

UNIVERSITÉ MOHAMMED V - AGDAL
FACULTÉ DES SCIENCES
Rabat



N° d'ordre: 2685

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée par

Nom et Prénom : **KHOUAKHI Abdou**

Discipline : Géosciences de l'Environnement

Spécialité : Environnement Côtier et Changements Climatiques

Titre :

Contribution au développement d'outils scientifiques d'aide à la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) dans le contexte du changement climatique : Cas du littoral d'Al Hoceima

Soutenue le : 23 Novembre 2013

Devant le jury ;

Président :

- El Bachir JAAIDI, Professeur de l'Enseignement Supérieur, Faculté des Sciences de Rabat

Examineurs :

- Maria SNOUSSI, Professeur de l'Enseignement Supérieur, Faculté des Sciences de Rabat
- Hocein BAZAIRI, Professeur Habilité, Faculté des Sciences de Rabat
- Nadia MHAMMDI, Professeur Habilité, Institut Scientifique de Rabat
- Gil MAHÉ, Directeur de recherche, IRD/ HydroSciences Montpellier

Invitée :

- Latifa NEHNAHI, Chef de la Division de l'Évaluation et de la Prospective, DAT, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme.

Avant-propos

Les travaux présentés dans cette thèse ont été effectués sous la direction du Professeur Maria SNOUSSI, dans le cadre du Groupe de Recherche en Environnements Côtiers et Changements Climatiques (E3C) du Laboratoire d'Océanologie, Géodynamique et Génie Géologique (LOG3), Département de Géologie, Faculté des Sciences de Rabat (Maroc).

Enfin j'y suis ! L'aboutissement de ce projet de thèse n'aurait pas été possible sans la participation, le soutien et l'investissement de nombreuses personnes. Certes, il s'agit aussi d'un long travail personnel de longue haleine grâce auquel le rêve a pu se transformer en réalité. Le rêve d'atteindre ce moment s'est formé depuis mes années de Master recherche en *Sciences de la terre, de la mer et de l'environnement* il y a maintenant six ans. Ce fut un chemin semé d'embûches, fait de bons moments et d'instantanés difficiles, de moments d'angoisse, de découragement, mais comme dans toute aventure on ne retiendra que ceux qui nous ont fait évoluer et grandir.

Mes premiers remerciements vont à ma directrice de thèse, Professeur **Maria SNOUSSI** pour la confiance qu'elle m'a renouvelée après le Master, pour ses précieuses connaissances et son expérience, si généreusement partagées. Elle m'a formé à une discipline et surtout à un « espace » qui ne m'était pas familier mais qui m'a passionné : la mer, le littoral, ses activités, ses populations, ses spécificités... Je la remercie pour ses corrections et relectures de ce manuscrit et de m'avoir intégré dans ses projets de recherche alors que j'étais débutant. Je la remercie également pour la grande autonomie qu'elle m'a accordée. Cet encadrement a favorisé le développement de mon esprit critique et ma soif de comprendre et de persévérer.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner et de juger ce travail :

Monsieur **El Bachir JAAIDI**, Professeur en Océanologie et Chef de Département de Géologie à la Faculté des Sciences de Rabat. Je le remercie vivement de m'avoir fait l'honneur d'être président du jury et rapporteur de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements pour son écoute et sa disponibilité, pour l'accès à certains outils qui ont aidé à la réalisation de ce travail.

Je remercie très chaleureusement Monsieur **Hocein BAZAIRI**, Professeur à la faculté des sciences de Rabat d'avoir accepté de faire partie du comité de cette thèse. Je

lui suis reconnaissant pour ses encouragements, ses nombreux conseils, ses qualités humaines et son aide amicale.

J'adresse mes vifs remerciements à Madame **Nadia MHAMMEDI**, professeur chercheur en géologie marine et littoral à l'institut scientifique, pour avoir accepté d'examiner cette thèse, pour ses encouragements également.

Je remercie très vivement Monsieur **Gil MAHÉ**, Directeur de Recherche IRD/HydroSciences Montpellier d'avoir accepté d'être rapporteur de ma thèse en dépit de ses très nombreuses responsabilités.

Mes sincères remerciements vont aussi à Madame **Latifa NEHNAHI**, Chef de la Division de l'Évaluation et de la Prospective à la Direction de l'Aménagement du Territoire, Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Politique de la Ville, pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail et pour avoir bien voulu nous honorer par sa présence.

En plus des membres de jury, j'adresse tout particulièrement ma gratitude à Madame **Saida NIAZI**, Professeur à la faculté des sciences de Rabat, pour son aide précieuse et son soutien sans faille. Je lui suis infiniment reconnaissant pour les corrections de plusieurs chapitres de cette thèse, ses relectures et ses conseils avisés. Je la remercie pour son soutien moral, ses conseils pertinents quant à l'organisation du manuscrit, sa collaboration, fructueuse, essentielle à l'élaboration des articles.

Je remercie sincèrement mes nombreux amis et collègues qui ont chacun à leur manière permis à cette thèse de voir le jour.

Je pense particulièrement à **Otmane RAJI**, ami et membre de l'équipe du laboratoire LOG3, avec qui j'ai partagé tous les bons et difficiles moments passés durant cette thèse, les incertitudes, mais aussi les discussions et échanges fructueux sur les problématiques scientifiques rencontrées au cours de nos thèses. Merci à lui pour sa disponibilité, ainsi que pour son aide inestimable pendant la mission de profil de plage de la baie.

Je tiens également à remercier mes amis proches **Mohammadi MOUTTOS** et **Fouad MAGHOUTI** pour leur soutien et leur présence durant les missions de terrain ; je leur dis 'Thanmmirth attass' ;) !

Une pensée à **Nasereddine FAHCHOUCH**, pour son amitié, qui a débuté il y a 10 ans alors qu'on préparait la Licence en Géologie à la faculté polydisciplinaire de TAZA. Nous avons eu la chance de poursuivre nos études dans le même programme de Master. Je garderai toujours de bons souvenirs de la cité universitaire Souissi de Rabat, et surtout des plats de pâtes et de lentilles... : P !

Je saisis cette occasion pour remercier **Maryse** et **Bryan SLATER** pour leur soutien et leurs relectures ainsi que pour leur hospitalité. Qu'ils trouvent dans ces quelques mots l'assurance de ma sincère gratitude.

Merci à celles et ceux qui, scientifiques ou non, m'ont aidé à leur manière. Je me dois de citer : **Prof. Laurent DEZILEAU, Prof. Alice NEWTON, Prof. Abdelaziz BENHOUSA, Prof. Said AMZAZI, Prof. Hamid RGUIBI, Driss ZEROUALI, Saad YAHYAOU, Fouad LAMCHACHTI, Mounir SBAI, Rachida, Jaouad EL GAIDI, Ahmed MOHTARAM, Mohammed ERRAHIL...**

Je remercie très sincèrement toutes les personnes qui ont répondu à mes questions, qui m'ont reçu chez elles, sur leur lieu de travail, ou ceux qui ont croisé ma route.

Un clin d'œil à toute la promotion **Licence de géologie (2003-2006)** et du **Master STME (2006-2008)** sans exception ;) ;) ... Mes remerciements vont également à tous mes enseignants du département de géologie.

Mes plus affectueux remerciements vont à mes parents, mes sœurs et mon frère, ainsi qu'à toute ma famille, pour leur soutien, leur encouragement et leur affection ; je suis particulièrement reconnaissant envers ma mère qui m'a toujours soutenu durant toutes mes études, et pour avoir toujours veillé sur moi à distance.

Enfin, mes plus sincères remerciements et mon affection vont à **Louise**, ma femme, qui m'a soutenu pendant les moments difficiles, qui m'a motivé, beaucoup encouragé à persévérer et à respecter mes délais. C'est grâce à ce travail de thèse que j'ai eu la chance de la rencontrer pendant le *Training school on Coastal hazard assessment and risk management*. Je tiens à la remercier pour son aide précieuse à la rédaction d'articles et de communications en anglais, et pour tout le temps passé à relire, corriger, reformuler malgré les moments difficiles de la fin de sa thèse. Grâce à elle, j'ai pu aller plus loin encore. Je lui dédie ce travail.

À mes parents et à toute ma famille.

Résumé

Le littoral est un éco-socio-système complexe, fragile et convoité, dont le fonctionnement et l'évolution sont conditionnés par de multiples paramètres naturels et anthropiques qui interagissent à diverses échelles spatio-temporelles. Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) est désormais largement admis comme étant le processus qui permet de régir ces interactions et rétroactions au niveau du littoral. Dans le processus GIZC, l'apport scientifique constitue la pierre angulaire de l'aide à la prise de décision. C'est dans ce contexte que ce travail vise à contribuer à la promotion de la GIZC dans la baie d'Al Hoceima par l'élaboration de connaissances, de produits synthétiques et cartographiques qui sont autant d'outils d'accompagnement et de produits d'aide à la décision.

L'approche adoptée a d'abord consisté en un diagnostic territorial qui a permis de décliner les problématiques les plus saillantes de la zone d'étude, notamment l'expansion urbaine, la vulnérabilité et l'exposition aux risques naturels. Sur la base des enjeux identifiés, nous avons ensuite procédé à l'évaluation de la vulnérabilité du littoral de la baie d'Al Hoceima aux tempêtes et à l'élévation de niveau de la mer (ENM). Les résultats révèlent une forte vulnérabilité physique du trait de côte de l'ordre de 43 %. Quant à la vulnérabilité de la nappe côtière de Rhis-Nekor à l'intrusion saline, environ 21% de la superficie de l'aquifère aurait une vulnérabilité élevée dans le scénario d'une ENM de 0.5m. Enfin, l'analyse rétrospective de l'évolution du rivage (1958-2013) a indiqué une tendance globale à l'érosion sur 60% de la côte étudiée, et l'analyse prospective, par la définition de lignes de retrait (Setback lines) a permis d'évaluer un recul qui pourrait atteindre environ -90m d'ici 2050. L'ensemble des résultats nous a permis de dégager et de renseigner des indicateurs clés, catégorisés en utilisant le modèle DPSIR (Drivers, Pressures, Stat, Impacts, Responses). Cela a conduit enfin à proposer un tableau de bord, outil incontesté dans toute démarche de GIZC et de développement durable.

Mots clés :

GIZC, Outils, Changement climatique, Vulnérabilité, Érosion côtière, Lignes de retrait, SIG, Littoral d'Al Hoceima.

Abstract

The coastal zone is a complex, fragile and highly sought-after eco-social system, whose functioning and development are influenced by multiple natural and anthropogenic factors that interact at various spatial and temporal scales. The concept of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) is now widely accepted as the best process to manage the numerous interactions and feedbacks that exist between these different parameters. Scientific input plays a key role to define decision making in the ICZM process. Here we contribute to the ICZM of Al Hoceima Bay by developing specific scientific tools to support decision makers.

The approach was first based on a territorial diagnosis, which aimed to highlight the most problematic issues in the study area, including urban expansion, vulnerability and exposure to natural hazards. We then assessed the vulnerability of the coastal area to storms and Sea level Rise (SLR) and identified 43 % of the coastline as highly vulnerable. We assessed the vulnerability of the Rhis-Nekor coastal aquifer to seawater intrusion, and found that approximately 21% of the aquifer's surface area would have a high vulnerability in the case of a 0.5m SLR scenario. Finally, a historical analysis of the shoreline (1958-2013) identified an erosional trend on 60% of the studied coast. We projected this analysis into the future by quantifying lines of withdrawal (setback lines) and estimated a potential total erosion of up to -90m by 2050. These results allowed us to identify and quantify key indicators, using the DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts, and Responses) framework. We finally synthesized these results with a dashboard, which is the critical assessment tool used to implement ICZM and sustainable development of a region.

Keywords

ICZM, Tools, Climate change, Vulnerability, Coastal erosion, Setback lines, GIS, Al Hoceima coastal zone.

Production scientifique

Publications:

- SNOUSSI M., OUCHANI T., **KHOUAKHI A.**, NIANG-DIOP I. (2009). Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay. *Geomorphology, Elsevier* 107 (2009) 32–40.
- SNOUSSI M., NIAZI S., **KHOUAKHI A.**, and O. RAJI, (2010). A GIS-Based Vulnerability and Impact Assessment, The case of the Moroccan Coast In: Maanan M. & Robin M. (dir.) *Geomatic solutions for coastal environments. Nova Science Publishers.*
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., & RAJI O., (2011) : Le Système d'Information Géographique (SIG) : un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée aux changements climatiques : Cas du littoral de Mohammedia. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série Géologie & Géographie physique, n°23, p. 1-8.*
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2013). Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast): a coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 968-973, ISSN 0749-0208.*
- RAJI, O., NIAZI, S., SNOUSSI, M., DEZILEAU, L., & **KHOUAKHI, A.** (2013). Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco), *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 802-807, ISSN 0749-0208.*
- **KHOUAKHI A.** NIAZI S., RAJI O., RAJI O., SNOUSSI M., (2013). (*Soumis à Int. Journal of water "IJW"*): GIS-based Vulnerability Assessment to of Seawater Intrusion due to sea level rise using a modified GALDIT Method in the Moroccan Mediterranean aquifers.
- SNOUSSI M., **KHOUAKHI A.**, FLAYOU L., BAZAÏRI H., & MHAMMDI N., (2013). Coastal erosion and vulnerability assessment in the Al Hoceima bay, Morocco. Soumis au numéro spécial de Medcoast 2013.

Principales communications :

- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2013). Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast): a coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges. 12th International Coastal Symposium (ICS 2013), Plymouth University, UK.
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2012). Development of tools to facilitate the integrated management of the coast of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast) in the context of climate change. National Center for Earth-Surface Dynamics, University of Minnesota, USA.
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2010). Évolution du trait de côte de la baie d'Al Hoceima (Méditerranée marocaine), Workshop Relation man/ Environnant. Tipaza, Algérie.
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2010). Le Système d'Information Géographique (SIG) : un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée aux changements climatiques : Cas du littoral de Mohammedia. Premier congrès international sur les Systèmes d'Information Géographiques, SIG-GT, Casablanca, Maroc.
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2010). Impact de l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique sur la baie d'Al Hoceima. Les deuxièmes journées internationales sur la dégradation des littoraux, Kenitra, Maroc.
- **KHOUAKHI A.**, SNOUSSI M., NIAZI S., RAJI O., (2009). Vulnerability assessment of the Moulay Bouselham lagoon to climate change and sea level rise. Fourth European conference on coastal lagoon research, Montpellier, France.

Table des matières

Avant-propos.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	v
Production scientifique.....	vii
Table des matières.....	ix

Introduction

Contexte du sujet de recherche.....	6
Problématique et démarche.....	6
Pourquoi la baie d'Al Hoceima ?	7
Plan de thèse	8

CHAPITRE I : LA GIZC : CONCEPT ET PROCESSUS

I. La zone cotière.....	10
I.1. Un espace unique.....	10
I.2. Un espace convoité aux limites fluctuantes.	11
II. La GIZC : concept et processus.....	12
II.1. Définitions.....	12
II.2. le processus GIZC.....	14
II.3. les instruments de la GIZC.....	15
III. La GIZC au Maroc	17
IV. La GIZC dans le contexte du changement climatique	18
IV.1. Changements climatiques en Méditerranée et au Maroc	19
IV.1.1. Élévation du niveau de la mer	21
IV.1.2. Projections du niveau de la mer.....	23
IV.2. La GIZC, instrument d'adaptation aux CC.....	26
V. Conclusion du chapitre	27

CHAPITRE II : BAIE D'AL HOCEIMA : ÉTAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC

I. État environnemental	31
I.1. Caractéristiques physiques et climatiques de la zone d'étude	31
I.1.1. Localisation.....	31
I.1.2. Aperçu géologique régional et local	33

I.1.3.	Néotectonique et sismicité de la région	39
I.1.4.	Géomorphologie	40
I.1.5.	Morphologie du littoral.....	41
I.1.6.	Morphologie sous-marine.....	43
I.1.7.	Dynamique marine dans la baie d’Al Hoceima	45
I.1.8.	Contexte sédimentologique.....	48
I.1.9.	Caractéristiques climatiques	49
I.2.	Ressources Hydriques.....	53
I.2.1.	Les eaux superficielles.....	53
I.2.2.	Les eaux souterraines	56
I.3.	Particularités biologiques.....	59
I.3.1.	La faune	60
I.3.2.	La flore	60
I.4.	Contraintes et risques naturels	61
I.4.1.	Risques sismiques	62
I.4.2.	Risques de tsunami.....	64
I.4.3.	Glissement de terrain et éboulement.....	64
I.4.4.	Risques d’inondations.....	66
I.4.5.	Sécheresses et pénurie d’eau	67
I.4.6.	Érosion des sols et des côtes.....	68
I.5.	Conclusion	68
II.	État des lieux socio-économique	69
II.1.	Caractéristiques démographiques et socio-économiques.....	69
II.1.1.	Caractéristiques démographiques.....	69
II.1.2.	Activités économiques	72
II.2.	Principales infrastructures.....	79
II.3.	Conclusion	80
III.	Aperçu sur l’état des lieux en matière de gouvernance	82
III.1.	Introduction	82
III.2.	Institutions impliquées dans la gestion des zones côtière.....	83
III.2.1.	Départements directement impliqués dans la gestion des zones côtières	83
III.2.2.	Départements intervenant de manière indirecte dans la gestion des zones côtières :	89
III.2.3.	Établissements publics spécialisés en environnement marin et côtier.....	89
III.2.4.	Institutions interministérielles de consultation.....	90
III.2.5.	Institutions militaires et paramilitaires	90
III.2.6.	Les acteurs non étatiques	91
III.3.	Le cadre juridique.....	93
III.3.1.	Cadre juridique national.....	93
III.3.2.	Législation internationale.....	94
III.4.	Conclusion	95
IV.	Synthèse et déclinaison des principales problématiques de la zone d’étude.....	96
V.	Conclusion du chapitre	102

CHAPITRE III : DÉTERMINATION DES LIGNES DE RETRAIT (SET-BACK LINES) DU LITTORAL DE LA BAIE D'AL HOCEIMA

I	Zone de retrait (Coastal set-back) et lignes de retrait (Setback lines)	105
I.1.	Définition.....	105
I.2.	Objectifs généraux des set-back lines.....	107
II	Approche méthodologique	108
II.1.	Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte.....	108
II.2.	Prédiction de la position future du littoral pour 2050, sans changement climatique... ..	109
II.3.	Ajustement avec l'EANM due au changement climatique.....	110
III	Application pour le littoral de la baie d'Al Hoceima	114
III.1.	Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte.....	114
III.1.1.	Définition de la ligne de référence.....	115
III.1.2.	Limites et marges d'erreur.....	116
III.1.3.	Calcul du taux d'érosion (TE) du trait de côte.....	117
III.1.4.	Résultats.....	119
III.1.5.	Synthèse des principaux facteurs responsables de l'érosion.....	129
III.2.	Prédiction de la position future du littoral pour 2050.....	134
III.3.	Ajustement avec l'EANM.....	135
IV	Conclusion du Chapitre	143

CHAPITRE IV : VULNÉRABILITÉ DE LA BAIE

Sous chapitre I : vulnérabilité de la baie d'al Hoceima à l'ENM et aux tempêtes dans le contexte du changement climatique.

I.	Introduction	147
I.1.	Définition des principaux termes.....	148
I.2.	Aperçu sur les différentes techniques d'évaluation de la vulnérabilité côtière.	152
I.2.1.	Méthodes basées sur des indices de vulnérabilité.....	152
I.2.2.	Méthodes basées sur les systèmes d'aide à la décision et SIG.....	154
I.2.3.	Méthodes basées sur des modèles informatiques dynamiques.....	154
I.3.	Conclusion.....	155
II.	Estimation de la vulnérabilité du littoral de la baie d'Al Hoceima	156
II.1.	Méthodologie adoptée.....	156
II.1.1.	Détermination des paramètres.....	156
II.1.2.	Importance de SIG et Subdivision de la côte.....	157
II.1.3.	Méthode de calcul.....	158
II.2.	Résultats de la vulnérabilité physique.....	159
II.2.1.	Cartographie des variables.....	159
II.2.2.	Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI).....	175
II.3.	Vulnérabilité socio-économique.....	178
III.	Conclusions	182

Sous-chapitre II : vulnérabilité de l'aquifère de Rhis-Nekor à l'intrusion saline

I. Introduction.....	184
II. Principaux facteurs d'une intrusion saline	185
II.1. Intrusion saline dans les aquifères côtiers.....	185
II.2. Facteurs induisant une intrusion saline dans les aquifères côtiers.....	187
II.2.1. Facteurs géologiques	188
II.2.2. Facteurs climatiques	189
II.2.3. Facteurs anthropiques.....	190
III. Vulnérabilité de l'aquifère Rhis-Nekor à une intrusion saline.....	191
III.1. Méthode qualitative GALDIT	192
III.2. Résultats	195
III.2.1. Type de l'aquifère Rhis-Nekor.....	195
III.2.2. Conductivité hydraulique de l'aquifère	195
III.2.3. Hauteur du niveau des eaux souterraines au-dessus du niveau marin.....	197
III.2.4. Distance par rapport au rivage.....	199
III.2.5. Impact de l'état actuel de l'intrusion saline.....	200
III.2.6. Épaisseur de l'aquifère Rhis-Nekor.....	201
III.2.7. Indice de GALDIT sous les conditions actuelles et futures du niveau de la mer..	202
IV. Mesures de contrôle de l'intrusion d'eau salée et méthode ADR.....	204
V. Conclusion	206

CHAPITRE V : ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA : APPLICATION DU MODÈLE "DPSIR"

I. Introduction.....	209
II. Cadre DPSIR général du littoral de la baie	211
III. DPSIR et problématiques identifiées dans le territoire étudié	212
III.1. Principales forces motrices (Drivers)	212
III.1.1. FM1 : L'évolution démographique :	214
III.1.2. FM2 : L'urbanisation et la littoralisation	214
III.1.3. FM 3 : Le développement du tourisme	218
III.2. Principales pressions générées par ces FM	219
III.2.1. Changement de l'occupation du sol	219
III.2.2. Augmentation des besoins en eau	221
III.3. État.....	222
III.3.1. Pollution et dégradation de l'environnement	222
III.3.2. Diminution des ressources halieutiques	225
III.3.3. Changement de la qualité des eaux de baignade	226
III.3.4. Changement du trait de côte	227
III.4. Les impacts	227
III.5. Les réponses	228
III.5.1. Assainissement dans la zone d'Al Hoceima	228
III.5.2. Autres programmes et actions.....	230

IV. Proposition d'indicateurs	231
IV.1. Définition et utilisation des indicateurs.....	231
IV.2. Indicateurs renseignés dans le cadre de cette étude	232
V. Conclusion	235

CHAITRE VI : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

I. Principales conclusions	237
II. Importance du SIG.....	242
III. Limitations et incertitudes.....	242
IV. Perspectives de recherche	244

.....
Références bibliographiques	246
Liste des figures.....	262
Liste des tableaux.....	267

ANNEXES	270
----------------------	------------

INTRODUCTION

Contexte du sujet de recherche	6
Problématique et démarche	6
Pourquoi la baie d'Al Hoceima ?.....	7
Plan de thèse.....	8

L'environnement côtier est un espace foncièrement dynamique ; son dynamisme résulte de multiples interactions entre mer, atmosphère, terre et population (Kusky, 2008). De ce fait, la ligne du rivage fluctue à court terme suivant une échelle saisonnière, à moyen terme selon la fonction de variabilités interannuelles, et à long terme relatif aux temps géologiques. Cependant, le développement de la zone littorale avec l'intention de «fixer les côtes», engendre inévitablement un conflit entre le fonctionnement naturel des systèmes littoraux et leur utilisation par l'Homme.

En raison du développement anthropique croissant, La plupart des systèmes côtiers sont en effet soumis à des pressions multiples (Nicholls et al., 2007) qui ont clairement été identifiées et ne cessent de s'accroître avec le développement de la population côtière. À ce rythme, 91% des côtes mondiales seraient touchées par les développements humains d'ici l'an 2050 (Sale et al., 2008), faisant croître dans ces zones le « stress » dont les principaux facteurs ont été décrits par *Newton et al. (2012)*. Ces « syndromes », ainsi nommés par *Schellnhuber et al. (1997)* pour conceptualiser les « changements globaux », mettent en évidence les symptômes d'un déséquilibre de l'état naturel de la côte ; ils s'exercent de manière synergique (Figure -I-) et sont visibles à travers divers phénomènes tels que :

- **la perturbation de la dynamique sédimentaire** due au piégeage des sédiments des rivières par les barrages, aux infrastructures côtières et/ou aux phénomènes de subsidence.
- **la perturbation des ressources en eau** due à la surexploitation des aquifères côtiers et à la diminution du débit des rivières
- **l'eutrophisation des eaux** liée à l'agriculture, aux élevages agricoles et à la transformation de la matière organique des eaux usées
- **l'occupation littorale** qui entraîne la destruction des forêts, des mangroves, des marais salants et des zones humides des zones côtières
- **la littoralisation** des zones côtières de basse topographie particulièrement des plaines inondables ainsi que des mégapoles côtières
- **la réduction, voire le déclin de la biodiversité** lié à la surexploitation des ressources biologiques ou à l'introduction d'espèces envahissantes
- **la pollution et la contamination croissante des ressources** liées à la présence d'unités industrielles, de l'agriculture et de déversements pétroliers
- **l'exploitation des ressources non renouvelables** telles que le pétrole et le gaz
- **les changements globaux**, dont la température, l'élévation du niveau des mers (ENM), les tempêtes et l'acidification des océans.

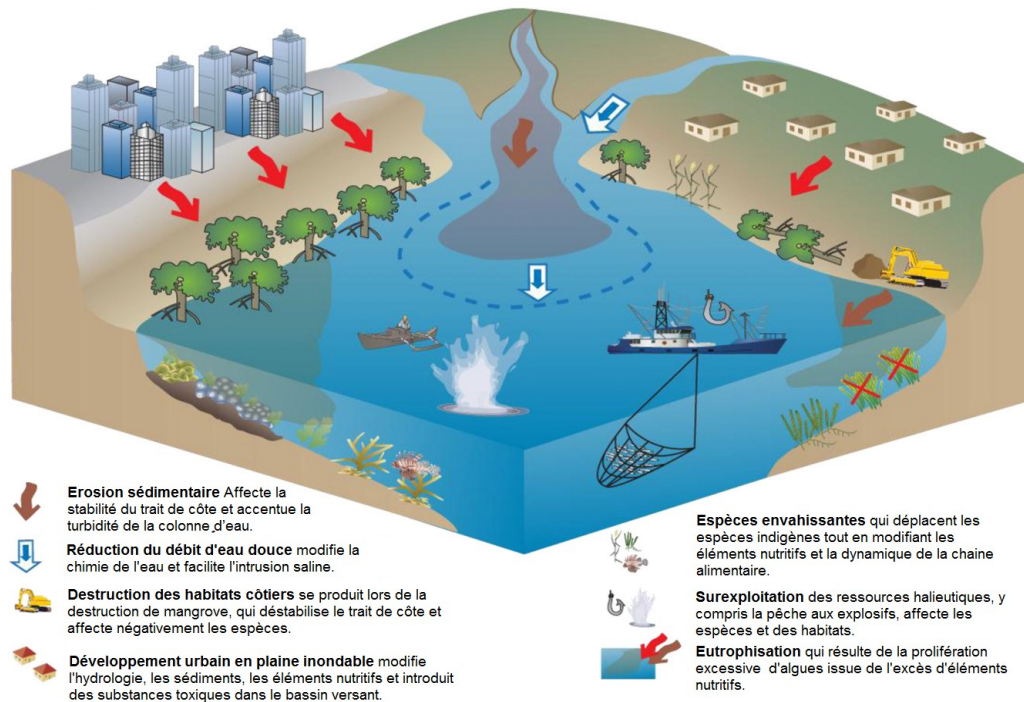


Figure -I- : Illustration des syndromes côtiers (Newton et al., 2012)

La zone côtière est donc un espace complexe où les pressions anthropiques multiples se combinent à des phénomènes climatiques de plus en plus irréguliers. En effet, la croissance démographique augmenterait le degré de vulnérabilité de ces espaces et participerait à l'amplification de l'impact socioéconomique des aléas météo-marins. La conjonction des facteurs physiques, naturels et humains a entraîné au cours du siècle dernier des perturbations de grande ampleur, suscitant une prise de conscience internationale de l'ampleur des risques côtiers.

De plus, l'élévation relative du niveau des mers prévue en raison du réchauffement climatique actuel (GIEC, 2001 et 2007) devrait accroître l'érosion côtière et la submersion marine des zones basses, risques associés à une probabilité accrue d'événements météorologiques extrêmes comme les ondes de tempête (Nicholls et al., 2008).

Dans ce contexte, la mise en œuvre d'une gestion durable de la zone côtière est devenue un objectif impératif. Le développement durable du littoral exige une harmonisation de la croissance économique, du bien-être social et de la protection de l'environnement. Partout à travers le monde il a été relativement difficile d'atteindre cet objectif, souvent en raison des conflits d'intérêt entre les décisions relevant de ces trois composantes. Dans la plupart des cas, l'environnement a été sacrifié au profit de la croissance économique. Ainsi, assurer un développement durable reste un défi majeur, tant au niveau local qu'aux échelles nationale et internationale, car il nécessite un compromis entre les points de vue des différentes parties prenantes sur la gestion des ressources environnementales. Des outils sont nécessaires pour atteindre un tel compromis, et la Gestion Intégrée des Zones Côtières

(GIZC) a été reconnue comme étant l'outil le plus approprié pour faciliter une gestion durable des ressources côtières. En tant que démarche favorisant la gestion concertée d'un espace complexe, la GIZC doit être en mesure de faire face aux «objectifs conflictuels» des divers groupes d'intérêts impliqués dans l'utilisation des ressources côtières. C'est dans ce cadre que la politique et la science devraient travailler ensemble pour faciliter la mise en œuvre de cette démarche. La synergie entre les différents outils, scientifiques et ceux de gestion, est une des spécificités propres à la GIZC. Intégrateurs et mobilisateurs, ils sont conçus pour faciliter la décision et la gestion.

Dans une représentation globale, les différents protagonistes de la GIZC consistent en une dizaine d'acteurs regroupés en cinq ensembles (Figure -II).

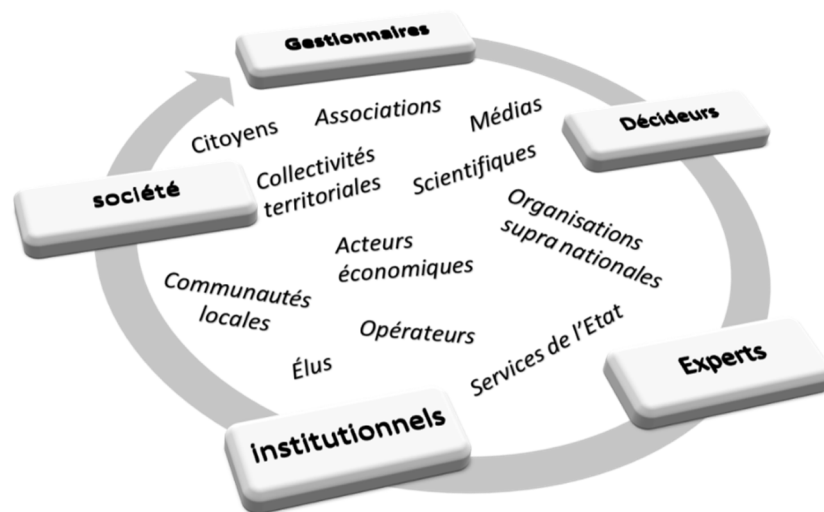


Figure -II- : Différents protagonistes concernés de la GIZC (Denis et Henocque, 2001)

Le littoral marocain, dont le trait de côte s'étend sur près de 3500 Km, présente un patrimoine environnemental et écologique riche et varié tant par sa valeur intrinsèque que par son intérêt démographique et socio-économique. Il abrite des écosystèmes et une biodiversité riches et variés (faune et flore, paysages et sites naturels tels que dunes, zones humides, lagunes...) qui procurent des ressources d'importance primordiale (pêche, tourisme, activités pastorales et forestières...). Ceci explique l'importance de la pression démographique et de la concentration urbanistique présentes sur ces espaces côtiers (Nakhli et Ghazi, 2008). Par ailleurs, les poids démographique et économique de ces zones dans le développement national conduit inexorablement à l'accroissement des pressions sur le littoral et soulève des défis nouveaux, comme celui de l'étalement urbain. En effet, selon le Haut-Commissariat Au Plan (HCP, 2010), la population littorale représentait en 2010 plus de 54,7 % de la population totale du Maroc, contre 49% en 1971, et atteindrait 55.2% en 2014 (Figure -III-a) Cela signifie que durant les quatre décennies, la population littorale a été multipliée par 2,3 contre 2,1 pour l'ensemble du royaume.

Parallèlement, l'évolution du taux d'urbanisation des zones côtières marocaines avait atteint en 2010 69% sur le littoral atlantique et 49% au niveau de la zone côtière méditerranéenne (HCP, 2010). Selon cette même source, les données du poids économique

montrent que depuis le début du siècle, le littoral marocain a réalisé en moyenne 82,6% de la production industrielle, 54,7% des nuitées touristiques principalement dans les hôtels classés et s'accapare plus de 71% des agences bancaires (Figure -III-b).

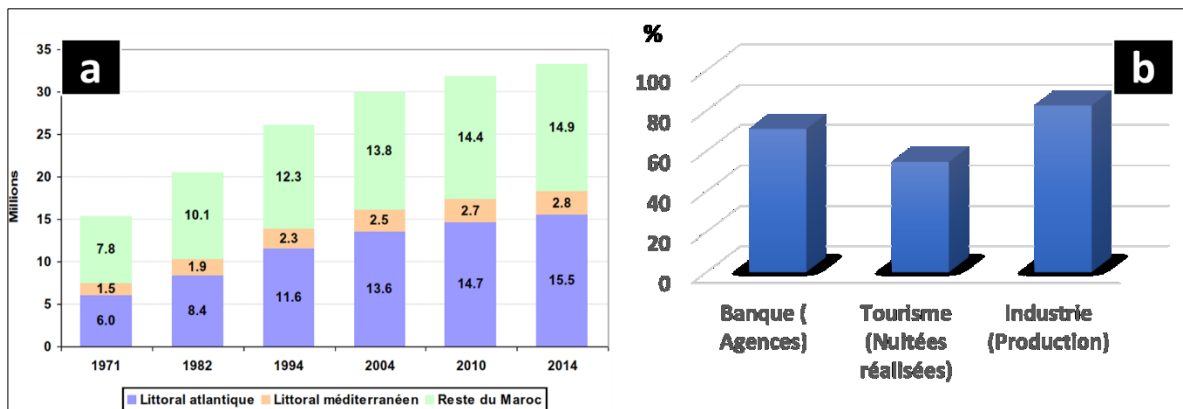


Figure -III- : a) Évolution de la population littorale au Maroc depuis 1971 b) Poids (%) du littoral dans les activités industrielles, touristiques et bancaires (HCP, 2010)

En plus des pressions anthropiques, les zones côtières marocaines sont exposées à des risques inhérents à l'augmentation du niveau de la mer prévue suite au réchauffement climatique actuel (GIEC, 2001, 2007) et à la raréfaction des ressources en eau. En effet, la hausse du niveau marin et l'augmentation probable de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes pourraient avoir des impacts négatifs. Selon le Plan Bleu pour l'environnement et le développement en Méditerranée, la région méditerranéenne reste un « hot spot » du changement climatique. Ainsi, comme tous les pays méditerranéens, le Maroc est déjà confronté à d'importants problèmes de stress hydrique, de désertification, de pertes de biodiversité et à des événements climatiques extrêmes tels qu'inondations et sécheresses. Comme pour l'ensemble de littoral marocain, la zone côtière méditerranéenne avec ses écosystèmes, son patrimoine culturel, sa fonction sociale et son identité maritime représente un capital inestimable. Néanmoins ce territoire est très sollicité par des activités humaines qui engendrent des pressions considérables et des conflits d'usage des ressources à l'origine de dégradations continues des milieux, de pertes de biodiversité et de ressources souvent irréversibles. De surcroît, d'autres menaces dues au changement climatique pourraient générer des impacts (biophysiques et socioéconomiques) fortement négatifs sur l'ensemble de ces activités et sur ce patrimoine côtier, faisant alors de ce littoral une zone critique dans le contexte des changements globaux.

Toutes ces menaces réelles ou potentielles appellent à la mise en œuvre immédiate de plans de gestion des zones côtières qui permettraient d'envisager, à une échelle locale et régionale et dans une vision écosystémique, les conséquences possibles de ces changements multiples.

Contexte du thème de recherche

En zone côtière, la multiplicité des usages de l'espace littoral conjuguée à la fragilité des composantes environnementales peut entraîner des situations critiques dont la résolution implique des mesures concrètes de gestion. Or, des carences au niveau des procédures et de la planification, liées à une méconnaissance de l'importance économique et sociale d'une gestion durable des zones côtières, sont autant d'obstacles à la mise en place d'une approche globale et efficace. C'est dans ce contexte, et en réponse à ce besoin, que nous essayons de contribuer à la promotion d'une Gestion Intégrée de la zone Côtière à l'échelle locale de la ville côtière d'Al Hoceima, à travers l'élaboration de connaissances scientifiques et de produits synthétiques d'aide à la gestion.

