2011) :  
 a) Le principe de fonctionnement des épis sous forme droite;  
 b) Une batterie d'épis (cas de la plage de Sirène, Bordj El Kiffan)

Les épis ont pour objet d'arrêter, au moins partiellement, le débit solide de transit littoral (Samat, 2007). L'application de formules empiriques permet le calcul du transit sédimentaire à partir des statistiques de houles au large et de leur transfert à la côte par réfraction (Farnole et Queffeuou, 1994). Le LCHF (Laboratoire Central d'Hydraulique de France) a proposé pour quantifier le débit du transit littoral la formule suivante (Migniot, 1990):

$$Q = \frac{Kg}{\gamma} \times H^2 \times T \times f(\alpha) \quad (V. 3)$$

Où :

**Q** : Débit solide (m<sup>3</sup>/s) ;

**H, T, γ** : Hauteur (m), Période (s), et Cambrure de la houle (-) ;

**K** : Coefficient de transport, dont  $K = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot D^{-1/2}$

**D** : Diamètre médian des grains (mm) ;

**g** : Accélération de la pesanteur (m.s<sup>-2</sup>) ;

**f(α)** : Fonction de l'obliquité α de la houle, dont :  $f(\alpha) = \sin \frac{7\alpha}{4}$  .

## V. 2. TECHNIQUES DE PROTECTION DU LITTORAL

La dynamique érosive côtière s'engendre par le mouvement des vents (qui peuvent entraîner des pertes sédimentaires, surtout lorsqu'ils soufflent vers les terres), et principalement par les effets des vagues (qui transportent les matériels sédimentaires). Pour lutter ce phénomène, on va proposer des techniques «douces »pour la défense du littoral contre les ingressions marines, qui permettent d'aménager et récupérer nos littoraux :

### V. 2. 1. Rechargement des plages

Cette technique utilise souvent en USA et dans les pays anglo-saxons, elle implique que la plage soit rechargée artificiellement d'une quantité de sédiments (sable ou gravier) similaires à ceux déjà en place sur la haute plage afin de créer une source artificielle de sédiments qui nourrira la plage (Dean, 2002), pour réduire la dynamique des vagues sur la côte, et réhabiliter les plages érodées, mais il doit être réalimenté ces plages tous les 5 à 10 ans. Ce type d'intervention est une structure mobile qui se modifie sous l'effet des dynamiques naturelles.



**Figure V. 6 :** Récupération des plages par la technique du rechargement artificiel (in vivo environnement, 2005)

Mieux pour une efficacité de cette technique, on prend en compte le profil de rechargement et la taille des grains d'emprunt comparée à la taille du sédiment naturel de la plage.

Le profil de plage varie avec plusieurs facteurs : la taille des grains, le climat de houle, le marnage, ...etc. La règle générale indique que le profil rechargé doit refléter une forme concave de plage naturelle. Une fois le rechargement effectuée, la plage va naturellement s'ajuster aux conditions ambiantes jusqu'à se trouver dans une situation d'équilibre dynamique. La formulation la plus largement utilisée pour le profil de la plage d'équilibre a été proposée par Bruun (1954) et Dean (1977, 1991) :

$$h = A \times x^m \quad (\text{V. 4})$$

Où :

h : Profondeur de l'eau ;

A : Paramètre de forme lié aux caractéristiques des sédiments ;

x : Distance au trait de côte ;

m : Coefficient de l'ordre 0,4 à 0,8, selon Dean  $m = 2/3$  ;

En 1987, Dean a montré que le paramètre (A) peut être lié à la vitesse de chute des sédiments (w) par la formule suivante :

$$A = 0,067 \times w^{0,44} \quad (\text{V. 5})$$

La taille des grains joue un rôle très important pour l'équilibrage et la stabilité de la plage. Les profils de plage tendent à s'aplatir avec la diminution de la taille des grains. Pour obtenir un profil de plage dit naturel pour les sections de côte, il est nécessaire d'utiliser une taille de grain de sédiments d'emprunt au moins équivalente. Dans le cas d'un sédiment d'emprunt trop fin, celui-ci sera instable et emporté au large ou sur des secteurs adjacents avec l'énergie des vagues. Si le sédiment d'emprunt est trop grossier, les vagues ne pourront le déplacer, la plage deviendra alors plus pentue et réflexive.

### V. 2. 2. Drainage de la plage (le principe d'ECOPLAGE)

Ce procédé d'origine danoise, il consiste à drainer la plage dans la zone du jet de rive pour diminuer le transport de sédiment par la nappe de retrait, et il permet d'augmenter la cohésion des sédiments et de limiter l'érosion.

Le dispositif de drainage, doit dimensionner de façon spécifique pour chaque site, comprend en général une série de canalisations entourées d'un système filtrant, un puits collecteur, une station de pompage et une canalisation de refoulement des eaux drainées (figure V. 7). Le système drainant peut comporter un ou plusieurs drains situés en arrière du niveau moyen des mers et enfouis à une certaine profondeur. L'eau filtrée par la plage et drainée par les conduits faiblement inclinés, s'écoule par effet gravitaire vers le puits collecteur pour alimenter ensuite la station de pompage. La canalisation de refoulement restitue à la mer l'eau libérée du sédiment. Le sable se dépose et la plage est asséchée.



**Figure V. 7 :** Schéma descriptif du système d'ECOPLAGE (GRESARC, 2007)

Ce système a l'avantage d'être invisible, de ne provoquer aucun impact sur la faune ou la flore, et de ne modifier ni les courants ni le transit sédimentaire parallèle au rivage. En absence de marée, comme le bassin de Méditerranée, l'efficacité du dispositif est accrue car la zone de déferlement des vagues est toujours la même.

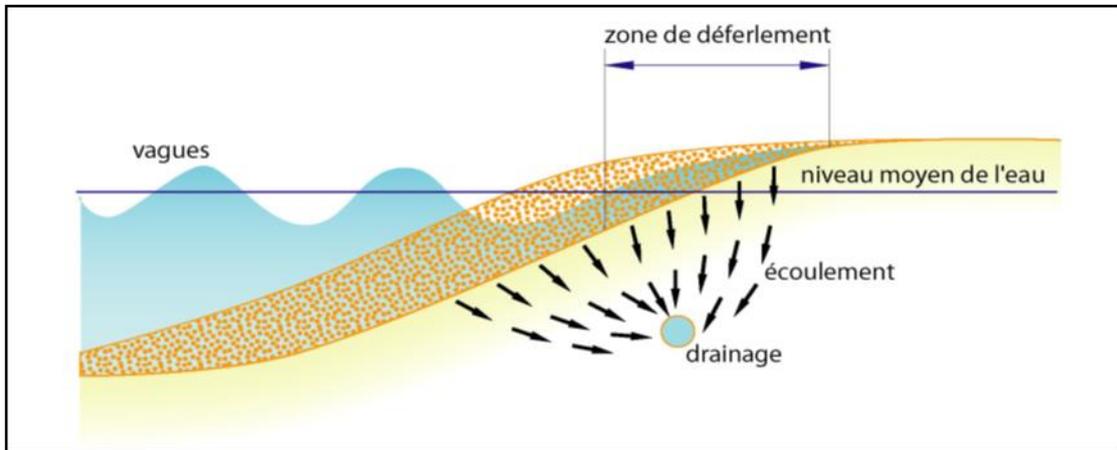


Figure V. 8 : Principe de fonctionnement du système d'ECOPLAGE (CETMEF, 2011)

### V. 2. 3. Technique de protection STABIPLAGE

Le procédé de STABIPLAGE est une « chaussette de sable » qui peut prendre plusieurs formes selon ses utilisations, comme un épi mou, pour réduire les dérives, et comme un ouvrage en pied de dune, pour la protéger, ou utiliser comme un brise-lame sous-marin, pour réduire la violence et l'impact des vagues sur le littoral (figure V. 9).

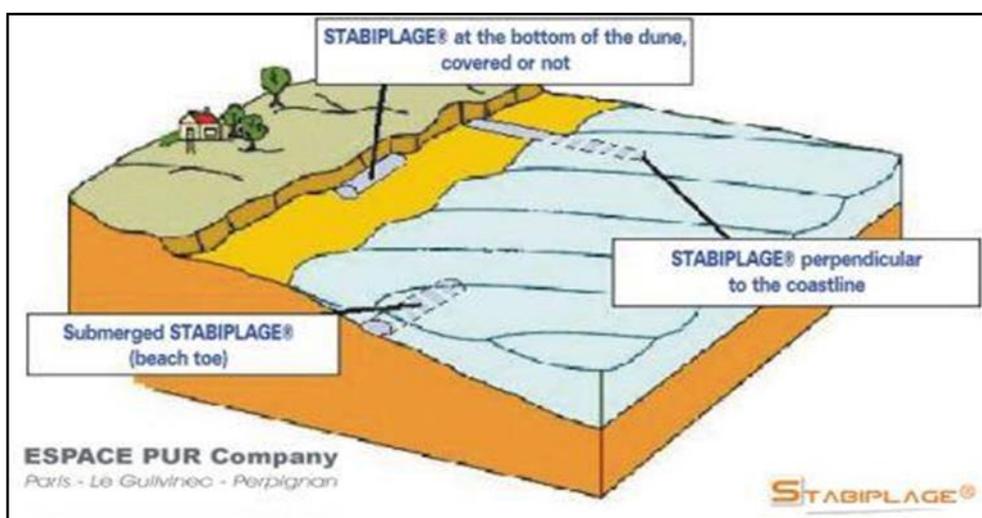
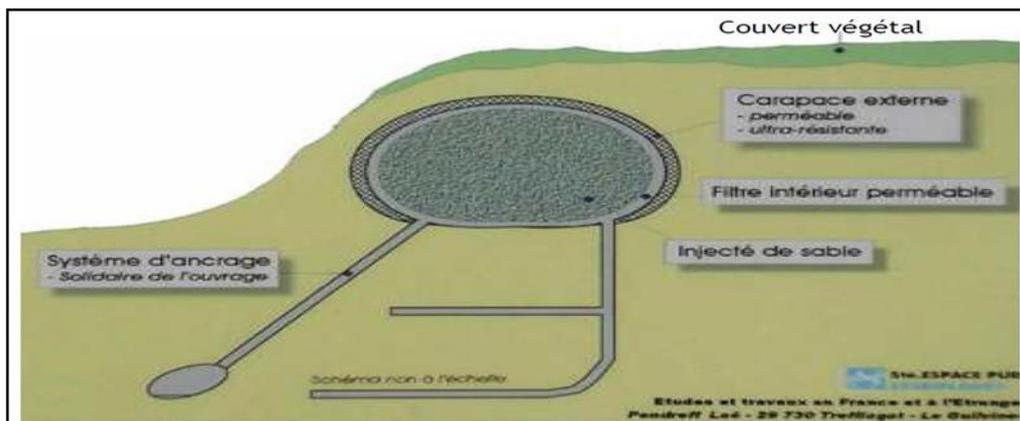


Figure V. 9 : Applications de la technique de STABIPLAGE (<http://www.stabiplage.com/>)

La technologie STABIPLAGE utilisée pour lutter contre l'érosion marine est développée depuis 1997 par la Société Espace Pur. Cette technique consiste à mettre en œuvre des ouvrages en géocomposite, qui une fois implantés, captent le sable naturellement transporté par les effets des vagues, pour reconstituer la plage, et l'aider à retrouver un équilibre sédimentaire dynamique. Les propriétés de souplesse et de perméabilité de la réalisation permettent de ne pas "faire barrage" au sable comme le ferait une digue, mais plutôt de gérer les flux de sédiments. Cette technique est très appliquée longitudinalement au pied des dunes (figure V. 10), elle a été utilisée dans plusieurs sites pour la protection des littoraux : sur des plages en France, au Sud du Vietnam et sur le littoral d'Aghir à Djerba en Tunisie.