De manière générale, la problématique scientifique posée par l'environnement littoral vise à repérer et à quantifier les déséquilibres, perturbations ou dégradations des modalités de fonctionnement de cet écosystème complexe. Le but est de prédire son évolution sur les court, moyen et long termes et de disposer d'indicateurs permettant de corriger, voire d'anticiper les perturbations génératrices de dégradations environnementales et leurs conséquences socio-économiques. Dans un contexte de gestion intégrée de la zone côtière, la complexité des processus dynamiques implique la recherche d'une approche holistique et systémique afin de dégager une image synoptique des interactions entre les processus naturels et les communautés côtières.

Problématique et démarche adoptée

Si l'intérêt du concept de la GIZC est désormais admis quasi-universellement par l'ensemble des acteurs et décideurs concernés, il n'en demeure pas moins que les méthodes et outils nécessaires à sa mise en œuvre restent « en développement ». En effet, toute décision en la matière implique de disposer d'un ensemble de données et d'informations de grande pertinence mais aussi d'outils d'analyse et de représentation adéquats. Parmi ces outils, l'élaboration du diagnostic territorial et de l'évaluation de la vulnérabilité sont de grande importance permettant en effet d'aboutir à une prise de décision et à la mise en place d'un processus de GIZC.

La démarche de cette thèse se fonde donc en premier lieu sur une élaboration synthétique des caractéristiques de la zone d'étude dans l'objectif d'identifier ses atouts et ses potentialités et de décliner les problèmes les plus saillants du littoral. Dans un second temps, l'ensemble de ces informations sera utile à la réalisation des études d'évaluation, notamment celles concernant la vulnérabilité de la zone côtière face à l'élévation du niveau de la mer, aux tempêtes et à l'intrusion saline au niveau de la nappe côtière.

Pourquoi la baie d'Al Hoceima ?

Une grande partie de l'espace littoral marocain est déjà considérablement fragilisée par le développement qui s'est réalisé au cours des dernières décennies sur des bases éminemment non durables, où l'aspect « profit économique » a largement prévalu sur l'aspect environnemental. L'urbanisation excessive, rapide et parfois anarchique du milieu naturel côtier est une des conséquences environnementales les plus visibles. La façade méditerranéenne n'échappe pas à ce fléau qui s'y manifeste par une bétonisation du trait de côte et une dégradation des écosystèmes côtiers. Le tourisme balnéaire et ses complexes résidentiels, ses marinas, associé à l'exode rural et ses migrants qui choisissent de s'implanter sur le rivage, se trouve à l'origine de cette urbanisation.

Ce type de développement impacte sévèrement le patrimoine naturel du pays car il induit une privatisation du domaine public et provoque un déséquilibre dans les écosystèmes côtiers. L'amorce d'une telle spéculation touche de plus en plus de sites dont, parmi bien d'autres, la zone côtière de la baie d'Al Hoceima, objet de cette étude. Du fait de sa richesse en ressources biologiques et de sa situation géographique, le littoral d'Al Hoceima est soumis à une importante pression humaine. Cette richesse est générée par une multitude d'activités parfois conflictuelles telles que l'agriculture dans la plaine côtière, la pêche, le tourisme et loisirs, la conservation du patrimoine naturel et culturel, l'expansion urbaine ... De plus, ce territoire qui abrite une population urbaine importante connaît un développement persistant, et provoque l'apparition d'un phénomène d'occupation de zones peu favorables à l'urbanisation. Depuis quelques années, Al Hoceima connaît un processus de désenclavement physique et socio-économique important qui conduit à un développement intensif et croissant de l'urbanisation ainsi que des projets touristiques. Ceux-ci s'opèrent malheureusement au détriment de l'intégrité de l'environnement.

Certes, le littoral de la baie d'Al Hoceima est relativement moins anthropisé que celui d'autres secteurs méditerranéens (notamment à Tanger, Tétouan, Nador...), mais en raison de la vitesse du développement urbain qui s'y opère, il reste sérieusement menacé ; la menace est d'autant plus grande que les impacts du réchauffement climatique viendraient amplifier les pressions déjà existantes sur l'environnement naturel, liées particulièrement aux catastrophes naturelles (séisme, inondation) et aux activités anthropiques. La beauté du site ainsi que les pressions diverses et intenses qui s'y exercent dans un contexte d'extrême fragilité des écosystèmes incitent donc à la protection de ce milieu. Le protéger est aujourd'hui un enjeu majeur pour un développement durable, d'autant que la présente conjoncture de phénomènes naturels, les pressions démographiques et anthropiques et les impacts du changement climatique vont rendre vulnérable la zone côtière de cette baie.

Le choix d'étudier le littoral de la baie d'Al Hoceima répond donc à une nécessité ; il est essentiel de contribuer à l'engagement d'une démarche de GIZC car celle-ci s'avère être l'option appropriée pour garantir un développement durable de toute la région.

Plan de thèse

Ce manuscrit s'articule en 6 chapitres :

Premier chapitre est consacré à la description du cadre conceptuel de notre recherche. Nous tenterons de préciser la terminologie définissant la zone côtière et le concept de la GIZC. Ensuite nous aborderons la GIZC dans le contexte du changement climatique et de la hausse du niveau marin.

Deuxième chapitre porte sur la présentation de l'état des lieux, environnemental, socio-économique et institutionnel de la zone d'étude, suivie d'une synthèse AFOM (Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces). L'objectif est de connaître la situation actuelle et de décliner les principaux enjeux et problématiques de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima.

Troisième chapitre présente une analyse rétrospective et prospective de l'évolution des plages sableuses de la baie d'Al Hoceima. L'objectif est de contribuer à mieux comprendre la réponse du trait de côte à diverses pressions naturelles et anthropiques et d'en prédire le comportement futur dans le contexte de l'élévation de niveau de la mer.

Quatrième chapitre caractérise l'évaluation de la vulnérabilité, d'une part, de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima aux événements de tempêtes et à l'élévation du niveau marin, et d'autre part de la nappe côtière Rhis-Nekor à une intrusion saline. Ces outils sont d'une grande utilité pour les gestionnaires de la zone côtière et doivent impérativement être pris en considération dans la conception d'un plan de GIZC.

Cinquième chapitre est dédié à l'application du modèle DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses) au littoral de la baie d'Al Hoceima. Il permettra de comprendre et de mettre en exergue les relations causales entre les différents processus et leurs interactions dans la zone côtière de la baie d'Al Hoceima. Ce chapitre sera également une synthèse des indicateurs tirés de la caractérisation DPSIR de la zone d'étude et des évaluations présentées dans les chapitres précédents prenant en compte les problématiques les plus saillantes identifiées dans la zone côtière de la baie.

Sixième chapitre est une synthèse et conclusion générale où seront déclinés les enseignements les plus pertinents de ce travail, mais aussi des propositions, des recommandations et des perspectives de recherche.

Chapitre I

LA GIZC : CONCEPT ET PROCESSUS

Ce premier chapitre présente la zone côtière et le concept de la GIZC, ainsi que les termes qui définissent le cadre conceptuel de notre recherche. Il s'agira de montrer l'évolution de ce concept durant les dernières décennies dans le bassin méditerranéen. Nous aborderons ensuite la question du changement climatique (CC) et l'élévation du niveau de la mer (ENM) en Méditerranée et au Maroc tout en évoquant la GIZC dans le contexte du CC.

Sommaire

I. La zone cotière.....	10
I.1. Un espace unique.....	10
I.2. Un espace convoité aux limites fluctuantes.....	11
II. La GIZC : concept et processus	12
II.1. Définitions.....	12
II.2. le processus GIZC.....	14
II.3. les instruments de la GIZC.....	15
III. La GIZC au Maroc.....	17
IV. La GIZC dans le contexte du changement climatique	18
IV.1. Changements climatiques en Méditerranée et au Maroc.....	19
IV.1.1. Élévation du niveau de la mer.....	21
IV.1.2. Projections du niveau de la mer.....	23
IV.2. La GIZC, instrument d'adaptation aux CC.....	26
V. Conclusion du chapitre.....	27

I. La zone côtière

I.1. Un espace unique

La zone côtière est un espace extrêmement complexe dont le fonctionnement et l'évolution dépendent de multiples paramètres naturels, physiques et anthropiques qui interagissent à différentes échelles spatio-temporelles. Les systèmes écologiques y sont variés, souvent très productifs, et d'autant plus fragiles que leurs ressources subissent des pressions anthropiques croissantes, pouvant menacer l'équilibre global et déboucher sur des conflits d'usage. Cette situation préoccupante à échelle mondiale a justifié depuis une trentaine d'années la mise en place de programmes nationaux et internationaux relatifs à la gestion intégrée de la zone côtière et à des recherches scientifiques menées dans différentes disciplines.

La région méditerranéenne avec ses 46.000 kilomètres de côtes (Figure I-1) se caractérise par de nombreuses spécificités physiques et écologiques qui confèrent à sa biodiversité une valeur patrimoniale mondiale. Par ailleurs, ses richesses biologiques et sa situation en ont fait une zone d'occupation humaine intense et très ancienne ; les civilisations qui se sont succédées dans cette région lui confèrent une richesse culturelle hors pair. Il y a un siècle, cette occupation humaine n'avait pas d'effet sensible sur les écosystèmes marins, tels qu'en témoignaient les produits de la pêche (Dakki 2004) ; mais durant le siècle dernier, l'explosion démographique, l'urbanisation, l'industrie et le développement touristique ont suscité des dysfonctionnements profonds dans une grande partie des espaces naturels. Aujourd'hui, près de 19% des côtes sont occupées par des complexes touristiques, des réseaux routiers et des infrastructures connexes (Breton et Le Tellier 2012), générant des dégradations du milieu et des dysfonctionnements profonds des écosystèmes côtiers.

Sur la côte méditerranéenne marocaine, la dégradation du littoral découle principalement du phénomène de littoralisation. L'évolution démographique, les activités touristiques balnéaires et la migration des populations et des activités vers la côte (ou littoralisation), sont à l'origine de cette dégradation côtière. L'industrie, avec toute sa panoplie de polluants, se localise de manière préférentielle au bord de la mer et sous-tend une urbanisation envahissante. En Méditerranée Marocaine, l'artificialisation du trait de côte ne cesse de s'accroître au détriment du linéaire côtier naturel.

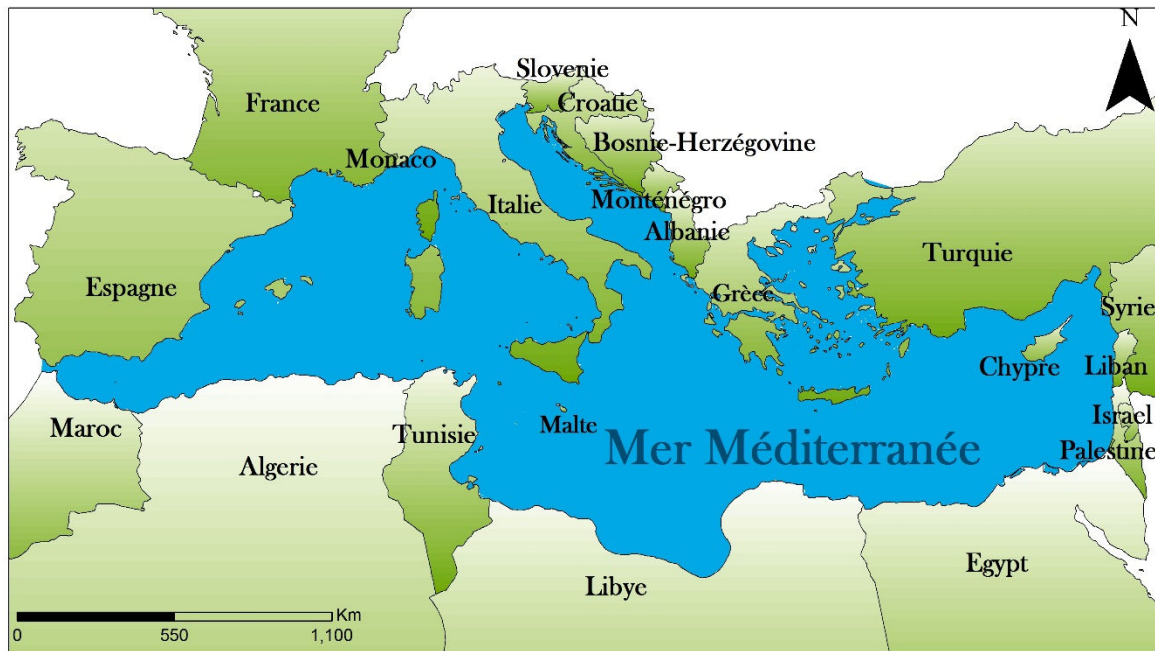


Figure I-1. Pourtour méditerranéen

I.2. Un espace convoité aux limites fluctuantes...

La zone côtière, en tant qu'entité géographique spécifique située à l'interface entre terre et mer, recouvre en fait un territoire aux limites ambiguës. C'est une notion qui relève des aspects spécifiques liés aux différents groupes et à leurs perceptions. Cependant Pour parvenir à une gestion correcte de cet espace si particulier, il est important d'en connaître la définition et les marges, tant matérielles, que culturelles.

L'espace littoral n'est pas seulement défini par une dimension physique, mais il est aussi un « espace de vie », humanisé, transformé et mis en valeur par les sociétés humaines (Bruyelle et al., 1998). *Bousquet (1990)* distingue, par exemple, trois définitions possibles du littoral : le *littoral de nature*, sous la dépendance de la dynamique et de l'énergie du milieu, le *littoral d'œkoumène*, habité et mis en valeur par l'homme, et le littoral d'institution, que régissent les textes législatifs et réglementaires.

D'après *Corlay (1995)*, le littoral doit être appréhendé comme « un système aux éléments multiples, dont les deux composantes principales sont, d'une part, l'écosystème, c'est-à-dire un milieu aux potentialités diverses et aux contraintes très fortes et, d'autre part, le sociosystème, combinaison de facteurs qui relèvent de la société. La dynamique du système résulte d'interactions complexes entre la dynamique naturelle et la dynamique sociale ».

Cependant il n'existe toujours pas de réglementation commune au niveau mondial en ce qui concerne la préservation des littoraux, et de fait aucune définition, ni délimitation juridique uniforme du littoral à l'échelle planétaire (Bodmer, 2011).

Le protocole GIZC pour la Méditerranée, dans son article 2, définit la zone côtière comme **« l'espace géomorphologique de part et d'autre du rivage de la mer où se manifeste l'interaction entre la partie marine et la partie terrestre à travers des systèmes écologiques et systèmes de ressources complexes comprenant des composantes biotiques et abiotiques coexistant et interagissant avec les communautés humaines et les activités socio-économiques pertinentes »**

Retenons surtout cette définition qui émane d'un instrument légal : le Protocole GIZC applicable aujourd'hui en Méditerranée, et qui donne les fondements à notre question de la définition de la zone côtière.

II. La GIZC : concept et processus

II.1. Définitions

En zone côtière, plusieurs activités se juxtaposent dans un cadre spatio-temporel et réglementaire extrêmement complexe (Le tixerant, 2002). La multiplicité des usages, conjuguée à la fragilité des composantes environnementales peut entraîner des situations critiques dont la résolution implique des mesures concrètes de gestion. Mais des carences au niveau des procédures, de la planification, des actions et des institutions, liées à une méconnaissance fréquente de l'importance économique et sociale d'une gestion durable des zones côtières, sont autant de freins à la mise en place d'une approche globale et efficace (CE, 1999). C'est dans ce contexte, et en réponse à ce besoin, que le concept de *Gestion Intégrée de la Zone Côtière* (GIZC) est né dans les années 1970 (Gourmelon 2003).

On peut dire que le concept de la GIZC s'est développé au cours des quatre dernières décennies, avec la prise de conscience mondiale de l'intérêt écologique et économique ainsi que de la complexité de gestion des zones côtières mais aussi de l'environnement dans un sens plus large. Cette prise de conscience a conduit de nombreux États à adhérer à des conventions élaborées par différents organismes internationaux, dont l'objectif était de parvenir à une gestion durable de l'environnement. Au niveau international, on peut citer, à titre d'exemple : la Convention de Ramsar en 1971, le Coastal Zone Management Act (État Unis, 1972), la Stratégie européenne d'Aménagement Intégré des Zones Côtières qui concerne exclusivement les zones côtières, la convention de Barcelone de 1976, le sommet de la terre de Rio de Janeiro, 1992, et celui de Johannesburg...etc. L'expression « gestion intégrée » a été introduite en 1987 par l'OCDE, qui a joué un rôle important dans la propagation du concept (Lozachmeur, 2004).

Par ailleurs, l'expression « GIZC » a été développée officiellement et internationalement en 1992 lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement à Rio de Janeiro. La GIZC est rapidement devenue, au moins dans les intentions politiques, un enjeu mondial. Son objectif a été, et reste, de favoriser les échanges internationaux et de mettre en commun les expériences afin d'optimiser une démarche qui

doit permettre de à construire un littoral sur lequel les activités humaines peuvent continuer à s'exercer, sans que l'environnement littoral soit menacé à court et long terme.

Ainsi, depuis 1992, la GIZC se définit comme une approche intégrée visant à solutionner les problèmes environnementaux, sociaux, économiques et institutionnels complexes des zones côtières. Elle est devenue « la voie à suivre » pour assurer un développement durable des zones côtières.

En Méditerranée, les efforts consentis pour assurer une gestion durable des ressources ont commencé par la Convention de Barcelone en 1976 et dont le Maroc était partie prenante. La Convention visait à réduire la pollution dans la mer Méditerranée et à protéger et améliorer le milieu marin en vue de contribuer à son développement durable. La convention a été amendée en 1995 pour devenir, dans son titre même, la : « Convention sur la protection du milieu marin et du littoral de la mer Méditerranée ». Le lien entre milieu marin et littoral, qui apparaissait jusqu'alors comme une évidence uniquement au niveau scientifique, devenait également, et pour la première fois, une évidence juridique. Depuis cette Convention, les zones côtières se trouvent au cœur des politiques proposées aux parties contractantes. Ces politiques se sont traduites par une multitude de lignes directrices, recommandations, plans d'action et livres blancs qui n'ont qu'une valeur de "soft law", c'est-à-dire non contraignante pour les États (*PAP/RAC*). De tels instruments se caractérisent par leur simplicité et leur souplesse. Ils peuvent être adoptés et modifiés sans procédures particulières. Mais, ne reposant que sur une base volontaire, leur application est quasi nulle en raison de leur caractère facultatif et non contraignant. Ils sont souvent le préalable à la conclusion d'un traité international.

Bien que la gestion intégrée concerne en premier chef les niveaux national et infranational, elle a aussi une dimension régionale méditerranéenne. Dans bien des cas, les questions qui doivent être traitées à travers la gestion intégrée des côtes ne sont pas confinées dans les frontières politiques. Les zones côtières d'une mer régionale constituent pour les États côtiers un patrimoine naturel et culturel commun qui nécessite de développer et d'adopter une politique régionale coordonnée grâce à un instrument juridique. En conséquence, et après plusieurs réunions des parties contractantes de la convention, un Protocole GIZC a été finalement adopté lors de la 15^{ème} conférence des Parties prenantes, à Almería en janvier 2008, suivie par la signature du protocole le 21 janvier 2008 à Madrid par 14 États y compris la Maroc. Le protocole est entré en vigueur en 2011, à l'issue de sa ratification par six parties à la convention. Le 25 Octobre 2012, le Maroc a ratifié le Protocole GIZC et porte le nombre total des ratifications à 9.

D'après ce protocole «**la GIZC est définie comme un processus dynamique de gestion et d'utilisation durables des zones côtières, prenant en compte simultanément la fragilité des écosystèmes et des paysages côtiers, la diversité des activités et des usages, leurs interactions, la vocation maritime de certains d'entre eux, ainsi que leurs impacts à la fois sur la partie marine et la partie terrestre** ».

Pour conclure, La GIZC n'est donc pas qu'un « outil », mais davantage un processus, une stratégie devant permettre d'élaborer un programme de gestion, basé sur l'ensemble des composantes des zones côtières. L'objectif est de parvenir à une gestion cohérente des espaces littoraux, articulée autour des démarches et des spécificités juridiques, administratives, économiques, sociales et environnementales.

II.2. Le processus de la GIZC

La GIZC est donc un processus qui s'inscrit dans une perspective de développement durable de la zone côtière. Il s'agit en fait d'une approche territoriale globale qui cherche à intégrer les multiples composantes d'une entité socio spatiale en vue de sa valorisation et de sa protection. Dans ce contexte, la planification de tout territoire, concourant à la mise en place d'un plan de gestion, répond à une démarche structurée en trois grandes phases qui illustrent le déroulement d'un processus GIZC, utilisé par exemple dans le cadre des PACs (Programme d'Aménagement Côtier) y compris le PAC Maroc (2011) (Figure I-2) :

- Identification préliminaire de la situation ;
- Préparation du plan de gestion ;
- Mise en œuvre du plan de gestion.

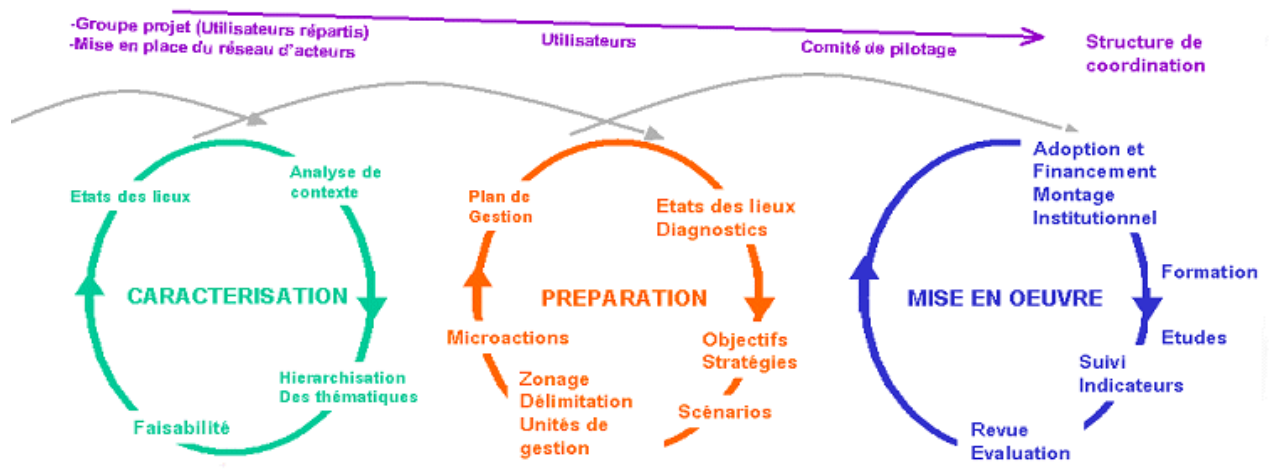


Figure I-2. Enchaînement et inter-relations des étapes de planification GIZC (Denis, 2006)

La phase initiale - la caractérisation - permet de définir les thématiques prioritaires pour une zone côtière concernée, à travers des études d'état des lieux, l'analyse du contexte et la hiérarchisation des thématiques. La caractérisation permet de créer les conditions favorables à la préparation d'un plan d'action qui seront mises en œuvre à son terme, dans le cadre d'un plan de gestion.

Cependant la concrétisation de cette démarche dépend fondamentalement des capacités de communication et de la participation des acteurs concernés par la gestion de la zone

côtière. En effet, l'appropriation de la problématique de l'intégration par les multiples intervenants dans la région littorale est un déterminant essentiel pour l'engagement et la promotion du processus GIZC.

La promotion de la démarche intégrée se présente sous différents volets :

- L'intégration des politiques sectorielles, au lieu de leur superposition non coordonnée ;
- L'intégration verticale de l'ensemble des objectifs de planification ou d'aménagement ;
- L'intégration spatiale : aucun espace ne peut se développer au détriment de son environnement immédiat ou plus ou moins éloigné.

L'interdépendance entre les activités et les ressources de la zone côtière indique les insuffisances et les lacunes de l'approche sectorielle dans la gestion. Une solution peut présenter un intérêt pour un secteur, mais en même temps être nuisible pour les autres. De même, une action peut être bénéfique dans un espace restreint, mais peut aussi provoquer des effets négatifs sur un rayon spatial plus ou moins large. L'usage et l'exploitation des ressources côtières se font donc souvent dans une situation de compétition et de conflits entre les différents intervenants.

II.3. Les instruments de la GIZC

Le protocole GIZC identifie une série d'instruments à utiliser au plan national (Prieur, 2011) : la mise en place d'observatoires et d'inventaires, une politique foncière appropriée, des instruments économiques et financiers de soutien (article 1-, 20 et 21). Toutefois, les instruments les plus opérationnels sont la planification et les études d'impact.

La gestion intégrée, telle que décrite dans le protocole GIZC, implique une stratégie globale, d'abord à l'échelle de la Méditerranée pour guider les États et harmoniser les actions envisagées (article 17), mais aussi à l'échelle des États avec des stratégies, plans et programmes de mise en œuvre. Ces derniers pourront, au choix des États, être spécifiques aux zones côtières ou intégrés dans les plans d'aménagement du territoire et d'urbanisme déjà existants (article 18). Quant aux études d'impact, elles devront porter sur les plans et programmes, ainsi que sur les activités et implantations. Elles prendront en compte les effets directs et indirects sur la zone côtière dans toutes ses composantes (écologique, économique, sociale et culturelle), tant sur la partie terrestre que maritime et la capacité de charge résultant du projet en question (article 19). L'ensemble des mesures prises dans la zone côtière doit faire, bien entendu, l'objet de mesures d'accompagnement en matière de participation du public, de formation, d'éducation et de recherche (article 14 et 15).

Sur le plan technique, le processus de la GIZC doit être soutenu par une multitude de méthodes, d'outils et techniques. Ces instruments vont fournir à ceux qui pratiquent la GIZC l'information dont ils ont besoin et les aider à la prise de décision.

La nature du développement côtier, les interactions environnementales des activités sectorielles, et les exigences complexes de gestion imposées aux décideurs et aux

professionnels impliqués dans la GIZC, rendent nécessaire l'utilisation de nombreux outils et techniques spécifiques. La plupart d'entre eux se fondent sur des méthodes qui peuvent être maîtrisées par l'expertise nationale. Les outils techniques ci-après sont, entre autres, recommandés pour la mise en œuvre de la GIZC (d'après l'expérience du CAR/PAP du PAM et du Plan Bleu en Méditerranée) (Figure I-3). L'objectif ici n'est pas de présenter tous les outils de la GIZC mais les plus fondamentaux et les plus communément utilisés :

- La gestion des données : **Système d'Information Géographique (SIG)** ; Infrastructure de données Spatiale (SDI) ;
- Les techniques d'évaluation: Évaluation d'Impact sur l'Environnement (EIE) ; Évaluation Environnementale Stratégique (EES) ; **analyse du risque, avec une attention particulière sur le changement climatique** ; Évaluation des Capacités d'Accueil (ECA) ; évaluation économique ; **études prospectives** ; **évaluation de la vulnérabilité** et de la durabilité ; et
- Instruments pour la mise en œuvre : réglementaires, économiques, de négociation et accords volontaires (réunions avec les partenaires et les parties prenantes, entretiens structurés, ateliers, brainstormings) ; **description des indicateurs** (indicateurs de gouvernance, environnementaux ou socio-économiques) ; check-list de l'outil d'évaluation basé sur les TI ; Méthode Imagine - analyse systémique et prospective de durabilité ; techniques de résolution de conflit, etc.

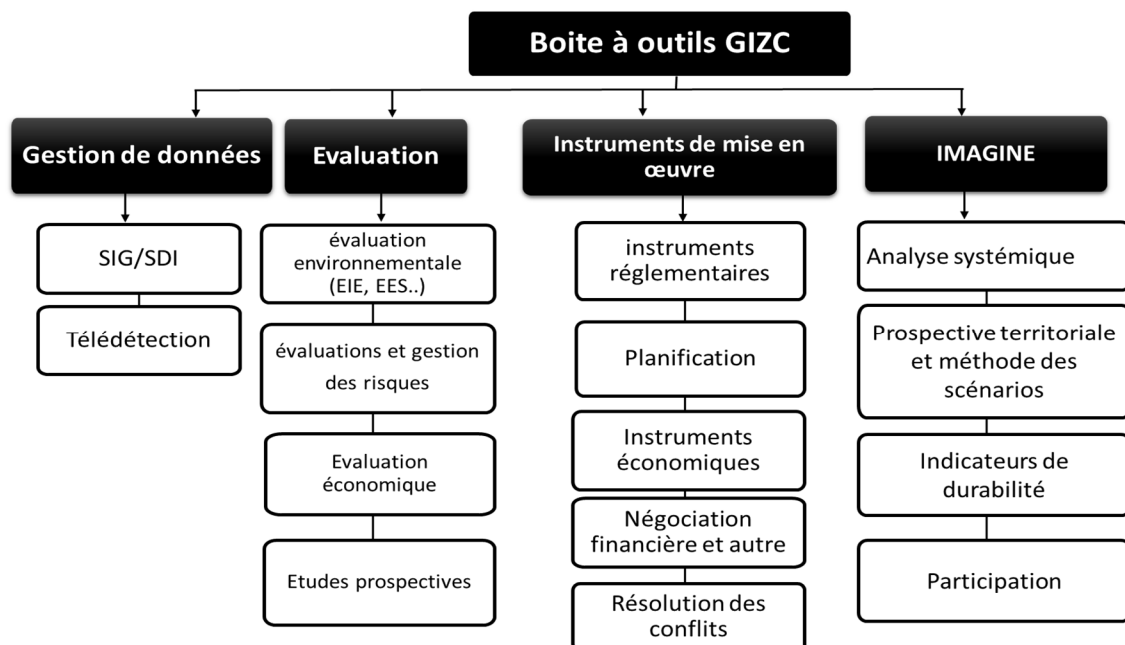


Figure I-3. Outils techniques d'aide à la GIZC (Programme d'action prioritaire PAP, et Plan Bleu)

Parmi ces "outils", l'évaluation de la vulnérabilité et des risques s'avère d'une importance capitale dans la GIZC, et c'est pour cette raison que cet outil a été choisi dans le cadre de cette étude et fera l'objet de chapitres ultérieurs.

III.1a GIZC au Maroc

Il est important de rappeler ici que le littoral marocain a connu durant les quatre dernières décennies une croissance démographique et économique importante, qui a conduit à l'accroissement des pressions sur la côte et une dégradation multiforme de l'environnement littoral, ainsi qu'à une détérioration du cadre de vie des populations côtières.

Cette détérioration a suscité une prise de conscience des différents acteurs de l'intérêt écologique et économique, non seulement des zones côtières, mais aussi de l'environnement au sens large au Maroc. De nombreuses études et recherches dans le domaine de l'environnement en général et des espaces côtiers en particulier se sont alors développées, contribuant à alarmer les décideurs de la gravité de la situation et de l'allure à laquelle cet environnement était en train de se dégrader. De leur côté, les pouvoirs publics responsables de la préservation des ressources naturelles ont essayé de mettre en place des outils permettant de ralentir cette dégradation. À titre d'exemple le Maroc a mis en place une stratégie nationale spécifique aux aires protégées et aux zones humides. Cette stratégie trace les grandes lignes en matière de gestion des aires protégées y compris les zones humides appartenant à des parcs nationaux ou étant classées comme Sites d'Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE). Par ailleurs, le pays a adhéré à plusieurs conventions internationales et s'est inscrit dans de nombreux programmes et projets internationaux relatifs à la protection de certaines espaces spécifiques et à la préservation de la ressource concernant directement ou indirectement les zones côtières. Pareillement, plusieurs textes juridiques ont vu le jour (Loi sur l'eau, loi relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement, loi relative aux études d'impacts sur l'environnement, et récemment l'adoption du projet de loi relatif à la protection du littoral...) et divers instruments sont en cours de mise en œuvre. Cependant, les résultats obtenus sur le terrain, montrent que malgré l'effort appréciable des pouvoirs, il existe encore beaucoup d'obstacles majeurs au processus de conservation. Ces obstacles sont principalement d'ordre institutionnel et juridique (Dakki 2004). Face à cette situation, la GIZC serait le processus le plus approprié pour la mise en œuvre du développement durable des zones côtières.

La côte méditerranéenne marocaine a fait l'objet de nombreux projets GIZC (Figure I-4) financés par des bailleurs de fond internationaux. Les objectifs de ces différents projets sont de contribuer au développement de la population locale, tout en assurant une protection et une utilisation durable des ressources côtières, mais aussi de renforcer les politiques de développement durable de l'environnement marin et côtier.



Figure I-4. Projets GIZC sur la côte méditerranéenne marocaine

Les principaux bénéfices de ces projets, ont été la sensibilisation des différents acteurs au concept de la GIZC et l'engagement d'un apprentissage collectif selon un processus participatif. Toutefois, aucun de ces projets n'est réellement passé à la phase de mise en œuvre des actions identifiées.

La plupart des problèmes rencontrés se sont avérés être imputables à des aspects institutionnels, juridiques ou à des carences relatives à l'information : manque de données et de connaissance des processus littoraux et absence de lien entre la recherche et les utilisateurs finaux. Ce travail constitue justement une pierre apportée à cet édifice de connaissances, puisqu'il vise à contribuer à mieux connaître le fonctionnement de la zone côtière afin d'aider les décideurs dans l'élaboration des choix stratégiques de gestion.

IV. La GIZC dans le contexte du changement climatique

Il nous a semblé nécessaire et pertinent d'évoquer ici la nouvelle donne du changement climatique (CC) qui vient se surimposer aux nombreuses pressions anthropiques exercées sur les zones côtières. La question qui se pose serait alors la suivante : comment le concept et la pratique de la GIZC vont évoluer dans le contexte du CC ? Et comment ce dernier pourrait-il être une opportunité pour la mise en œuvre de la GIZC ? Nous tenterons donc ici de rappeler d'abord quelques faits scientifiques avérés du CC, ensuite nous évoquerons quelques convergences synergétiques entre GIZC et adaptation des zones côtières au CC.

IV.1. Changements climatiques en Méditerranée et au Maroc

Le changement climatique est désormais avéré, et le quatrième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) montre que le pourtour de la Méditerranée est un des « points chauds » du globe. Les modèles associés au scénario A1B du GIEC (2007) prévoient une hausse moyenne des températures annuelles de +2,2 à +5,1°C d'ici la fin du siècle, soit bien plus que la moyenne mondiale. Cette augmentation ne devrait commencer à être détectable avec certitude que d'ici 15 à 25 ans. Elle devrait être plus importante à l'intérieur des terres que sur les côtes, en mer ou sur les îles, et encore plus marquée en été (+2,7 à +6,5°C) qu'en hiver (+1,7 à +4,6°C). Les vagues de chaleur seraient alors plus nombreuses, plus longues et plus intenses, avec plus de jours secs et au-dessus de 40°C, ce qui augmenterait les risques de décès et d'incendies de forêts.

Une étude récente a été menée en région méditerranéenne dans le cadre du projet Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment (CIRCE) (Gualdi et al., 2013), en utilisant un système multi-modèles développé pour produire des simulations du climat régional de la mer Méditerranée. Les modèles ont été intégrés pour la période 1951-2050, en utilisant les forçages radiatifs observés au cours de la première moitié de la période (1951-2000) et des simulations de GIEC -scénario A1B- pour la seconde moitié de la période (2001-2050). Les projections montrent un réchauffement consistant (environ 1,5 à 2°C) (Figure I-5) et une diminution significative des précipitations (environ 5%) pour la période du scénario.

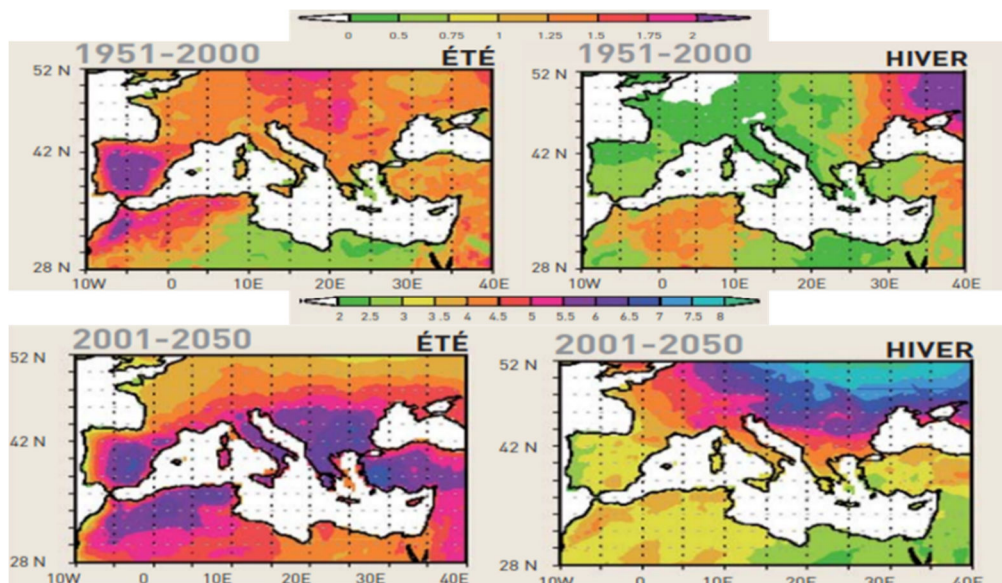


Figure I-5. Moyenne multi-modèles de la température à 2 mètres du sol obtenue par les simulations du projet CIRCE pour les périodes de 1951-2000 et 2001-2050. L'unité de l'échelle est le (°C/décennie) multiplié par un facteur 10 pour une meilleure lisibilité (Gualdi et al., 2013).

Les projections du GIEC 2007 (scénario A1B) annoncent également des précipitations annuelles en baisse de -4 à -27%.

Au Maroc, les premiers signes du changement climatique se manifestent déjà à travers les évolutions des températures et des précipitations (Driouech et al., 2009, 2010). Selon ces auteurs, l'examen des différents types d'indices climatiques relatifs aux températures et aux précipitations a révélé des tendances significatives au cours de la période 1961-2008. Une tendance générale vers l'assèchement a été observée et le climat du Maroc s'est réchauffé de façon significative au cours de cette période, à la fois au niveau des températures moyennes annuelles ainsi qu'au niveau des températures moyennes saisonnières. La plupart des tendances annuelles sont comprises entre 0.2°C et 0.4 °C par décennie.

L'assèchement associé au réchauffement s'est manifesté par un changement des types de climats dans différentes régions du Maroc et une progression de climats à caractère semi-aride vers le nord est, en effet, constatée.

Aussi, les précipitations moyennes et des cumuls durant les saisons d'hiver et de printemps révèlent une tendance quasi-générale vers la diminution. La même étude a révélé que la pluviométrie marocaine se caractérise par une forte variabilité interannuelle.

D'autres études de l'évolution de la température moyenne régionale entre 1750 à 2012 réalisés par le centre Berkeley Earth ont révélé une nette tendance à la hausse durant le dernier siècle (Figure I-6).

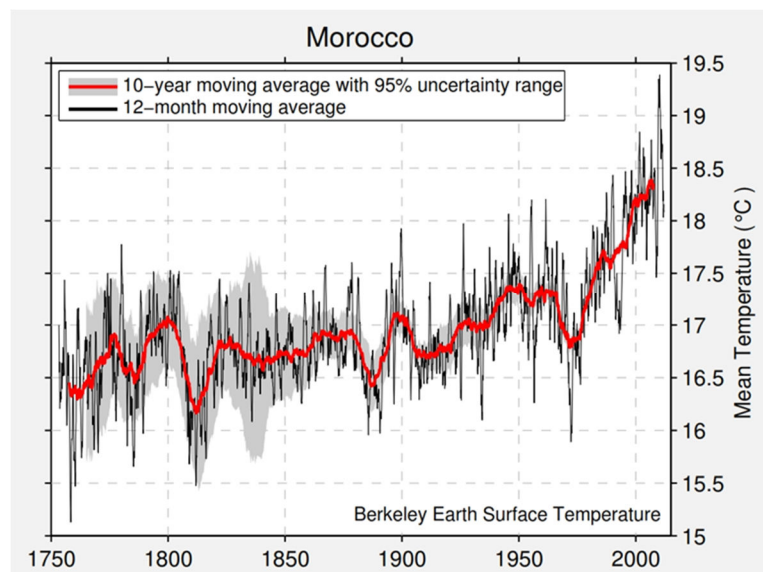


Figure I-6. Évolution de la température moyenne régionale de 1750-2012, au Maroc.

<http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/morocco>

En terme de **projections futures** au Maroc, selon *Driouech (2010)*, l'évaluation des changements climatiques suivant différentes projections issues des modèles de circulation générale à faible résolution, dont ceux du GIEC, a révélé que le Maroc connaîtrait une réduction de ses cumuls pluviométriques, déjà modestes, d'ici la fin du siècle

courant. Cette diminution concernerait à la fois l'hiver et l'été et serait associée à un réchauffement moyen estimé de 3°C à 4°C par an.

Une autre étude d'évaluation de l'impact éventuel du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Moulouya (Est de bassin versant de Rhis Nekor) a été effectuée pour l'horizon 2021–2050 à l'aide du modèle hydrologique GR2M et des données de scénarios climatiques à haute résolution sur le Maroc, issues du modèle ARPEGE-climat (Driouech et al, 2010). L'étude a révélé que les débits mensuels ont accusé une diminution entre 1958 et 2000, principalement attribuée à la diminution des précipitations combinée à l'augmentation de l'ETP. Selon les projections du scénario SRES A1B, cette diminution de débits devrait se poursuivre dans le futur, notamment en saison hivernale. À l'horizon 2050, les débits hivernaux devraient connaître une baisse de 20 à 30%, et ceux des autres saisons diminueraient de façon moins marquée (en moyenne de 7 à 10%).

Des conséquences multiples sur les zones côtières

La conséquence la plus visible et la plus médiatisée du changement climatique sur le littoral est bien sûr l'élévation du niveau de la mer, qui suscite dès aujourd'hui de nombreuses recherches portant sur l'adaptation des écosystèmes, sur la gestion de la zone côtière ou la préservation des enjeux socio-économiques (Basilico et al., 2011).

IV.1.1. Élévation du niveau de la mer (ENM)

La hausse du niveau de la mer est amorcée à cause du réchauffement climatique que connaît la planète. En effet, la variation du niveau moyen de référence calculé depuis Janvier 1993, d'après les données des satellites (*Jason-1--Topex/Poseidon* puis *Jason-2--Jason-1*), est estimée à 3.19 mm/an (CLS/Cnes/Legos) (Figure I-7).

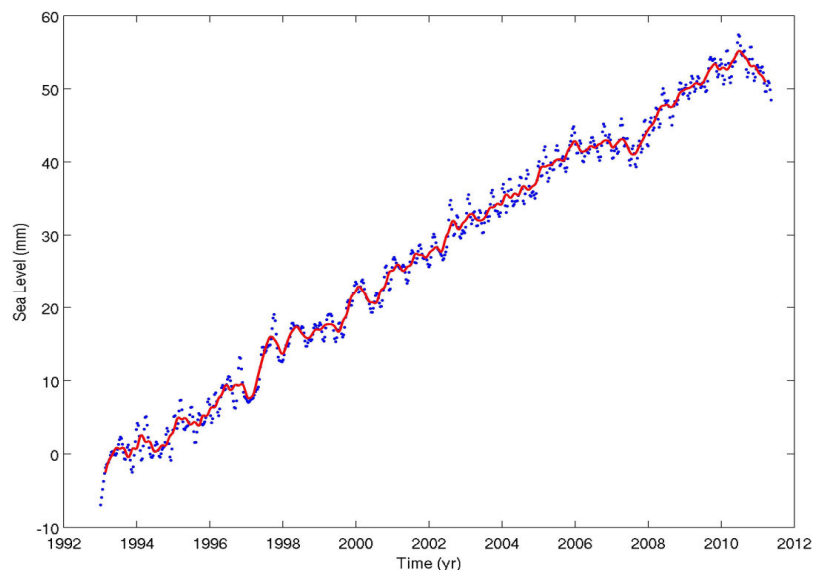


Figure I-7. Variation du niveau de la mer de 1993 à 2013 (Credits CLS/Cnes/Legos, 2013)
<http://www.aviso.oceanobs.com/fr/actualites/indicateurs-des-oceans/niveau-moyen-des-mers.html>

Plusieurs études récentes se sont focalisées sur l'évolution observée du niveau de la mer Méditerranée. *Marcos et Tsimplis (2008)* se sont appuyés sur des données marégraphiques issues de stations disposées le long de la côte Atlantique en Espagne et au Portugal, au niveau du détroit de Gibraltar, et sur les côtes méditerranéennes. Pour les 5 séries marégraphiques couvrant l'ensemble du XXe siècle, ils ont estimé un taux d'élévation entre 1,2 et $1,5 \pm 0,1$ mm/an, du même ordre de grandeur que celui observé au niveau mondial sur la même période. Pour la seconde moitié du XXe siècle (1960- 2000), la situation est différente : les 21 séries marégraphiques les plus longues ont indiqué un taux de changement bien inférieur à la moyenne globale, voire négatif (compris entre $- 1,5 \pm 0,4$ mm/an et $-0,3 \pm 0,3$ mm/an).

D'autres auteurs (*Tsimplis et al., 2008 ; Calafat et Gomis, 2009*) ont utilisé les données altimétriques pour reconstruire un champ de niveau de la mer à l'aide de techniques d'interpolation. *Calafat et Gomis (op.cit.)* ont estimé le taux d'élévation de la mer Méditerranée à $0,6 \pm 0,1$ mm/an sur la période 1961-2000, un chiffre plus élevé que celui donné par *Marcos et Tsimplis (2008-a)*. Les deux études s'accordent toutefois sur le fait que sur la seconde moitié du XXe siècle, le taux d'ENM a été plus faible en Méditerranée qu'en moyenne globale, et en tous cas plus faible que celui observé sur la côte Atlantique. Cette constatation pourrait s'expliquer par des changements de la circulation atmosphérique moyenne et des forçages apportés à l'océan, en terme de pression atmosphérique et de vents de surface (*Tsimplis et al., 2005 ; Gomis et al., 2008*). Citons également les travaux de *Meysignac et al., (2011)*, qui ont reconstruit un champ de niveau de la mer sur la période 1970-2000, en associant les données marégraphiques à des sorties de modèles océaniques régionaux. Les auteurs donnent un chiffre d'élévation de 1,4 mm/an sur cette période, mais restent très prudents quant à leurs conclusions. Les résultats sont en effet différents selon la reconstruction utilisée, ce qui souligne la nécessité d'utiliser des séries plus longues que 30 ans pour détecter les tendances du niveau marin, la forte variabilité interannuelle à multi-décennale de celui-ci pouvant masquer le signal associé au changement climatique.

D'après les travaux de *Cazenave et al., (2001)* sur les données marégraphiques à Malaga et Alicante, le niveau marin est en hausse de 5 à 10 mm/an dans la mer d'Alboran, particulièrement dans le Sud-Est de l'Espagne et au Nord-Est des zones côtières méditerranéennes marocaines, pouvant même dépasser les 6mm/an, comme le montre la variation du niveau marin en Méditerranée d'Octobre 1992 à Décembre 2010 (Figure I-8).

Regional MSL trends from Oct-1992 to Dec-2010

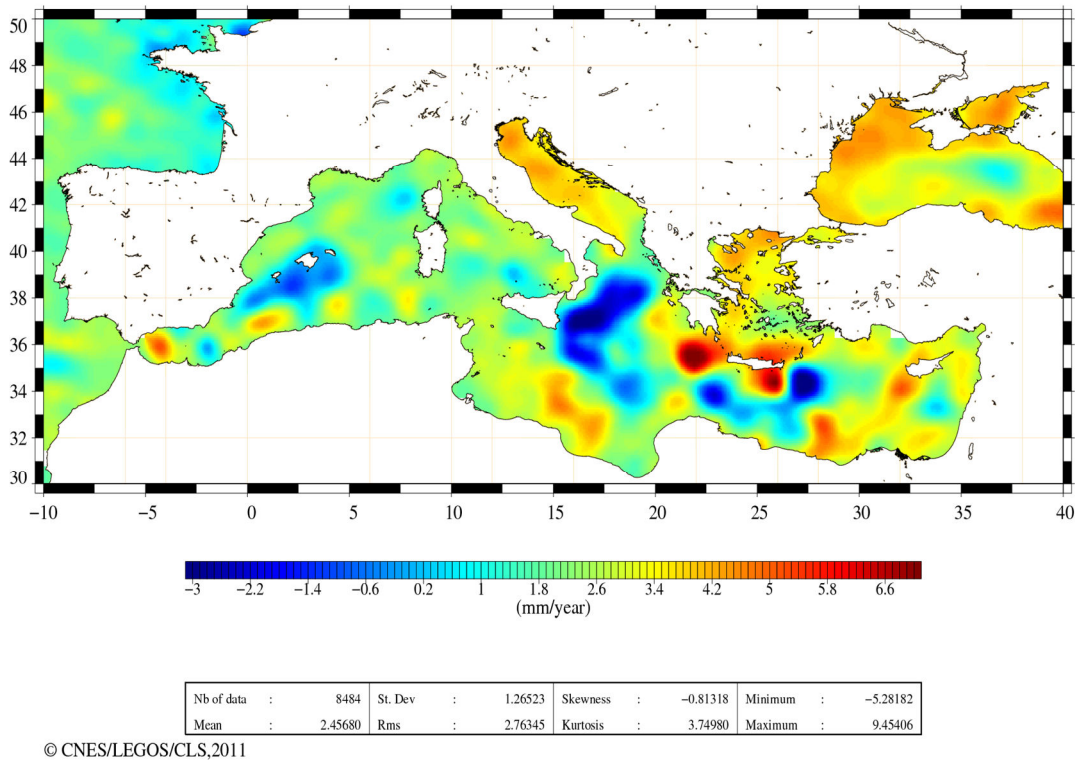


Figure I-8. Variation du niveau de la mer en Méditerranée d'Octobre 1992 à Décembre 2010 (Credits Cnes/Legos/CLS ; 2011).

L'élévation relative du niveau marin (ERNM) est considérée comme un des facteurs déterminants de l'élévation globale du niveau marin (ENM) sur les zones côtières. En effet, elle représente toutes les composantes multi-échelles de l'ENM, intégrant les processus de la fonte des glaces, de la dilatation thermique, et des variations de la dynamique océanique, avec les processus non climatiques tels que l'ajustement isostatique glaciaire et les subsidences naturelle et anthropique (Nicholls, 2010). La variation régionale est importante, car dans certains cas on assiste à une diminution dans ERNM, tel le cas de la mer Baltique du Nord, en raison de l'effet de rebond de l'ajustement isostatique glaciaire (GIA), alors que dans d'autres régions, l'ERNM est nettement supérieure à la moyenne mondiale (Nicholls, 2010).

IV.1.2. Projections du niveau de la mer

À l'échelle Globale, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC publié en 2007 (AR4), a donné de nouvelles estimations pour l'élévation du niveau de la mer qui se situent entre 18 et 59 cm jusqu'à la fin du siècle. Ce rapport a corrigé le précédent (AR3, 2001) qui avait montré une plus grande incertitude entre 9 et 88 cm. Une moyenne entre les différents

modèles et scénarios peut être calculée à environ 40 cm d'élévation globale du niveau de la mer (Figure I-9,10).

D'autres travaux, basés sur des modèles statistiques, ont revu à la hausse les estimations du GIEC. Toutes les projections sont beaucoup plus élevées que celles estimées dans l'AR4. *Rahmstorf (2007)* donne une estimation de 50-140 cm d'ici 2100, corrigée plus tard à 75-190 cm (Vermeer et Rahmstorf, 2009). *Horton et al., (2008)* estiment des valeurs de 54 à 89 cm ; *Grinsted et al., (2009)* : 72-160 cm ou de 96 à 215 cm, et *Jevrejeva et al., (2010)* estiment une élévation du niveau de la mer entre 60 et 160 cm (tout est relatif à la période 1961-1990). Cependant ces résultats font encore débat au sein de la communauté scientifique.

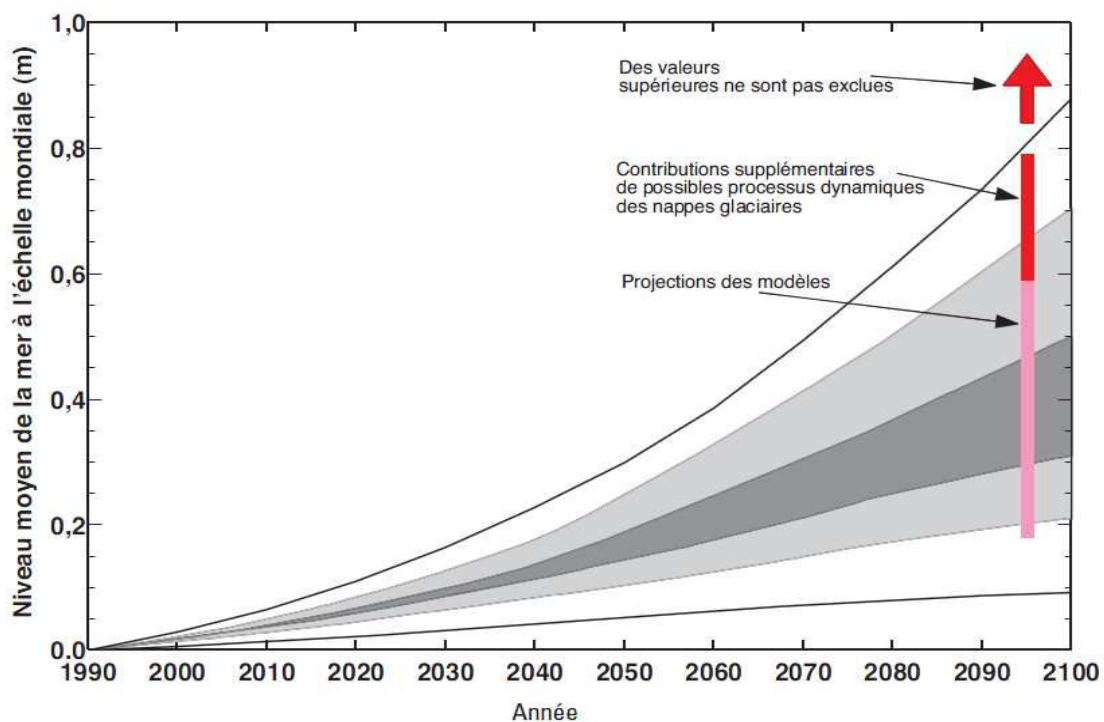


Figure I-9. Projections de l'élévation du niveau moyen global de la mer au XXIe siècle.

Les lignes et les grisés montrent l'élévation moyenne pour la période 1991-2100, d'après le rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2001) (le grisé sombre est la fourchette de la moyenne des modèles pour la gamme de scénarios d'émission des gaz à effet de serre considérée, le grisé clair induit tous les modèles et tous les scénarios et les lignes extérieures comprennent une incertitude supplémentaire pour la glace de terre). Les projections du quatrième rapport d'évaluation de 2007 (coefficient de confiance 90%) sont représentées par les barres de 2095, la barre magenta étant la gamme des projections et la rouge une gamme étendue tenant compte de l'effet additionnel, possible mais mal quantifié, d'une réponse dynamique rapide des inlandsis du Groenland et de l'Antarctique au réchauffement climatique. La flèche rouge indique que des valeurs supérieures ne sont pas exclues, mais que la connaissance liée aux phénomènes n'est pas suffisante pour évaluer leur vraisemblance ou donner la meilleure estimation ou la limite supérieure de l'élévation ; d'après Church et al., (2009).

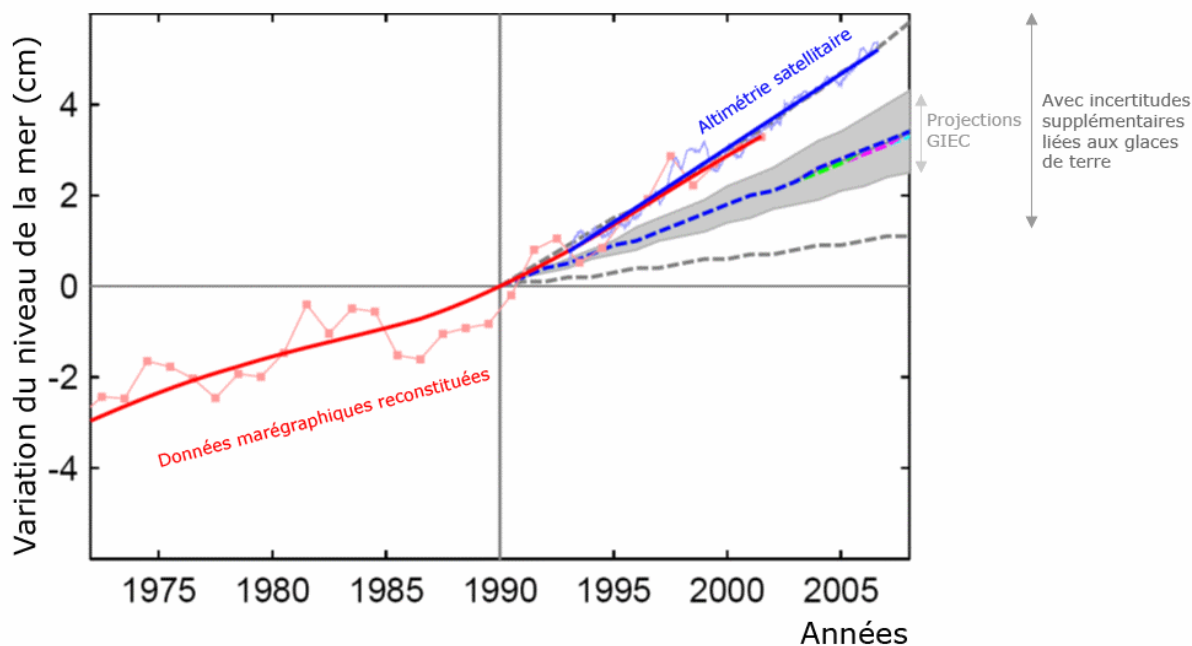


Figure I-10. Élévation du niveau de la mer observée par des marégraphes et des altimètres satellitaires, comparée aux projections du troisième rapport d'évaluation. Les données viennent principalement de marégraphes (annuelles, en rouge) et d'altimètres satellitaires (trimestrielles, en bleu, jusqu'à la mi-2006). (Rahmstorf et al., 2007).

Si la tendance globale est à l'élévation du niveau moyen des océans, entre +18 et +59 d'ici la fin du 21^{ème} siècle selon le GIEC (projections de 2007), elle demeure encore plus difficile à prévoir et certainement fortement entachée d'incertitudes au niveau régional, en particulier dans le bassin méditerranéen.

En Méditerranée. L'étude de Marcos et Tsimplis (2008), réalisée à partir d'une douzaine de modèles climatiques globaux couplés, a permis une estimation des changements de niveau moyen de la mer au cours du 21^{ème} siècle en liaison avec des changements de température et de salinité et ceci pour deux scénarios du GIEC (Tableau I-1).

	Changements de volume liés au changement de température	Changements de volume lié au changement de salinité	Changements de volume lié au changement de température et salinité
Scénario A1B	+0,19 à +0,52	0,49 à -0,22	-0,22 à +0,18
Scénario A2	+0,24 à +0,61	-0,55 à -0,23	-0,17 à +0,3

Tableau I-1. Projections de l'élévation du niveau moyen de la mer Méditerranée au XXI^{ème} siècle (en m). Les fourchettes de valeurs données pour chaque scénario d'émission correspondent à des intervalles de confiance à 90%. Ces estimations ne prennent pas en compte des changements de masse notamment liés à la fonte des glaciers et des inlandsis (Marcos et Tsimplis (2008)).

D'autres estimations du changement du niveau de la mer Méditerranée à partir de modèles climatiques régionaux ont également été produites récemment, mais elles ne prennent en compte que l'effet des changements de volume de l'océan.

L'une d'entre elles, portant sur le scénario A2 (Tsimplis et al., 2008), conclut à une augmentation du niveau moyen de 13 cm au cours de ce siècle, avec des valeurs plus importantes sur la partie occidentale du bassin. Cette valeur se situe donc dans la fourchette de valeurs correspondantes du tableau I-1. *Gualdi et al (2011)*, dans le cadre du projet CERC, indiquent une tendance à la hausse du niveau de la mer, avec des valeurs atteignant 10 cm de 2021 à 2050 et près de 14 cm en 2050 (relatif à la période 1961-1990).

Les principaux effets physiques attribués à l'ERNM qui sont couramment admis sont : une érosion côtière accrue, une submersion marine des zones topographiquement basses, une intrusion saline dans les aquifères côtiers et salinisation des eaux douces (Douglas et al., 2000, GIEC, 2007 ; Nicholls 2010, Oyzurt et al, 2009). Au Maroc, malgré le manque de données sur l'ERNM, une première estimation de ces impacts a été réalisée sur certains secteurs côtiers (Niazi 2007, Snoussi et al., 2009 ; Khouakhi et al., 2012 ; Khouakhi et al., 2013 ; Raji et al., 2013).

IV.2. La GIZC, instrument d'adaptation aux CC

Le GIEC définit l'adaptation comme « *l'ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou un environnement changeant* ». Les incertitudes climatiques, qui se traduisent par la méconnaissance des impacts précis du changement climatique aux échelles nationales et locales, incitent à recentrer les stratégies d'adaptation sur la mise en œuvre d'un développement durable. Parmi ces enjeux, trois paraissent importants pour l'adaptation (Rochette et al., 2010) : l'approche globale et systémique des dynamiques territoriales (qui renvoie à la notion d'intégration), l'inscription sur le long terme, et la prise en compte des spécificités locales. On rejoint ici très clairement les enjeux de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), avec en arrière-plan les processus de coordination institutionnelle et de traitement intersectoriel. Cela amène à soutenir le point de vue selon lequel la GIZC est un outil pertinent pour mettre en œuvre l'adaptation au changement climatique.

L'article 5e du Protocole GIZC stipule que la GIZC a, entre autres, le but de prévenir et/ou de réduire les effets des aléas naturels et en particulier des changements climatiques, qui peuvent être imputables à des activités naturelles ou humaines. D'autre part, la préservation de l'intégrité des écosystèmes côtiers est un des objectifs centraux de la GIZC en ayant un rôle majeur à jouer en matière d'adaptation. Les écosystèmes côtiers en bon état de fonctionnement fournissent en effet de nombreux « services », utiles dans la lutte contre les effets du changement climatique (zones humides et disponibilité de la ressource en eau, dunes et érosion, etc.). Au niveau des principes, les recoupements transversaux sont également évidents tels la coordination, la participation des acteurs aux processus de décision, le dialogue entre scientifiques et gestionnaires...

Comme rappelé respectivement par le protocole GIZC et le GIEC, la GIZC et l'adaptation sont conçues comme des processus continus et dynamiques de décision (Article 2f) et d'ajustement (GIEC).

Plusieurs autres dispositions du protocole GIZC devraient contribuer à l'adaptation au changement climatique. Concernant les dispositions sectorielles, il en est ainsi par exemple des instruments d'évaluation des projets pouvant avoir des effets sur l'environnement côtier, dont le protocole prévoit l'utilisation selon une double perspective « évaluation environnementale » (Article 19) et « évaluation des risques » (Article 6i). En contribuant à la prévention de l'érosion côtière comme à la protection de la biodiversité, la réglementation de l'extraction de sable et de sédiments fluviaux pourrait constituer à la fois une mesure d'adaptation au changement climatique et de mise en œuvre de la GIZC. En outre, la coordination institutionnelle, largement encouragée par le protocole (Article 6), permet une « réconciliation » des administrations sectorielles, terrestres et marines, dans une logique d'intégration. Elle a aussi le potentiel d'assurer un rapprochement des thématiques « Biodiversité » et « Climat » et des services compétents trop souvent empêchés par le cloisonnement des conventions et le découpage administratif qui en résulte. Enfin, le protocole encourage les parties à développer les moyens scientifiques et techniques nécessaires pour favoriser la recherche (Article 25-1b) et, plus largement, à promouvoir une recherche scientifique et technique sur la gestion intégrée des zones côtières. Ainsi, les scientifiques pourront contribuer à évaluer la vulnérabilité des littoraux aux changements climatiques et à orienter les décideurs vers des réponses adéquates dans leurs décisions d'aménagement.

De façon plus transversale, les politiques et les schémas d'aménagement et d'urbanisme, autrement dit la planification rationnelle des activités (Article 5a), constituent des outils fondamentaux dans le cadre de la GIZC comme dans celui de l'adaptation. L'idée même de l'intégration exige que les États et les autorités locales évitent tout « saupoudrage » de mesures d'adaptation sectorielles, non articulées stratégiquement les unes aux autres. Il semblerait essentiel que les instruments intégrés de mise en œuvre de la GIZC « stratégies, plans et programmes côtiers » dont l'élaboration est prévue par l'article 18 du protocole, intègrent les enjeux du changement climatique et en particulier les réponses à apporter en matière d'adaptation.

V. Conclusion du chapitre

En conclusion, la GIZC peut être appréhendée comme l'application des principes du développement durable à un espace particulier, celui de l'environnement côtier. Toutefois il s'agit d'un processus complexe, dynamique et itératif, qui doit être élaboré de manière fondamentalement participative. Dans ce processus, la recherche scientifique joue un rôle capital dans la mesure où elle prépare et synthétise les connaissances en les rendant plus facilement utilisables par les décideurs (par exemple, à travers l'élaboration d'indicateurs synthétiques). Notre contribution se situe ainsi à ce niveau, tout d'abord par l'élaboration

d'un diagnostic environnemental de la zone d'étude, et ensuite par l'évaluation de sa vulnérabilité aux pressions multiples auxquelles elle est soumise.

Par ailleurs, le Maroc n'étant guère épargné par les impacts du réchauffement du climat, le recours à la GIZC s'avère être un moyen pertinent pour commencer à adapter ses espaces côtiers au changement climatique. En effet, l'adaptation et la GIZC reposent sur des fondements communs et visent les mêmes finalités. Il faudrait donc considérer le CC non pas comme une contrainte supplémentaire pour les zones côtières mais plutôt comme une opportunité qui devrait inciter les décideurs à mettre en œuvre le Protocole GIZC et à inclure le changement climatique comme composante intégrante de tout projet futur d'aménagement du littoral.

Chapitre II

BAIE D'AL HOCEIMA : ÉTAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC

Ce chapitre introduit la zone d'étude et présente l'état des lieux environnemental, socioéconomique et institutionnel de la zone du littoral de la baie d'Al Hoceima. Une étape qui sera fondamentale pour la suite de l'analyse. Cette partie est donc une récapitulation d'un certain nombre de connaissances issues des récents travaux sur la zone d'étude mais aussi basée sur nos observations personnelles du terrain. Cette analyse permet de mieux comprendre la structure et le fonctionnement de l'environnement littoral de la baie d'Al Hoceima dans son ensemble. Ensuite, l'analyse de l'état des lieux sera suivie d'une synthèse AFOM (Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces). L'objectif est de décliner les principaux enjeux et problématiques de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima. Cela permettra de dégager des pistes de réflexion pour la définition d'une stratégie de programmation GIZC.

Sommaire

I. État environnemental	31
I.1. Caractéristiques physiques et climatiques de la zone d'étude.....	31
I.1.1. Localisation	31
I.1.2. Aperçu géologique régional et local.....	33
I.1.3. Néotectonique et sismicité de la région.....	39
I.1.4. Géomorphologie.....	40
I.1.5. Morphologie du littoral.....	41
I.1.6. Morphologie sous-marine	43
I.1.7. Dynamique marine dans la baie d'Al Hoceima.....	45
I.1.8. Contexte sédimentologique	48
I.1.9. Caractéristiques climatiques.....	49
I.2. Ressources Hydriques.....	53
I.2.1. Les eaux superficielles.....	53
I.2.2. Les eaux souterraines.....	56
I.3. Particularités biologiques	59
I.3.1. La faune.....	60
I.3.2. La flore.....	60
I.4. Contraintes et risques naturels	61
I.4.1. Risques sismiques.....	62
I.4.2. Risques de tsunami.....	64
I.4.3. Glissement de terrain et éboulement	64
I.4.4. Risques d'inondations.....	66
I.4.5. Sécheresses et pénurie d'eau.....	67
I.4.6. Érosion des sols et des côtes.....	68
I.5. Conclusion.....	68
II. État des lieux socio-économiques.....	69
II.1. Caractéristiques démographiques et socio-économiques.....	69
II.1.1. Caractéristiques démographiques	69
II.1.2. Activités économiques.....	72
II.2. Principales infrastructures	79
II.3. Conclusion.....	80
III. Aperçu sur l'état des lieux en matière de gouvernance	82
III.1. Introduction.....	82
III.2. Institutions impliquées dans la gestion des zones côtière.....	83
III.2.1. Départements directement impliqués dans la gestion des zones côtières	83
III.2.2. Départements intervenant de manière indirecte dans la gestion des zones côtières :.....	89
III.2.3. Établissements publics spécialisés en environnement marin et côtier.....	89
III.2.4. Institutions interministérielles de consultation.....	90
III.2.5. Institutions militaires et paramilitaires	90
III.2.6. Les acteurs non étatiques	91
III.3. Le cadre juridique.....	93
III.3.1. Cadre juridique national.....	93
III.3.2. Législation internationale.....	94
III.4. Conclusion.....	95
IV. Synthèse et déclinaison des principales problématiques de la zone d'étude.....	96
V. Conclusion du chapitre	102

I. État environnemental

I.1. Caractéristiques physiques et climatiques de la zone d'étude

I.1.1. Localisation

La baie d'Al Hoceima se situe au Nord du Maroc en bordure de la façade méditerranéenne et au cœur du Rif central. Elle se présente sous forme d'un arc ouvert vers le Nord et encadré par deux promontoires rocheux : Ras Terf (Cap Quelates) à l'Est et Ras El Abed (Cap Maure) à l'Ouest. Marquée par la ville du même nom à l'Ouest, la baie est large d'environ 16 km et profonde de 7 km. Son linéaire côtier est d'une longueur d'environ 40 Km avec plus de 15 Km de plages, situées notamment au centre de la baie. L'arrière-pays immédiat comprend la plaine alluviale des deux oueds Rhîs et Nekor, l'une des plaines les plus importantes de la Méditerranée marocaine (Figure II-1a,b).

Sur le plan administratif, la baie d'Al Hoceima se trouve à cheval sur deux provinces : la province d'Al Hoceima et la province de Driouch; la limite entre ces deux provinces étant matérialisée par l'oued Nekkour (Figure II-1b).

- La province d'Al Hoceïma relève sur le plan administratif de la région de Taza – Al Hoceïma Taounate. Elle est constituée de trois cercles (Bni Boufrah, Bni Ouriaghel et Targuist) avec quatre municipalités (Al Hoceïma, Bni Bouayach, Imzouren et Targuist) et 31 communes rurales. Les territoires littoraux de la baie sont distribués entre la municipalité d'Al Hoceima et la commune d'Ait Youssef Ou Ali.
- La Province de Driouch dépend de la région de l'oriental, composée de 23 communes, dont 3 communes urbaines récemment créées : Driouch, le chef-lieu Ben Taïeb et Midar. Dans cette province, le secteur oriental de la baie est représenté par les communes littorales de Troughout et Ouled Amghar.

Dans le cadre de ce travail, la délimitation de l'aire d'étude correspond aux communes littorales de cette baie. Par conséquent, quatre communes littorales s'étendent sur le littoral de la baie d'Al Hoceima qui sont d'Ouest en Est : Al Hoceima, Ait Youssef Ou Ali, Troughout et Oulad Amghar, qui sont toutes rurales à l'exception de la municipalité d'Al Hoceima. Nous avons considéré également les municipalités de Bni Bouyach et Imzouren en raison de leurs poids socioéconomique sur le littoral (Figure II-1b).