Selon la Société Espace Pur (en France), la fabrication d'un Stabiplage se fait sur mesure pour chaque problème posé, et la mise en œuvre d'ouvrages STABIPLAGE consiste à positionner les structures vides des ouvrages. L'implantation de STABIPLAGE s'effectue par les étapes suivantes :

- Reconnaissance in-situ du lieu d'implantation de l'ouvrage,
- Délimitation de la zone d'activité et d'implantation du matériel,
- Apport du matériel et préparation du réseau d'injection,
- Terrassement du site (si nécessaire)
- Préparation des fouilles pour les ancrages (si préconisés),
- Disposition des enveloppes préalablement fabriquées,
- Ancrage des ouvrages (si préconisés),
- Injection à partir d'un réseau de pompes spéciales,
- Balisage des ouvrages si nécessaire (autorités compétentes)



**Figure V. 10 :** Schéma de fonctionnement d'un STABIPLAGE en pied de dune (<http://www.stabiplage.com/>)

### V. 3. AMENAGEMENTS AU NIVEAU DES EMBOUCHURES DES OUEDS

L'aménagement et le recalibrage de l'embouchure et du lit du chenal (rivière ou oued) afin d'assurer un écoulement régulier du débit d'étiage, évitant ainsi les stagnations des eaux usées, de réduire les risques d'érosion et de charriage des sédiments, de récupérer et valoriser les berges et l'embouchure de l'oued.

L'embouchure est la section critique du chenal. Lors d'une crue de l'oued, les vitesses importantes chassent les sédiments à l'embouchure et ce chenal est agrandi. Lorsque les débits de l'oued sont beaucoup plus faibles, les courants marins et la houle vont remplir le chenal par accumulation des sédiments (l'ensablement). Les barrières sableuses empêchent une bonne évacuation des eaux de l'oued et provoquent la stagnation d'une quantité importante d'eau nauséabonde.

Pour éviter ces variations, et pour réaliser une bonne stabilisation du chenal, on doit construire des digues latérales de protection prolongées en mer. Lors de la définition de ces ouvrages, il faut tenir compte le transfert du sable de part et d'autre du chenal.

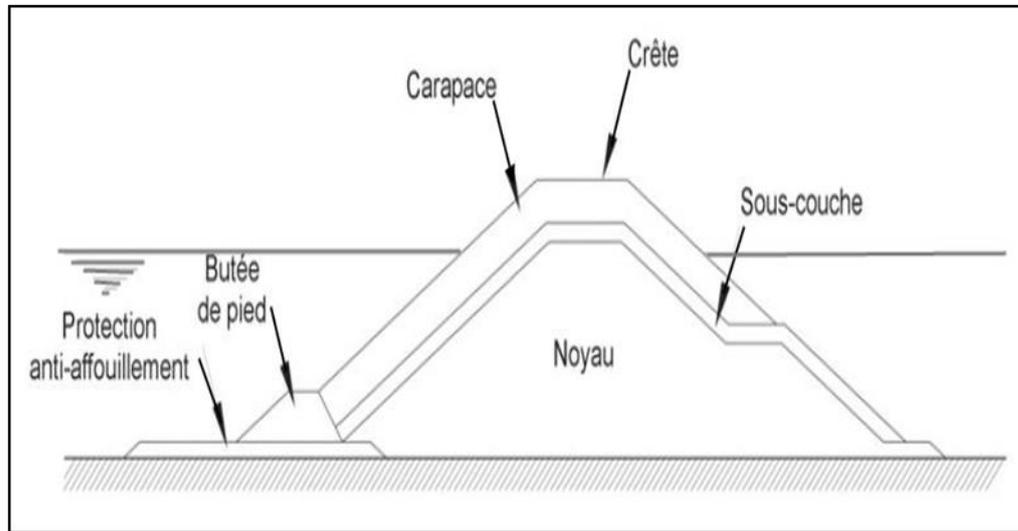
Le dimensionnement des ouvrages de stabilisation du chenal de l'embouchure devra tenir compte de ce courant dominant au risque de provoquer une érosion des côtes, qui situent aux deux côtés du chenal.

- **Digues à talus**

Les digues à talus sont des ouvrages constitués de matériaux rocheux, habituellement protégés par une carapace de blocs d'enrochement naturel ou de blocs artificiels de plus grandes dimensions. Les digues servent généralement pour protéger les ports et les zones estuariennes, par diminuer l'intensité des houles et des courants, et aussi pour lutter contre l'érosion et la sédimentation des embouchures des chenaux.

La partie principale comprend le noyau, généralement construit en matériau de dragage ou d'abattage, de granulométrie étalée comme le tout-venant, une ou plusieurs sous-couches ou couches-filtres et la carapace. La crête peut être protégée par la carapace, mais très souvent elle comprend également un élément de crête ou un mur de couronnement en béton, souvent avec une voie de circulation. Une butée de pied et une protection anti-affouillement du talus côté mer de la digue sont nécessaires pour maintenir la stabilité du talus en cas d'érosion du fond de la mer (notamment dans le

cas de fond sableux). Selon le type de sol de fondation, la digue peut être construite directement sur le fond ou sur des filtres spéciaux, constitués d'enrochement ou d'un géotextile.



**Figure V. 11** : Schéma descriptif d'une coupe transversale d'une digue à talus (CETMEF, 2009)

Il y a plusieurs types des digues de protection, on distingue trois types :

**a) Digue à talus conventionnelle**

Ce type d'ouvrage est très fréquent, il a une coupe trapézoïdale simple. La carapace peut recouvrir la crête ainsi qu'une partie du talus arrière de même que la face avant. L'objectif de ces coupes simples est généralement de constituer un abri pour d'autres ouvrages tels que les quais ou les postes d'amarrage.

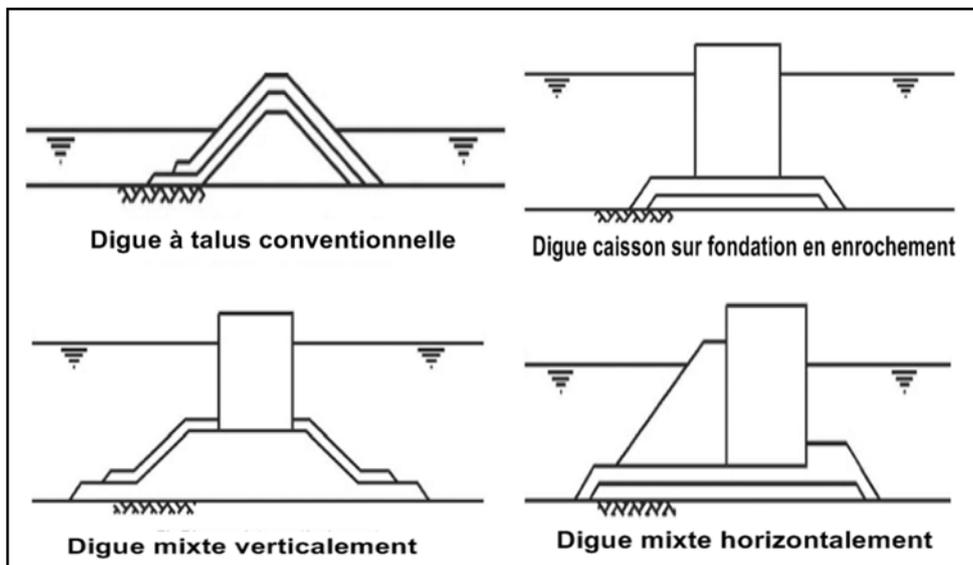
**b) Digue en caisson sur fondation en enrochement**

La digue en caisson sert principalement de protection portuaire, il s'agit d'un soubassement en enrochement sur lequel des caissons sont placés, généralement, le soubassement n'est qu'une fondation peu élevée pour les caissons (figure V. 12)

**c) Digue mixte (verticalement ou horizontalement)**

Ce type de digues est une combinaison d'une digue en caisson et d'une digue à talus, pour les digues mixtes verticalement, elles sont similaires les digues en caisson, mais le soubassement peut représenter une proportion significative de la profondeur, ce soubassement peut avoir ou non besoin de protection selon sa profondeur.

Et pour les digues mixtes horizontalement, elles consistent une combinaison d'une digue en caisson (placée en second plan) et d'un talus (placé en premier plan, côté mer), ce talus est constitué en enrochement naturel ou artificiel, dont la taille est suffisante pour assurer leur stabilité du point de vue hydraulique. Le caisson peut être placé sur des fondations composées d'enrochement plus petit.



**Figure V. 12** : Des coupes transversales de différents types de digues (CETMEF, 2009)

Le choix d'un type de digue dépendra de plusieurs facteurs dont les coûts, la constructibilité, la disponibilité des matériaux localement ainsi que les préférences du maître d'ouvrage. Il existe toutefois des situations dans lesquelles certaines options sont préférables.

Les digues à talus ont de meilleures propriétés de dissipation de l'énergie de la houle que les digues verticales et peuvent donc être privilégiées si l'on souhaite réduire le phénomène de réflexion de la houle.

Les digues en caisson sont souvent privilégiées en eau plus profonde, dans la mesure où les quantités d'enrochement nécessaires pour une digue à talus augmentent de manière significative avec la profondeur. La hauteur d'eau à laquelle l'option « caisson » devient plus rentable varie d'un site à l'autre, toutefois les digues en caisson, y compris les digues mixtes verticalement placées sur un soubassement, sont généralement préférables pour des hauteurs d'eau supérieures ou égales à 15 m.

## CONCLUSION

Le grand problème du littoral est l'érosion et la submersion marine, pour but de lutte contre ce problème, on a vu d'une part des techniques « douces » et faciles, comme le rechargement des plages pour récupérer les disparues, le drainage des plages (ECOPLAGES) pour conserver les sédiments et diminuer l'érosion, et la technique de STABIPLAGE pour fixer les plages et dissiper l'énergie des vagues lorsqu'elles contactent directement la côte. Et d'autre part, il y a des ouvrages de protection s'appellent défense lourde, on a distingué trois types, les murs et les enrochements, ils sont utilisés pratiquement pour stabiliser et protéger les côtes rocheuses et les falaises, les brise-lames et les épis, généralement utilisés dans les plages sableuses, et où les faibles pentes, pour réduire la force des houles et leurs impacts.

Au niveau des embouchures, l'aménagement est très important, les inondations constituent un grand risque, si les sédiments accumulent au niveau d'embouchure de chenal empêchent l'écoulement régulier de l'oued, alors ça entraîne l'érosion des berges, et l'augmentation du niveau des eaux, qui constitue un danger à l'agglomération. Pour éviter les risques aux embouchures, il faut construire des digues latérales de protection prolongées en mer pour lutter la sédimentation qui se génère par l'action de la houle, on a vu dans ce chapitre, les différents types de digues, et leurs structures, et comment choisir le type convenable.

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude, dont l'objectif était de connaître, d'une part, l'état actuel du littoral de la baie d'Alger, et mettre en évidence les actions complexes de la mer et la sensibilité de la frange côtière. D'autre part, la vulnérabilité des ressources en eaux souterraines dans les régions côtières les plus sensibles.

La méthodologie adoptée dans cette étude, elle est la détermination de l'Indice Côtier de la Vulnérabilité (ICV) en utilisant la formule de Gornitz et *al* (1994), et l'indice d'évaluation des eaux souterraines en appliquant la méthode (DRASTIC).

Nous avons fondé sur l'analyse de plusieurs de données et d'informations disponibles, dont nous avons utilisé des cartes géographiques de la zone algéroise, des cartes bathymétriques, des cartes géologiques et hydrogéologiques, des photos aériennes et des images satellitaires, des cartes spéciales (relatives aux propagations et les hauteurs des vagues), et des différentes données soient tabulaires, ou graphiques. Le recueil des données était par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de la Wilaya d'Alger et la Wilaya de Blida, l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), le Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM), la Direction des Ressources Hydrauliques et de l'Economie de l'Eau de la wilaya d'Alger (DRHEE), et des différentes études concernant notre objectif d'étude (soient régionales, nationales ou internationales).