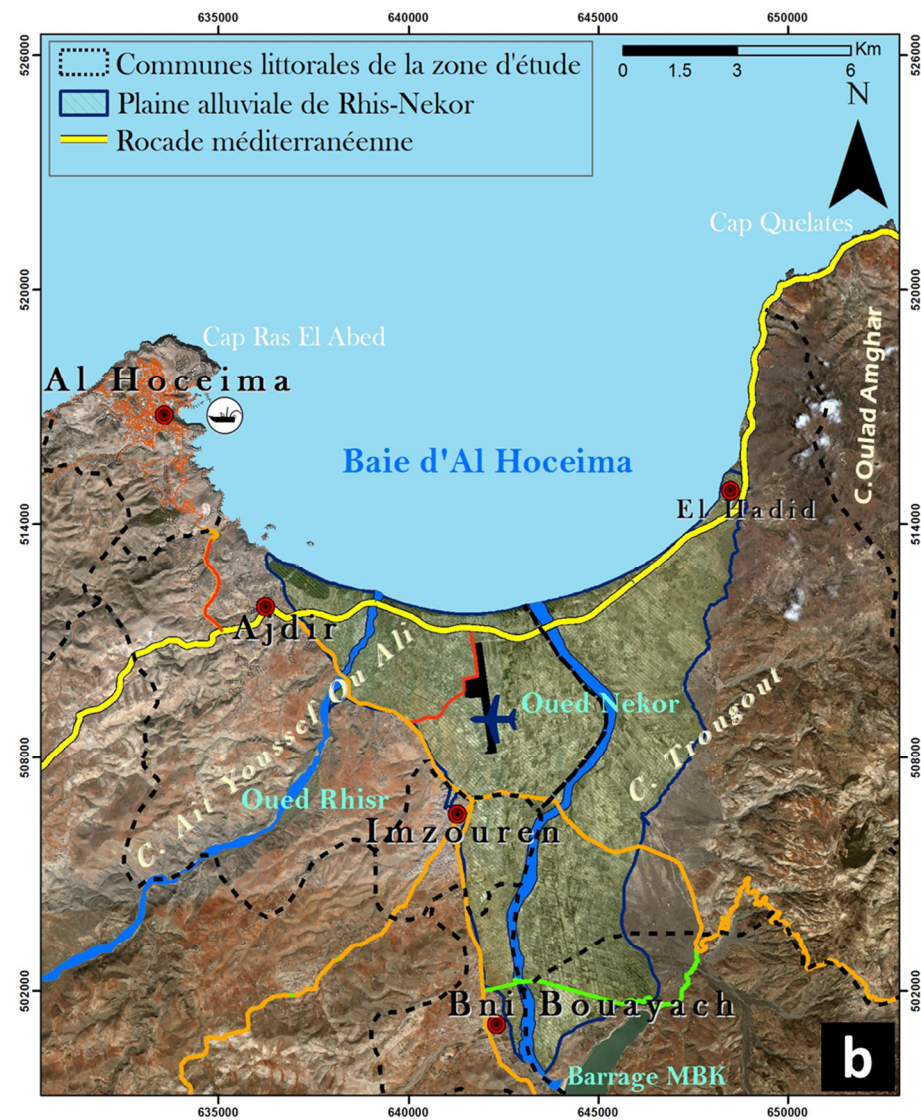
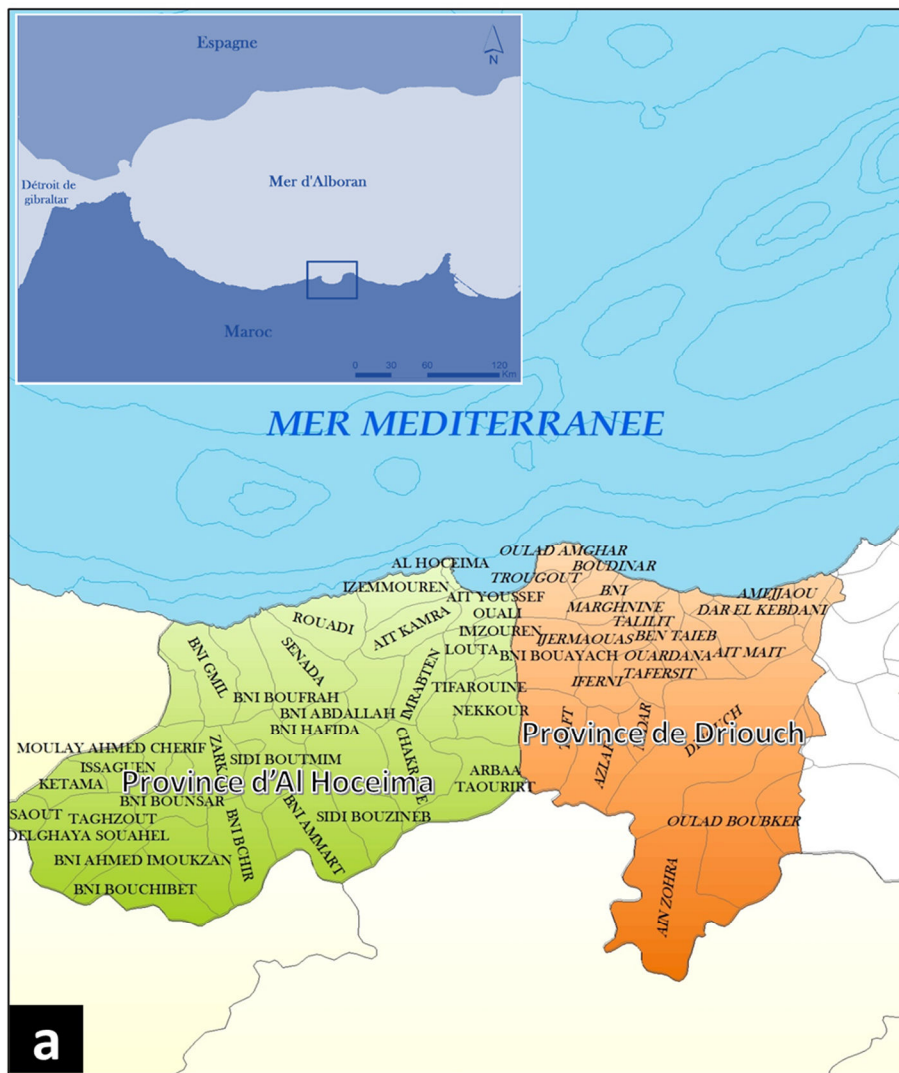


Figure II-1. Localisation de la baie d'Al Hoceima

I.1.2. Aperçu géologique régional et local

Dans l'ensemble, le Rif auquel appartient la zone d'étude, est subdivisé en trois grands domaines (Durand-Delga et al, 1962). De l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne, on distingue (Figure II-2) : le Domaine Interne, le Domaine des Flyschs et le Domaine Externe. Ces domaines se présentent sous formes de bandes longitudinales juxtaposées, plus ou moins continues, empruntant une forme arquée qui caractérise la chaîne rifaine. Ces structures disparaissent complètement dans la zone de Melilla (Michard, 1976). Au Nord, elle plonge de façon abrupte dans la mer Méditerranée. Autour d'Ouezzane et de Chaouen, c'est le Moyen Rif (Piqué et Bouabdelli, 2000), d'altitude plus basse, mais le climat y est assez humide. Au Sud, se trouve le Prérif formé d'un ensemble de basses collines avec des modelés mous (Piqué et Bouabdelli, 2000).

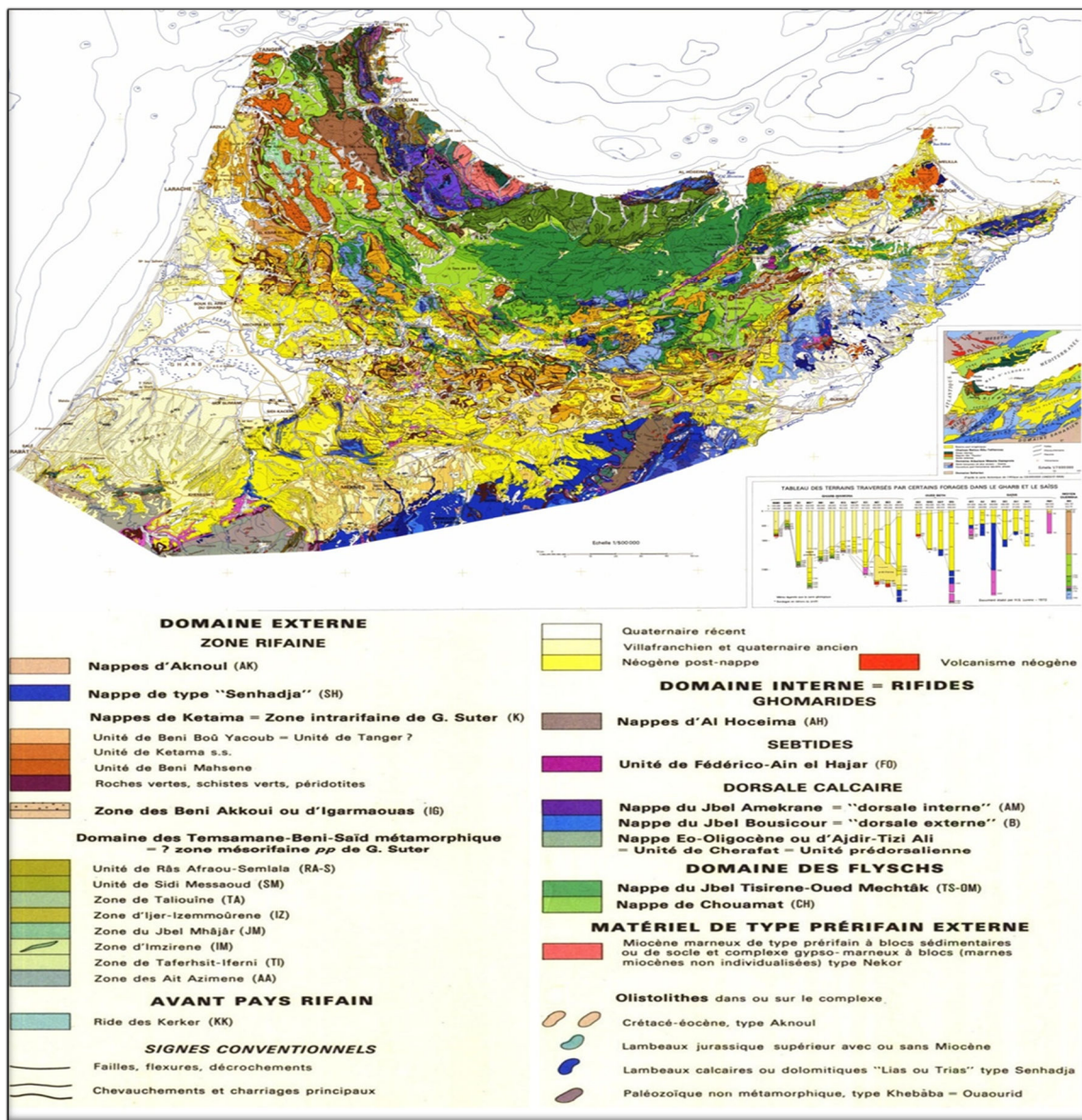


Figure II-2. Carte géologique du Rif (Suter 1980).

La zone d'étude- la baie d'Al Hoceima- appartient au Rif central et au Rif oriental, représenté de part et d'autre de la vallée de Nekor par des unités structurales similaires dont cinq caractérisent la région étudiée : (Figure II-3)

- a) Le massif des Bokoya
- b) La nappe des flyschs (nappe de Tizirine)
- c) Les nappes du domaine externe (Unité de Ketama)
- d) Le volcan de Ras Tarf
- e) La plaine de Ghîs-Nekor

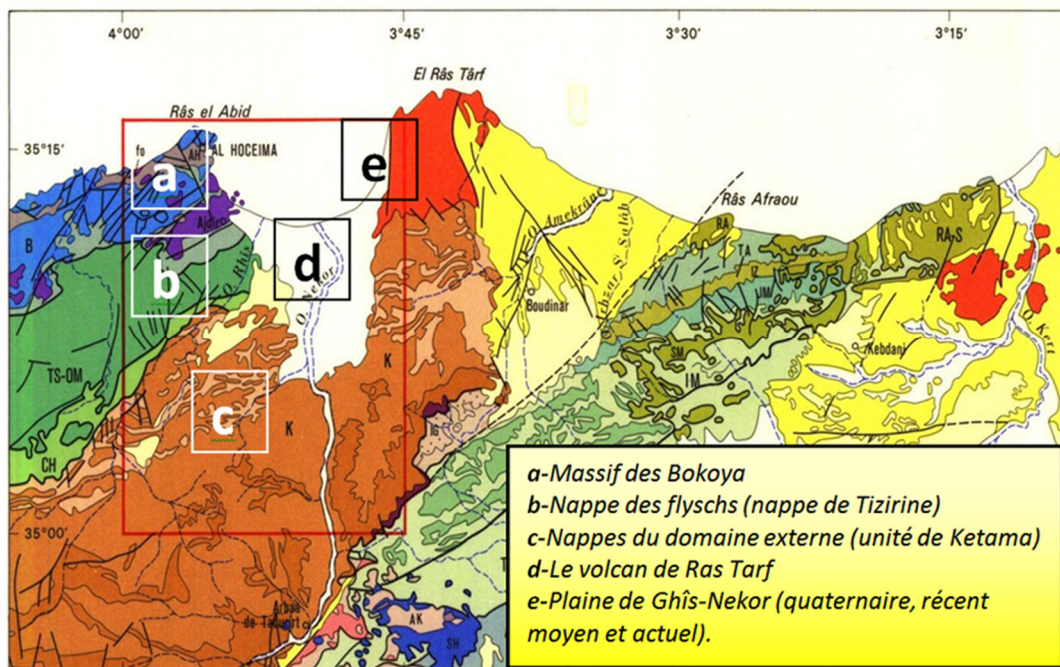


Figure II-3. Les unités structurales de la zone d'étude. (Extraites de la carte géologique de Rif de Choubert et Faure Muret, Service Géologique du Maroc n° 302, publiée en 1984)

a- Le massif des Bokoya est constitué essentiellement de roches carbonatées triasico-liasiques, de séries condensées jurassiques et de niveaux marneux du Paléogène (Andrieux et al. 1971 ; Azzouz, 1992, Azzouz, 2007). Dans le secteur d'étude, ce massif est représenté par les nappes d'Al Hoceima la nappe de Jbel Amekrane, la nappe de Jbel Bousicour et la série Eo-Oligocène ou série d'Ajdîr qui appartient à la Dorsale Calcaire (Figure II-4).

- La nappe d'Al Hoceima : elle est formée par un matériel paléozoïque et permo-triasique, sur lequel est bâtie la ville d'Al Hoceima (Mourier, 1982). Elle se présente sous forme d'une klippe qui va d'Al Hoceima à la vallée de l'oued Boussicour à l'Ouest, formant ainsi la plus grande partie du littoral. Ses termes schisteux sont sujets à d'importants glissements de terrain, par exemple dans la région côtière de Talat Youssef (Margaa, 1994).

Les séries de la klippe d'Al Hoceima située en bordure de mer sont en partie caractérisées par des calcaires massifs dévoniens bien visibles morphologiquement, qui constituent toute la ligne de crête d'Al Hoceima à Talat Youssef. Il existe une certaine "Zonation" dans la disposition des klippes paléozoïques (Mourier, 1982) : i) klippes formées par un matériel d'âge le plus ancien à l'Est et au Nord Est du massif calcaire des Bokoya (Al Hoceima, oued Isly) ; ii) klippes constituées par le matériel le plus récent au Sud-Ouest de la chaîne calcaire.

- *La série stratigraphique de Jbel Amekrane* (Dorsale interne) est constituée de la base vers le sommet par des grès rouges du Trias inférieur surmontés par des dolomies massives du Trias Moyen et Supérieure. Le Lias comporte des niveaux de calcaires massifs blancs et dolomies secondaires au-dessus desquels on distingue des calcaires lités à silex et marnes ou marno-calcaires du Malm et Crétacé surmontées par des calcaires massifs à Nummulites, des conglomérats et brèches de l'Eocène Inférieur-Moyen. Le sommet de la série est composé de marnes et grès du Priabono-Oligocène.

- *La nappe du Jbel Bousicour* appartenant à la dorsale externe. D'après Mourier (1982), la série stratigraphique de cette nappe commence par du Trias moyen-supérieur comprenant peut être à sa partie supérieure le Rhétien sous forme de dolomie litée. Le Trias est surmonté par un niveau Liasico-jurassique constitué de calcaires à silex et microbrèches contenant localement des niveaux de calcaires organiques, de dolomies et des radiolarites, viennent au-dessus des radiolarites, des marnes et des micro-brèches du Jurassique et Crétacé. Cette nappe comporte au niveau de son sommet une série marno-gréseuse à niveaux micro-bréchiques du Priabono-Oligocène

- *La nappe éo-oligocène d'Ajdir*, appelée également semelle tertiaire des Bokoya ou unité Prédorsalienne, comporte un flysch ou molasse à Olistolites d'âge Priabonien Oligocène. Au-dessous se situe un niveau de bancs ou lentilles de calcaire micro-bréchiques remaniés à Nummulites de l'Eocène Moyen-Supérieur. La base de la série comporte des blocs de Lias blanc et/ou de Lias à silex (Azzouz, 1990 ; Maate, 1996 ; Azzouz, 2007).

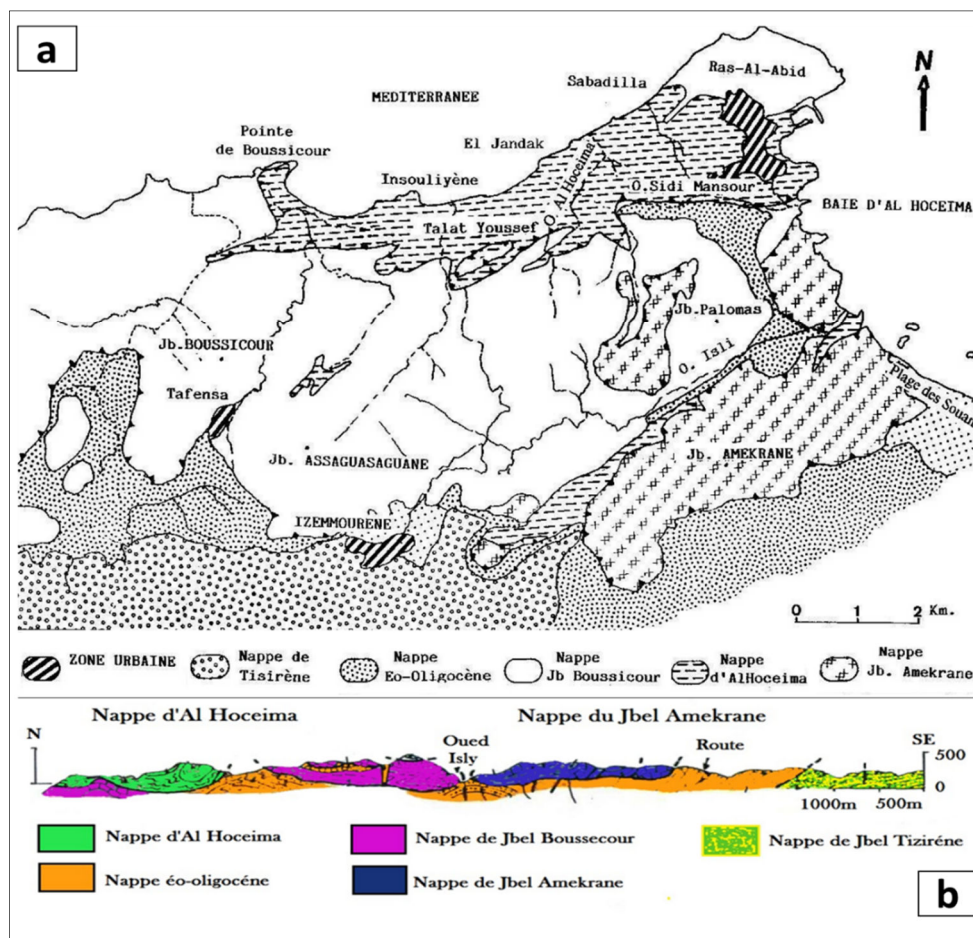


Figure II-4. a) Carte géologique schématique de la partie orientale de la chaîne calcaire des Bokoya (D'après Megard 1963) b) Coupe géologique N-SE montrant la relation entre différentes nappes (d'après la carte géologique d'Al Hoceima).

b- La nappe des flyschs est représentée au niveau de la zone d'étude par les deux nappes du Jbel Tisirène constituée essentiellement par des flyschs schistogréseux du Cénomaniens ; (Figure II-5). La série stratigraphique de cette nappe présente une alternance entre un flysch marno-calcaréo-gréseux composé d'une alternance de marnes beiges, vertes et rouges, de microconglomérats calcaires (à Calpionnelles et Aptychus remaniés), de jaspes, de bancs gréseux et de grès sableux et un flysch gréseux formé d'une alternance de grès à grains moyens ou parfois grossiers (à Orbitolines remaniées) à patine rouge et cassures ocre à verdâtres, et des lits pélitiques verts (Mourier, 1982).

c- Les nappes du domaine externe caractérisées par les nappes de Ketama ; celles-ci comportent les trois unités de Béni Mahsene, de Ketama et de Béni Bou Yacoub :

L'unité de Béni Mahsene, localisée au Sud du barrage Al Khattabi, commence par des dolérites, schistes verts et amphibolites écrasées, surmontées par des calcaires lités en gros bancs du Jurassique supérieur-Tithonique et enfin des calcschistes gris à Ammonites avec des calcaires du Néocomien-Barrémien. L'unité de Ketama renferme des schistes sériciteux gris ou noirs contenant des lentilles ou des bancs de grès-quartzites très dilacérés, légèrement métamorphiques. *L'unité de Béni Bou Yacoub*, équivalente de l'unité de Tanger,

contient des schistes marneux et marno-calcaires avec faisceaux et des calcaires massifs du Crétacé moyen et supérieur. Le domaine de Tamsamane-Béni Saïd engendre la zone du Jbel Boujdair-Imzirene et il se compose de schistes calcaires métamorphiques attribués au Crétacé, de molasses métamorphiques et de calcaires du Barrémien (Azzouz, 1990).

d- Le volcan de Ras Tarf (Tortonien-Messénien) : Son activité est liée à un réseau de failles fini-messéniennes de direction N140° E à 160° E associées en général à l'accident majeur du Nekor (Chotin et Ait Brahim, 1988). Le volcanisme est de nature essentiellement calco-alcaline. Il est constitué par une accumulation pyroclastique dans laquelle sont interstratifiés des niveaux de cendre et de coulées trachy-andésitiques. Des masses porphyroblastiques assez volumineuses sont intrusés dans tout l'ensemble. Dans la partie orientale de la zone d'étude, la série comporte stratigraphiquement de la base vers le sommet des premières brèches et coulées andésitiques suivies par des dômes et zone d'altération fumerolienne d'Ajial ainsi que des brèches et coulées andésitiques terminales.

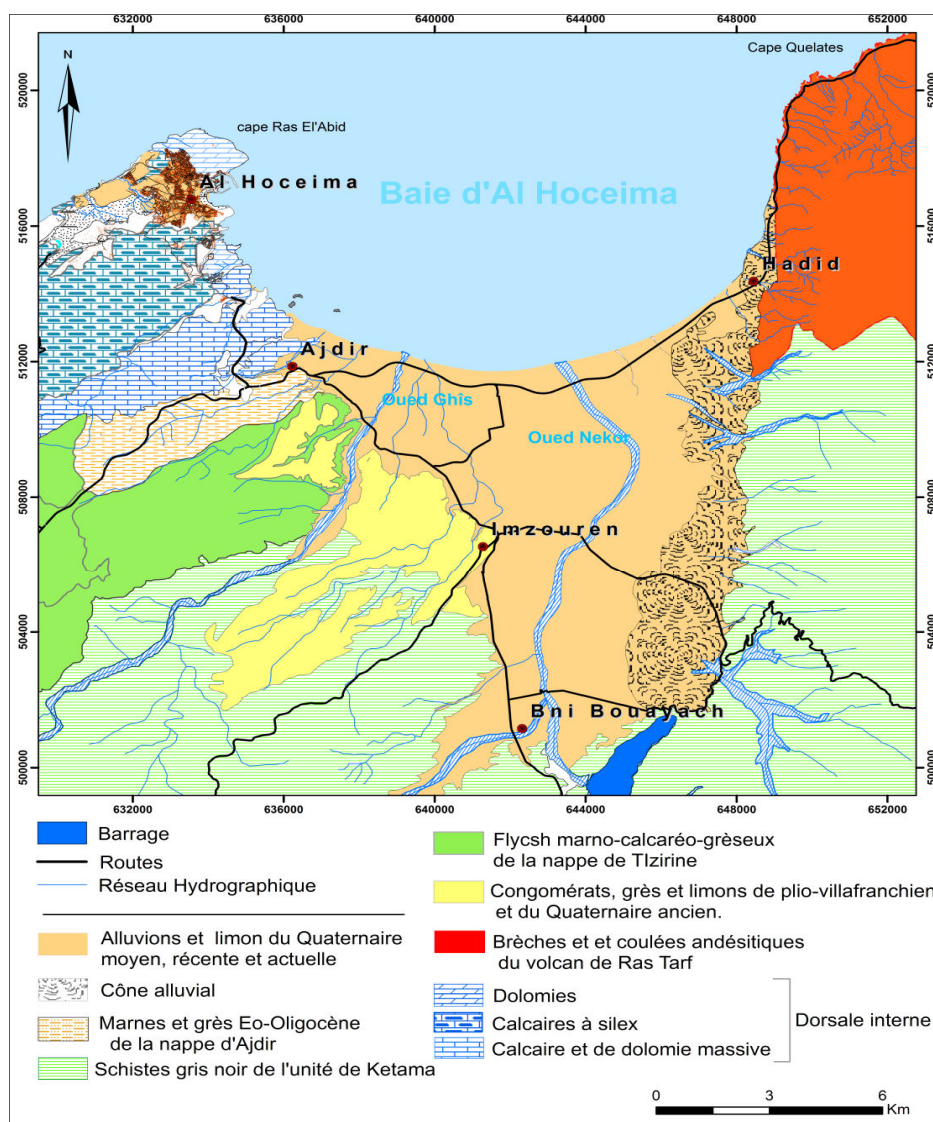


Figure II-5. Carte géologique simplifiée de la zone d'étude (extraite de la carte géologique de Rif, Choubert et Faure Muret, Service Géologique du Maroc n° 302, publiée en 1984)

f-La plaine de Rhis-Nekor occupe une dépression comblée d'un remplissage alluvial hétérogène constitué de sables, graviers et conglomérats allant du pliocène à l'actuel (Salhi, 2008, Iouzi, 2008) (Figure II-6) :

Le Plio-Villafranchien est représenté à l'ouest de la plaine par les plateaux de l'Oued Rhis et d'Imzourène, comportant un matériel hétérogène constitué de conglomérats, de grès et de limons. Des surfaces alluviales fini-villafranchiennes des hauts plateaux de l'oued Rhis se localisent à l'ouest de la ville d'Imzouren dans la région de Aït Amar ou Bouker.

Le Quaternaire ancien (Salétien-Régréguien) est représenté par les plateaux de l'Oued Rhis au niveau de la région d'Azrhar. Il est constitué par un matériel hétérogène avec des conglomérats à la base.

Le Quaternaire moyen (Tensiftien-Amirien) est matérialisé dans la plaine par des surfaces ou terrasses encroûtées sur cailloutis et un niveau marin coquillier appartenant à l'Anfatien.

Le Quaternaire récent couvre la majeure partie de la plaine ; il est matérialisé par des limons gris de la plaine de l'oued Nekor (Rharbien), salés au voisinage de l'embouchure de l'oued Nekor. Le Soltanien est représenté par des glacis côtiers limoneux, labasse terrasse limoneuse ainsi que des limons des plaines.

Les dépôts actuels sont matérialisés par des alluvions actuelles et des sables côtiers dunaires modernes parfois consolidés. Quelques dépôts de pente et éboulis sont constatés sur la bordure occidentale de la plaine surtout dans la zone d'Imzouren. La bordure orientale se présente comme un piémont constitué par une juxtaposition de cônes de déjection dont le plus important se trouve au Sud-est, au droit de l'agglomération rurale de Hebkouch.

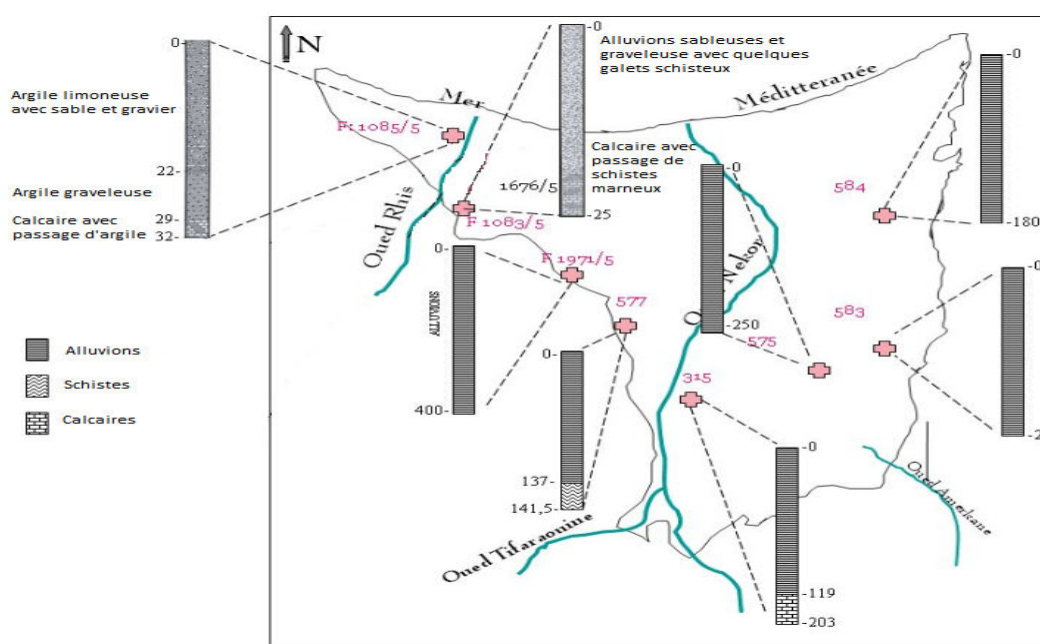


Figure II-6. Coupes de forages effectuées au niveau de la plaine de Rhis-Nekor (Iouzi 2008)

I.1.3. Néotectonique et sismicité de la région

La région d'Al Hoceima est délimitée au Nord par le domaine marin d'Alboran, dont la structure géologique et tectonique qui existe est principalement la ride d'Alboran. Selon *Tahayt (2008)*, la non prolongation actuelle des deux accidents majeurs, *Jebha N60-N70* et *Nekor N60* (distants de 60 km), dans la mer d'Alboran a été confirmée dans plusieurs travaux géophysiques, notamment par les méthodes sismiques (e.g. Bourgois et al. (1992) ; Calvert et al. (1997)). Cependant, un accident tectonique qui se prolonge de la zone émergée d'Al Hoceima vers la mer d'Alboran a été observé par *Dillon et al. (1980)*. Il s'agit de la prolongation de la zone de cisaillement trans-Alboran (Trans-Alboran Shear Zone) définie par l'alignement de l'activité sismique (Stich et al. 2006). Cet accident a été repris par *Olivier (1982)* comme faille décrochante senestre qui aurait joué au Miocène pour la mise en place des unités Bokkoya (Leblanc & Olivier, 1984; Frizon de Lamotte et al, 1991.). Cette structure décrochante sismogène est actuellement active, bien que non strictement associés à des caractéristiques morphologiques de premier ordre qui suggèrent un décalage apparent des formes de relief.

Les principaux terrains géologiques de la région d'Al Hoceima se présentent sous forme d'unités distinctes séparées souvent par des failles de chevauchement (Tahyt 2008). Et la zone de la baie est marquée par l'accident majeur de Nekor, principalement à l'Est de la plaine de Rhis-Nekor où elle affecte l'allongement E-W des unités formant la région. Cet accident marque le passage entre les unités du Rif externe, Ketama (à l'Ouest) et Tamsamani (à l'Est) (Asebriy et al., 1993). Le système de fracturation de cette région est caractérisé par différentes unités formant un complexe structural très fracturé (Figure II-7). Les familles de failles sont souvent orthogonales de directions NNW-SSE à WNW-ESE et N-S à NE-SW (Tahayt 2008). La plupart des failles présentent un pendage subvertical et sont décrochantes excepté les failles de chevauchement entre les unités. Les accidents qui ont été actifs au Quaternaire, et qui traversent les unités sont généralement des failles normales avec une composante décrochante principalement celles de Trougout (N-S), d'Imzouren (NNW-SSE), de Hammam (NNW-SSE), de Rouadi, (NNE-SSW) et de Bousekour (NNE-SSW) (Tahayt 2008). Les deux accidents majeurs, Jebha et Nekor sont inactifs à partir du Quaternaire (Calvert et al. 1997) et l'activité sismique dans la région d'Al Hoceima est caractérisé principalement par des failles de décrochement et des failles normales à tendance NE-SW à NW-SE (Hatzfeld et al, 1993 ; Calvert et al, 1997).

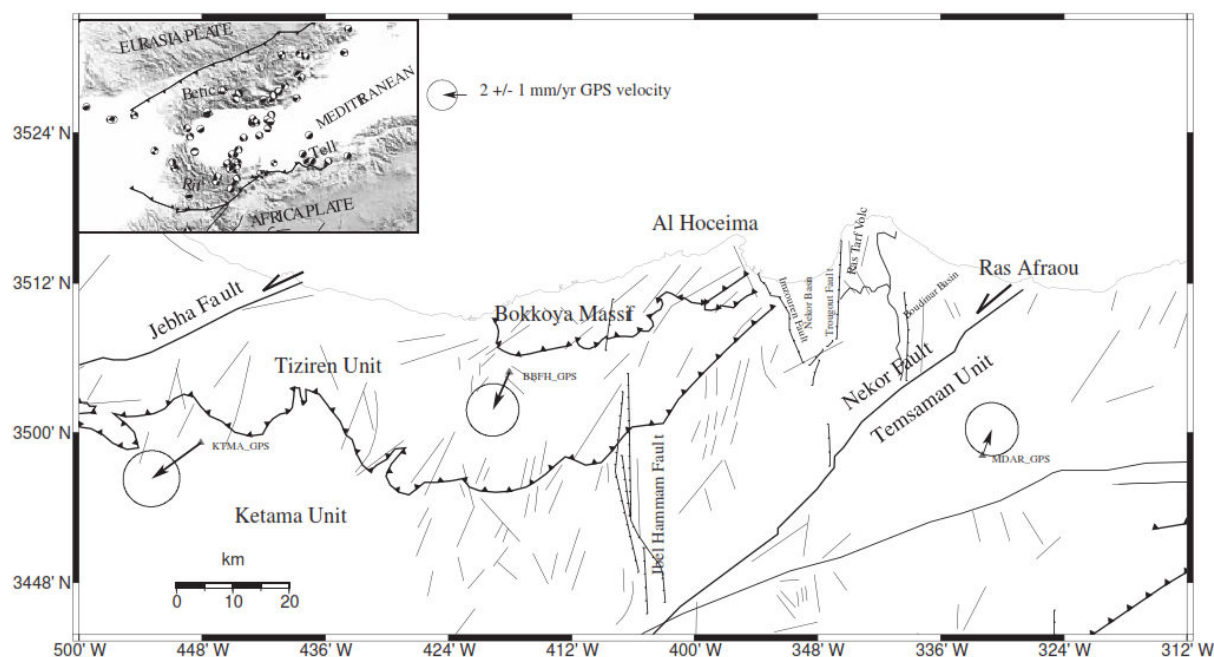


Figure II-7. Carte néotectonique de la région d'Al Hoceima (Carte des mouvements récente du Rif, Service Géologique du Maroc, Rabat, 1992) (d'après Tahayt 2008)

I.1.4. Géomorphologie

La zone d'étude appartient au domaine rifain qui possède des caractéristiques géomorphologiques particulières définies généralement par des reliefs abrupts et accidentés. Elle peut être répartie en quatre zones bien distinctes (Figure II-8).

-La façade montagneuse de la partie Ouest de la baie, elle correspond à la partie Est de la chaîne calcaire des Bokoya ; celle-ci fait partie du domaine interne de la chaîne rifaine. Cette zone est principalement constituée de falaises abruptes qui dépassent les 100 m d'altitude au niveau du cap Ras El Abed, protégeant ainsi de nombreuses petites criques.

-La plaine du Rhis-Nekor, est une des plus importantes plaines alluviales méditerranéennes marocaines. Elle est traversée par deux principaux cours d'eau qui lui confère son nom : l'oued Nekor la traverse longitudinalement sur environ 10 km et couvre le centre de la plaine et l'oued Rhis s'y étend sur une longueur de 1,5 km au niveau de la corne Nord-ouest. C'est un bassin triangulaire en graben situé entre différentes unités structurales (voir I-1.2). Il est délimité par deux failles actives au Quaternaire : Imzouren (NNW-SSE) à l'Est et Trougout (N-S) à l'Ouest (Medina, 1995 ; Calvert et al. 1997). Cette dépression présente une pente d'environ 1% et une longueur de 4km suivant une direction N-S ; elle est comblée de dépôts d'alluvions quaternaires.

-Le massif de Ras Tarf : C'est une zone de relief correspondant aux vulcanites plio-quaternaires de Ras Tarf et aux schistes de l'unité de Ketama situés respectivement au Nord-Est et au Sud-Est de la zone d'étude. Il se présente comme un piémont constitué par une juxtaposition de cônes de déjection qui avancent vers la plaine alluviale.

-*La frange littorale de la baie d'Al Hoceima* est marquée par des plages et dunes qui s'étalent entre des falaises verticales et hautes ; celles-ci affleurent à l'Ouest et à l'Est, respectivement, au niveau des caps de Ras El Abed et Quelates. En outre, quelques rochers escarpés et détachés de la côte, forment de petites îles près de ville d'Al Hoceima (Nekor et Thigzirin).



Figure II-8. Principaux trait géomorphologiques de l'aire d'étude

I.1.5. Morphologie du littoral

La grande partie du littoral de la baie appartient à la plaine de Rhis-Nekor. Sur sa partie occidentale est construite la ville d'Al Hoceima sur le promontoire de Ras El Abed. La côte y est principalement à falaises vives, pouvant atteindre jusqu'à plus de 100 m d'altitude et taillées dans les matériaux carbonatés des rebords orientaux du massif des Bokoya et protégeant dans quelques endroits des plages.

La corne Est, depuis Laazib à cap Quelates, est également une côte haute et raide, caractérisée par des éboulis taillés dans des matériaux volcaniques de Ras Tarf. À la sortie des falaises au niveau de la plaine s'étalent une vaste côte sableuse, qui s'étend sur environ 15km. Les plages sont formées généralement de sables fins limoneux et peu calcaires à l'exception de la partie Est de la baie où elles sont formées de galets.