Grâce à l'aide d'un système SIG, le calcul de l'Indice Côtier de la Vulnérabilité (ICV) a été identifié qui nous a permis de définir le degré du risque et de la vulnérabilité au niveau de la baie d'Alger tenant compte des six paramètres responsables préconisés : le faciès morphologique, la pente côtière, l'élévation du niveau marin, le taux du recul du trait de la côte, la hauteur moyenne de la houle et l'amplitude moyenne de la marée. Les résultats ont révélé une forte vulnérabilité physique presque à toutes les plages, sauf les deux extrémités de la baie, cela est dû à la spécificité de ces régions, qui se caractérisent par :

- ✓ Leur structuration morphologique (alluviale et sableuse) ;
- ✓ Leur pente, qu'elle est faible au niveau de ces zones ;
- ✓ Existence de deux zones estuariennes (l'exutoire d'Oued El Harrach et Oued El Hamiz).

L'établissement de la carte finale de l'ICV, a permis de déterminer les côtes vulnérables et sur 4 communes situées à l'Est d'Alger : Bordj El Bahri, Bordj El Kiffan, Mohammadia, et Hussein Dey, subissent de fort risque de vulnérabilité, par l'érosion de sols et le transport des sédiments, et cela qu'explique la disparition de certaines plages et recul du trait de la côte. Concernant la vulnérabilité DRASTIC dans ces communes, nous avons remarqué que 30% de leur superficie sont des zones à faible vulnérabilité (la commune de Mohammadia et une partie de Bordj El Kiffan) et 70% sont des zones moyennement vulnérables (Hussein Dey, Bordj El Bahri et la majorité de la commune de Bordj El Kiffan). Au niveau des embouchures d'oued El Harrach et oued El Hamiz, on remarque des accumulations des sédiments qui gênent l'écoulement régulier des eaux et élèvent le risque d'inondation traduit probablement par la formation des bouchons vaseux (Mihoubi et *al*, 2012). Pour la commune d'El Marsa, et les environs du port d'Alger jusqu'à la commune de Raïs Hamidou, la vulnérabilité variée entre modérée et faible.

Comme recommandations, différentes techniques de protection ont été présentés pour le littoral, la réalisation de ces techniques se base sur la spécificité de plage, et le rôle de la méthode utilisée, on a vu la méthode de rechargement des plages, et deux autres techniques : ECOPLAGE et STABIPLAGE. Pour lutter contre les actions fortes de la mer, on a exposé des ouvrages de protection comme exemple : les brise-lames, les épis, les murs et les enrochements. Il y a aussi les digues de protection qui assurent la stabilité des embouchures, en limitant l'érosion des berges et l'accumulation des sédiments au lit de chenal.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ABUODHA, P.A.O., WOODROFFE, C.D.** (2010). Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia, *Journal of Coast Conservation*, pp. 189-205.

**ADOPO K.L., KOUASSI K.L., WOGNIN A.V.I., MONDE S., AKA K.** (2008). Caractérisation des sédiments et morphologie de l'embouchure du fleuve Comoé (Grand-Bassam, Côte d'Ivoire). *Revue Paralia*, n° 1, pp 2.1–2.10.

**ALLAIN, S., GUILLAUMONT, B., LE VISAGE, C., LOUBERSAC, L., POPULUS, J.** (2000). Données géographiques de référence en domaine littoral marin, Groupe de travail SHOM – IFREMER, 161 p.

**APPL.** (2011). Réseau de surveillance du trait de côte, évolution du trait de Côte de la wilaya d'Alger entre 1959 et 2011.

**ARDHUIN, F.** (2006). Vagues : hydrodynamique et télédétection partie 1 : hydrodynamique, Cours de seconde année, Master mécanique-physique service hydrographique et océanographique de la marine, Brest, France, 109 p.

**AVOINE, J., DUBRULLE, L., LARSONNEUR, C.** (1986) La dynamique sédimentaire dans les estuaires de la baie de seine – conséquences sur l'environnement, IFREMER. Actes de Colloques n. 4 1986, Université de Caen, pp. 183-192.

**BACHARI, N., ABDELLAOUI, A., HOUMA, F.** (2011). Modélisation des données multisources pour l'étude de la pollution de la baie d'Alger à base d'un système d'information géographique, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 2, Tanger, Maroc, pp. 283-288.

**BALOUIN, Y.** (2001). Les embouchures mésotidales (tidal inlets) et leur relation avec les littoraux adjacents - Exemple de la Barra Nova, Sud Portugal, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 299 p.

**BENLECHEHEB, W.** (2010). Impacts de l'urbanisation, l'agriculture et l'industrie sur la qualité des eaux de la Mitidja orientale, mémoire de Magistère, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 169 p.

**BONNEFILLE, R.** (1992). Cours d'hydraulique maritime (3<sup>ème</sup> édition), Editions Masson, 209 p.

**BONNEFOY, F.** (2005). Modélisation expérimentale et numérique des états de mer complexes, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 278 p.

**BOUGIS, J.** (2003). Les états de mer naturels, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, Université De Toulon et du Var, 93 p.

**BRIERE, C.** (2005) Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet, thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 257 p.

**BUJAN, N.** (2009). Application d'un modèle de circulation quasi-tridimensionnel littoral à la dynamique des plages du Languedoc-Roussillon, thèse de doctorat, Université Montpellier II, 250 p.

**CARIOLET, J.M., SUANEZ, S., CAROL, F., MAGNE, R.** (2008). Evaluation de la technique STABIPLAGE mise en place sur deux plages du Finistère : les Sables Blancs à Plobannalec-Lesconil-Loctudy, et Boutrouilles à Kerlouan, X<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis, pp 201-210.

**CASTELLE, B.** (2004). Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 344 p.

**CAYOCCA, F.** (1996). Modélisation morphodynamique d'une embouchure tidale : application aux passes d'entrée du bassin d'Arcachon, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 419 p.

**CETMEF.** (2011). Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers, 60 p.

**CETMEF., SOGREAH.** (1993). Etude bibliographique sur les rechargements de plage à l'aide des produits de dragage, par (BELLESORT, B- SOGREAH), 99 p.

**CETMEF., SOGREAH-L.C.H.F.** (1990). Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral, 2<sup>ème</sup> partie: Erosion et sédimentation du littoral, par (MIGNIOT, C), Cours enseigné à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat et à la Faculté des Sciences d'Orsay, Paris Sud, 105 p.

**CHAUCHAT, J.** (2007) Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens, thèse de doctorat, Université De Caen/Basse-Normandie, 213 p.

**CIRIA., CUR., CETMEF.** (2009). Guide Enrochement, L'utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques, Version française du Rock Manual, CETMEF. Compiègne, 1302 p.

**DEHOUCK, A.** (2006). Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère), thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 262 p.

**DJOUJAR, D.** (2003). Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale, mémoire de Magistère, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 110 p.

**DJOUJAR, D., TOUBAL, A.C.** (2008). Etat actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger, XIIIth World Water Congress International Water Resources, Montpellier, France, 14 p.

**DOUKAKIS, E.** (2005). Coastal Vulnerability and Risk Parameters, Journal of European Water Resources Association, pp. 3-7.

**DRHEE.** (2010). Etude d'aménagement de l'oued El Harrach, Mission 1 : Collecte des données et études préliminaires, Tome A.1-Collecte des données, Wilaya d'Alger, 70 p.

**DRHEE.** (2011). Etude d'aménagement de l'oued El Hamiz, Mission 1 : Etude préliminaire et collecte de données, Volume 1 : Collecte et analyse des données, Wilaya d'Alger, 84 p.

**DRHEE.** (2011). Etude d'aménagement de l'oued El Hamiz, Mission 1 : Etude préliminaire et collecte de données, Volume 2: Etude hydrologique, Wilaya d'Alger, 145 p.

- DRHEE.** (2011). Etude d'aménagement de l'oued El Hamiz, Mission 1 : Etude préliminaire et collecte de données, Volume 3 A : Etude géologique et géotechnique, Wilaya d'Alger, 43 p.
- DRHEE.** (2011). Etude d'aménagement de l'oued El Hamiz, Mission 1 : Etude préliminaire et collecte de données, Volume 3 B : Programme de reconnaissance géologique et géotechnique, Wilaya d'Alger, 9 p.
- DRHEE.** (2011). Etude d'aménagement de l'oued El Hamiz, Mission 1 : Etude préliminaire et collecte de données, Volume 4 : Etude hydraulique, Wilaya d'Alger, 22 p.
- DUBRANNA, J.** (2007). Etude des échanges sédimentaires entre l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'anglet, thèse de doctorat, Université De Pau Et Des Pays De L'Adour, 200 p.
- DUTRIEUX, E., CANOVAS, S., DENIS, J., HENOCQUE, Y., QUOD, J.P., BIGOT, L.** (2000). Guide méthodologique pour l'élaboration de cartes de vulnérabilité des zones côtières de l'Océan indien, Réalisé par Créocéan, Ifremer et Arvam pour le compte de l'UNESCO/IOC et le PRE-COI/UE, COI Manuels et Guides n°38, 40 p.
- DUVAL, M.** (2007). Etude du déferlement d'une onde de Stokes et de la dissipation associée par simulation directe, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 208 p.
- ELLIOTT, M., MCLUSKY, D.S.** (2002). The need for definition in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, pp 815-827.
- FARNOLE, P., QUEFFEULOU, G.** (1994). Impacts physiques et sédimentologiques d'un port de plaisance Hammamet-Sud (Tunisie), Actes des 3<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, thème II, Sète, France, pp 105-111.
- FATTAL, P.** (2007). L'érosion côtière, les techniques de protections douces ; et sensibilité et vulnérabilité des littoraux aux pollutions par hydrocarbures, Cahier du Conseil de Développement de Loire-Atlantique (Cahier Littoral N°7), 26 p.
- FREDSOE, J., DEIGAARD, R.** (1992). Mechanics of coastal sediment transport. *Advanced Series On Ocean Engineering - Volume 3*. World scientific, 369 p.

**GAKI-PAPANASTASSIOU, K., KARYMBALIS, E., POULOS, S.E., SENI, A., ZOUVA, C.** (2010) Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece, *Hellenic Journal of Geosciences*, vol 45, pp 109-122.

**GIEC.** (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Équipe de rédaction principale, PACHAURI, R.K. et REISINGER, A), GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

**GONZALEZ, M., MEDINA, R., LOSADA, M.A.** (1999). Equilibrium beach profile model for perched beaches, *Coastal Engineering*, 36, pp 343-357.

**GRASSO, F.** (2009). Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I, 165 p.

**GRESARC.** (2007). Evolution d'une plage macrotidale sous l'effet d'un procédé de drainage, université de Caen, 26 p.

**GRIMES, S., LAMRI, H., FODIL, R.** (2009). Destinations, développement de stratégies pour un tourisme durable dans les nations méditerranéennes Algérie: Rapport diagnostic, Agence Nationale de Développement du Tourisme (ANDT) du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET) et le Centre d'Activités Régionales pour le Programme d'Actions Prioritaires (CAR/PAP) du PNUE/PAM, 150 p.

**HAAS, K.A., SVENDSEN, I.A.** (2002). Laboratory measurements of the vertical structure of rip currents. *Journal of Geophysical Research*, VOL 107, 19 p.

**HOUARI, M.** (2002). Etude des conditions aux limites dans un modèle numérique d'agitation de houle, thèse de doctorat, Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussée, 160 p.

**HOUMA, F.** (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire, thèse de doctorat, Université Du Val De Marne Paris Xii, France, 272 p.

**HOUMA, F., BELKESSA, R., BACHARI, N.** (2006). Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of coastal sea bottom, *Revue des Energies Renouvelables*, pp.165-172.

**HOUSTON, J.R.** (1994). Beach-fill volume required to produce specified dry beach width. Coastal Engineering Technical Note 11-32, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS. 8 p.

**JEANSON, M.** (2009). Morphodynamique du littoral de Mayotte des processus au réseau de surveillance, thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 347 p.