La baie d'Al Hoceima possède aussi un archipel formé de trois îles : *le peñón d'Alhucemas*, *l'isla de Mar* et *l'isla de Tierra*. Ce sont des îlots marins sous forme de rochers escarpés qui se sont détachés de la côte.

Le cordon dunaire du littoral d'Al Hoceima s'étend sur environ 13km principalement dans la partie centrale de la baie. Il est principalement sableux, de couleur grise mais généralement assez bas et discontinu. En arrière de la plage Sfiha, la dune est à l'état embryonnaire et assez active, elle se développe en avant de la dune boisée. L'arrière-dune est généralement boisée pour freiner le transport éolien de sable vers les zones cultivées. L'état de conservation des habitats dunaires est globalement dégradé ; seule la dune embryonnaire présente des espèces caractéristiques mais l'ensemble du cortège floristique de dune embryonnaire n'est pas présent (Grosset et Satta 2009).

Plusieurs plages composent cette baie ; d'Ouest à l'Est on trouve, les plages de Quemado, Cala Bonita, Espalmadero (Isly), Sfiha, Tayt, Souani, Salina, Thanda, Bathou et la plage R'hach (Figure II-9) :



Figure II-9. Situation des différentes plages de la baie d'Al Hoceima. a) Quemado, b) Cala Bonita, c) Sfiha et Tayt, d) Souani, e) Salina, f) R'hach

Plage Quemado (Figure II-9a) : Quemado signifie « brûlé » en espagnol en référence aux destructions qui s'y sont déroulées au cours du débarquement espagnol. Cette plage sableuse, d'une superficie d'environ 9000 m², est située au pied de la falaise Quemado ; elle se trouve surplombée par la ville d'Al Hoceima. Elle est alors incontestablement la meilleure plage de la province et la plus fréquentée par les estivants.

Plage Cala Bonita (Figure II-9b) : elle est située directement à la sortie d'Al Hoceima ; cette plage est une petite crique de sable fin d'une superficie qui s'élève à 5000m² environ.

Plage Espalmadero (Esly) : Elle est localisée à 3km de la ville d'Al Hoceima en allant vers le Sud-Est et s'étend sur une longueur de 200m environ. Sa superficie totale est de l'ordre

de 10.000m². C'est une plage principalement à galets. Elle connaît un degré de fréquentation relativement important notamment pendant la période estivale.

Plage Sfiha (Figure II-9c) : Cette belle plage de sable dépend de la commune rurale d'Ait Youssef ou Ali et se trouve à 7km à Sud-Est de la ville d'Al Hoceima en face des deux îlots. Elle s'étend sur une longueur d'environ 1650 m ; elle est assez étroite au droit du projet Souani et présente une pente importante.

Plage Souani (Figure II-9d) : Située à une dizaine de Km au Sud-Est d'Al Hoceima. C'est une plage relativement étroite qui s'étend de l'embouchure de l'Oued Rhis à celle de l'Oued Nekor sur une longueur de 4 Km. Cette accumulation sableuse offre un des sites les plus beaux en qualité de diversité paysagère.

Plages Salina, Thanda et Bathou (Souani 2) (Figure II-9e) : Elles sont situées à l'Est de l'oued Nekor ; ce sont des petites plages étroites et à sables gris, appartenant à la commune rurale de Trougout. Ce sont des sites balnéaires très fréquentés en été.

Plage R'hach (Figure II-9f) : située à l'est de l'oued Nekor, elle constitue la limite orientale des plages sableuses de la baie d'Al Hoceima. Elle est formée principalement par des alluvions de l'oued El Hadid et montre une largeur ne dépassant pas les 80 m.

Plage Hadid : C'est une plage de sable et galets situés à 20 Km à l'Est d'Al Hoceima, dans la commune de Trougout. L'accès y est un plus difficile.

La zone d'étude présente de nombreuses autres plages formées que de galets. Elles sont insérées sous les falaises et sont moins fréquentées, car l'accès est y difficile (entre autres, Sehel, Laazib Boujidar et Cabo Quelaté).

I.1.6. Morphologie sous-marine

À l'échelle régionale, la mer d'Alboran présente de grandes profondeurs et un plateau continental étroit (Moumni et al. 1999). La plate-forme continentale (0-100 m) est étroite, généralement de type progradant et à rupture de pente bien marquée ; elle est sillonnée de canyons sous-marins et de fonds rocheux. La pente continentale est à dimensions et pentes variables (-100 à - 400 m de profondeur), une pente de 1° à 1,5° et une largeur de 7,5 Km à plusieurs dizaines de Km. Quant au plateau marginal, il est bien développé du côté ouest marocain avec une profondeur allant de -300 à -500 m et une largeur de 27 Km. Ailleurs Ce plateau marginal disparaît en face du massif des Bokkoya en raison de la perturbation de la morphologie locale due au volcanisme et au diapirisme (Figure II-10).

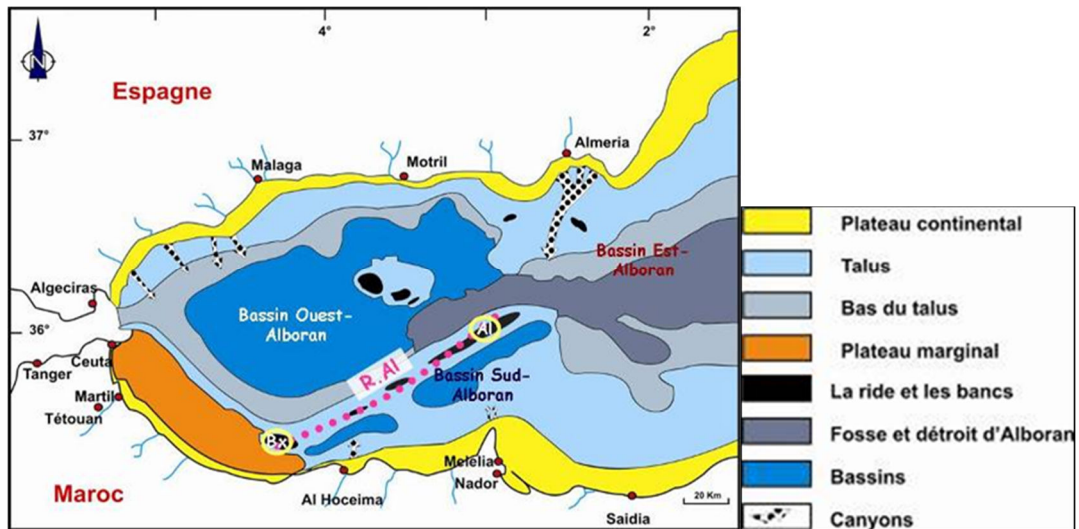


Figure II-10. Morphologie sous-marine de la mer d'Alboran (Ammar 1987 modifié)

Au niveau de la baie, les données bathymétriques (Figure II-11) montrent, selon *Gensous et Tesson (1978)*, des isobathes de 0 à -100m avec un tracé régulier en forme d'arcs de cercles concentriques sensiblement parallèles à la ligne du rivage, et une pente moyenne de 1 % semblable à celle de la plaine de Rhis-Nekor. Du centre de la baie vers les deux caps Ouest et Est (Ras-El-Abed et de Ras-Tarf), la pente augmente légèrement et les isobathes se resserrent. Au-delà des 100 mètres, la pente augmente sensiblement jusqu'à 4%. Vers l'extrémité occidentale de la baie, aux abords du Ras-El-Abed, les fonds sont plus irréguliers et le talus présente des ruptures de pentes séparées par des paliers subhorizontaux, ensuite les isobathes changent brusquement d'orientation (NW-SE) et se raccordent aux isobathes de la baie d'Al Hoceima.

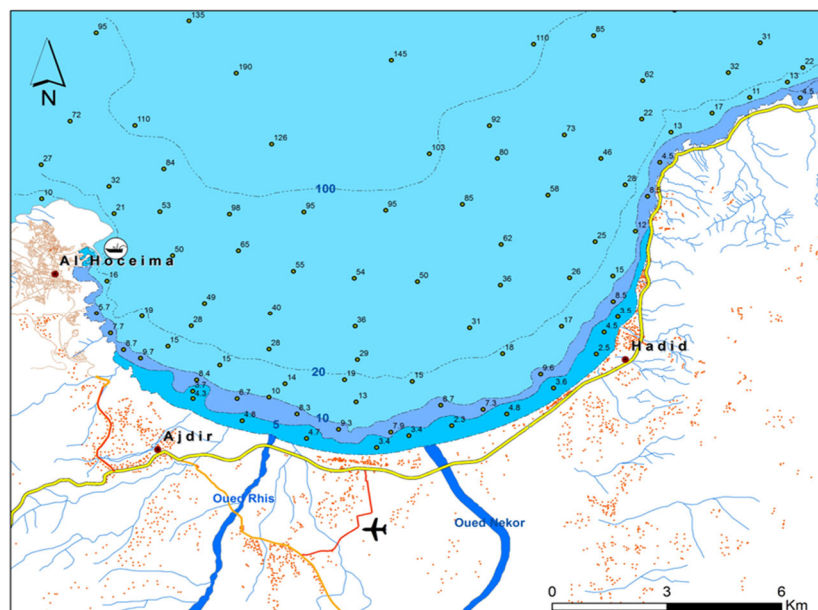


Figure II-11. Carte bathymétrique de la baie d'Al Hoceima réalisée à partir des données SHOM (Carte N° 5464, correction 1989)

I.1.7. Dynamique marine dans la baie d'Al Hoceima

L'hydrodynamisme de la baie dépend avant tout de la dynamique générale de la Méditerranée occidentale que nous rappellerons avant de présenter celle de la baie.

I.1.7.1. La circulation générale en Méditerranée

La mer d'Alboran est un bassin de la Méditerranée occidentale ; elle est délimitée par le détroit de Gibraltar à l'Ouest, le bassin des Baléares à l'Est, l'Espagne au Nord et les côtes algériennes au Sud. Dénommée aussi « *couloir de la Méditerranée* », c'est le lieu où se rencontrent et interagissent les eaux de l'océan Atlantique et celles de la mer Méditerranée. Elle est caractérisée par un fort hydrodynamisme et la présence en permanence d'un système stratifié en 3 couches à température et salinité particulières (Tableau II-1).

Masses d'eaux dans la mer d'Alboran	Profondeur (m)	Salinité (ups)*	Temp. (°C)
Eau Superficielle Méditerranéenne	0-300 m	S > 37.5	15-20
Eau Levantine Intermédiaire	200-600 m	38.45-38.50	≈ 13.2
Eau Profonde de la Méditerranée Occidentale	+ de 600 m	S < 38.44	< 12.9

*ups: unité pratique de salinité

Tableau II-1. Caractéristiques des masses d'eaux de la mer d'Alboran (Gascard & Richez, 1985).

Au niveau du Détroit de Gibraltar, apparaissent deux écoulements de sens opposés : Un écoulement superficiel entrant de l'Atlantique vers la Méditerranée, et un autre profond sortant des eaux méditerranéennes vers l'Atlantique. Les eaux atlantiques sont enrichies en sels nutritifs. Ainsi la rencontre de ces masses d'eau de propriétés différentes entraîne la création d'une structure frontale géostrophique (localisée entre Oran, Algérie et Alméria, Espagne) et la mise en place de structures tourbillonnaires : deux tourbillons anticycloniques (Figure II-12) (Lanoix, 1974; Gascard et Richez, 1985). La couche superficielle rentre en mer d'Alboran entre la surface 150 et 200 m, elle progresse vers le N-NE jusqu'au méridien 4°W, au-delà duquel, elle s'oriente vers le SE en direction du continent africain. A la longitude 3° W, elle se scinde en deux branches, dont l'une suit la côte africaine vers l'est donnant le tourbillon oriental, et l'autre s'approche progressivement de la côte marocaine qu'elle longe vers l'ouest formant ainsi la branche sud d'un gyre anticyclonique occidental. La vitesse des courants ainsi que leur direction y sont variables. Ce tourbillon occidental existe la plupart du temps tandis que le tourbillon oriental n'est qu'occasionnel (Millot, 1987). Les images satellitaires montrent que ces deux grands anticyclones oscillent sur une période de quelques semaines (Heburn et La Violette, 1990).

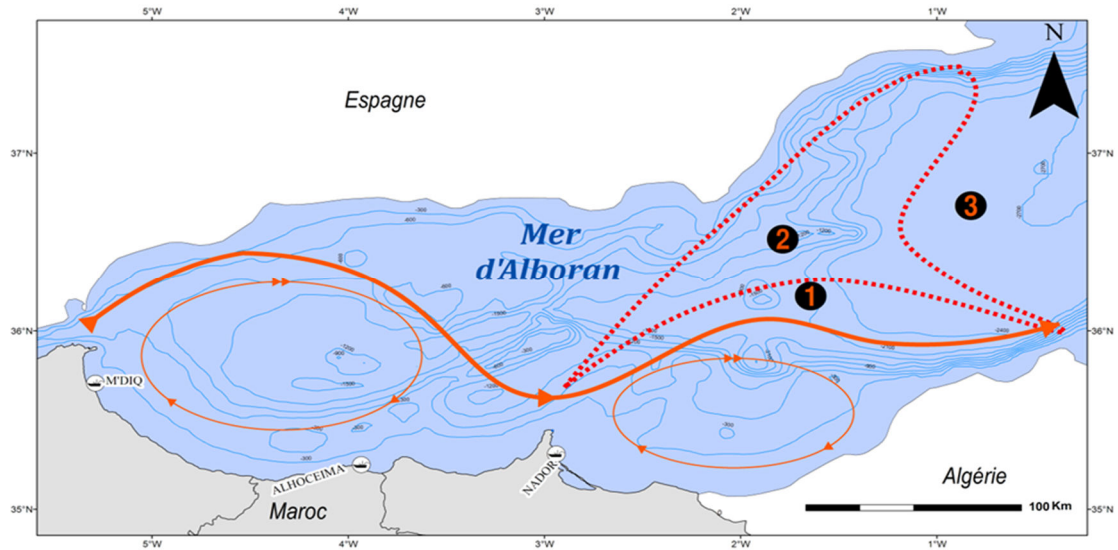


Figure II-12. Carte de la mer d'Alboran, avec les deux gyres anticycloniques (au sud). (Prieur & Sournia, 1994). Le jet géostrophique et le front associé (ligne continue épaisse). Dans la partie est, plusieurs positions du front (1, 2, 3, lignes en pointillés) ont été observées selon les périodes et les années.

La zone marine d'Al Hoceima est touchée par la branche sud du gyre anticyclonique ; elle est orientée Est-Ouest (Lacombe & Richez, 1982 ; Herburn & La Violette, 1990). La baie est baignée par des eaux superficielles d'origine atlantique qui rentrent de l'ouest, par le détroit de Gibraltar. Elles sont généralement plus froides et moins salées que les eaux méditerranéennes situées plus à l'est, avec des températures comprises entre 15 et 24°C et une salinité de l'ordre de 36,30 ‰ (Figure II-13a,b) Elles montrent une légère variation saisonnière de la côte vers le large, les eaux côtières étant un peu plus salines. Celles-ci restent relativement peu oxygénées, à l'image de toute la mer d'Alboran, qui à part la zone centrale, les taux d'oxygène restent en dessous des 100 mg/l (Figure II-13c)

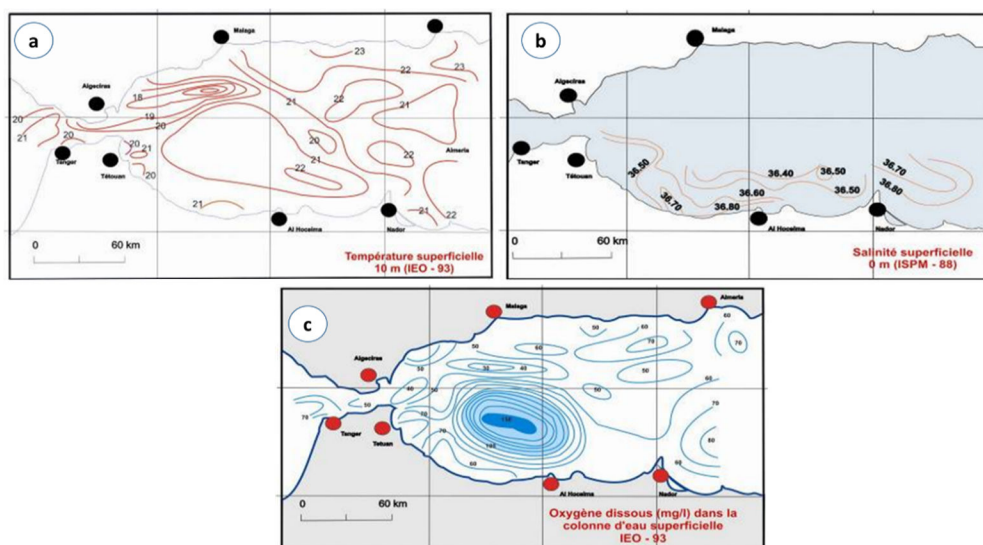


Figure II-13. Températures, salinité, oxygène dissous et productivité des eaux superficielles des eaux méditerranéennes marocaines (PAC rif central 2010)

I.1.7.2. Principaux agents hydrodynamiques dans la baie

Les courants

Au niveau de la baie d'Al Hoceima, les courants induits par le vent restent faibles comparés à ceux de la houle. Ils sont parallèles au trait de côte, mais leur sens résulte de la direction dont souffle le vent. Les mesures réalisées par LPEE (1991) montrent que des vents forts de plus de 15 nœuds, constants en direction et persistant au-delà de trois jours, engendrent, plus ou moins rapidement selon leur vitesse, des courants de dérive dont la vitesse atteint, en eau profondes, 2% à 3% celle du vent. Par faible profondeur, quelques heures seulement suffisent pour engendrer des courants de dérive dont la vitesse atteint 4% à 5% de celle du vent.

La houle

Les données concernant les caractéristiques des houles au niveau de la baie d'Al Hoceima sont quasi inexistantes. Les seules qui existent ont été élaborées lors de la construction des ouvrages maritimes du littoral d'Al Hoceima. D'après ces études (LPEE, 1976, 1977, 1991), les courants liés aux houles se font sentir surtout au niveau de la côte. Les houles les plus fréquentes sont de secteur WNW ; elles ont un fetch court et leur effet sur la sédimentation est minime. Celles du secteur NE à ENE sont principalement à prendre en considération ; elles possèdent un fetch assez important et se développent mieux. L'énergie des houles NE provoquant un transit littoral de l'Est vers l'Ouest. Les houles peuvent atteindre des amplitudes et des périodes importantes (Tableau II-2), avec cependant une faible fréquence (Tesson, 1977). L'amplitude maximale annuelle est de 5m ; la période maximale est de 7 à 11 secondes et la fréquence des houles de 2 m d'amplitude est de l'ordre de 24 fois par an. Les conditions de houles extrêmes sont voisines de celles du port de Nador. Dans l'étude de SOGREAH au cours de l'extension du port d'Al Hoceima (Décembre 1981), la hauteur significative de la houle (Hs) retenue est de 6,5 m, sa direction est N 55° et la période maximale est de 8 à 10 secondes,

La vitesse des courants est très variable, en fonction de la hauteur de la houle, et peut atteindre des valeurs de l'ordre de 0.5 à 0.75 m/s en période de tempête.

Période de retour	W		NW		N		NE	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
1 an	5.8	9-10	2.5-3.6	8-9	2.5-3.6	8-9	5.0	9-10

Tableau II-2. Hauteur des houles en fonction de la période de retour au niveau de la Baie d'Al Hoceima (LPEE, 1976, 1977, 1991).

La marée

A l'instar de littoral méditerranéen marocain, la marée au niveau de la baie d'Al Hoceima est de type semi diurne, avec une amplitude assez faible (Figure II-14). D'après (CID Étude extension port Al Hoceima 2003, au port d'Al Hoceima), l'amplitude moyenne en vives et mortes eaux est respectivement de 45 cm et 21cm. Le niveau moyen de la marée est voisin de la cote + 0,40 m. Toutefois si l'on prend en compte les décotes et surcôtes dues à des phénomènes météorologiques (vent, pression), le niveau de la mer peut varier entre 0,00 hydro et + 1,20 hydro). Bien que l'amplitude des marées méditerranéennes soit faible, les courants côtiers engendrés en périodes de vives eaux provoquent des tourbillons parfois gênants pour les activités portuaires.

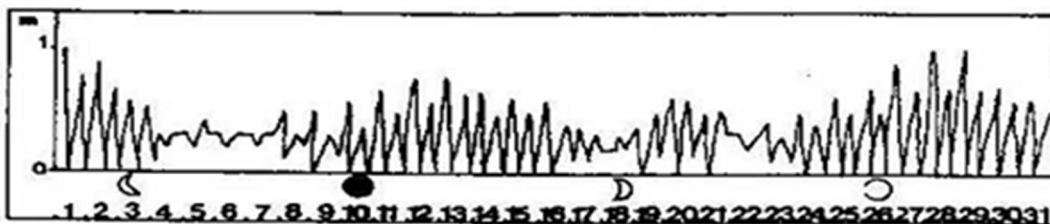


Figure II-14. Enregistrement marégraphique à AL Hoceima (Margaa 1994)

I.1.8. Contexte sédimentologique

La plateforme continentale méditerranéenne marocaine est couverte, en général, par des sables terrigènes ou des fonds rocheux (El Moumni, 1994, El Moumni et al. 1999). Au niveau de la baie d'Al Hoceima les sables passent vers le large à des vases. Alors qu'au niveau des Bokkoya, les sables sont grossiers avec quelques concentrations de galets. Deux principaux faciès ont été distingués par Tesson et Gensous (1979) (Figure II-15) :

a-Faciès terrigènes : ce sont les dépôts ayant de faibles teneurs en carbonates (moins de 20%), localisés principalement dans la baie. Dans la zone de plage sous-marine entre 0 et - 20m, ce sont des sables fins de couleur grise, à densité élevée, semblables aux sables alluviaux de la plaine de Rhis-Nekor. Au-delà de - 20 m, ils passent progressivement à des vases noires et plastiques qui occupent la majeure partie des fonds de la baie jusqu'à - 120 m.

b-Faciès organogènes : Ils regroupent les sédiments avec des teneurs importantes en carbonates (plus de 50%), et se situent de part et d'autre de la baie, débordant légèrement vers Ras-El Abed en face du chignon des Bokkoya ; ils présentent une répartition telle qu'entre 0 m et 70m, les sables sont grossiers et coquilliers associés à des graviers terrigènes et au-delà de 70m, les dépôts sont entièrement organogènes constitués de fragments d'algues calcaires (maerl) ou de nodules d'algues et de débris coquilliers.

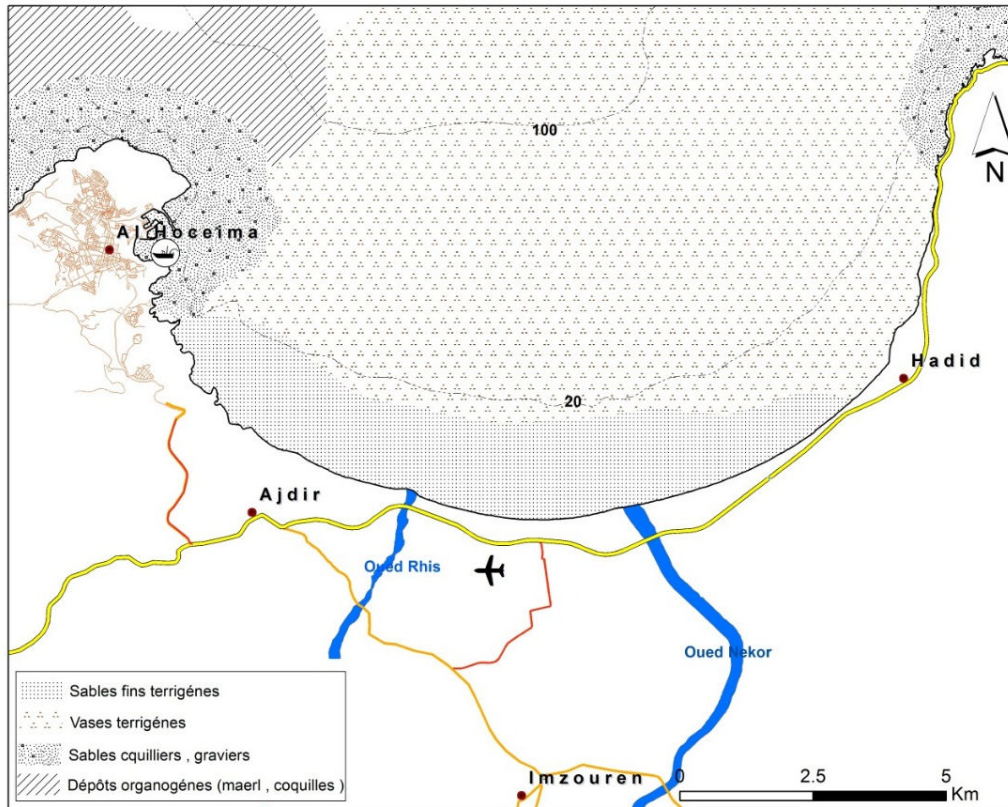


Figure II-15. Répartition des faciès sédimentaires au niveau de la baie d'Al Hoceima (d'après Tesson et Gensous 1979).

Les dépôts terrigènes de la partie centrale de la baie sont en continuité avec ceux de la plaine littorale adjacente ; ils représentent la progradation dans le domaine marin du remplissage alluvial de la basse vallée de Nekor. La faible extension littorale de ce pro-delta s'explique par la présence des zones hautes du Ras-El-Abid et du Ras-Tarf qui limite la subsidence à un étroit sillon où sont canalisés les apports sédimentaires (Tesson et Gensous 1979).

I.1.9. Caractéristiques climatiques

I.1.9.1. Les précipitations

La région du Nord du Maroc, soumise aux influences méditerranéenne au Nord, océanique à l'Ouest et continentale à l'Est, est caractérisée par un climat de transition qui présente une grande diversité allant du semi-aride à l'humide. Trois compartiments peuvent être distingués (ABHL 2006) (Figure II-16) :

- La chaîne rifaine qui s'étend de Tétouan à Ketama en passant par Chaouen. Elle se caractérise par un climat humide avec des précipitations qui dépassent souvent les 1000 mm et qui peuvent atteindre 1800 mm sur les hauts reliefs.

- Les zones des plaines et collines de l'Ouest (plaines de Hachef, Tahadart, Ayacha et péninsule Tangéroise), du Sud (plaine de Loukkos) et du Nord (plaines de Smir, Martil-Alila, Amsa et Laou) où la pluviométrie varie entre 500 et 1000 mm ;
- La zone Est de Jebha à Al Hoceima, à climat semi-aride, avec des précipitations qui ne dépassent pas 600 mm.

Globalement, la lame d'eau précipitée sur la totalité de la région septentrionale du Maroc est en moyenne de 730mm/an répartie à hauteur de 785 mm sur la zone du Loukkous, 805 mm sur la zone du Tangérois, 910 mm sur les bassins côtiers méditerranéens Ouest et 440 mm sur les bassins côtiers méditerranéens Est (ABHL, 2006).

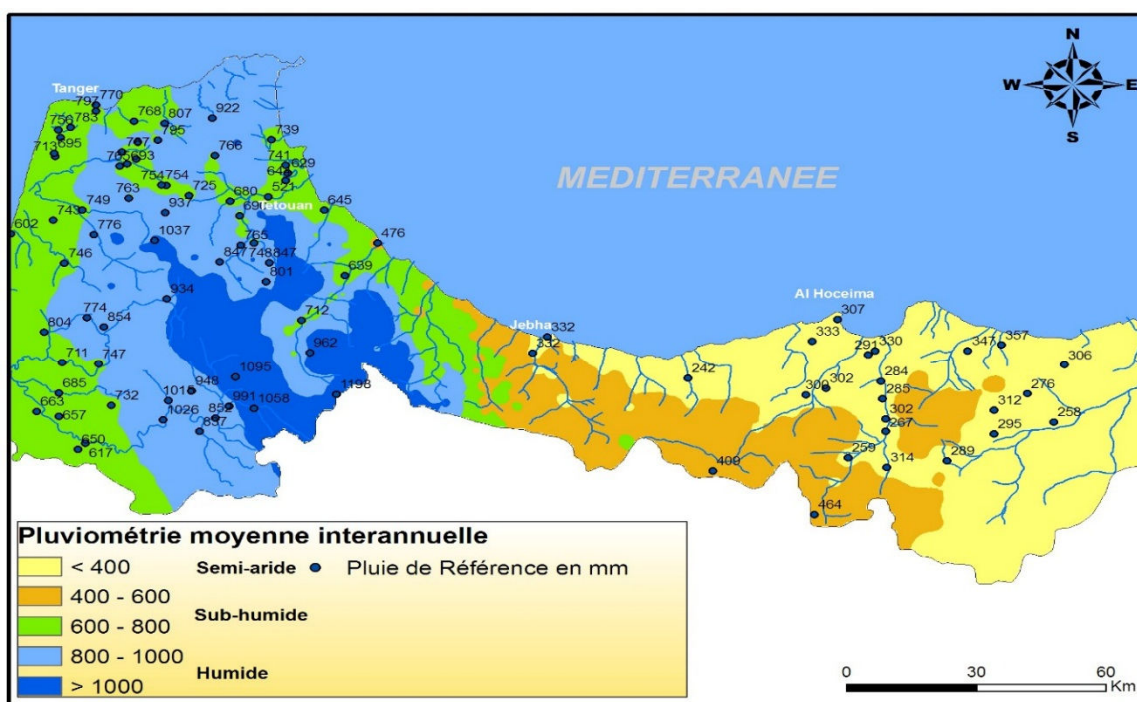


Figure II-16. Carte variation pluviométrique de la zone Méditerranéenne Marocaine (ABHL 2006)

Le climat de la zone d'Al Hoceima est conditionné par deux facteurs : l'influence maritime et l'existence de la chaîne de montagnes du Rif. C'est une zone climatique de type semi-aride caractérisée par une période sèche et chaude d'Avril à Octobre, et une période humide irrégulière. Bien qu'il existe une dizaine de postes pluviométriques dans la région (Figure II-17), Seules les données de la station d'Al Hoceima ont été utilisées.

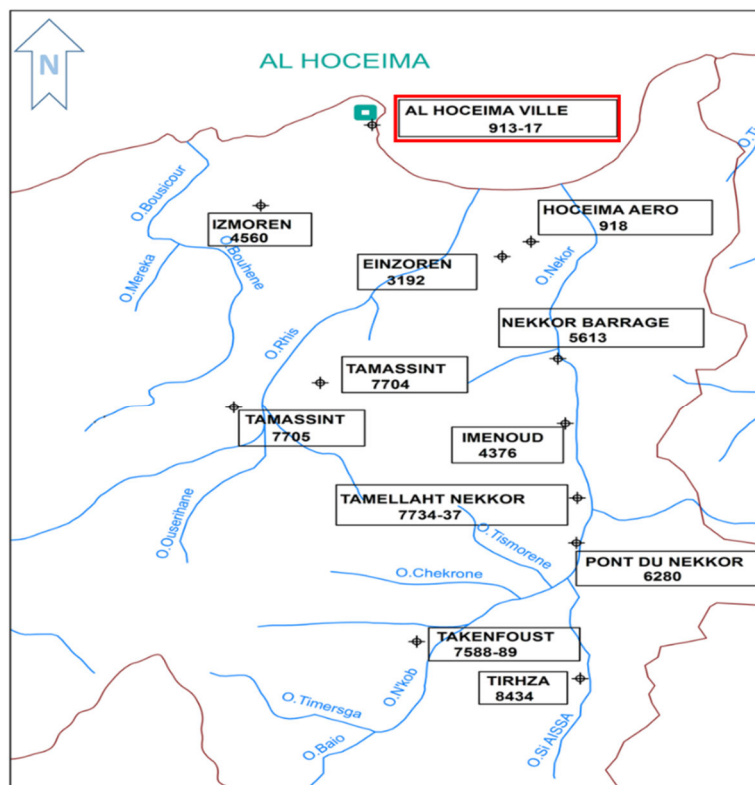


Figure II-17. Différentes stations météorologiques et hydrologiques de la zone d'Al Hoceima

L'ensemble des hauteurs des précipitations annuelles relevées pendant la période 1964-2006 (DMN) correspond à une valeur moyenne annuelle de 305.4 mm (Figure II-18a). Le maximum de 603.3 mm a été enregistré en 2003 et le minimum observé en 1988 soit 152 mm. Les précipitations les plus élevées s'étendent sur la période octobre-mai. La pluviométrie moyenne mensuelle y présente une variation significative (Figure II-18b) avec 41.3 mm le mois le plus pluvieux (Février) et 1,2 mm le mois le plus sec (juillet). Janvier est le second mois le plus pluvieux avec 41.2mm.

En général, les précipitations montrent un aspect torrentiel durant la période humide de l'année où se concentrent des pluies très intenses comme par exemple les 187 mm de pluie tombés en janvier 1999, 178 mm en novembre 2003 et 165,4 mm en janvier 1994.

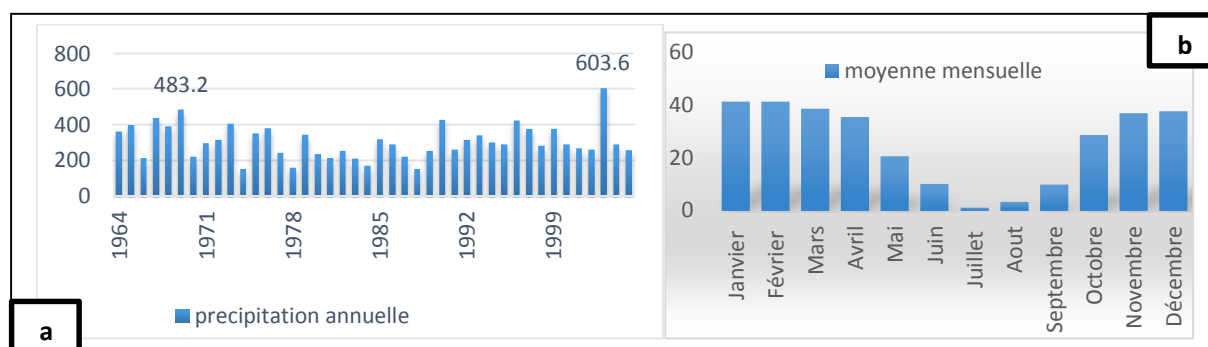


Figure II-18. Précipitations annuelles et moyennes mensuelles (1964-2006).

I.1.9.2. La température

La région d'Al Hoceima est caractérisée par une grande douceur du climat. La température de l'air est très influencée par la proximité de la côte méditerranéenne. Les minima hivernaux sont doux, alors que les maxima estivaux sont modérés (Tableau II-3)

Selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) La température descend rarement en dessous de 5 °C durant l'hiver, aucune température n'est en dessous de -2°C et la neige est très rare et généralement de très courte durée. Les gelées sont pratiquement inconnues. Les étés sont tempérés, car les maxima n'excèdent généralement pas les 30 °C. La valeur maximale enregistrée dans la région a été de 42.5 °C. La température redescend pendant la nuit au voisinage de 20 °C et l'amplitude des variations thermiques journalières, relativement constante durant l'année, se situe autour de 12 °C.

mois	Moyenne mensuelle (C°)												Moy. ann	Valeurs extrêmes	
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc		Min	Max
M.m	12.2	12.8	14.4	16.4	18.6	21.8	24.2	24.8	23.2	19.8	16.4	13.4	18.2	-1.2	42.5

Tableau II-3. Moyenne mensuelles des températures (°C)

I.1.9.3. L'humidité relative

L'humidité relative est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température ; elle est exprimée en pourcentage. Les valeurs mensuelles moyennes interannuelles de l'humidité relative à Al Hoceima sont représentées dans le (Tableau II-4). L'humidité relative varie peu au cours de l'année, les variations mensuelles maximales et minimales pour la station d'Al Hoceima-ville est de 78,5 et 70,5. Les minima relatifs de Novembre et de Janvier sont fortuits et ne peuvent s'expliquer que par l'influence des vents locaux. Le Chergui par exemple, vent d'Est sec et chaud, souffle pendant une vingtaine de jours par an, répartis sur tous les mois de l'année (Margaa 1994).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
M	93	89	85	87	85	88	86	88	93	87	88	
m	64	62	59	61	56	63	61	60	65	64	62	62
moy	78.5	75.5	72	74	70.5	75.5	73.5	74	79	76	74.5	75

Tableau II-4. Humidité relative à la station d'Al Hoceima-ville (Margaa 1994)

I.1.9.4. Le vent

L'analyse de la vitesse et la direction dominante du vent a été faite à partir des différentes sources de données. Ainsi les données de *LPEE*, relatives à la mesure de la force du vent par direction, effectué dans la station d'Al Hoceima sur 20 ans de (1963 à 1983), a permis de relever des vitesses allant jusqu'à 40 Km/h (=11m/s). Les données issues de la

Direction de Météorologie Nationale sur 5 ans (1982 - 1986), relatives à la vitesse maximale mensuelle du vent au sol au niveau de la station d'Al Hoceima-ville, révèlent que le vent oscille aux alentours de 3 m/s (~10,8 km/h) avec une moyenne maximale de 5.9 m/s enregistré lors du mois de Mars, et un minimum de 4,3 m/s observé pendant le mois de Juillet (Figure II-19a).