**JUNEAU, M-N., BACHAND, É., LELIEVRE-MATHIEU, A.** (2012). Restauration et aménagement du littoral; Guide de bonnes pratiques du Bas-Saint-Laurent, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 40 p.

**KHEDIMI, F., ABDERRAHMANI, K.** (2008). Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de télédétection, Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 69 p.

**LE HIR, P., SILVA JACINTO, R.** (2001). Courant, vagues et marées : les mouvements d'eau, les presses de Cloître Imprimeurs, 31 p.

**MADI, F.** (2009). Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines (Cas : la baie d'Alger), Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 82 p.

**MAILLET, G.M.** (2002) Relations sédimentaires récentes et actuelles entre un fleuve et son delta en milieu microtidal : exemple de l'embouchure du Rhône, thèse de doctorat, Université De Provence – Aix - Marseille I, 331 p.

**MARIEU, V.** (2007). Modélisation de la dynamique des rides sédimentaires générées par les vagues, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 192 p.

**MEEDDM, FRANCE.** (2010). La gestion du trait de côte. Collection Savoir-Faire, Editions Quæ, 290 p.

**MIHOUBI, M.K.** (2008). Etude expérimentale de l'interaction eau-sédiment en zone de swash par vélocimétrie doppler ultrasonore (VDU), thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, 215 p.

**MIHOUBI, M.K., BELORGEY, M., KETTAB, A.** (2012), Determination of the interstitial velocity field in the swash zone by Ultrasonic Doppler Velocimetry (UDV), Revue Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (CRAS), Géoscience., Vol 344, pp. 312-318.

**MIHOUBI, M.K., EL-GUIZI, T., BELKESSA, R.** (2012). Etude hydro-sédimentaire par modèle numérique de la circulation des masses d'eau dans l'embouchure d'oued El – Harrach, Conférence Internationale modélisation du transport de sédiments dans les bassins-versants et dans les rivières, 14-16 novembre, Istanbul-Turquie, pp. 505-514.

**NIAZI, S.** (2007). Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation, thèse de doctorat, université Mohammed V – Agdal, Maroc, 331 p.

**OHI.** (1998). Dictionnaire hydrographique, 1ère Partie, Volume 2 – Français, Publication spéciale n° 32, Cinquième édition, 281 p.

**ONERC.** (2012). Evolution du niveau de la mer, mission confiée à Jean Jouzel, CEA-IPSL, 49 p.

**OULD ELMOUSTAPHA, A.** (2000). Influence d'un ouvrage portuaire sur l'équilibre d'un littoral soumis à un fort transit sédimentaire, l'exemple du port de Nouakchott (Mauritanie), thèse de doctorat, université de Caen/Basse-Normandie, 163 p.

**PAP-PAC.ALGER.** (2004). Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide (diagnostic), 114 p.

**PAP-PAC.ALGER.** (2004). Maîtrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols, Projet d'aménagement Rapport: Etude prospective de l'urbanisation – Phase 2 –, 60 p.

**PAP-PAC.ALGER.** (2005). Activité: Gestion intégrée de la zone côtière, Rapport de synthèse final, 126 p.

**PAP-PAC.ALGER.** (2005). Activité: Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua, Impacts des activités anthropiques, 88 p.

**PENDLETON, E.A., THIELER, E.R., WILLIAMS, S.J.** (2004). Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hatteras National Seashore (CAHA) to Sea-Level Rise, U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1064, 18 p.

**PNUE/PAM/PAP.** (1999). Cadre conceptuel et directives pour la gestion intégrée du littoral et des bassins fluviaux. Split, Programme d'actions prioritaires, 81 p.

**PNUE-PAM-CAR/ASP.** (2005). Activité : Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua, impacts des activités anthropiques. Programme d'Aménagement Côtier (PAC) "Zone côtière algéroise", 88 p.

**PNUE-PAM-CAR/ASP.** (2010). Impact des changements climatiques sur la biodiversité en Mer Méditerranée, Etat actuel des connaissances. Par BEN HAJ, S et LIMAM, A. CAR/ASP Edit., Tunis, 28 p.

**POIZOT, E.** (2009). La dynamique sédimentaire au travers de la géostatistique et des systèmes d'informations géographiques, thèse de doctorat, Université Via Domincia Perpignan, 253 p.

**PRITCHARD, D.W.** (1967). What is an estuary: Physical viewpoint. In Estuaries, Lauff, G.H, ed, American Association for the Advancement of Science, Washington D.C, pp 3-5.

**RAMIERI, E., HARTLEY, A., BARBANTI, A., SANTOS, F.D., GOMES, A., HILDEN, M., LAIHONEN, P., MARINOVA, N., SANTINI, M.** (2011). Methods for assessing coastal vulnerability to climate change, Technical Paper, ETC/CCA, Bologna, Italy, 93 p.

**ROBIN, M., GOURMELON, F.** (2005) La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers : Éléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq, article de la revue *Noréis*, n° 196, pp. 11-21.

**SAFAR ZITOUN, M., TABTI-TALAMALI, A.** (2009). La mobilité urbaine dans l'agglomération d'Alger : Evolutions et perspectives, Etude de cas. Rapport définitif, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 108 p.

**SAINT-CAST, F.** (2002) Modélisation de la morphodynamique des corps sableux en milieu littoral, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 246 p.

**SAMAT, O.** (2007). Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales, le cas du Languedoc et du delta du Rhône, thèse de doctorat, université Aix-Marseille I, 371 p.

**SENECHAL, N.** (2003). Etude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf, thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 278 p.

**SORENSEN, R.M.** (2006). Basic coastal Engineering, Third edition, Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, 324 p.

**SOULSBY, R.L.** (1997). Dynamics of marine sands, 221 p.

**SUSBIELLES G., BRATU, CH.,** (1981). Vagues et ouvrages pétroliers en mer, publication de l'institut français du pétrole, éditions TECHNIP, 501 p.

**SVENDSEN, I.A.** (1984). Mass flux and undertow in a surf zone. Coastal Engineering, 8, Netherlands, pp 347-365.

**THIELER, E.R., HAMMAR-KLOSE, E.S.** (1999). National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast, U.S. Geological Survey Open-File Report 99-593.

**Références Sito-Graphiques:**

<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/1/pa02.htm>.

Consulté le : 13/05/2012

<http://www.appl.dz/spip.php?article216> Consulté le : 02/10/2012

[http://www.beachmed.eu/LinkClick.aspx?link=SOUSPROJETS%2f3\\_1+MEDPLAN%2fMedplan\\_phaseA\\_061106.pdf&tabid=96&mid=603](http://www.beachmed.eu/LinkClick.aspx?link=SOUSPROJETS%2f3_1+MEDPLAN%2fMedplan_phaseA_061106.pdf&tabid=96&mid=603) Consulté le : 29/10/2012

<http://www.mem-algeria.org/fr/hydrocarbures/> Consulté le : 11/04/2011

<http://www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/maree-et-courants/marees/marnage-et-types-de-marees/> Consulté le : 14/05/2012

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/littoral/GRENOBLE-2.html>

Consulté le : 19/05/2012

**Annexe II. 1**

Précipitations observées au niveau de la station de Bir Mourad Raïs (1984-2009) en (mm)

<b>Code station : 020509</b>													
<b>Nom station : BIRMOURADREIS ANRH</b>													
<b>X : 531,1</b>													
<b>Y : 382,8</b>													
<b>Z : 140</b>													
<b>1984</b>													
PJ max	16,5	115	31,3	24,9	29,5	13,4	35,5	9,1	29,7	2	0	0	115
Totaux	16,5	229	53,7	115	132,9	36,4	236,2	16,2	98,4	2,7	0	0	937
<b>1985</b>													
PJ max	5,5	38,1	30,7	27	19	20,7	34,2	12	0,6	0	8,6	0	38,1
Totaux	9,5	90	102,4	61,8	43,6	62,5	137,9	29	0,6	0	15,4	0	552,7
<b>1986</b>													
PJ max	64	27,3	25,5	38,8	30,4	53	6,1	0	12,9	13,7	3,9	0	64
Totaux	134,4	49,7	95,3	167,7	130,7	176,1	21,2	0	18,8	14,8	7,6	0	816,3
<b>1987</b>													
PJ max	7,5	9,1	31,2	45,2	10,1	21,1	37,3	5	18	26,2	0	1	45,2
Totaux	12,1	17,2	115,9	102,3	24	59,3	54,7	23,2	32,2	36,9	0	1	478,8
<b>1988</b>													
PJ max	27,1	3,5	58,5	54,2	7,4	15,4	18,9	75	4,4	2,6	0	39,5	75
Totaux	46,2	5,5	104,3	180,1	32,5	37,5	36,1	146,5	7,4	5,8	0	39,8	641,7
<b>1989</b>													
PJ max	58	22,5	22	7,5	18,7	0	13,8	15,5	7,8	1,7	15	0	58
Totaux	71,1	39,4	49,1	19,9	70,7	0	64,4	61,9	44,1	2,6	18	0	441,2
<b>1990</b>													
PJ max	3,4	23,1	28,8	24	23,9	30,5	17,2	15,6	16	5,6	0	0,9	30,5
Totaux	6,8	54,2	84,9	132,2	66,5	121,6	48,7	25,3	18,6	7,1	0	1,6	567,5
<b>1991</b>													
PJ max	3	38,9	51,9	3,8	55,4	8,8	29,6	35,8	28,7	14,7	2,8	0	55,4
Totaux	6,5	107,7	90,5	15,4	168,7	30,9	104,9	73,7	61,3	21,2	4,9	0	685,7
<b>1992</b>													
PJ max	3,7	69,4	48,8	43,5	19,8	35,7	19,2	19,6	23,2	0	0	3,8	69,4
Totaux	9,5	92,8	84	133,5	21,7	78,4	53,3	94,2	45,5	0	0	4,2	617,1
<b>1993</b>													
PJ max	21,7	7,4	33,7	57,1	69	22,7	0,3	24,8	5,7	0	0	0	69
Totaux	36,3	21,8	115,9	118,5	123,3	67,7	0,5	73,9	6,3	0	0	0	564,2
<b>1994</b>													
PJ max	33,8	30,3	29,3	25,4	45,4	27,6	38,5	8,1	0	6,7	0	19,6	45,4
Totaux	91,7	87,9	63,5	105,7	167,9	36,4	96,3	18,5	0	8,1	0	36	712
<b>1995</b>													
PJ max	14,5	17	26,8	28,5	53,7	40	25,1	75,3	7,9	49,3	2,5	3,6	75,3
Totaux	25,7	26,7	77,1	76,7	153,2	216,4	81,5	221,6	26,8	57,5	4,9	8,8	976,9
<b>1996</b>													
PJ max	21,2	57,2	27,2	23,6	15,3	14	6,2	34,4	6,3	4,7	1,5	3,5	57,2
Totaux	24,7	93,8	61,1	52,8	46,5	25,4	6,5	77,4	19	5	2,4	6,4	421