Quant à la direction des vents dominants, les données extraites du service météo en ligne "Windfinder" permettent de construire la rose des vents (Figure II-19b). Les statistiques sont basées sur les observations quotidiennes entre 3/2001 - 9/2011, de 7h à 19h. La rose des vents résultant du traitement statistique d'éléments relatifs à la station d'Al Hoceima, montre que les vents les plus dominants sont NNW et NNE. Ces derniers sont à peu près semblables en Méditerranée jusqu'aux îles Baléares distantes de 600 km. Plus loin, d'après l'Atlas océanographique, les vents dominants sont de direction Ouest à Nord-Ouest.

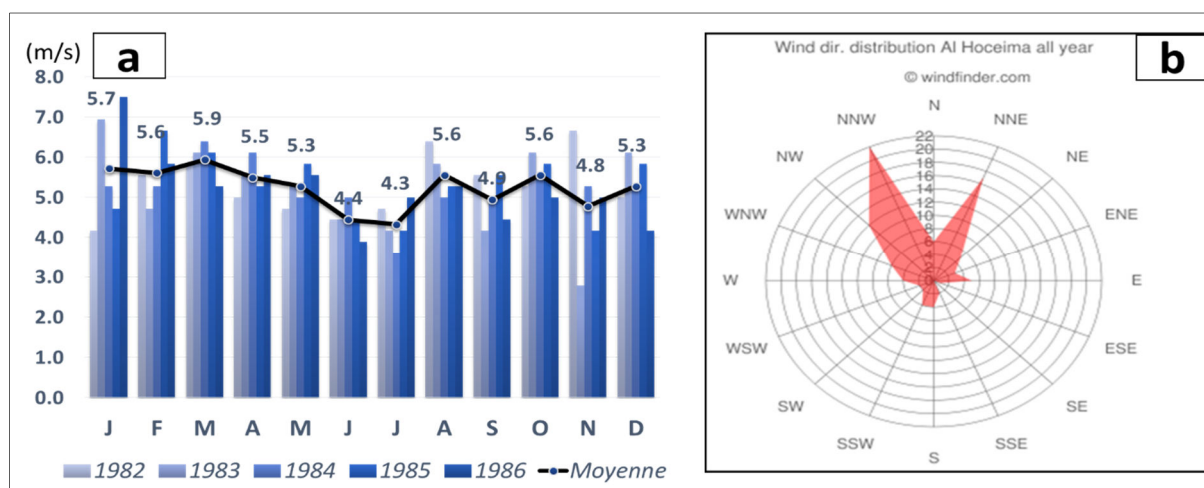


Figure II-19. a) Vitesse maximale mensuelle du vent (m/s) (DMN 1982-1986) b) Rose des directions du vent dominant (période 2001 et 2011) www.windfinder.com

I.2. Ressources Hydriques

I.2.1. Les eaux superficielles

Le bassin versant de Rhis-Nekor fait partie des bassins côtiers méditerranéens Est qui constitue, lui-même, un compartiment considérable du bassin hydrologique du Maroc Nord occidental (Figure II-20). Ce dernier s'étend sur une superficie de 12900 km². Il est délimité au Nord par la mer Méditerranée sur près de 260 km de côtes, à l'Ouest par l'Atlantique sur 140 km, au Sud par le bassin de Sebou et à l'Est par le bassin de la Moulouya. Les cours d'eau de la région sont caractérisés par l'irrégularité des apports, l'importance des crues et la faiblesse des étiages, à l'exception de ceux soutenus par les écoulements retardés des unités karstiques au niveau de la chaîne calcaire du Rif qui couvre près de 7,8 % de la superficie de la zone (ABHL, 2006).

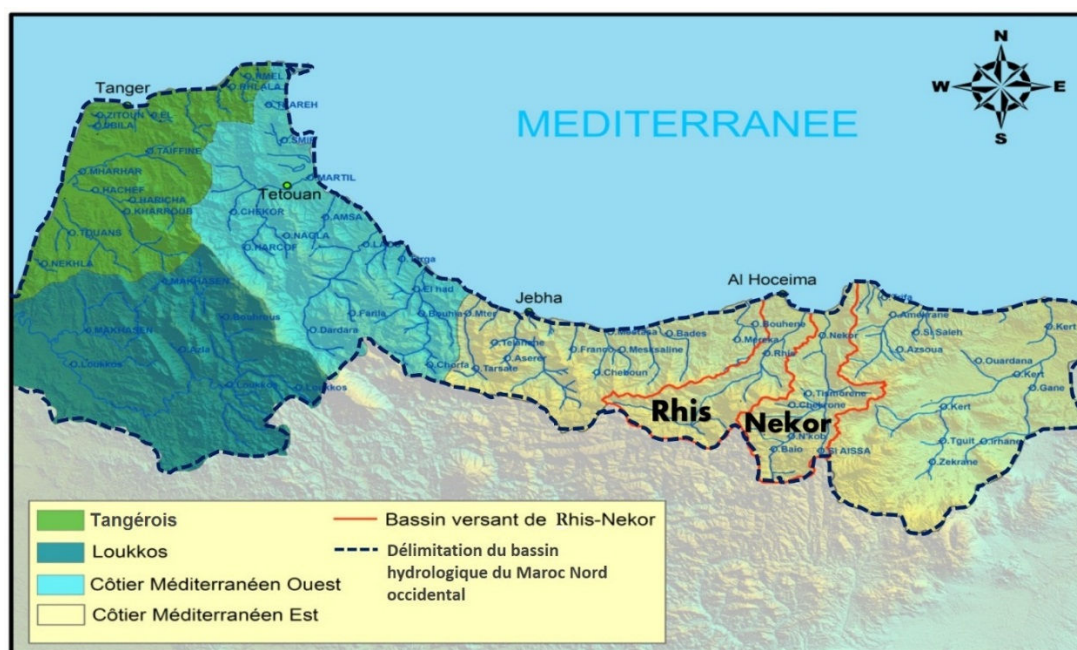


Figure II-20. Bassins hydrologiques du Maroc Nord et localisation du bassin versant de Rhis-Nekor – Trait rouge)

Le caractère irrégulier et violent du régime hydrologique est dû d’une part à l’abondance et à la forte intensité des précipitations, et d’autre part à la prédominance des faciès imperméables, conjugués au relief escarpé à fortes pentes. Tous ces facteurs favorisent le ruissellement. Les apports annuels moyens de la zone s’élèvent à 3605mm/an avec une forte irrégularité interannuelle (ABHL 2006). Les apports se situent à près du tiers de la valeur moyenne en année décennale sèche, et du double en année décennale humide. Sur la période historique allant du 1945 à 2002 (Tableau II-5), les cinq années de fort déficit hydraulique, qui dépasse une fréquence décennale, sont à l’exception de 1948 (827 mm), toutes situées après 1990, notamment 1991 avec 1149 mm, 843 mm en 1992, 459 mm en 1994 et 568 mm en 1998. Par ailleurs, sur quatorze années, les apports d’une période de retour plus que quinquennale montrent que les deux tiers sont situés après 1979. Ceci dénote de la relative sécheresse des années quatre-vingt et quatre-vingt-dix. (ABHL 2006)

Période	Nombre d’années	Apport moyen (Mm ³ /an)	Rapporté à la moyenne historique	Caractérisation de la période
1945-1960	16	3774	105%	Normale
1961-1971	11	5546	154%	Humide
1972-1978	7	3517	99%	Normale
1979-1994	16	2250	62%	Sèche
1995-1997	3	7349	204%	Humide
1998-2002	5	2350	65%	sèche
1945-2002	58	3605	100%	

Tableau II-5. Apports globaux de la zone hydrologiques du Maroc Nord (1945- 2002) - Cycles de sécheresses- (ABHL 2006).

Au niveau des bassins côtiers méditerranéens Est, les apports moyens sont faibles et ne dépassent guère 230 Mm³/an pour une superficie totale drainée de 3580 Km² ; conséquence de l'influence continentale qui se traduit par un faible niveau des précipitations. L'essentiel des écoulements survient sous forme de crues qui charrient à leur passage d'importantes quantités de sédiments.

Dans la zone d'étude, l'essentiel de l'écoulement superficiel est assuré par les oueds Rhis et Nekor dont le bassin versant a une superficie de 1765 km² partagés entre 911 km² pour le sous-bassin de l'oued Nekor et 854 km² pour celui de Rhis (ABHL, 2006). Il présente un axe amont-aval à peu près Sud-Nord d'environ une quarantaine de kilomètres. Ces principaux cours d'eau se réunissent au niveau de la plaine alluviale Rhis-Nekor, traversent les nappes des flyschs et l'unité de Ketama et débouchent au niveau de la baie d'Al Hoceima (Figure II-21).

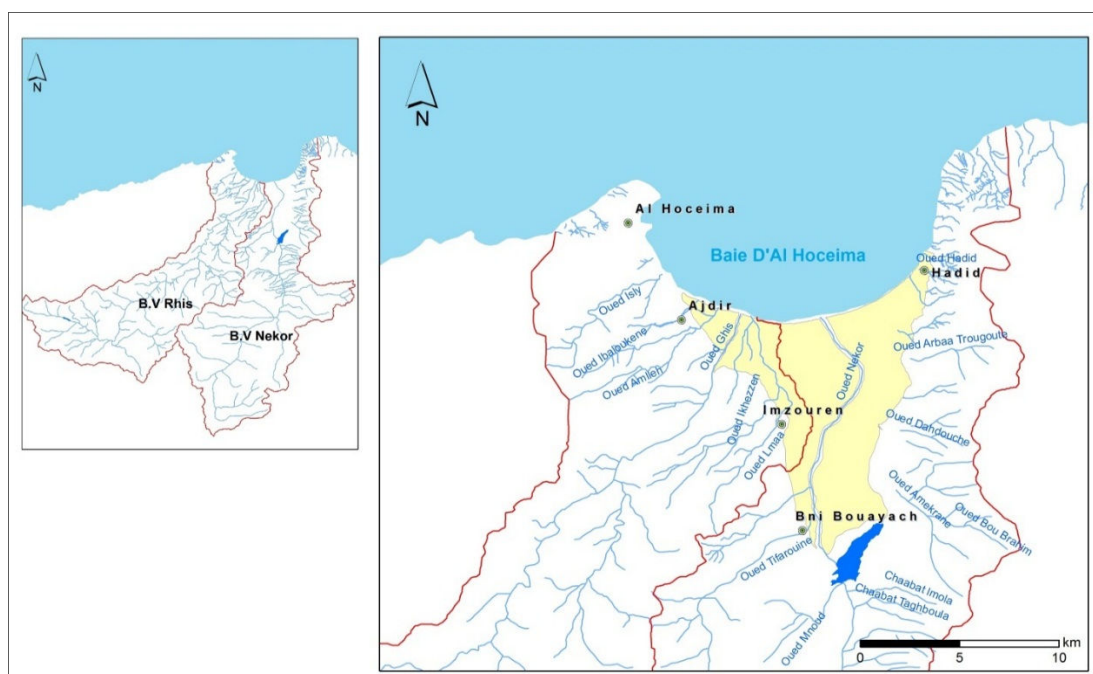


Figure II-21. Réseau hydrographique au niveau du bassin de Rhis-Nekor

Le sous bassin de Nekor est limité au Sud par le barrage "Mohamed Ben Abdelkarim El Khattabi"(MBEK), par lequel il débouche dans la plaine alluviale. Le Nekor est le plus important oued du système hydrologique du bassin versant de Rhis-Nekor ; il parcourt environ 69 km de longueur et son lit présente une pente moyenne de 2,4 %, qui diminue progressivement, pour atteindre 0,8 % au niveau de la plaine alluviale (ABHL, 2006) Son débit moyen annuel est de 9.1 m³/s (Tableau II-6). L'oued Nekor traverse des formations principalement imperméables : des marnes, marnes schisteuses de l'unité de Ketama et des quartzites du domaine des flyschs. En amont, le cours de l'oued traverse des formations gypsifères qui l'alimentent en éléments minéraux. La pérennité de l'oued Nekor est assurée par plusieurs sources importantes situées dans sa partie amont notamment à Ain Hamra. Mais au niveau de la plaine, le cours d'eau reste sec durant la plus grande part de l'année,

depuis la mise en service du barrage Mohammed Ben Abdelkrim Al Khattabi en 1981, et n'est soutenu que par des lâchers du barrage (Salhi 2008). Ce dernier est utilisé pour l'approvisionnement en eau potable (APE) de la ville d'Al Hoceima et l'irrigation du périmètre agricole Rhis-Nekor. Néanmoins, le réservoir du barrage de retenue initiale de 33,6 Mm³, connaît un important rythme d'envasement, avec un taux moyen annuel de 1 Mm³. À ce rythme, la retenue finira par être complètement envasée dans une quinzaine d'années selon Iouzzi (2008).

Oueds	Superficie de BV Km2	Pluviométrie Moyenne annuelle	Débit moyen annuel	Débit moyen du mois le plus sec
Nekor	911	590	9.1 m ³ /s	1.0 m ³ /s
Rhis	854	595	7.7 m ³ /s	0.8 m ³ /s

Tableau II-6. Apports globaux annuels des oueds Rhis et Nekor (ABHL, 2006)

Le sous bassin du Rhis, se trouve à l'ouest de celui de Nekor ; il couvre une superficie de 854 km². Le cours d'eau est assez important, il s'étend sur une longueur de 78km. L'oued Rhis parcourt la plaine alluviale sur 1,5 km. Sur l'oued Joumoua, un des affluents de la partie amont de l'oued Rhis, un barrage du même nom a été édifié, mis en service en 1992. Avec une retenue de 6.5 Mm³, cet ouvrage permet de régulariser 1,2 Mm³/an aux fins d'assurer l'alimentation en eau potable de la ville de Targuist sans déficit jusqu'à l'horizon 2018, et dans l'avenir il pourrait assurer l'irrigation du périmètre agricole de Targuist, en projet.

Dans notre zone d'étude, d'autres cours d'eau de moindre importance (Amekrane, Arbaa trougout, Iballouken , Akhezzen ...), présentent un écoulement court, violent et limité aux périodes de crues. Certains donnent lieu à des cônes de déjection, dont les plus importants se trouvent sur les bordures occidentales de la plaine alluviale de Rhis-Nekor, et d'autres drainent le relief ouest de la plaine. Au niveau de ces cours d'eau, les eaux de ruissellement générées par les averses arrivent rarement jusqu'à la mer en raison des nombreux prélèvements pour l'irrigation des champs, notamment durant l'été.

I.2.2. Les eaux souterraines

Les formations géologiques de la zone côtière méditerranéenne marocaine sont essentiellement constituées par des faciès imperméables ou peu perméables. Seules la chaîne calcaire, les plaines, les vallées alluviales et quelques petits bassins isolés, bénéficient de l'infiltration des eaux de pluie. Ces éléments font que les réservoirs d'eau souterraine y sont limités, à l'exception des unités hydrogéologiques de la chaîne calcaire, R'Mel, Rhis-Nekor, Martil-Allila et Oued Laou. Ainsi selon l'ABHL, les potentialités hydriques sont importantes dans la région du Nord et se présentent sous trois grandes unités hydrologiques (Figure II-22) :

- Zone du Loukkos : elle renferme essentiellement la nappe de R'Mel ,
- Zone du Tangérois : elle contient la nappe de Charf El Akab,

- Zone des bassins côtiers méditerranéens : elle se caractérise par Bokoya et la nappe de Rhis-Nekor.

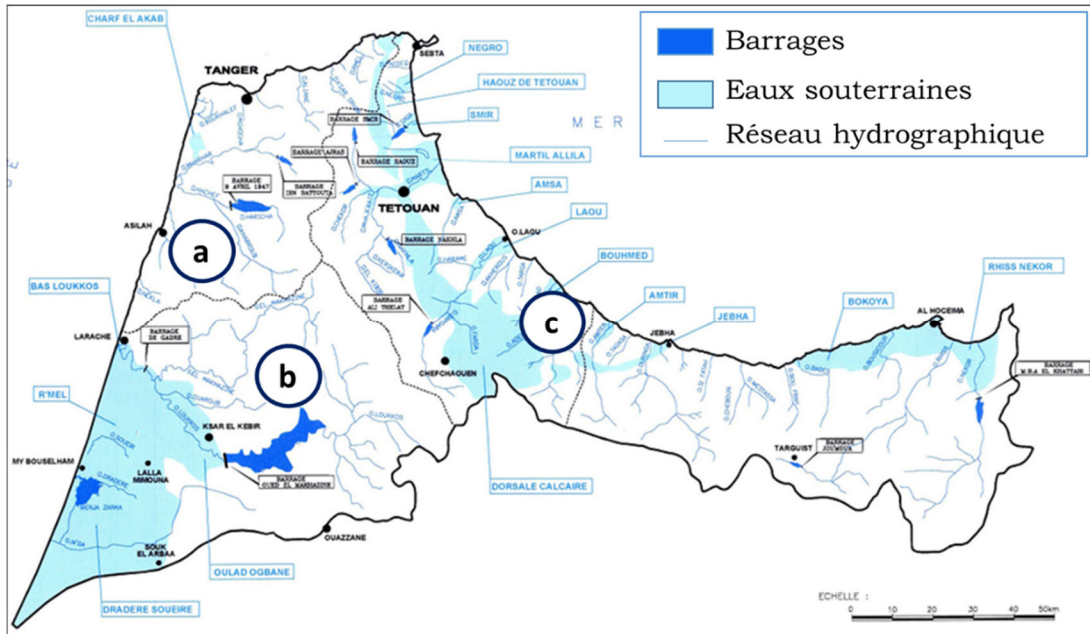


Figure II-22. Ressources en eaux souterraines de la zone Nord (ABHL, 2006) **a**) Zone du Loukkos ; **b**) Zone du Tangérois et **c**- bassins côtiers méditerranéens

La nappe alluviale de Rhis-Nekor (qui sera présentée dans le sous chapitre IV.2) est considérée comme l'un des aquifères les plus importants de la Méditerranée marocaine ; elle couvre environ 100 km² et joue un rôle important dans l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Al Hoceima (Figure II-23).

Selon *Salhi 2008*, l'alimentation de la nappe se fait principalement à travers des sous écoulements des oueds Rhis, Amekrane et Tifarouine, et par l'infiltration par irrigation. Les infiltrations des eaux de surface et des pluies directes ne jouent qu'un rôle tertiaire dans le processus d'alimentation de l'aquifère (Tableau II-7).

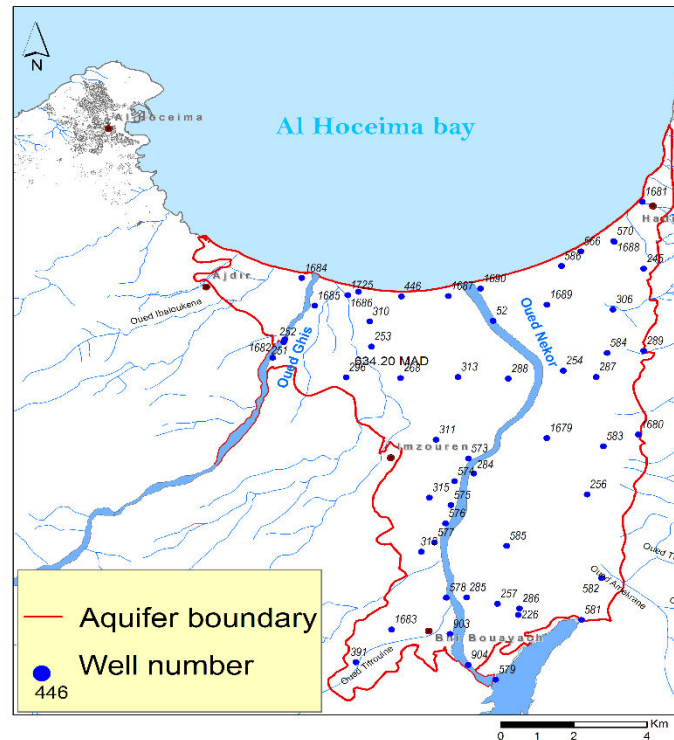


Figure II-23. Limite de la nappe alluviale de Rhis-Nekor

En ce qui concerne les sorties, le taux le plus élevé et celui partant vers la mer, ainsi que l'évaporation directe au niveau de la zone littorale, qui représentent un taux de 71,6 %. La différence entre les entrées et les sorties étant négative (-8,89 Mm³/an), elle peut être attribuée aux prélèvements agricoles qui surestiment les capacités actuelles de la nappe (Salhi 2008) (Tableau II-7).

Les entrées	Volumes en Mm ³ /an
Apport des sous écoulement des oueds	12,9
Infiltration des eaux superficielles	2,5
Infiltration efficace des eaux pluviales	1,09
Infiltration des eaux d'irrigation	6,56
Total entrées (Mm/an)	23,05Mm
Les sorties	Volumes en Mm ³ /an
Sortie naturelle vers la mer	14.06
Prélèvements AEP	1.24
Prélèvements agricoles	7.8
Évaporation dans la zone littorale	8.84
Total sortie	31.94 Mm3/an
Bilan	-8.89Mm

Tableau II-7. Bilan indicatif de la nappe de Ghis-Nekor.

L'exploitation des eaux de la nappe de Rhis-Nekor reste limitée en raison du taux de salinité de l'eau ; celui-ci varie selon les secteurs de 1,6 à 5 g/litre, surtout dans sa partie avale (ABHL2006). Les zones de faible minéralisation correspondent aux axes d'alimentation préférentiels situés le long des oueds Rhis et Nekor. (Cf. chapitre vulnérabilité de la nappe Rhis-Nekor à l'intrusion marine). En outre, cet aquifère montre une vulnérabilité à la pollution dans sa grande partie, avec les secteurs côtiers central et occidental les plus vulnérables (Salhi et al., 2008).

I.3. Particularités biologiques

En terme de biodiversité dans la région d'Al-Hoceima, deux grandes unités apparaissent dans la région d'Al Hoceima (Figure II-24) : la baie d'Al Hoceima et le Parc National d'Al Hoceima (PNAH) ; même si ce dernier est situé en dehors de la zone d'étude, il constitue une partie intégrante de la zone en termes de biodiversité. Les données relatives à la biodiversité du PNAH, exploitées ici, proviennent essentiellement des investigations réalisées dans la cadre du plan directeur d'aménagement et de gestion du PNAH (Plan Bleu/METAP-SECA, 1993), en 2002 dans le cadre du projet MEDMPA, en 2009 dans le cadre du projet PAC-Maroc et dans le cadre du projet européen (PEGASO 2010-2014)

Le Parc national d'Al Hoceima, d'une superficie de 48000 ha, englobe une partie terrestre, le massif des Bokkoyas, et une partie située en mer. La baie d'Al Hoceima englobe les sites côtiers, des plages sableuses, de hautes falaises et la plaine de Rhis-Nekor.

La région d'Al Hoceima, reste ainsi l'un des sites les plus importants du point de vue environnemental et écologique, du fait de son emplacement au cœur de la mer méditerranéenne et de la présence d'une flore et d'une faune endémique riches ou en voie de disparition dans le monde.

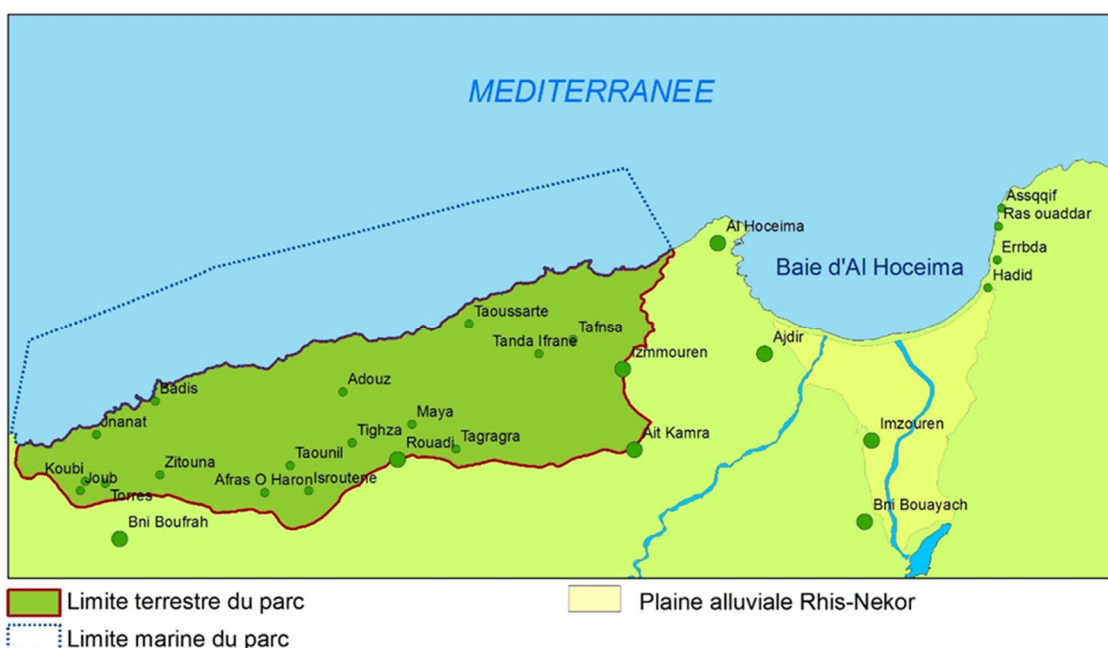


Figure II-24. Parc national et la baie d'Al Hoceima

I.3.1. La faune

La faune terrestre est caractérisée par de nombreuses espèces d'oiseaux, recensées au sein du PNAH, et dont plusieurs comptent parmi les espèces les plus rares de l'avifaune méditerranéenne et sont inscrites sur de nombreuses conventions internationales visant leur protection. Parmi ces espèces emblématiques, constituant un enjeu de conservation à l'échelle internationale, on cite le *balbuzard pêcheur*, le *goéland d'Audouin*, le *faucon pèlerin*, l'*aigle de Bonelli*, l'*aigle royal*, l'*aigle botté*, l'*aigle impérial*, etc. Toutefois, il faut noter que d'autres espèces d'oiseaux littoraux ou continentaux du PNAH sont rares à l'échelle méditerranéenne et sont inscrites sur des listes rouges de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN).

En termes de mammifères, les espèces les plus communes sont le *lièvre*, le *lapin*, le *sanglier* et le *chacal*. D'autres espèces fréquentent le PNAH comme les *chauves-souris* (*petit murin*, *molosse de Cestoni*, etc.) et les micromammifères (*gerbille*, *souris sauvage*, etc.)

Les eaux marines du Parc National d'Al Hoceima sont très riches en espèces faunistiques et se caractérisent par la présence de plusieurs espèces endémiques des régions de l'Atlantique est et du Sud de la Méditerranée, en témoignage de l'influence de la proximité du détroit de Gibraltar. Parmi cette faune, de nombreuses espèces possèdent une valeur patrimoniale remarquable et sont inscrites sur de nombreuses listes internationales d'intérêt pour la conservation. Les eaux de la baie d'Al Hoceima, comme celles du parc, se distinguent par une limpidité favorisant une importante richesse de la faune marine dont : de nombreux groupes marins formés de cnidaires, des annélides, des mollusques, des crustacés, des échinodermes, des poissons, des reptiles, des oiseaux et des mammifères marins. La présence simultanée dans le parc de trois espèces de dauphins, dauphin commun, dauphin bleu et blanc et grand dauphin, constitue un fait remarquable en Méditerranée. Cette baie d'Al Hoceima compte également de nombreuses îles, sites de nombreuses espèces endémiques

I.3.2. La flore

Plus d'une centaine d'espèces végétales sont connues dans la partie terrestre du PNAH. Parmi ces espèces, neuf légumineuses s'avèrent les plus importantes. Il s'agit de *Tetraclinis articulata* (*Thuya de Berbérie*), *Pinus Helepenensis* (*Pin d'Alep*), *Pistacia lentiscus* (*Lentisque*), *Olea europea subsp. Sylvestris* (*Olivier sauvage* ou *Oléastre*), *Eratonia siliqua* (*Caroubier*), *Quercus coccifera* (*Chêne Kermès*), *Quercus rotundifolia* (*Chêne vert*), *Chamaerops humilis* (*Doum* ou *Palmier nain*) et *Ziziphium lotus* (*Jujubier*). A ces espèces ligneuses s'ajoute l'*alfa* (*Stipa tenacissima*), herbacée largement répandue dans le massif des Bokkoyas.

En terme d'habitats, dans les 3 grands ensembles (le littoral, les Bokkoyas et la zone marnoschisteuse) huit faciès sylvo-pastoraux ont été identifiés. Mais suite aux conditions du milieu difficiles et à la forte pression anthropique, l'ensemble du contenu végétal se trouve dans des conditions de surexploitation ou de régression remarquable.

Pour la flore marine, la région est située dans une zone proche de l'Atlantique d'où l'influence par les courants tourbillonnaires et richement peuplée par des espèces atlantiques. Ceci lui confère une situation singulière dans toute la Méditerranée. En effet, la flore marine benthique du Parc National d'Al Hoceima est composée de 264 taxons répartis entre trois groupes systématiques avec 57 de Chlorophyceae, 52 pour les Fucophyceae et 155 des Rhodophyceae (Benhissoune et al. 2001, 2002a et b et 2003). Parmi toute cette flore, de nombreuses espèces possèdent une valeur patrimoniale remarquable et sont inscrites sur de nombreuses listes internationales d'intérêt pour la conservation.

Les investigations réalisées dans le PNAH (MedMPA, 2002) ont révélé l'existence de trois types de fonds (fonds rocheux, fonds meubles et falaises sous-marines) qui forment des paysages à forte valeur paysagère puisqu'ils constituent les zones ayant la plus haute diversité d'organismes benthiques des fonds durs (forêts de fucales, biocénoses coralligènes, etc.).

Par cette richesse faunistique et floristique, la baie avec le parc National d'Al Hoceima constituent tous deux un biotope côtier exceptionnel. Néanmoins, la région a connu au cours des dernières décennies un développement très important au niveau de l'urbanisation, du tourisme, de la pêche, du réseau routier (rocade méditerranée), dont l'impact risque, sans aucun doute, de détériorer l'équilibre environnemental de cette zone.

I.4. Contraintes et risques naturels

La zone côtière est un espace en perpétuelle évolution qui se modifie selon les caprices de la nature (érosion, tempêtes catastrophique, Tsunamis, changement climatique) ou du fait des activités humaines. Cette évolution fait que les populations, leurs propriétés, et la flore et la faune sont exposés à des risques accrus aux catastrophes naturelles comme les inondations, les glissements de terrain et les accidents de pétroliers...etc. Pour réduire le risque et les répercussions des catastrophes naturelles, ces risques doivent être évalués et gérés. En effet, on sait que pour lutter efficacement contre les risques il faut d'abord comprendre pour pouvoir ensuite anticiper. D'où la nécessité de gestion des risques côtiers dans des approches globales et intégrées tel le cadre de la GIZC.

Dans la Méditerranée Marocaine occidentale en général et dans le Rif en particulier, les mouvements tectoniques actuels évalués ont permis l'individualisation dans le Rif de trois blocs cinématiquement distincts (Tahayt, 2008) notamment, le bloc de Tanger (Rif septentrional), un autre central et le plus oriental bloc du Rif. Dans ce dernier se localise la région d'Al Hoceima, qui à l'image du pourtour méditerranéen (zones d'articulation des plaques Afrique-Ibérie-Eurasie) et par ses caractères géographiques, géologiques et climatiques, reste une zone exposée aux contraintes naturelles. La prise de conscience de ces risques est due à la croissance de l'anthropisation. En effet, les activités et les installations peuvent aggraver ou générer certains risques.

Généralement dans cette région, on y distingue des risques géologiques, géomorphologiques ainsi que des risques climatiques et hydroclimatiques qu'on développera ci-après.

I.4.1. Risques sismiques

Le risque géologique, qui résulte de la structure de la chaîne alpine, de la chaîne rifotellienne d'Afrique du Nord et des mouvements de l'écorce terrestre, constitue dans le Rif un risque sismique. En effet, la région d'Al Hoceima, située dans le Rif central, est parmi les zones les plus actives de la Méditerranée occidentale et aussi reconnue parmi les zones les plus sismiques du Maroc (Cherkaoui et Harnafi, 2004), en raison de sa situation dans la zone frontière entre les plaques Eurasie et Afrique.

La zone d'étude est située entre deux grandes failles de décrochement senestre : l'accident de Jebha de direction N70° et la faille de Nekor N50° (Figure II-25), le long desquelles les nappes du Rif ont été transportées vers l'WSW par un décrochement senestre durant le Miocène (Leblanc & Olivier, 1984 ; Frizon de Lamotte et al, 1991). L'activité sismique dans cette région est caractérisée principalement par des failles de décrochement et des failles normales à tendance NE-SW à NW-SE (Hatzfeld et al, 1993; Calvert et al, 1997).

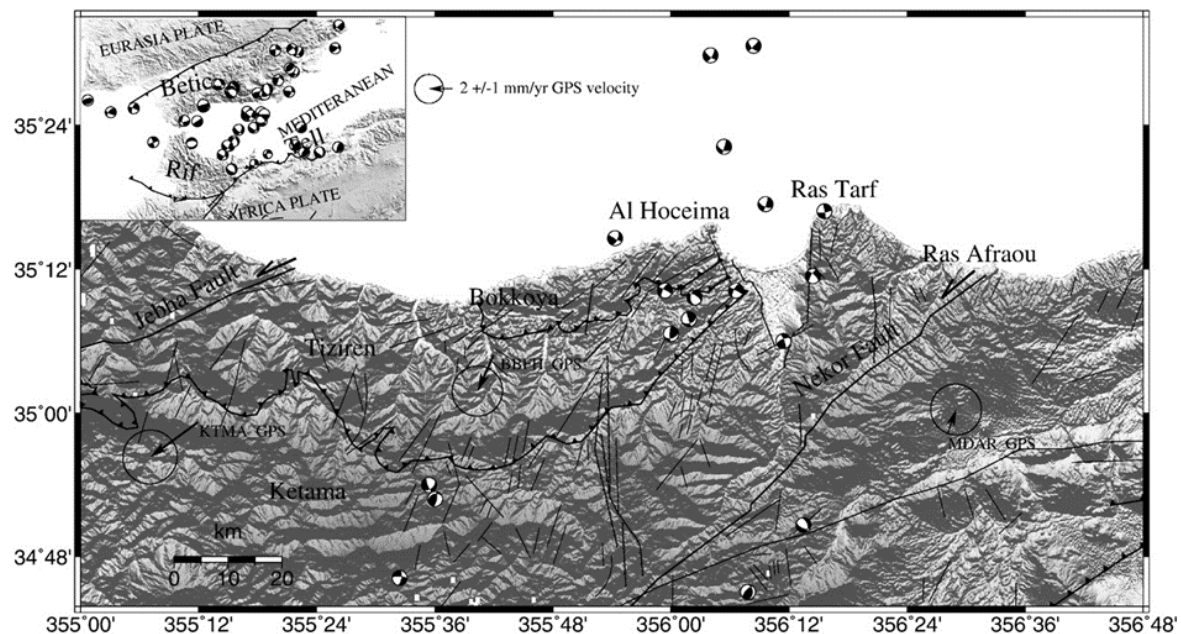


Figure II-25. Cadre tectonique de la zone d'Al Hoceima (Tahayt et al. 2009)

Historiquement, la zone d'Al Hoceima a connu de nombreux tremblements de terre désastreux. Des séquences notables en 1522 (importants dégâts à Badis), en 1624, en 1791 et en 1800-1802 ont été rapportées par *El Mrabet* (2005). Les séismes les plus récents sont ceux du 26 mai 1994 et celui du 24 Février 2004 ; ce dernier, de magnitude 6,3 sur l'échelle de Richter, a été le plus catastrophique et le plus présent dans les mémoires, avec un bilan de 629 morts, de 966 blessés et de 2539 constructions détruites ou endommagées, dont 2498 en milieu rural et 41 en milieu urbain, essentiellement à Imzouren, faisant alors plus

de 15600 sans-abri ainsi que des dégâts matériels considérables (Figure II-27). C'est la première fois, depuis le séisme d'Agadir de 1960 (magnitude de 5,9), qu'un séisme d'une telle force fait autant de morts et de dégâts au Maroc. Ce bilan a été amplifié par le caractère du milieu physique et socio-économique ainsi que de la vulnérabilité des constructions et de la population exposée. L'épicentre du séisme a été localisé à 19 km au Sud-Ouest de la station balnéaire, quelque part entre Imzouren et Aït Kamra, les deux localités urbaine et rurale les plus touchées (Cherkaoui et Harnafi, 2004)

Ce tremblement de terre a été suivi d'un nombre important de répliques (Figure II-26) durant la première semaine avec des magnitudes allant de 3.1 à 6.3 sur l'échelle de Richter (Cherkaoui 2012).

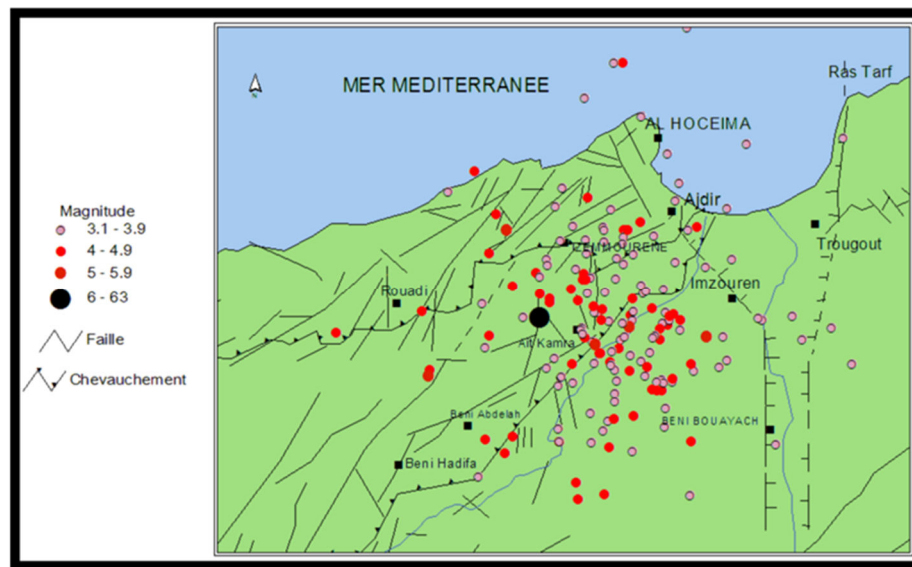


Figure II-26. Localisation des répliques du séisme d'Al Hoceima du 24 février (Cherkaoui 2012) <http://www.everynewweb.com/mtcherkaoui>

Les secousses sismiques sont souvent accompagnés de mouvements de masse, de ruptures de surface voire de glissements de terrain et d'écroulements de falaises.



Figure II-27. Exemple de cas de dommages des constructions en milieu rural (a- Aït Kamra) et urbain (b- : Imzouren) dans la région d'Al Hoceima - séisme du 24 Février 2004.

<http://www.structureparasismic.com/VAHPerteNiv.html>

Très récemment, en octobre 2012, une secousse de magnitude 3,6 sur l'échelle de Richter, a été enregistrée, dans la région, et selon l'Institut National de Géophysique (ING), l'épicentre de la secousse était situé très au large d'Al Hoceima. Un tel séisme localisé en milieu marin est capable de générer un tsunami par simple transmission de la déformation cosismique à la masse d'eau sus-jacente.

I.4.2. Risques de tsunami

Un tsunami est un train de vagues créé le plus souvent par un séisme sous-marin ou une éruption volcanique. En Méditerranée, les mouvements tectoniques y sont fréquents et le plus gros risque est lié aux glissements de terrain et aux tremblements de terre sous-marins. En effet, dans la partie occidentale, des tsunamis ont souvent suivi un séisme ou un glissement de terrain sous-marins (Terrier et al., 2007) dont le plus important s'est produit en 1979 (RzaKiewicz et al., 2000). Il fût associé au glissement de terrain de l'aéroport de Nice. Après une baisse relative du niveau de la mer, un raz de marée de plusieurs mètres a submergé le littoral et une vague de plusieurs mètres de haut a déferlé sur Antibes. Le second tsunami, plus récent, est issu de la marge nord-africaine est celui associé au séisme de Zemmouri-Boumerdès en Algérie. Il date de 2003 (Mw = 6.9) et des vagues hautes de plus de deux mètres ont atteint les îles Baléares.

Bien que ne se situant pas dans une zone où les tsunamis sont fréquents comme cela peut être le cas dans le Pacifique, le littoral marocain méditerranéen a tout de même été sujet, par le passé, à quelques tsunamis d'amplitude plus ou moins importante. Dans la région d'Al Hoceima, deux événements anciens semblent avoir généré des tsunamis. Le premier séisme de 1522 provoquant des vagues hautes ; celles-ci ont été observées au port d'Almeria, et sur la côte de Badis (située à quelques kilomètres de la baie d'Al Hoceimas), où elles ont inondé la plupart des villages (Varelas, 1984 ; Kaabouben, 2009). Le second aléa sismique date de 1680, son épicentre était situé près de Malaga, et a généré un tsunami sur les côtes sud de l'Espagne (montée des eaux de 5m dans le port de Malaga) et dans le nord du Maroc (El Mrabet, 1991).

L'intensité des activités sismiques de la Méditerranée fait des tsunamis un risque réel pour les pays riverains. Le déferlement sur les côtes, complètement inattendu, d'un gigantesque mur d'eau constitue une série de surcotes particulières qui ne sont pas sans impact sur le littoral et la population côtière.

I.4.3. Glissement de terrain et éboulement

La complexité géologique, la morphologie escarpée et les précipitations assez abondantes font du Rif une région où les glissements de terrain et les éboulements des parois rocheuses sont les plus fréquents au Maroc. Ils constituent les risques les plus importants (en extension et occurrence) après les séismes. Les éboulements et coulées de pierres peuvent être spectaculaires (Figure II-28). Les falaises, très abruptes, sont également souvent le siège d'une instabilité qui se manifeste par des mouvements en masse sous forme de glissement, éboulement, et parfois par des phénomènes de solifluxion et de ravinement (Margaa 1994, El khattabi 2001, Azzouz et al., 2002) Cette instabilité revêt beaucoup plus

d'importance dans les environs immédiats de la ville d'Al Hoceima, où elle peut avoir des conséquences directes sur les constructions urbaines (Margaâ 1994). Tels le cas à Cala Bonita où les glissements de terrain sont favorisés par la conjonction de plusieurs paramètres qui relèvent principalement des caractéristiques géologiques et structurales du Massif de Bokoya (Azzouz et al., 2002). Dans le cas du glissement de Tala Youssef, celui-ci s'associe à une importante faille normale d'orientation N70 dans le secteur de Tirhanimines (Azzouz et al., 2002). Par ailleurs, de nombreuses fissures fraîches se tracent en amont de cette zone et des paquets de terrain sont en déséquilibre potentiel. D'autres ruptures de surface ont été notées aussi suite au séisme de 2004. D'après *Tahayt, (2008)*, celles-ci se manifestent soit par des fentes de tensions, soit par des escarpements pouvant atteindre une centaine de mètres comme à Trougout.

Comparés aux séismes, si les dégâts en vies humaines sont peu fréquents, les mouvements de terrains ont néanmoins une incidence non négligeable sur les biens de la population et l'aménagement du territoire, puisqu'ils menacent directement les infrastructures de la région.



Figure II-28. Glissements de terrain dans la zone d'Al Hoceima observés sur imagerie Google earth

Comme cela a été décrit par Margaâ (1994), les glissements se concentrent à proximité des falaises ou le long des versants accidentés des principaux cours d'eau (Figure II-29). L'examen structural montre que les manifestations de cette instabilité, coïncident toujours avec la proximité des principales failles néotectoniques qui affectent le massif des Bokoya. En effet, de nombreux indices d'écroulement et d'éboulement se rencontrent tout au long de la côte. Leurs traces sont repérables par la fraîcheur des cicatrices d'arrachement. Ainsi, des rochers de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers de tonnes, provenant du démantèlement des falaises, jonchent la côte depuis Ajdir à l'est (baie d'Al Hoceima)

jusqu'à Torres à l'ouest. Toutefois, un grand nombre de blocs se détachent et tombent directement en mer.

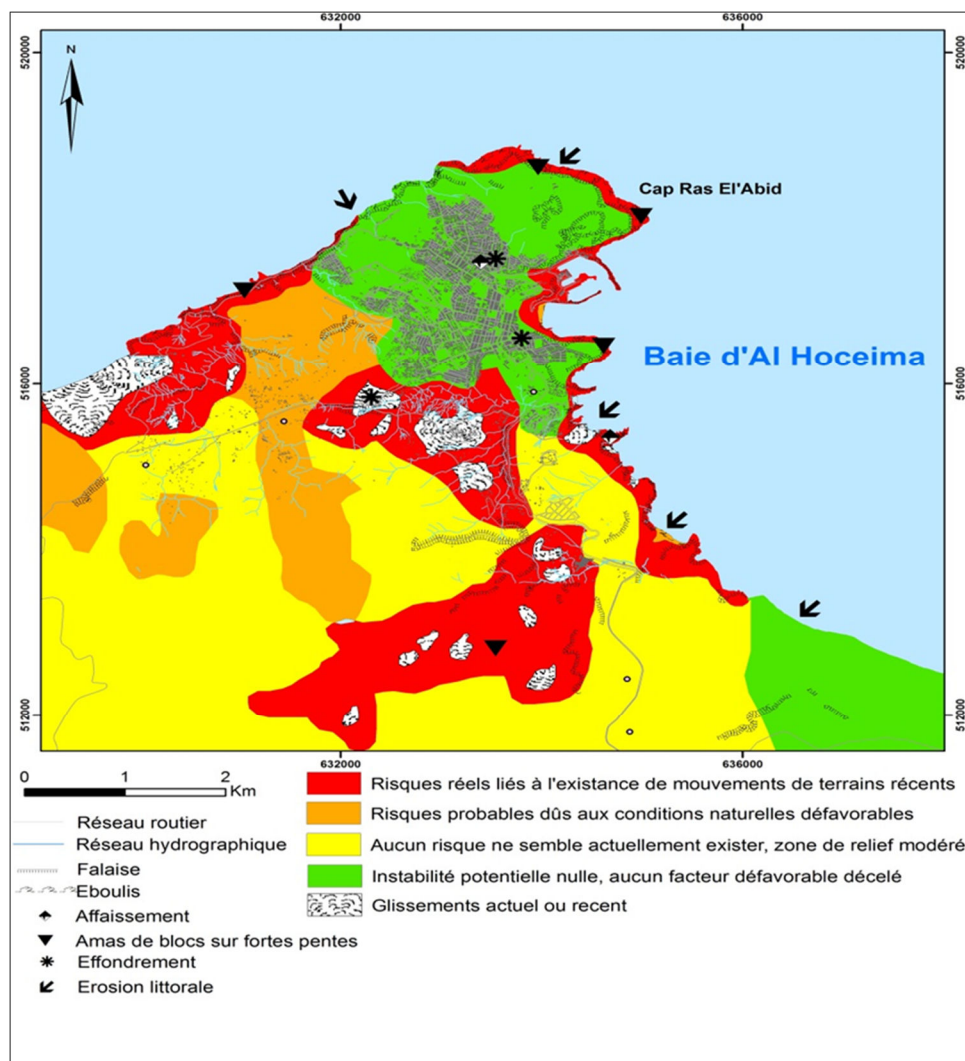


Figure II-29. Carte des zones exposées aux risques liés aux mouvements des sols et sous-sol (Margâa, 1994 ; modifiée)

I.4.4. Risques d'inondations

Le phénomène des inondations par les crues torrentielles constitue un risque hydroclimatique important qui est à l'origine de pertes considérables, humaines et matérielles dans le territoire d'Al Hoceima (Figure II-30). La dégradation du couvert végétal, le défrichement au niveau des bassins versants, amplifiés ces dernières années par les travaux d'aménagement de la rocade méditerranéenne, ont accentué l'intensité des crues et augmenté le risque d'inondations, particulièrement en périodes de précipitations hivernales.

Selon l'Agence du bassin hydraulique du Loukos (ABHL), la province d'Al Hoceima contient plus de 10 sites à risque d'inondation, parmi eux celui du bassin versant de Rhis-

Nekor, principalement dans les communes littorales d'Ait Youssef ou Ali et Trougout, où le risque serait très élevé.



Figure II-30. Exemples des dégâts des zones sinistrées par les inondations dans la région d'Al Hoceïma en 2003 (a) et 2010 (b-plaine de Rhis-Nekor)

I.4.5. Sécheresses et pénurie d'eau

L'augmentation des épisodes de sécheresse est depuis longtemps reliée à la variabilité climatique caractéristique de la région méditerranéenne. Elle est cependant depuis peu perçue comme l'une des conséquences du changement climatique. Selon une nouvelle étude réalisée par le Centre National des États-Unis pour la Recherche Atmosphérique (Dai, 2011), ces périodes de sécheresse de plus en plus nombreuses, pourraient avoir un impact sérieux d'ici les années 2030. Au Maroc, comme nous l'avons déjà évoqué au chapitre 1, une réduction moyenne du volume annuel des précipitations est prévue. Celle-ci concernerait à la fois l'hiver et l'été et serait associée à un réchauffement estimé de 3°C à 4°C à l'échelle annuelle (Driouech 2010).

Dans la région d'Al Hoceïma où les ressources en eau sont peu valorisées (un seul barrage, en partie envasé, et qui dessert 10 communes, une seule nappe contaminée par endroits) et où la demande est de plus en plus croissante, elles se trouvent déjà à la limite de la couverture des besoins. La récurrence des sécheresses risque par conséquent d'entraîner un stress hydrique important pouvant s'aggraver avec l'installation d'infrastructures touristiques, grandes consommatrices d'eau, programmées dans la zone d'Al Hoceïma.

I.4.6. Érosion des sols et des côtes

Dans la région d'Al Hoceima, l'érosion affecte les $\frac{3}{4}$ du bassin versant du Nekor et la dégradation de 6.000 t/km² qui touche cette zone (Menioui 2007), compte parmi les plus fortes du pays. Les causes en sont multiples, mais les principales demeurent : un substrat géologique et un sol facilement érodables, la déforestation, la pluie, souvent sous forme d'averses torrentielles, la sécheresse qui affecte la végétation dans une grande partie de la zone et laisse des sols nus ; les fortes pentes et les longs versants, sans oublier des techniques agricoles et d'élevage traditionnelles et non adaptées et bien sûr sans omettre la pression démographique croissante sur les ressources limitées de la zone.

La perte de sol entraîne automatiquement la perte des couches arables, la perte de la fertilité, de la productivité et, par conséquent, de sources de revenus pour les populations rurales locales. Les résultats sont donc des "abandons de sols", une "augmentation de la pauvreté", une perte de la qualité des paysages et de l'attractivité du territoire et, par conséquent, des impacts négatifs sur l'environnement aussi bien terrestre que côtier ainsi que sur la qualité de vie des citoyens.

Quant à l'érosion côtière, elle constitue un autre aléa affectant le littoral d'Al Hoceima et qui risque de s'amplifier d'une part avec l'élévation du niveau de la mer prévue avec le réchauffement climatique et d'autre part avec les projets des complexes balnéaires programmés dans la région. Cet aspect sera largement développé dans le chapitre III.

I.5. Conclusion

À travers cet aperçu sur l'environnement physique de la zone d'étude, il ressort que le littoral de la baie d'Al Hoceima possède des caractéristiques géomorphologiques, géologiques et hydro-climatologiques particulières. Les principaux traits physiques sont : l'enclavement de la baie, les falaises abruptes et les nombreux talwegs qui débouchent en mer, ainsi qu'une grande plaine alluviale, celle-ci renferme un important aquifère, et qui malgré le barrage de l'Oued Nekor, est encore alimenté par l'oued Rhis. Ces différentes entités font que la région se trouve exposée à de nombreux aléas géologiques et climatiques, justifiant ainsi la nécessité de procéder à l'évaluation de la vulnérabilité physique de cette zone, notamment dans le contexte de réchauffement climatique. Sur le plan de la biodiversité, cette zone et ses environs comptent parmi les aires les plus riches et les plus diversifiées du Nord du Maroc, mais elle semble toutefois exposée à de plus en plus de pressions anthropiques qui pèsent sur les habitats et les ressources naturelles de la région.

II. État des lieux socio-économiques

II.1. Caractéristiques démographiques et socio-économiques

La baie d'Al Hoceima se trouve à cheval entre deux provinces : celle d'Al Hoceima et celle de Driouch. Seules, la commune urbaine d'Al Hoceima, et les communes rurales d'Ait Youssef Ou Ali, de Trougout, et d'Oulad Amghar appartiennent à la zone côtière, objet de cette étude. Par ailleurs, les communes urbaines d'Imzouren et Bni Bouayach, sont pris en considération dans cette analyse, vu leurs importances démographiques et leurs influence environnementale et économique sur le littoral de la baie d'Al Hoceima.

II.1.1. Caractéristiques démographiques

L'effectif de la population totale dans la province d'Al Hoceima a augmenté entre 1996 et 2004 ; il est passé de 391 000 habitants en 1996- sans compter les 65000 marocains résidents à l'étranger (MRE)- à 395 644 en 2004, avec un taux d'accroissement annuel très faible de 0,3 % en 2004 d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) (Figure II-31a).

Dans la province de Driouch, d'après le même recensement, l'effectif de la population totale a baissé entre 1994 et 2004 ; il est passé de 257 531 à 222 987 habitants avec 20% en milieu urbain et 80% en milieu rural. Le taux d'accroissement est de -1.27 % (Figure II-31b). La densité y est la plus forte au niveau régional, avec 75,79 habitants au Km² (RGPH ; 2004). Cette province comprend des ressources humaines les plus importantes de la région notamment une forte présence des MRE pendant la période estivale.

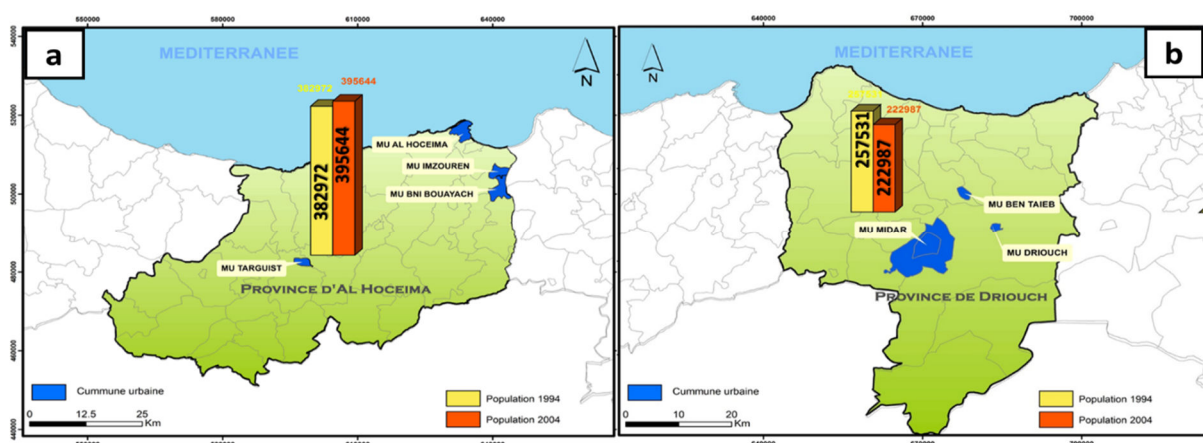


Figure II-31. Évolution de la population dans les provinces d'Al Hoceima (a) et Driouch (b) entre 1994 et 2004 d'après le RGPH.

Dans la zone d'étude, la principale agglomération est la ville d'Al Hoceima avec un peu plus de 55300 habitants, viennent ensuite celles d'Imzouren et de Bni Bouayach avec

respectivement 26570 et 15500 habitants (RGPH ; 2004). Quant aux communes rurales, les plus peuplées sont dans l'ordre décroissant : Aït Youssef Ou Ali (16500 hab.), Trougout (11550 hab.) et Oulad Amghar (6350 hab) (RGPH ; 2004). La municipalité d'Al Hoceima, et la commune rurale de Trougout connaissent une stagnation démographique alors qu'à Oulad Amghar, le nombre d'habitants a baissé (Figure II-32). Cette stagnation de population peut s'expliquer *i*) par les contraintes du milieu physique : En effet, le caractère accidenté et rocheux de la côte d'Al Hoceima rend coûteuse toute extension urbaine. En plus du risque sismique qui frappe toute la région, les risques d'effondrement ou de glissement de terrain *ii*) De nombreux habitants ont préféré quitter la zone pour aller s'installer dans des régions plus sûres. Les flux migratoires qu'émet le Rif Central, notamment la région d'AL Hoceima, vers Tanger, Tétouan, Taza, ou encore Fès, et aussi vers l'étranger (Allemagne, Hollande, Espagne, ...etc) remonte bien à une date antérieure au séisme de 2004. *iii*) La ville d'Al Hoceima est aujourd'hui une ville saturée comparativement à ses capacités d'accueil.

Toutefois, il faut noter que la population de cette région augmente de façon remarquable pendant la période estivale en raison du retour des MRE au pays pour les vacances et aussi l'arrivée des estivants.

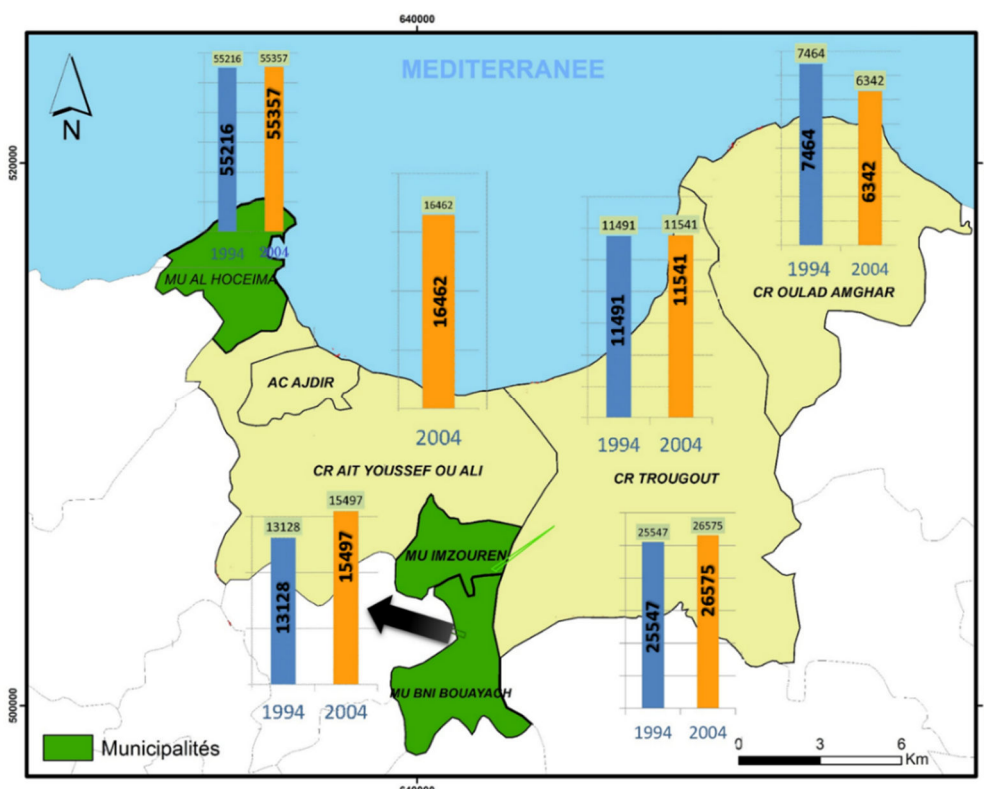


Figure II-32. Évolution de la population des communes côtières de la baie d'Al Hoceima de 1994 et 2004

La structure démographique est de type pyramidal, comme partout au Maroc, où la majorité de la population est jeune comme le démontre les RGPH de 1994 et 2004 (43 % et 29 % respectivement des individus d'âge inférieur à 15 ans). Les projections de la population, selon le Centre d'Études et de Recherches Démographiques (CERED), indiquent une augmentation de la démographie au niveau des 3 grandes agglomérations de la zone d'étude avec un taux d'accroissement qui est passé de 0.03% (1994-2004) à 0.9% pour la période (2004 – 2014) pour la municipalité d'Al Hoceima, de 1,7% à 2,5% à Beni Bouayach et de 0.4% à 1.3 % à Imzouren (Figure II-33).

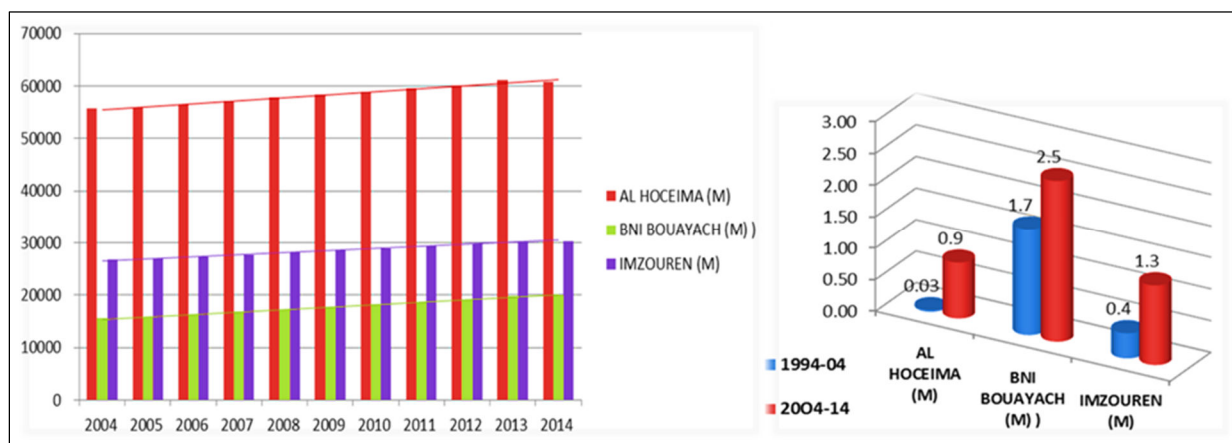


Figure II-33. Projection de la population et de taux d'accroissement dans les 3 principaux centres urbains de la zone d'étude- d'Al Hoceima, Beni Bouayach et Imzouren- 1994-2004 et 2004 à 2014.

Le taux d'analphabétisme, très élevé, dépasse la moyenne nationale surtout au niveau des communes rurales de la région d'étude. Cependant, il diminue au niveau des centres urbains et chez la population masculine (Figure II-34). Celle-ci reste toujours plus favorisée en ce qui concerne l'accès à l'instruction surtout en premier cycle de l'enseignement fondamental. Ceci est observé par le taux de la population qui atteint l'enseignement supérieur ; le nombre de femmes est moins de la moitié de celui des hommes.

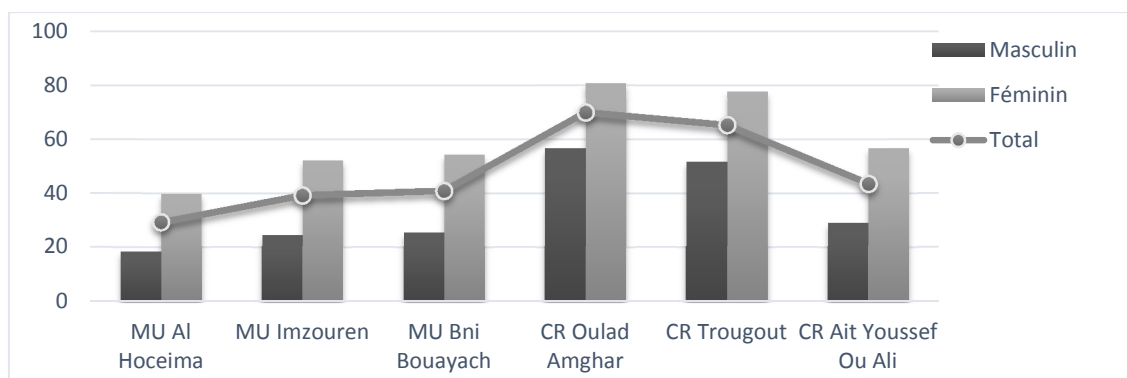


Figure II-34. Taux d'analphabétisme dans la zone d'étude.

Les deux provinces gardent un caractère rural très prononcé. Cependant du fait de l'accroissement et de l'exode rural, le mouvement de l'urbanisation connaît une expansion très marquée depuis l'indépendance du Royaume. Au niveau de la province d'Al Hoceima le taux d'urbanisation est passé de 9% en 1964 à 30% en 2004. Néanmoins, malgré les potentialités de développement dont cette région jouit (diversité paysagère, infrastructure portuaire et aéroportuaire, un parc national...), elle reste encore une des provinces du Nord du Maroc la moins urbanisée. Certes les facteurs géographiques et géomorphologiques ont fortement contribué à ce retard d'urbanisation, mais viennent s'ajouter à cela les réalités sociales, politiques et économiques de la région, conjuguée à un type d'organisation spatiale particulier.

Il n'en demeure pas moins que la littoralisation et la densification du littoral sont très marquées surtout au niveau de la baie et de la municipalité d'Al Hoceima ; cette dernière est aujourd'hui une ville saturée comparativement à ses capacités d'accueil. En effet, ni son niveau d'équipement, ni sa base économique peu diversifiée, ne sont en mesure de supporter une urbanisation excessive.

En outre, l'afflux vers les côtes a engendré non seulement un important déséquilibre démographique et économique entre le littoral et les zones intérieures, mais aussi une dégradation forte de l'environnement dans cette zone.

II.1.2. Activités économiques

Au niveau de la province d'Al Hoceima, la population active est passée de 28.3% en 1994 à 34.1% en 2004. La vocation agricole, l'élevage, la pêche maritime et le secteur forestier sont les principales activités économiques dans la province avec 60.9 % de la population active qui tire sa subsistance des ressources produites par ces secteurs (Figure II-35). Le commerce, les services et le secteur de construction et des travaux publics (BTP) arrivent en second lieu avec respectivement 12 %, 9 % et 8 %. Le reste des activités économiques n'affecte qu'une portion minimale ne dépassant guère les 10 % de la population active (RGPH 2004).

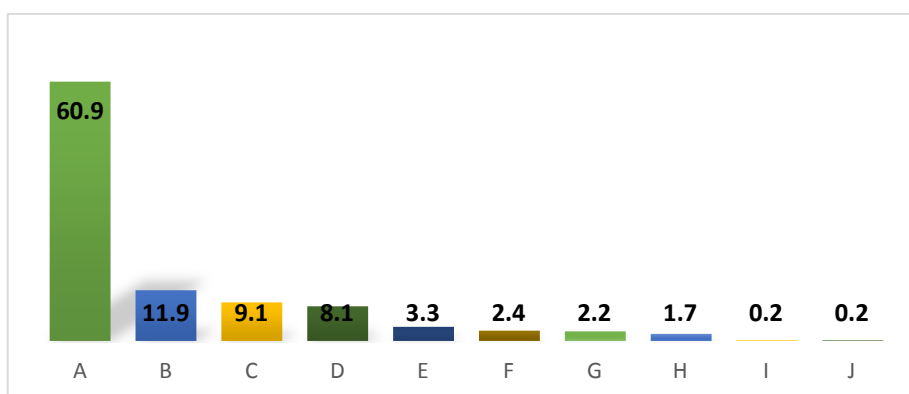


Figure II-35. Nature des activités économiques dans la province d'Al Hoceima

A : Agriculture, élevage, pêche maritime et forêt ; B : Commerce ; C : Services ; D : B.T.P. ; E : Industrie ; F : Transport et télécommunications ; G : Autres activités ; H : Administration ; I : Eau, électricité et éneraie ; J : Mines.

Cependant si le secteur premier constitue l'activité prépondérante des communes rurales, dans les communes urbaines de la zone d'étude, le commerce et services, le BTP et l'administration demeurent parmi les principales activités. (Figure II-36).

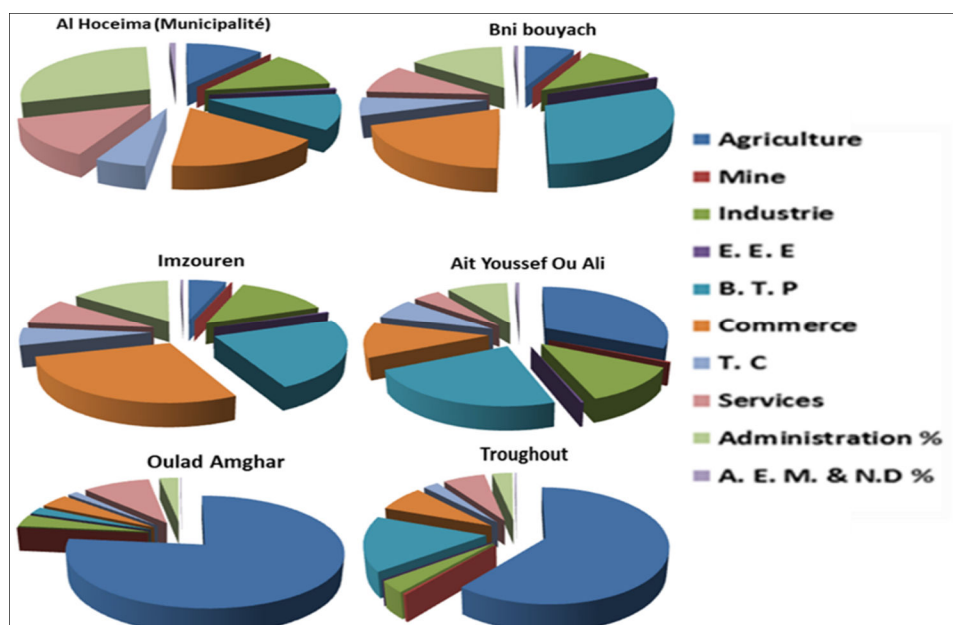


Figure II-36. Principales activités économiques dans la zone d'étude

Bien que la majorité de la population active travaille dans le secteur primaire, celui-ci reste loin de suffire aux besoins de la zone d'étude et incapable de promouvoir les conditions nécessaires pour une relance économique au niveau local et moins encore produire des matières premières en abondance pour le secteur secondaire (industrie). Les seules activités qui connaissent une expansion incessante sont le bâtiment et travaux publics, le commerce et les services. En effet, la majorité des opérateurs économiques s'orientent soit vers le BTP du fait que la région s'urbanise sans cesse, que la production des matériaux de construction se fait localement (briqueteries, carrières...) et que les MRE originaires de la région n'investissent que dans ce domaine.

II.1.2.1. L'agriculture et pêche

Bien que la majorité de la population active travaille dans le secteur primaire, celui-ci reste loin de suffire aux besoins de la zone et semble incapable de promouvoir les conditions nécessaires pour une relance économique au niveau local, et encore moins de produire des matières premières en abondance pour le secteur secondaire (industrie). Les seules activités qui connaissent une expansion incessante sont le bâtiment et travaux publics, le commerce et les services. En effet, la majorité des opérateurs économiques s'orientent vers le BTP du fait que la région est en plein essor urbanistique, que la production des matériaux de construction se fait localement (briqueteries, carrières...) et que les MRE originaires de la région investissent préférentiellement dans ce domaine.

II.1.2.2. L'agriculture

La province d'Al Hoceima recèle d'importantes potentialités et opportunités de développement agricole aussi bien dans le secteur de la production végétale que dans le domaine de l'élevage. La production des céréales occupe la 1^{ère} place dans la production végétale selon les résultats de Recensement Général Agricole (RGA) (50,4% de la SAU au niveau de la province). L'amandier qui occupe une superficie de 22.300 ha (66% des superficies réservée aux plantations) reste l'espèce arboricole privilégiée dans la province du fait de son adaptation aux conditions pédoclimatiques. Pour les plantes aromatiques et médicinales, un volume de 400 tonnes a été collecté dans le cadre d'un programme prévisionnel d'activité en régime de croisière pour la réalisation de projets pilotes (source APDN). Le cheptel bovin laitier est caractérisé par la dominance des races améliorées et pures dont la productivité moyenne est de 4500-5000 kg/vache/lactation. Enfin, la filière de l'apiculture compte actuellement 9730 ruches dont 3.350 modernes produisant 48 tonnes de miel.

Au niveau de la zone d'étude l'agriculture et l'élevage demeurent les principales activités dans les communes rurales d'Ait yousef ou Ali et Trougout qui couvrent les territoires de la plaine agricole de Nekor. Les exploitations agricoles sont dominées par la petite exploitation notamment de céréales et de plantations fruitières, ensuite viennent les légumineuses alimentaires et enfin les cultures fourragères et maraichères. Toutefois il faut noter que le Rif est une région essentiellement agricole, avec peu d'industrie. Mais en même temps, les sols y sont pauvres, les pentes fortes, l'érosion active sous toutes ses formes (ravinelements, glissements de terrain, éboulements) et accélérée par les défrichements liés à la forte densité de la population. La mise en culture est donc extrêmement difficile et peu rentable. Par ailleurs, l'agriculture étant très subsidiaire, elle ne fait que favoriser la culture du cannabis dans certaines régions.

II.1.2.3. La pêche

La pêche maritime constitue une activité socioéconomique prépondérante dans la région. Selon la délégation de la pêche maritime d'Al Hoceima, Le port est classé à la 5^{ème} position au niveau national du point de vue rendement halieutique. En outre, cette région est connue par la qualité de son poisson, plus particulièrement les poissons pélagiques. La production maximale est enregistrée durant les mois de décembre, Mai et octobre. Les prises les plus faibles sont enregistrées durant les mois de février et mars, qui connaissent généralement des conditions météorologiques très défavorables et par conséquent une réduction des sorties en mer (MedMPA, 2004). La flotte côtière immatriculée à la Délégation régionale d'Al Hoceima est composée de 133 unités, réparties entre neuf catégories et employant quelque 2.200 marins. Parmi ces unités, il y a 40 sardiniers, 17 chalutiers, 31 palangriers et trois corailleurs. La province d'Al-Hoceima dispose aussi d'un village de la pêche artisanale à Cala Iris.