*Annexes*

<b>1997</b>													
PJ max	31,5	21,7	58,7	35,2	24,9	17,9	26,3	34,1	49	0	0,9	4,4	58,7
Totaux	46,1	45,5	179,5	103,6	42,5	40,4	52,4	85,5	175,2	0	0,9	6,2	777,8
<b>1998</b>													
PJ max	8,9	27,6	25,4	35,5	34,8	30,9	38,6	18	0,2	1,9	0	1,6	38,6
Totaux	22,2	56,7	124,2	77,6	141,9	142,5	99,2	25,8	0,2	1,9	0	1,6	693,8
<b>1999</b>													
PJ max	29,8	19	64,5	42,5	9,3	3,6	12,9	7,3	22,6	9,9	0	0	64,5
Totaux	34,3	29	209,3	210,4	10,7	3,6	15,9	17	28,3	15,8	0	0	574,3
<b>2000</b>													
PJ max	15,6	25,5	26,3	19	47,7	32,7	2,6	17,2	7,9	1,2	0	2,7	47,7
Totaux	17,7	81,6	96,6	41,2	133,3	129	2,6	24,6	15,3	1,2	0	2,7	545,8
<b>2001</b>													
PJ max	36,8	23,3	125	20,5	12,3	17,2	12,4	19,5	6,5	1	7,7	11,6	125
Totaux	72,6	23,5	202,3	58,1	37,8	23,1	52,8	46,3	10,2	1,6	9,3	20,5	558,1
<b>2002</b>													
PJ max	25,3	38,5	32,8	45	37,5	36,4	8,6	24,2	6,8	0,5	1	6,3	45
Totaux	34,9	51,3	113	123,3	230,1	152,8	19,6	61	17,1	0,5	1,1	7,2	811,9
<b>2003</b>													
PJ max	21,4	7	18	34,4	56,4	18,9	20,7	27	62,7	4,1	0	0	62,7
Totaux	45,3	30	72,3	155,7	126,5	52,8	66,7	89,8	164,7	5,2	0	0	809
<b>2004</b>													
PJ max	1,3	16,7	53,9	67,8	37,5	30,3	25	8,5	3,3	0	0,3	0	67,8
Totaux	1,7	36,9	165,9	179,7	99,4	148,2	81,8	23,5	5,2	0	0,3	0	742,6
<b>2005</b>													
PJ max	11,3	42,8	49,4	19,3	26,6	28,1	10,3	1,1	79,7	0	0,2	4,2	79,7
Totaux	19,7	79,7	192,3	94,1	122,6	122,3	26,3	2	134,1	0	0,2	9,8	803,1
<b>2006</b>													
PJ max	13,8	6,6	14,4	45	10,1	28	30,8	32,8	3	3,6	0,4	5,4	45
Totaux	44,6	7,5	26,2	264,2	30	69,9	121,3	75,2	8,2	4	0,4	8,6	660,1
<b>2007</b>													
PJ max	12,1	48,9	71	27,3	15,3	13,2	22,3	12,3	30	8,6	2	0	71
Totaux	17,8	172,3	236,6	73,8	27,8	22,4	76,6	18,4	67,8	9,2	2	0	724,7
<b>2008</b>													
PJ max	34,8	14,6	33,5	31,4	27	4,8	21	19	13	0	3,5	1,3	34,8
Totaux	84	47,7	167,2	184	134,1	16,5	67,4	90,7	31,8	0	3,5	2,6	829,5
<b>2009</b>													
PJ max	18,4	13	22,5	20,5	52,3	14,3	53,6	29	16,6	4,6	0	22,5	53,6
Totaux	83,7	21,5	72,2	107,9	78,9	70,8	118,3	52,9	38,3	4,8	0	32,8	682,1

**Annexe II. 2**

Précipitations observées au niveau de la station de Baraki (1984-2009) en (mm)

<b>Code station : 021421</b>													
<b>Nom station : BARAKI</b>													
<b>X : 535,05</b>													
<b>Y : 376,5</b>													
<b>Z : 20</b>													
<b>1984</b>													
PJ max	14,6	68	12,3	44,2	23,1	20,5	36,6	6,8	23,5	1	0	0,2	68
Totaux	20,6	194,9	45,8	124,8	83,2	36	168,5	13,1	67	1	0	0,2	755,1
<b>1985</b>													
PJ max	12,5	8	76	19,7	17	18,5	30,7	15	1,1	10,9	34,5	0	76
Totaux	31,2	22,1	115,5	50	72,5	55,3	144,6	29	1,1	10,9	44,2	0	576,4
<b>1986</b>													
PJ max	102,9	16	47,4	45,5	28	41	10,1	0	15,2	10,3	25,2	0	102,9
Totaux	105,7	31,5	135,3	175,1	96,6	106,9	25,2	0	17,9	10,6	35,8	0	740,6
<b>1987</b>													
PJ max	80,8	49,1	29,1	24	12,2	24,9	46,3	11,7	13,6	25,9	0	0	80,8
Totaux	80,8	70,9	108,9	61,3	41,9	55,6	50,2	26,4	20	32,2	0	0	548,2
<b>1988</b>													
PJ max	20	16	31,7	64	7,9	15,5	11,4	59	2,2	1,5	1,1	29	64
Totaux	35	16	56,5	191,7	32,2	23,4	24,9	125,1	2,9	2,9	2,1	29	541,7
<b>1989</b>													
PJ max	21	13,6	7,2	4,8	21,3	0	9,3	13,1	13	6	16,3	0	21,3
Totaux	26,5	13,6	20,6	22,8	65,6	0	50,8	63,3	45,9	6	20,5	0	335,6
<b>1990</b>													
PJ max	1,9	24	-999	35,7	26,9	23,6	15,4	29,6	9,2	6,7	0	0	
Totaux	6,1	37,3	-999	106,2	51,9	111,1	39	37,6	18,6	6,7	0	0	
<b>1991</b>													
PJ max (mm)	1,5	28,7	26,2	6,5	46,1	15,9	13,5	27,6	24,7	15,5	2,3	0	46,1
Totaux	2,3	108,5	52,4	18,1	156,4	33	58,1	75,1	56,8	22,4	2,3	0	585,4
<b>1992</b>													
PJ max	2,9	66,8	42,1	22	19,1	22,2	12	14,1	37,4	0	2,7	1,4	66,8
Totaux	4,9	78,9	133,1	82,1	23,8	60,7	31	66,8	47,9	0	2,7	1,4	533,3
<b>1993</b>													
PJ max	17,9	16,2	32,5	71,8	73,3	20,5	1,1	21,3	5,5	0	0	0	73,3
Totaux	28,3	39,3	102,8	107,4	116,2	46,7	1,1	65,1	5,5	0	0	0	512,4
<b>1994</b>													
PJ max	42	26,3	11,1	30,3	57	29	27	32	6,8	7,7	0	9,5	57
Totaux	95,1	63,9	33,4	85,6	188,1	62	38,7	94,2	16,7	14,6	0	15	707,3
<b>1995</b>													
PJ max	13,1	12,2	18,5	12,7	32,8	39,3	27,2	58,7	17,2	31,2	3,9	2	58,7
Totaux	16,3	16,8	56,5	41,4	102,4	173	63,6	153,7	31,7	35	9,5	2	701,9
<b>1996</b>													
PJ max	32,5	47	36,3	17,6	22,4	10,8	7,8	24	7,6	4,2	2,1	26,6	47
Totaux	35,6	77,4	59,4	46,5	37	20,3	8,1	55,3	22,8	4,3	2,9	26,6	396,2

*Annexes*

<b>1997</b>													
PJ max	29,2	16,6	65,2	33	18	22,2	18,2	22,1	43,5	0	0	0,9	65,2
Totaux	48,6	41,9	185,5	85,1	27,9	45,1	50,1	67,1	150,2	0	0	2	703,5
<b>1998</b>													
PJ max	3,9	12,8	29,3	37,5	44,6	52,6	23,2	7,2	0	5,7	0	1,5	52,6
Totaux	10,5	29,2	116,1	62,2	116,8	145,7	83,2	10,4	0	5,7	0	1,5	581,3
<b>1999</b>													
PJ max	37,5	7,3	40,9	36,2	8,3	2,7	12,8	10,4	16,9	0	0	0	40,9
Totaux	44,9	14,7	163	175,4	9,2	2,7	15,1	21	24,3	0	0	0	470,3
<b>2000</b>													
PJ max	12,8	11,8	16,6	16,2	45,2	19,8	1,9	16,2	5,8	0,7	0	0,5	45,2
Totaux	13,3	33,7	68,1	41,3	135,4	93,1	1,9	31,9	10,8	0,7	0	0,5	430,7
<b>2001</b>													
PJ max	34,7	35,6	29	24,4	8,9	5,9	9,4	40,5	7,5	0,8	1,8	11,5	40,5
Totaux	65,4	45,3	53	54,2	28,1	22,8	33,9	64,3	7,5	0,8	1,8	24,4	401,5
<b>2002</b>													
PJ max	7,4	14,2	22,4	34,2	26,5	33,5	9,3	22,3	7,1	0	7,1	2,9	34,2
Totaux	7,4	24	93,4	115,9	182,7	102,3	11,1	78,8	13	0	8,2	2,9	639,7
<b>2003</b>													
PJ max	11,7	12,9	19,7	30,6	53,6	19,8	41,9	17,3	45,1	33,3	0	0	53,6
Totaux	25,4	37,4	48,2	115,8	109,3	39,8	84,5	57,7	115,5	38,1	0	0	671,7
<b>2004</b>													
PJ max	0,9	18,5	35	38,1	31,8	19,9	18,8	9,6	1,9	0	0,4	1,5	38,1
Totaux	2,3	33,6	125	166,1	86,3	119,7	49,8	24	1,9	0	0,4	1,5	610,6
<b>2005</b>													
PJ max	0,9	38	31,9	21,7	37,7	22,3	17,3	1,3	34,4	0	0	8,1	38
Totaux	0,9	53,9	123,7	77,3	141,2	103,2	25,3	2,6	55	0	0	13,8	596,9
<b>2006</b>													
PJ max	8,9	2,9	19,6	31,9	16,3	22,3	31,7	14,9	2,2	10,5	0	8,3	31,9
Totaux	24,4	4,1	24,8	205,7	22,2	60,9	130,8	59,3	2,8	10,5	0	12,6	558,1
<b>2007</b>													
PJ max	13,4	38,8	60,4	37,1	13,9	15,1	15,2	10,4	14	2,6	7,8	0	60,4
Totaux	26,4	115,6	247,1	100,3	21,3	21,8	52,4	19,3	55,9	2,6	11,6	0	674,3
<b>2008</b>													
PJ max	12,4	19,8	26,6	24,8	24,5	5,6	9,1	28,5	8,4	0	0	10,1	28,5
Totaux	21,9	51,9	124,7	120,8	124,7	19	44,3	75,1	22,8	0	0	14,6	619,8
<b>2009</b>													
PJ max	26,2	5,4	18,1	27	32,5	10,2	30,8	18,6	11,7	2,1	0	19,8	32,5
Totaux	100,3	12,4	47,4	107,5	61,3	52,1	68,2	35,6	28,3	2,1	0	26,7	541,9

**Annexe II. 3**

Données climatiques observées à la station de Dar El Beida (1975-2010)

Mois		Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
précipitation (mm)		79	74	53	58	46	7	4	13	28	65	103	94	623
Température (°C)	Max	16,9	17,6	19,5	21,6	25,0	28,8	31,8	32,5	29,4	26,2	21,0	18,1	24,0
	Moy	10,9	11,3	13,3	15,1	18,9	22,8	25,5	26,2	23,3	19,9	15,0	12,1	17,9
	Min	6,1	5,8	7,2	9,1	12,9	16,4	19,3	20,3	17,6	14,4	9,9	7,3	11,6
Vitesse du vent (m/s)		2,3	2,4	2,4	2,8	2,7	2,9	2,8	2,6	2,5	2,1	2,4	2,5	2,5
Tension de vapeur (1/10 hpa)		10,2	10,6	11,6	12,9	16,2	19,1	22,1	22,7	19,8	17,1	13,1	11,1	15,5
Humidité relative (%)		82	79	80	78	77	73	73	72	71	74	78	80	76
Ensoleillement (heures)		177	182	230	241	265	307	330	306	251	224	174	156	2843
Evaporation sous abris (mm)		55	49	65	78	84	106	122	127	105	80	66	55	993
Gelée	Nombre de jours	7,28	6,26	3,33	1,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	4,00	21,63
Sirocco		1,47	0,87	1,20	2,00	0,87	1,47	0,53	1,47	1,73	2,33	2,20	1,93	17,33
Neige		0,25	0,26	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,63
Grêle		0,69	0,53	0,14	0,13	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,19	0,33	2,19
Orage		3,53	3,07	2,88	2,71	3,91	2,84	2,61	3,80	4,94	3,47	4,19	4,15	42,10
Brouillard		2,72	4,01	3,99	1,99	4,29	2,59	2,20	1,58	1,24	2,64	2,27	4,15	33,68
Tempête de sable		0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075
Poussière		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,11

## Annexe IV. 1

Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'indice côtier de vulnérabilité (d'après Gornitz et al, 1994)

	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
Variables	1	2	3	4	5
Géomorphologie	falaise et Côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse Dépôt glaciaire Plaine alluviale	Plage à galet Estuaire Lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves
Pente côtière (%)	> 0,115	0,115- 0,055	0,055- 0,035	0,035-0,022	< 0,022
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an)	< 1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
Recul / avancée du trait de côte (m/an)	> (+2,0) Accr	(+1,0)-(+2,0) étion	(-1,0)- (+1,0) Stable	(-1,1- -2,0) Ero	< (-2,0) sion
Amplitude moyenne de la marée	>6,0	4,1-6,0	2,0-4,0	1,0-1,9	<1,0
Amplitude moyenne de la houle (m)	<0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,05-1,25	>1,25

**Annexe IV. 2**

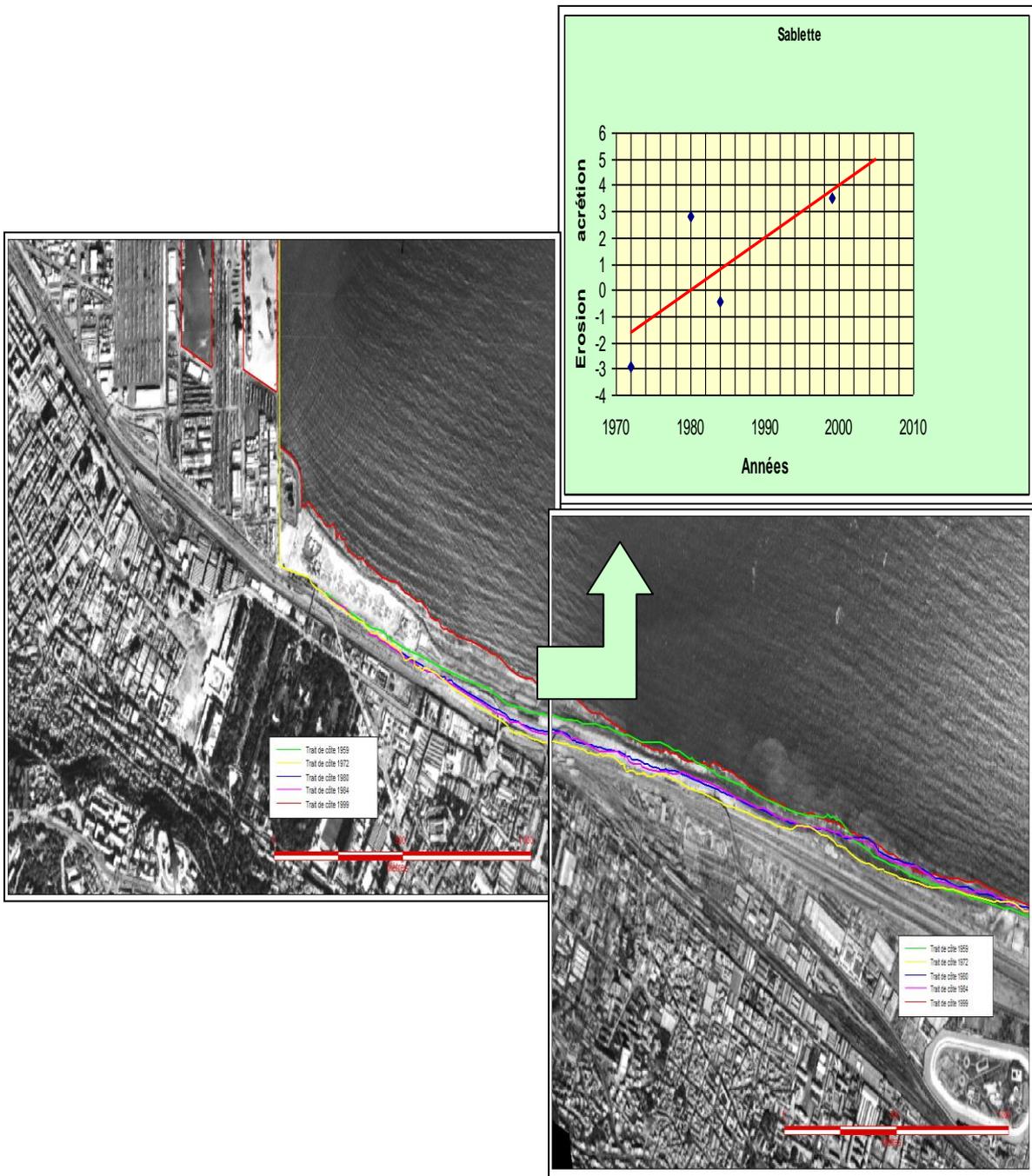
Gammes des degrés de la vulnérabilité côtière selon les six variables utilisées (d'après Thieler et Hammar-Klose, 1999)

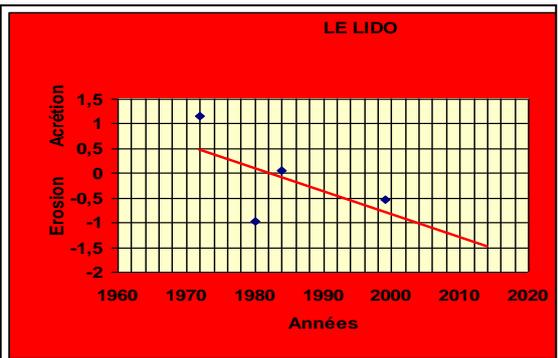
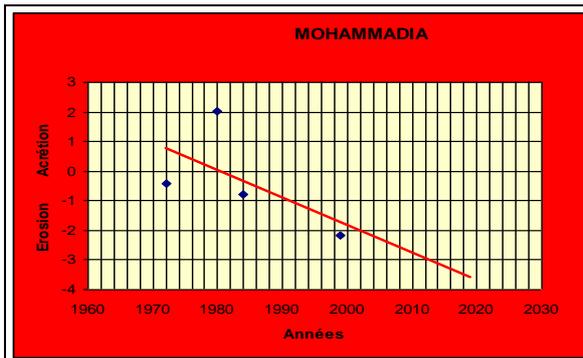
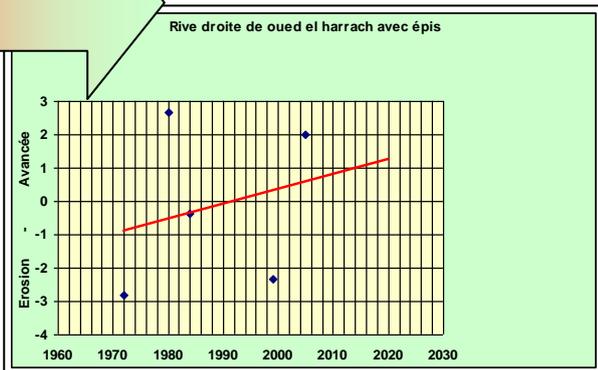
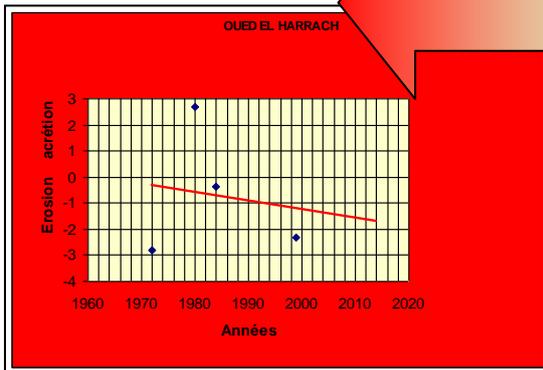
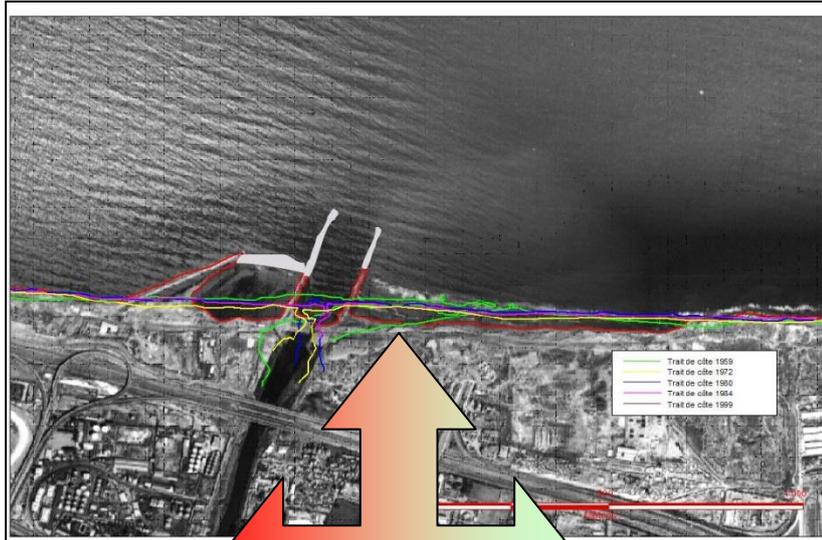
VARIABLES	Categories				
	1	2	3	4	5
Geomorphology	Rocky, cliffed coasts	Medium cliffs, indented coasts	Low cliffs, alluvial plains	Cobble beaches, Lagoons	Barrier beaches, beaches, deltas
Shoreline Erosion (-) / Accretion (+) Rate (m/yr) *	> (+2.0)	(+1.0) – (+2.0)	(-1.0) – (+1.0)	(-2.0) – (-1.0)	< (-2.0)
Coastal Slope (%)	> 12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	< 3
Relative Sea-Level Change (mm/yr)	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
Mean Wave Height (m)	< 0.55	0.55 - 0.8	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
Mean Tide Range (m)	> 6.0	4.0 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 2.0	< 1.0
CVI	Very Low	Low	Moderate	High	Very High

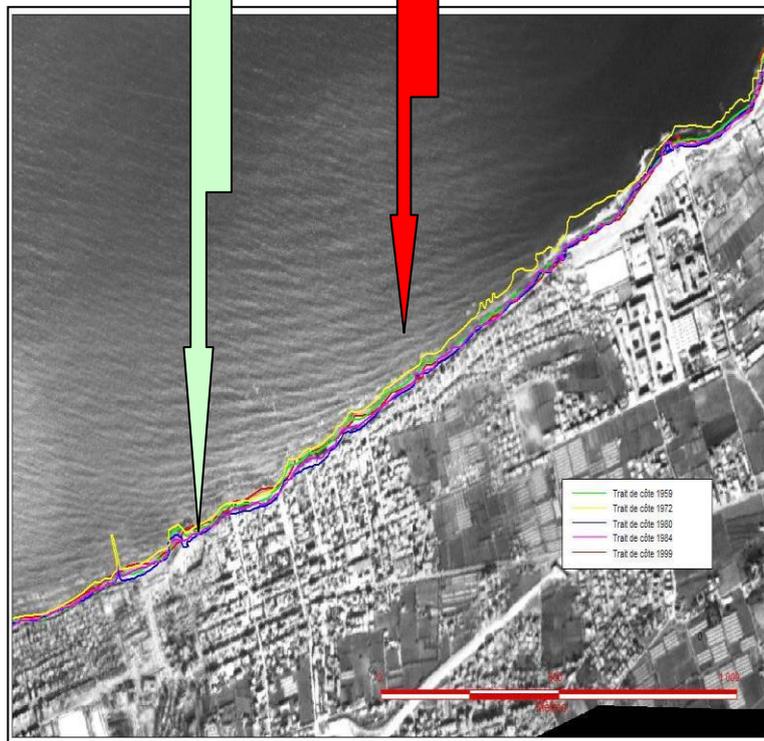
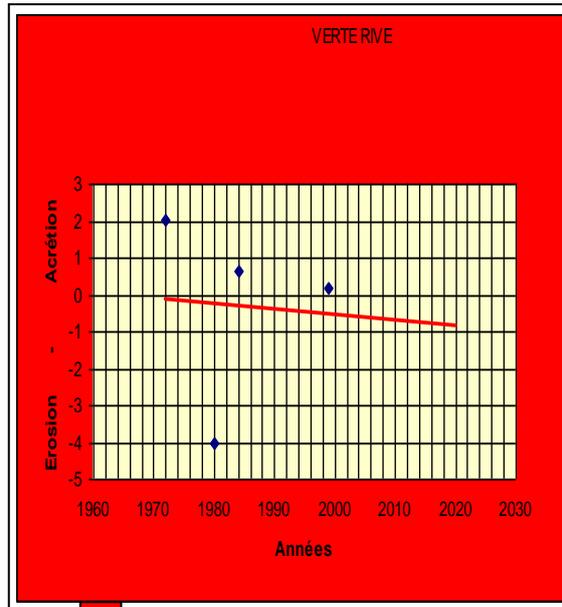
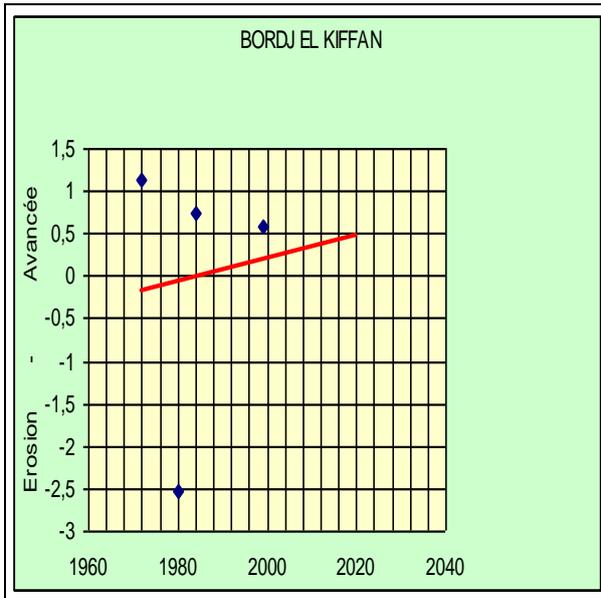
(\*) Positive values (+) indicate accretion while negative values (-) indicate erosion.

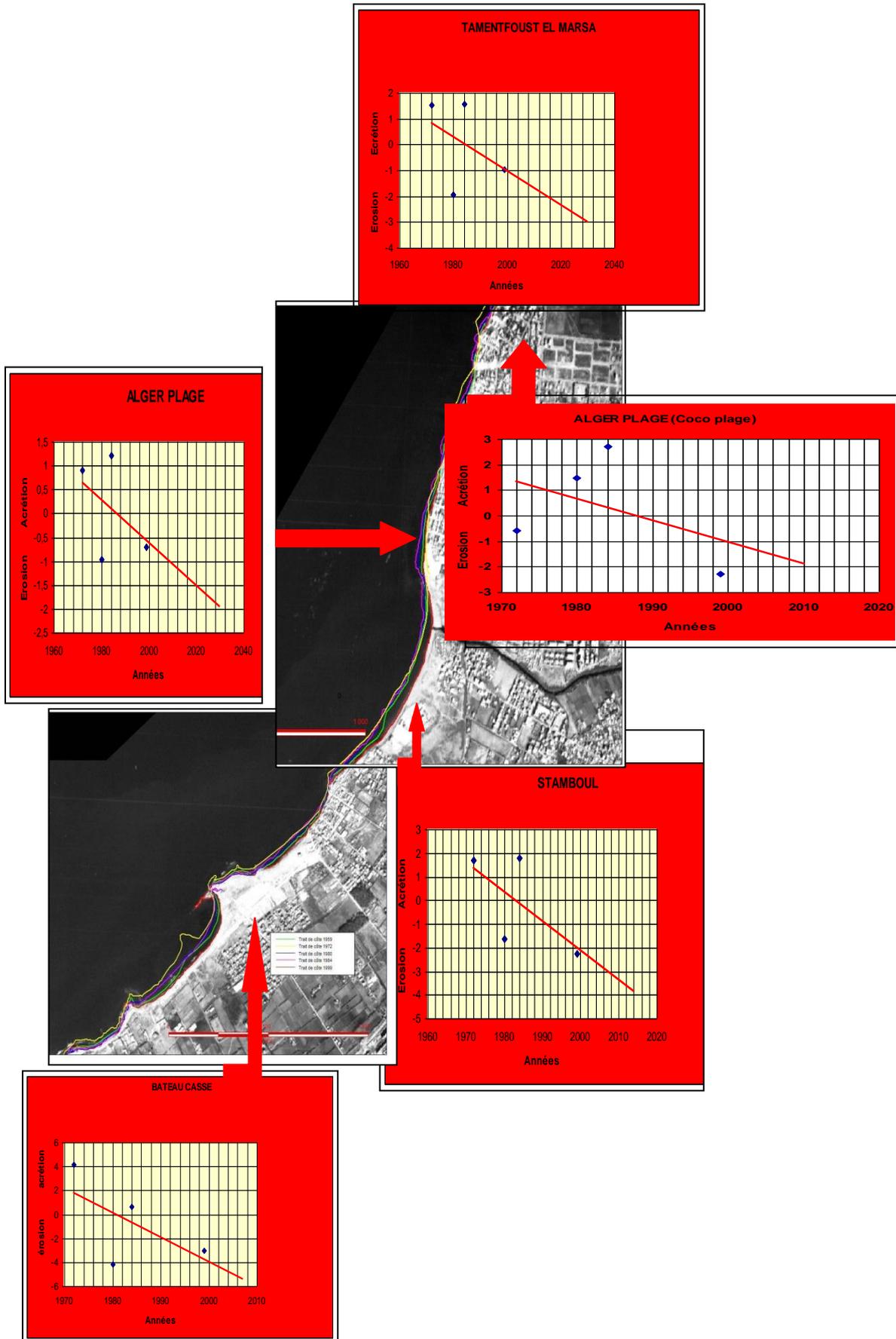
### Annexe IV. 3

Illustrations de l'évolution du trait de côte sur chacune des plages de la baie d'Alger entre le port d'Alger et Tamentfoust, elles sont faites par une approche tendancielle à l'horizon 2015



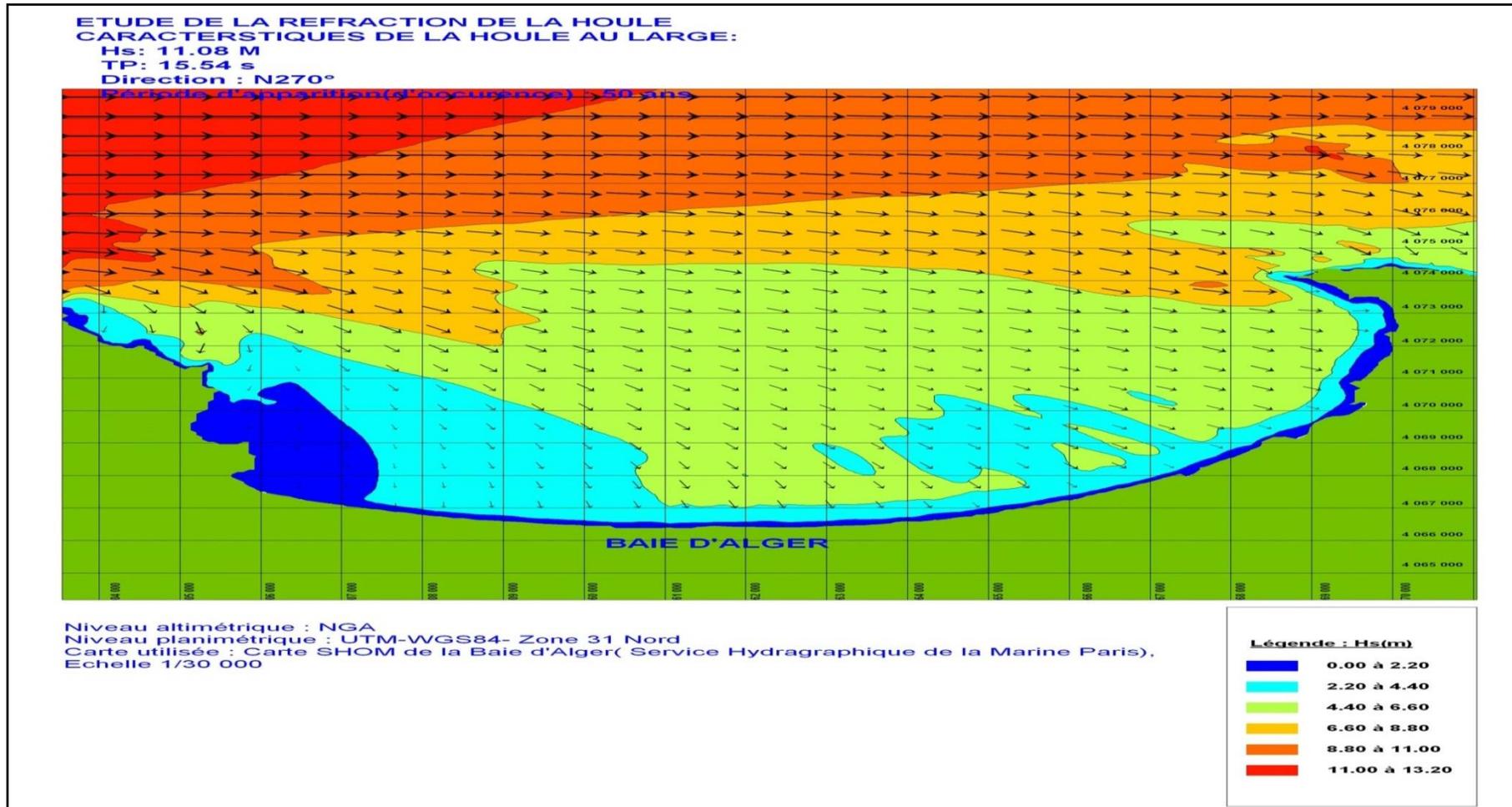






## Annexe IV. 4

Carte représente les hauteurs des vagues près des côtes de la baie d'Alger



**Annexe IV. 5**

Tables de cotation DRASTIC

<b>DRASTIC Paramètres</b>	<b>Poids général</b>	<b>Poids Pesticide</b>
Profondeur de la nappe	5	5
Recharge annuelle	4	4
Milieu aquifère	3	3
Type de sol	2	5
topographie	1	3
Impact de la zone non saturée	5	4
Perméabilité de l'aquifère	3	2

<b>Profondeur de la nappe</b>	
<b>Intervalles (m)</b>	<b>Côte</b>
0 - 1.5	10
1.5 - 4.5	9
4.5 - 9	7
9 - 15	5
15 - 22	3
22.5 - 30	2
> 30	1

<b>Recharge annuelle</b>	
<b>Intervalles (cm)</b>	<b>Côte</b>
0 - 5	1
5 - 10	2
10 - 18	6
18 - 25	8
> 25	9

<b>Milieu aquifère</b>		
<b>Nature</b>	<b>Cote</b>	<b>Côte type</b>
Schistes massifs	1 - 3	2
Roches métamorphiques	2 - 5	3
Roches métamorphiques altérées	3 - 5	4
Schales en séquence	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

<b>Type de sol</b>	
<b>Nature</b>	<b>Côte type</b>
Peu épais ou absent	10
Gravier	10
sable	9
Argile fissurée	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon silteux	4
Limon argileux	3
Argile non fissurée	1

<b>Topographie</b>	
<b>Intervalle (%)</b>	<b>Côte</b>
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	

<b>Impact de la zone non saturée</b>		
<b>Nature</b>	<b>Cote</b>	<b>Côte typique</b>
Limon et argile	1 - 2	1
Argile schisteuse	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Calcaire lite, grès et argile schisteuse	4 - 8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4 - 8	6
Roche métamorphique / Ignée	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10

<b>Perméabilité (m/s)</b>	<b>Côte</b>
$4,7. 10^{-7} - 4,7. 10^{-5}$	1
$4,7. 10^{-5} - 14,7. 10^{-5}$	2
$14,7. 10^{-5} - 32,9. 10^{-5}$	4
$32,9. 10^{-5} - 4,7. 10^{-4}$	6
$4,7. 10^{-4} - 9,4. 10^{-4}$	8
$> 9,4. 10^{-4}$	10

**Annexe IV. 6**

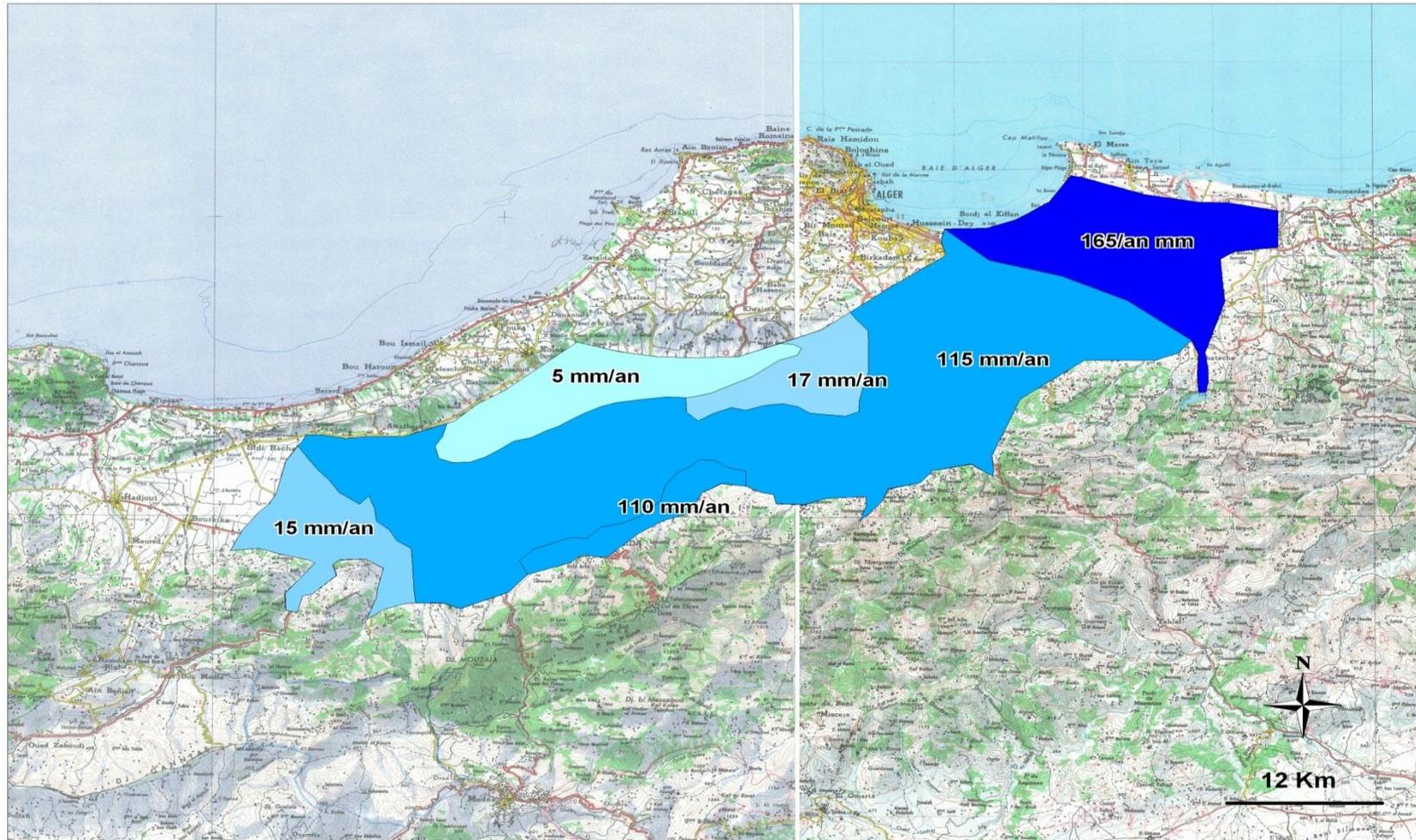
Valeurs observées de niveaux des différents piézomètres situés au Nord de la Mitidja (Est de la baie d'Alger), en 2010 et 2011

### Réseau piézométrique de la plaine de la Mitidja

N°	N° BIRH	N° Catalogue	Nature	X	Y	Z / rr (m)	N. Statique		Conductivité électrique		OBS
							m	m	μS/cm	μS/cm	
1	W021-4212 /PZ 1 HZ	E008-4211	Piézomètre	550,550	380,450	25,705	41,15	41,50	1 220		
2	W021-4211 /PZ 2 HZ	E008-4212	Piézomètre	549,300	380,750	27,347	39,83	39,12	1 115	1900	
3	W021/PZ32 BA	E007-9141	Piézomètre	543,550	382,250	27,010		23,80	1 940		
4	W021/PZ36 BA	E007-9142	Piézomètre	544,500	380,500	18,070		27,38	610		
5	W021/PZ38BA	E007-9143	Piézomètre	544,750	382,350	19,650		19,30	1 180		
6	W021/PZ39 BA	E007-9144	Piézomètre	544,900	381,850	17,670		28,86	550		
7	W021/PZ41 BA	E007-9145	Piézomètre	545,375	382,750	19,380	24,13	24,00	1 953		
8	W021/PZ42 BA	E007-9146	Piézomètre	545,900	382,000	23,670		34,47	2 343		
9	W021/PZ45 BA	E007-9147	Piézomètre	546,850	382,600	17,820	28,01	27,75	1 390		
10	W021/PZ48 BA	E007-9148	Piézomètre	546,900	383,350	14,200		21,30	1 280		
11	W021/PZ50 BA	E007-9149	Piézomètre	547,400	382,800	16,010	25,33	27,20	2 833		
12	W021/PZ51 BA	E007-9150	Piézomètre	547,800	382,250	17,380		21,20	2 864		
13	W021/PZ54 BA	E008-4573	Piézomètre	548,850	385,050	10,690		14,80	810		
14	W021/PZ58 BA	E008-4574	Piézomètre	549,450	386,050	13,720		12,70	2 490		
15	W021/PZ59 BA	E008-4575	Piézomètre	548,300	384,650	13,730		19,20	3 470		
16	W021/PZ60 BA	E008-4576	Piézomètre	548,150	383,750	15,110		22,70	2 685		
17	W021/PZ61 BA	E007-9151	Piézomètre	547,650	383,750	14,280		19,15	1 710		
18	W021/PZ62 BA	E007-9152	Piézomètre	546,150	383,250	15,100		22,58	1 880		
19	W021/PZ A BA	E007-9153	Piézomètre	544,200	381,850	19,240		25,45	950		
20	W021/PZ B BA	E008-4577	Piézomètre	549,350	383,600	16,380		27,80	2 300		
21	W021/PZ C BA	E008-4578	Piézomètre	548,500	382,550	18,340		20,70	2 630	2400	
22	W021/PZ D BA	E007-9154	Piézomètre	547,000	382,000	15,490		27,90	1 310		
23	W021/PZ E BA	E008-4579	Piézomètre	546,125	381,450	16,770		27,95	2 454		
24	W021/PZ F BA	E008-4580	Piézomètre	549,200	384,250	15,070		22,80	1 160		
25	W021/PZ G BA	E008-4581	Piézomètre	548,450	383,300	16,430	23,76	23,85	1 370		

## Annexe IV. 7

Carte de la recharge nette de la zone de Mitidja



## Annexe IV. 8

Carte de la conductivité hydraulique de la zone de Mitidja

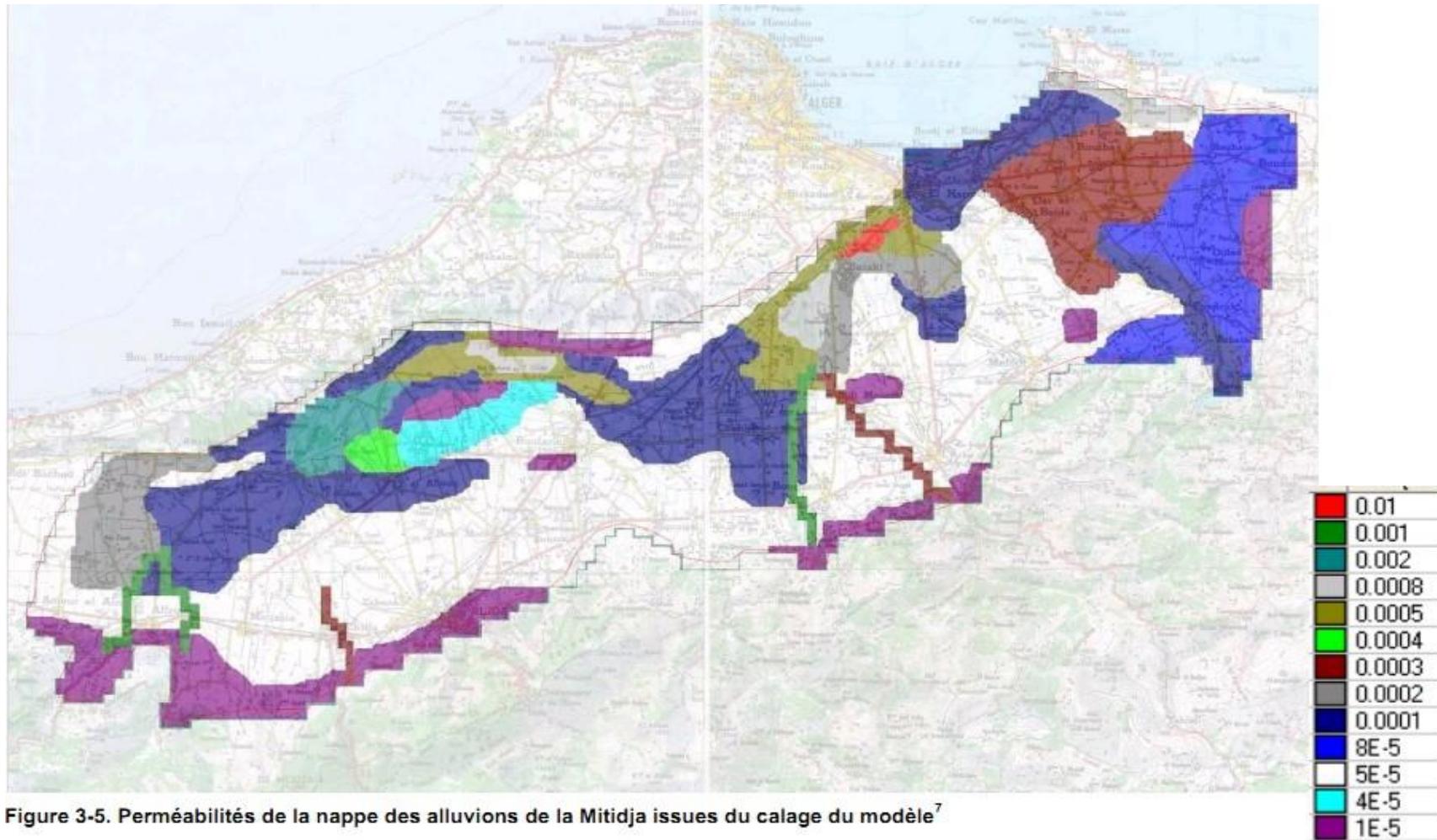


Figure 3-5. Perméabilités de la nappe des alluvions de la Mitidja issues du calage du modèle<sup>7</sup>