La baie d'Al-Hoceima et son large se distinguent par une richesse marine halieutique (Figure II-37). Les ressources exploitées au niveau de la zone sont essentiellement les

démersales, les petits pélagiques, les grands pélagiques et les petits thonidés, ciblés respectivement par les chalutiers et les barques, par les sardiniers et par les palangriers (MedMPA, 2004). Quant aux engins de pêche utilisés, ils sont diversifiés et dépendent du type de la flottille et de la période de pêche : la senne tournante, le chalut, le filet maillant dérivant, la palangre, le trémail et la ligne à main.

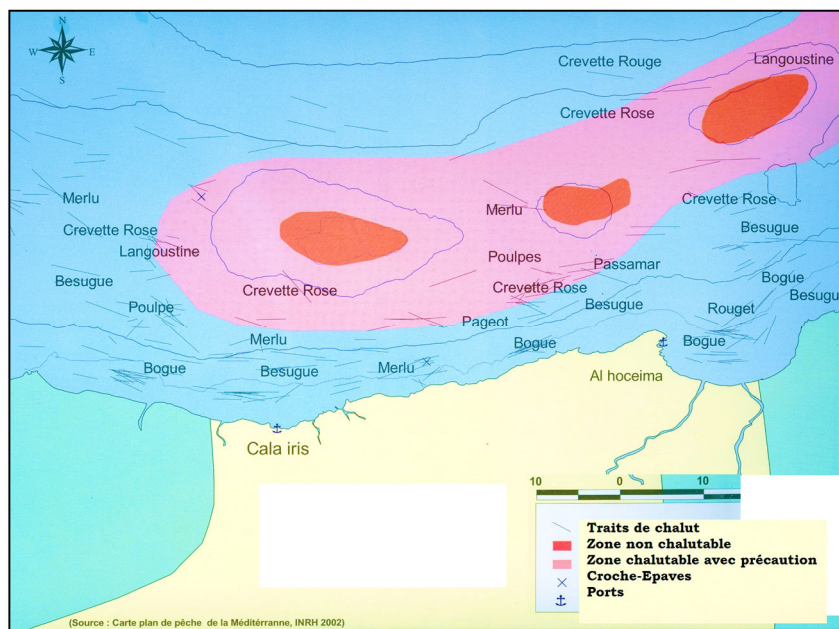


Figure II-37. Carte montrant les types de ressources marines au large de la baie d'Al Hoceima (INRH 2002)

L'écosystème marin de toute la Méditerranée est doté d'une richesse importante, mais qui reste très fragile en même temps, ce qui exige une gestion avertie des stocks marins. En effet, selon les associations locales, l'exploitation irresponsable des ressources halieutiques (pêche dans de zones de reproduction des poissons, chalutage illégal, pêche des poissons de taille minima, pêche à la dynamite et aux substances chimiques...) met sérieusement en péril le stock de poissons dans la baie d'Al Hoceima. En conséquence, Avec l'assistance d'organismes internationaux et nationaux, les pêcheurs ont pris conscience de la nécessité de suivre des formations adaptées en vue d'optimiser la qualité et la quantité de leurs produits de pêche, tout en assurant la pérennité des stocks de la côte méditerranéenne.

II.1.2.4. Le tourisme

Dans la zone d'Al Hoceima, le tourisme est considéré comme la seconde activité économique de la région après la pêche et l'agriculture. Les richesses paysagères particulières de la région, représentée, par la contiguïté entre la mer et la montagne, avec la présence de falaises vertigineuses tombant à pic dans la Méditerranée, les magnifiques plages de la baie ainsi que le patrimoine historique et culturel et la variété de l'avifaune marine, font de la zone un potentiel touristique considérable. Al Hoceima est un lieu de villégiature assez populaire aussi bien pour les autochtones que pour les nationaux.

Orientée vers le tourisme, elle est une des stations balnéaire les plus fréquentées du Maroc. La venue massive pendant l'été des ressortissants et touristes intérieurs est favorisée par la multitude des belles plages et criques dans la région. En 2012, Al Hoceima a enregistré 26384 arrivées nationales et internationales avec 40838 nuitées (Figure II-38), ce qui correspond à une augmentation de 61% par rapport à 2010 (*Observatoire du tourisme*).

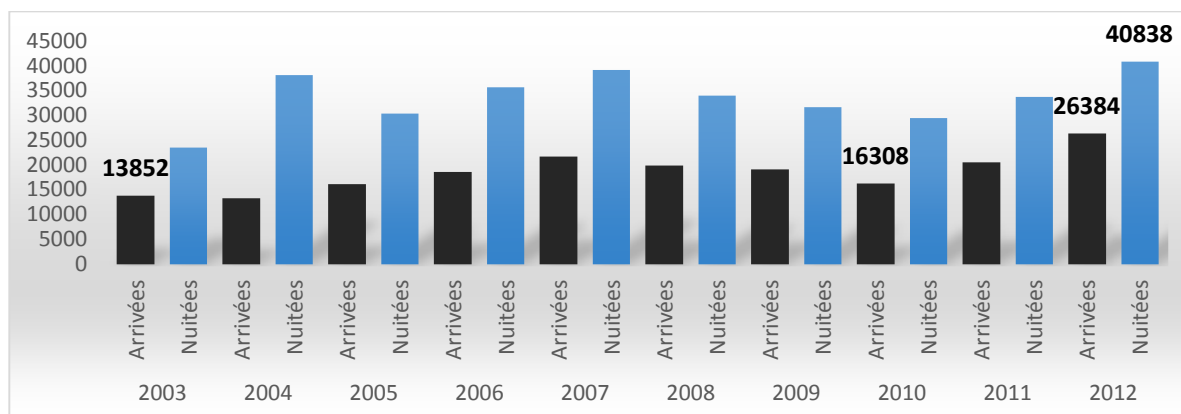


Figure II-38. Évolution des nuitées et arrivées dans la ville d'Al Hoceima (Source : *Observatoire de tourisme*)

Bien que la zone soit dotée de potentialités touristiques considérables d'un point de vue historique et culturel, qui pourraient attirer les touristes tout au long de l'année, les flux touristiques demeurent saisonniers, irréguliers et essentiellement liés au tourisme balnéaire.

En terme de projets touristiques (Figure II-39), le schéma de développement "vision Al Hoceima 2015" prévoit la création de grands projets touristiques qui feront de la ville un nouveau pôle dans ce secteur. Le tourisme rural n'est pas en reste :

Nouvelle zone touristique de Cala Iris : Le programme global de développement du littoral d'Al Hoceima prévoit aussi l'aménagement d'une nouvelle zone touristique côtière au niveau du site «Cala iris» à 84 km de la ville, couvrant une superficie de 339 ha avec une capacité d'accueil de 11.184 lits, dont 4.050 hôteliers et 3.074 résidentiels touristiques avec un golf, une école hôtelière, une Marina, un centre de plongée sous-marine, un centre de commerce et une clinique.

Projet intégré de « Souani méditerranée » Ex Club Med : Il s'agit d'une reconversion de l'ancien club Med Souani en zone touristique hôtelière et résidentielle qui sera réalisée dans la commune rurale Ait Youssef Ou Ali, sur une superficie d'environ 80 hectares. Il porte sur la création d'un programme de loisirs et d'animation, avec :

- 600 lits en village de vacances ;
- 100 lits en Ryads ;
- 3700 lits en résidentiel touristique et immobilier (appartements et villas).

Rénovation de l'Hôtel Mohammed V et construction du Quemado Resort : Ce projet consiste en la rénovation de l'hôtel Mohamed V (3 suites et 22 chambres) et à réalisation d'un nouvel hôtel Quemado Resort (12 suites et 108 Chambres, 24 bungalows et 48 appartements, Hôtel, Thalasso, salle de fêtes, séminaires et congrès) sur une superficie de 80 000m². Le programme de mise à niveau de l'hôtel Mohammed V et Quemado s'inscrivent dans le cadre du plan global de développement touristique de la province d'Al-Hoceima à l'horizon 2015.



Figure II-39. Exemple de projets de développement touristique dans la région d'Al Hoceima :a) Nouvelle zone touristique de Cala Iris b) Projet de « Souani méditerranée » c,d) projet de Quemado Resort

Pays d'accueil touristique (PAT) d'Al Hoceima (tourisme rural) : La création d'un « pays d'accueil touristique » au sein du PNAH vise à développer le tourisme écologique, et en parallèle les activités connexes telles que l'artisanat, la pêche artisanale, l'agriculture et autres : Il prévoit la construction d'une maison d'accueil touristique, 8 gîtes ruraux, l'aménagement de 3 circuits de randonnées, un écomusée, un centre d'information et interprétation marine, et deux centres d'exposition et de produits de l'artisanat, avec la valorisation des produits de terroir et l'appui aux activités génératrices de revenus.

La création d'une NZT du "Plan Biladi", dédiée principalement à la clientèle marocaine, avec un programme prévisionnel comprenant 700 lits sous forme de résidence hôtelière, 450 lits résidentiels en gestion hôtelière, 400 emplacements de camping et 600 lits immobiliers.

Le centre d'accueil MKT (Maroc Kayaking Tour) : Le développement d'un produit de niche est programmé sur le littoral méditerranéen (entre Nador et Tanger en passant par Al Hoceima). Ce projet prévoit de développer l'activité Kayak à travers la création d'un centre d'accueil MKT (Maroc Kayaking Tour) et de 3 points d'arrêt dans la province d'Al

Hoceima. Ce projet, piloté par la Société Maroc Kayaking Tour, permettra la création de plus de 150 emplois directs avec une capacité d'environ 52 lits

Les écoles hôtelières : *l'Institut spécialisé en hôtellerie et tourisme à Al-Hoceïma* s'inscrit dans le cadre de la stratégie de développement de la formation professionnelle mise en œuvre pour la concrétisation de la Vision 2010. Cet institut vise à faire du secteur du tourisme un vecteur de développement d'Al Hoceïma. Il est destiné à satisfaire les besoins des unités installées dans la région d'Al Hoceïma.

Une autre école hôtelière est projetée par les investisseurs au niveau de la NZT de Cala Iris pour satisfaire l'essentiel de ces besoins en formation.

Stations Nautiques : Trois stations nautiques dans la province d'Al Hoceïma pour le développement et la promotion des sports nautiques dans les sites de Sfiha, Tala Youssef et Isli ;

Le développement de l'animation à travers la mise en place d'activités récréatives et d'infrastructures nécessaires pour doter la destination d'un événementiel de renom, notamment la réalisation de parcs de jeux (Mirador et Targuist) ;

Les effets d'entraînement de ces projets touristiques permettront de multiplier par cinq la capacité d'accueil touristique durant la période 2007-2015, ce qui fera d'Al Hoceïma un grand pôle touristique national.

II.1.2.5. Les activités industrielles et artisanales

La région de la Méditerranée centrale accuse un retard important par rapport au processus de développement industriel qu'a connu le Maroc au cours des deux dernières décennies. La cause principale de cette situation, réside dans le niveau faible de l'équipement d'infrastructure (ports, aéroports, routes, voies ferrées...). La situation d'enclavement, conjuguée à la rareté des matières premières et à une faiblesse du niveau du marché local, ainsi qu'au problème compliqué du foncier dans la zone nord, expliqueraient le stade embryonnaire dans lequel est resté le secteur de l'industrie dans la zone. L'activité industrielle moderne est relativement timide dans le tissu économique de l'aire d'étude. L'absence d'infrastructures d'accueil dans la plupart des communes, constitue un frein à l'investissement industriel. Les quelques équipements industriels que comptent le littoral d'Al Hoceïma se situent à l'intérieur du périmètre urbain de la ville (12 établissements) et se composent, essentiellement d'unités agro-alimentaires (140 employés), de sociétés de Travaux Publics (82 employés), et de quelques menuiseries (PAC Maroc ; 2011). De même, le caractère urbain de l'industrie fait que seule la ville d'Al Hoceïma possède quelques unités. Le tissu est dominé par l'industrie alimentaire (moulins à grain, pâtisseries, boulangeries, confiseries, conserves animales et végétales). Elle est représentée par 21 établissements, soit 70% du total (Menioui et Zine 2009). La création d'une zone, comme premier noyau industriel, dans la commune d'Ait Youssef Ou Ali réalisée en 2001 a permis de valoriser relativement les ressources naturelles locales et d'améliorer la situation des échanges (nature et structure) avec le reste et l'extérieur de la région.

L'artisanat bénéficie d'un savoir-faire ancestral et connaît une production diversifiée. Les équipements relatifs à l'artisanat sont très rares et l'activité artisanale dans la zone d'étude se limite à une trentaine de menuiseries.

II.2. Principales infrastructures

Les grands chantiers de la rocade méditerranéenne reliant Tanger à Saidia, ont permis depuis 2007, un désenclavement routier de la ville d'Al Hoceima, longtemps marquée par une accessibilité par la route restée difficile et dangereuse depuis des décennies. En effet, le réseau routier de la province reste relativement peu dense et dans un état plus ou moins dégradé à cause des fréquents glissements de terrain et de crues dans cette région. À ceci vient s'ajouter la dégradation naturelle provoquée par la vétusté des infrastructures et les différents agents météorologiques (pluies, vents, gelées).

Cependant, dans les dernières années, un ensemble de projets visant à désenclaver la région, ont été réalisés ou en cours de réalisation : Le projet de la rocade prévoit aussi des mesures d'accompagnement, comme l'aménagement d'accès vers les plages et la construction des pistes reliant les douars ; ceci contribuera au rapprochement du littoral à l'ensemble national et améliorera l'attrait de la zone pour de nouveaux investissements ; en plus de la voie express Al-Hoceima –Taza (période de réalisation 2011-2015) prévue pour un dédoublement de la route régionale n° 505 et de la route nationale N° 2, la reconstruction de 6 ponts et le dédoublement de 12 autres. Ce projet contribuera fortement à l'optimisation des conditions de sécurité routière et de transport entre Taza et Al Hoceima, et à la promotion socio-économique de la province d'Al Hoceima, grâce au développement du transport des marchandises.

Quant à l'aéroport international Echarif El Idrissi, Situé à 17 km à l'Est de la ville d'Al Hoceima, Il est implanté au niveau de la plaine de Rhis-Nekor sur une superficie globale de 88 ha. Il dispose de deux terminaux d'une capacité de 300 000 passagers/an et dispose d'installations aéroportuaires (piste d'atterrissage d'une longueur de 2.500 m et 45 m de largeur), lui permettant d'accueillir des avions de type Boeing 737. Les liaisons directes les plus fréquentées sont celles avec Bruxelles et Amsterdam, compte tenu des nombreux ressortissants rifains vivant en Belgique et aux Pays-Bas. Mais il ne dessert que très peu de lignes régulières avec l'Europe. L'effectif des passagers ayant utilisé l'aéroport Acharif Al Idrissi d'Al Hoceima, durant l'opération Marhaba 2012, a augmenté de 15,63% selon la Direction de l'aéroport.

La ville d'Al Hoceima abrite l'un des ports les plus importants de la façade méditerranéenne du pays. Situé à l'extrémité Ouest de la baie d'Al-Hoceima et constitue la seule ouverture sur la méditerranée de la région centre Nord. C'est un port à vocation de pêche, commerce, plaisance touristique et le transit de passagers. Il est implanté à l'extrémité Ouest de la baie d'Al-Hoceima. Depuis juillet 2003, ce dernier est devenu le levier principal pour le développement du trafic commercial. Il dispose d'une gare maritime à infrastructures modernes mais qui reste souvent fermée durant l'année ; le port n'est desservi que très peu durant les périodes des vacances d'été.

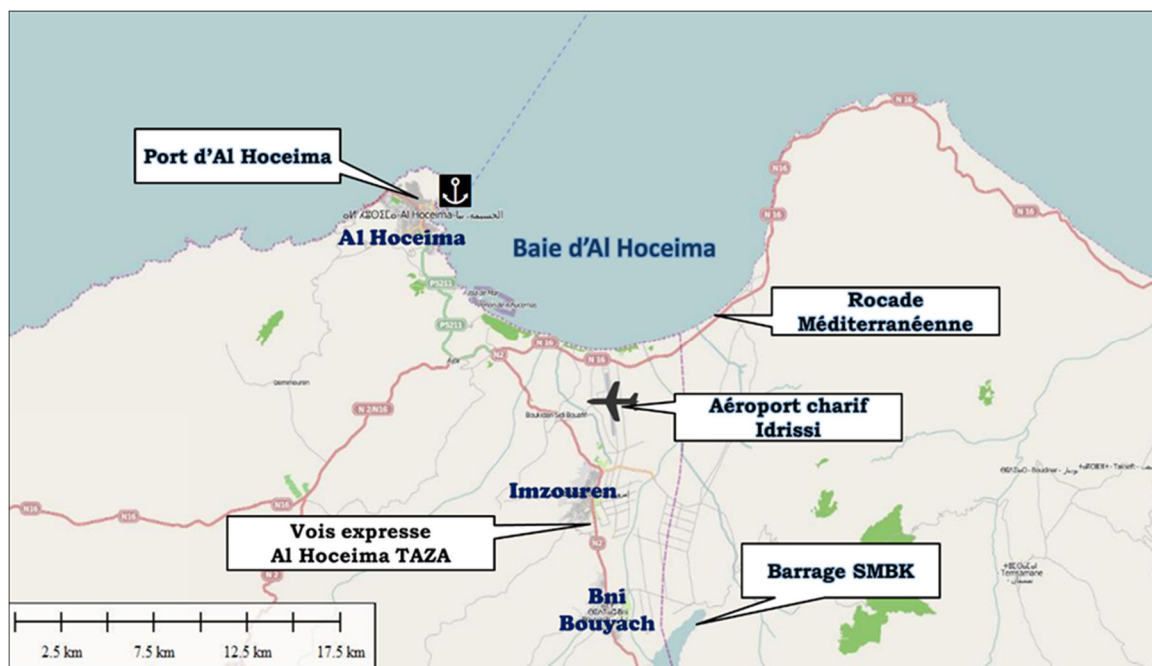


Figure II-40. Carte synthétique des infrastructures principales de la zone littorale de la baie d'Al Hoceima.

II.3. Conclusion

Orientée vers la pêche et le tourisme, Al Hoceima est une des plus grandes stations balnéaires du Maroc. La venue massive pendant l'été de ressortissants et touristes intérieurs font que la zone connaît un surpeuplement.

Généralement en terme de démographie il en ressort que :

- la densité est relativement élevée ;
- la taille moyenne des ménages est en augmentation sensible ;
- la jeunesse est dominante ;
- un fort taux d'analphabétisme ;

Bien que la zone côtière d'Al Hoceima constitue un espace relativement moins anthropisé que celui d'autres côtes méditerranéennes marocaines (Tanger, Tetouan...) mais elle n'est guère épargnée par des pressions socioéconomiques qui sont en perpétuelle évolution. La ville d'Al Hoceima est aujourd'hui une ville saturée comparativement à ses capacités d'accueil. Ni son relief, ni son niveau d'équipement et ni sa base économique peu diversifiée ne sont en mesure de supporter une urbanisation excessive. D'où la nécessité de sa protection et sa valorisation dans le respect de ses équilibres écologiques. C'est un territoire qui présente de nombreux atouts et qui peut profiter de plusieurs opportunités. En effet un aménagement rationnel et durable de son littoral peut contribuer à son équilibre écologique tout en en offrant à ses habitants une qualité de vie meilleure.

Nous présentons ci-dessous un résumé des principales informations acquises au terme de cette revue bibliographique de l'état des lieux socio-économiques de la zone d'étude :

Démographie				
Caractéristiques de la population (actuelle et projections)				
	1994	2004	2014	
Al Hoceima	55216	55357	55496	- Une densité de 3521 hab. /Km ² pour la ville d'Al Hoceima (2004).
Bni Bouyach	13128	15497	18242	- 2702 hab. /Km ² Imzouren (2004).
Imzouren	25447	26575	27626	- 934 hab. /Km ² Bni Bouyach (2004)
Ait Youssef ou Ali	11928	12465	13141	- Pendant la période estivale une forte population touristique et celle des MRE vient s'ajouter à la population actuelle.
Activités économiques				
Agriculture, élevage et pêche				- 60.3 % de la population active
Commerce, BTP et service				- Environ 28 % de la population active. - Pendant la période estivale, une augmentation dans les emplois des services (tourisme) notamment dans la ville d'Al Hoceima.
principales infrastructures				
la Rocade Méditerranéenne				- Relie l'Est et l'ouest de la méditerranée Marocaine en passant par Al Hoceima
La voie express Al-Hoceima –Taza (en cours de construction)				- Relie la ville d'Al-Hoceima et l'intérieure du pays en passant par la ville de TAZA.
Le barrage Mohamed Ben Abdelkarim Al Khattabi				- Alimente la zone d'Al Hoceima en eau potable et en eau d'irrigation. - Capacité initiale du réservoir était de 43,3 Mm ³
Port d'Al Hoceima				- Port à vocation de pêche, commerce, plaisance touristique et le transit de passagers. - Moyenne annuelle de production est de l'ordre de 11217 tonnes pour une valeur de 74,3 millions de dirhams. - Pour les passagers le port d'Al Hoceima dispose d'une gare maritime à infrastructures modernes mais qui reste souvent fermé durant l'année, le port n'est desservi que très peu, durant les périodes des vacances d'été.
L'aéroport international Echarif El Idrissi				- Deux Terminaux d'une capacité de 300 000 passagers/an. - Les liaisons directes les plus fréquentées sont celles avec Bruxelles et Amsterdam, compte tenu des nombreux ressortissants rifains vivant en Belgique et aux Pays-Bas.

III. Aperçu sur l'état des lieux en matière de gouvernance

III.1. Introduction

La décentralisation entreprise au Maroc depuis 40 ans, a connu dans les dernières années une évolution progressive qui a substantiellement changé le profil administratif du pays. Depuis 1960, date de la première charte communale, le Maroc s'est doté d'une organisation institutionnelle démocratique caractérisée par le partage de la gestion des affaires locales entre les assemblées communales élues et les représentants de l'administration centrale. Pour ce faire, la cible choisie est la région, comprenant tous les acteurs qui agissent dans le domaine du développement et sont tous responsables de son devenir (Le politique, le civique et l'administratif).

Il est à noter l'existence du "Projet Gouvernance Locale Maroc" (GLM), projet dans le protocole d'entente a été signé le 20 juin 2006, et qui vient en appui du gouvernement marocain pour améliorer l'efficacité de la gestion des collectivités locales tel le cas pour la région de Taza-Al Hoceima-Taounate dans la réponse aux aspirations des citoyens. La finalité du projet est le renforcement des capacités des collectivités locales pour promouvoir un développement durable et participatif prenant en compte l'environnement, les besoins différenciés des hommes et femmes, l'amélioration des conditions de vie de la population et une plus grande sécurité humaine.

Le plan communal de développement (PCD), s'inscrit dans le processus de décentralisation dans lequel est engagé le Maroc, notamment au travers du dernier texte relatif à la Charte communale de 2003 (modifiée en 2009). Il donne la possibilité au président du conseil communal de décider de la mise à l'étude du plan à partir de la première année de son mandat et après la constitution du bureau et de l'ensemble des membres du conseil. Cette décision de mise à l'étude doit être communiquée dans un délai de 15 jours aux représentants de l'État que sont le wali ou le gouverneur. Ce travail relatif à l'élaboration du plan communal doit permettre d'élaborer un diagnostic qui met en évidence le potentiel économique, social et culturel de la commune. Aussi, doit –elle identifier les besoins prioritaires, en concertation avec les administrations et les acteurs concernés. À cela s'ajoute, la prévision des ressources et des dépenses afférentes aux trois premières années de mise en œuvre du plan. Avant la fin de la première année de son mandat, le président du conseil communal doit présenter le projet du plan au conseil délibérant.

Autre, le projet de régionalisation avancée constituera une forte opportunité pour le développement durable et créera un fondement pour la mise en œuvre de la bonne gouvernance au niveau régional et local, ce qui va renforcer la participation des citoyens, hommes et femmes, dans la gestion de la chose publique.

Ce « retour au local » a ainsi instauré un nouveau système de gouvernance ancré sur un contexte local, répondant à des problèmes locaux et appropriés par des acteurs locaux. Le territoire devient ainsi une émanation d'acteurs publics et privés dont les actions de coordination forment une action publique. La gouvernance locale suppose un brassage d'acteurs, ancrés d'une part dans la société civile et d'autre part dans les appareils de gestion publique. Elle marque une nouvelle vision du "territoire" dans le développement économique, social et écologique et réfère à une gestion participative des programmes et projets locaux de développement, dont l'objectif est l'accès équitable aux services essentiels pour tous (santé, eau, éducation, habitat...) et une meilleure gestion du territoire.

III.2. Institutions impliquées dans la gestion des zones côtière

Afin d'avoir une idée globale sur les institutions responsables, d'une manière directe ou indirecte, de la GIZC au Maroc et dans la zone d'étude, nous procéderons, à l'identification des différents départements ministériels gestionnaires, et ensuite, nous évoquerons les institutions représentatives, les instances publiques, semi-publiques et privées qui, d'une manière ou d'une autre, ont un certain droit de regard en agissant dans le processus de coordination et de consultation voire même de gestion (Figure II-41).

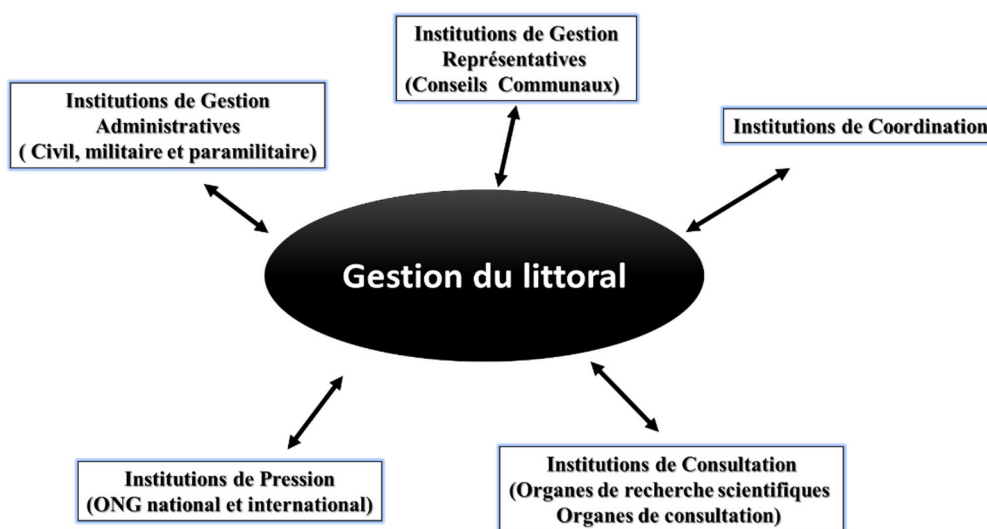


Figure II-41. Les structures institutionnelles concernées par la gestion côtière

III.2.1. Départements directement impliqués dans la gestion des zones côtières

Le Ministère de l'Intérieur et communes

Le caractère d'administration générale prépondérante du territoire dont jouit ce Ministère au Maroc fait que plusieurs de ses Directions centrales soient concernées par la gestion locale.

Par ailleurs, le pouvoir dont disposent les Walis et les Gouverneurs en qualité de délégués du gouvernement au niveau régional, les place au centre de toute initiative de GIZC, alors qu'ils ont la charge de constituer et de dynamiser des conseils et commissions régionaux ou provinciaux ayant des rôles importants dans la gestion durable de l'espace (études d'impacts, problèmes relatifs aux carrières ...). C'est à dire que le Gouverneur est supposé assurer l'intégration des activités sectorielles locales.

Outre les instances gouvernementales provinciales, les Conseils communaux ont de nombreuses responsabilités et attributions au niveau de la gestion de l'espace ; la charte communale de septembre 2003 les met dans les premiers rangs, aux côtés des gouverneurs et de leurs représentants locaux (Caïds), dans tous les processus de cette gestion, y compris dans les prises de décision.

Le Ministère de l'Urbanisme et l'aménagement des territoires

Ce ministère veille sur le respect des dispositions d'aménagement, en matière d'Urbanisme, d'Architecture et d'Aménagement du Territoire ; ce qui lui donne un certain rôle dans la maîtrise de la croissance des agglomérations urbaines et rurales.

En plus de ses compétences en matière de l'urbanisme, ce Ministère a la charge de toutes les attributions dans le domaine de l'aménagement du territoire et du développement rural.

Dans cette perspective, cette autorité gouvernementale a sous sa tutelle un nombre important d'établissements et d'agences. Il s'agit en l'occurrence :

- Du Conseil Supérieur de l'Aménagement du Territoire ;
- Des Inspections Régionales de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire ;
- Des Agences Urbaines ;
- De l'École Nationale d'Architecture ;
- De l'institut national de l'urbanisme et de l'aménagement.

Le Ministère de l'habitat et de la politique de la ville

En termes de politique de la ville, les principes d'action de cette politique sont énoncés comme suit :

- La transversalité des approches impliquant de nouvelles façons de travailler, partenariales et pluridisciplinaires ;
- La participation des différents acteurs (habitants, usagers, acteurs socio-économiques, citoyens) s'appuyant sur le partage des connaissances et la reconnaissance des compétences
- La définition de territoires de la convergence pour maximiser l'impact des actions des différents acteurs ;
- La contractualisation, comme support de l'engagement des différents acteurs et outil privilégié d'intervention pour mobiliser les ressources et s'assurer de l'adhésion de chacun ;

- La mise en place d'une autorité de coordination et d'arbitrage en mesure de dynamiser le processus de mise en œuvre ;
- Une stratégie d'amélioration continue, fondée sur le pragmatisme, la réactivité et la faculté de s'adapter (principe de résilience) ;
- La prise en compte des temps des différents acteurs et des projets (flexibilité, court, moyen et long terme) ;
- Le renforcement des capacités locales pour concevoir, planifier et gérer les projets de développement urbain ;
- La responsabilisation, base de l'organisation du processus décisionnel et du pilotage des projets ;
- La déconcentration des actes de gestion sur la base de règles et procédures prédéfinies assurant la transparence et l'efficacité de la gestion.
- La mise en place de nouvelles règles de mobilisation et d'utilisation du sol permettant d'élaborer des objectifs de performance socio-économiques allant au-delà de la simple réglementation statique ;
- L'évaluation et le suivi comme éléments d'appréciation des progrès et performances réalisés, d'adaptation et d'évolution des politiques publiques.

Le Ministère de l'Énergie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement

- *Ministère délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargée de l'Environnement :*

La mission de ce Ministère - précédemment nommé Département de l'Environnement - consiste à élaborer et à mettre en œuvre la politique nationale en matière d'environnement et de développement durable et ce, par la mise en place d'outils et de mesures efficaces, la mise en œuvre d'actions concrètes, la promotion d'une culture de coordination et une démarche favorisant une approche partenaire et programmatique.

Ce Ministère, constitue le point focal de plusieurs conventions internationales et a initié les projets GIZC en collaboration avec ses partenaires aux niveaux local, national, régional et international. Parmi ces projets, le Programme d'Aménagement Côtier-PAC a pu initier un processus GIZC, orientant les efforts communs vers un programme de protection, d'aménagement intégré et de développement durable de la zone du PAC couvrant les communes littorales des provinces de Chefchaouen et d'Al Hoceima.

- *Ministère délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargée de l'Eau*

Concernant ce Ministère, il a notamment pour objet :

- D'élaborer et de gérer la mise en œuvre de la politique du gouvernement en matière de planification, de mobilisation, et d'aménagement des ouvrages hydrauliques, de leur entretien et de leur gestion ;

- D'établir des plans directeurs pour l'utilisation de l'eau, de gérer et de contrôler l'utilisation des ressources hydrauliques ainsi que leur évolution et le contrôle de leur qualité ;
- De mener l'étude, la réalisation, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- De suivre les activités relatives aux informations météorologiques et climatologiques

- *Département d'énergie et des mines*

Ce département est chargé de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique gouvernementale dans les domaines de l'énergie, des mines et de la géologie ainsi que le contrôle des autres secteurs dépendant de son autorité. Il assure la tutelle des entreprises et établissements publics qui relèvent de sa compétence.

Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Économie numérique.

Le Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Économie Numérique est chargé de la conception et de la mise en œuvre de la politique gouvernementale dans le domaine de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies sous réserve des attributions dévolues à d'autres départements ministériels par les lois et règlements en vigueur.

Ce Ministère a un rôle important dans la contribution à la gestion de la zone côtière. En effet il est chargé de :

- Élaborer les stratégies de développement des secteurs de l'industrie, du commerce, des nouvelles technologies et de la poste et leur déclinaison en programmes opérationnels.
- Valider les stratégies de développement des investissements et de l'amélioration de la compétitivité des PME ainsi que leur déclinaison en programmes opérationnels.
- Piloter et mettre en œuvre les stratégies de développement des secteurs de l'industrie, du commerce, des nouvelles technologies et de la poste.
- Assurer la veille stratégique, le suivi et l'évaluation des stratégies des secteurs de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies.
- Produire les statistiques et réaliser les études dans les secteurs de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies.
- Définir le cadre législatif et organisationnel pour les secteurs de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies.
- Contribuer à la gestion de la relation avec les institutions et les organisations internationales et nationales dans les secteurs de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies.

- Émettre des propositions pour la régulation des secteurs de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies.

Le Ministère de l'Équipement, des Transports et de la Logistique

Le département l'équipement et des transports a des prérogatives concentrées autour du littoral maritime, des bassins portuaires, des carrières et du domaine public maritime en particulier et le domaine public en général.

Ce Ministère est chargé d'élaborer et de mettre en œuvre la politique du gouvernement dans le domaine entre autres des ports, des équipements publics et du transport Maritime. Parmi les directions opérationnelles, il comprend :

- Direction des Ports et du Domaine Public Maritime (DPDPM) qui est chargée d'élaborer la politique portuaire, d'effectuer les études générales et les travaux hydrographiques relatifs aux aménagements portuaires et de veiller à l'installation, à l'exploitation et à l'entretien des équipements de balisages et de la signalisation maritime sur toute l'étendue du domaine public maritime du royaume.
- Office d'Exploitation des Ports (ODEP) qui est un établissement public à caractère industriel et commercial avec pour missions principales la gestion et la maintenance des ports, ainsi que les activités de manutention, de magasinage des marchandises de pilotage, de remorquage, etc.
- Direction de la Marine Marchande dont les attributions sont notamment la gestion administrative et technique des flottes de commerce et de plaisance, le statut des gens de mer, la sécurité maritime et les transports maritimes.

Le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime

- **Département de l'agriculture** : Le département de l'agriculture possède un large éventail de compétences qui sont directement liées à la gestion des sols, des plantes, de l'activité agricole et de l'élevage.

Plusieurs directions techniques sont concernées : la direction de la protection des végétaux, du contrôle technique et de la répression des fraudes, celle de la production végétale, de l'élevage, du développement et de la gestion de l'irrigation, de l'aménagement hydro-agricole.

Par ailleurs, l'arrêté du 4 août 1994 fixe, les attributions et l'organisation des services extérieurs de ce département qui prévoit notamment des directions provinciales de l'agriculture, des services de la protection des végétaux, des services du contrôle des semences et des plants, le centre national de contrôle des médicaments vétérinaires de Rabat, le centre de production des semences pastorales, le centre national d'hydrobiologie agricole et de recherche. Le département de l'agriculture est particulièrement chargé de :

- L'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation ;

- La surveillance et la protection sanitaire aux frontières et le contrôle de la qualité des produits végétaux et animaux ; et l'amélioration, la transformation ou la valorisation des productions végétales et animales.

-Département de la pêche maritime Par la nature de sa mission, l'administration de la pêche maritime est chargée, d'une manière générale, d'élaborer et de mettre en œuvre la politique du gouvernement dans le domaine des pêches maritimes, des cultures marine et de l'environnement marin. À ce titre, le département est amené à :

- Assurer la mise en œuvre et l'exploitation rationnelle des ressources halieutiques de la zone économique exclusive en élaborant des plans d'aménagement ;

- Mener des recherches scientifiques et études socio-économiques et techniques relatives à la gestion et au développement des pêcheries ;

- Veiller à la protection et à la préservation de l'environnement marin.

Le Ministère du Tourisme et de l'Artisanat

Ce département est chargé notamment :

- De contribuer à l'élaboration des plans d'aménagement ;

- De suivre la mise en valeur des zones à vocation touristique, ainsi que l'aménagement et l'équipement des sites touristiques.

À cet effet, la direction des aménagements et investissements est chargée en particulier de l'élaboration de la politique d'aménagement des zones à vocation touristique et de contribuer à la constitution d'une réserve foncière dans le domaine du tourisme.

Le Ministère de la Culture

Ce département est appelé notamment à :

- Poursuivre et intensifier toute action et mesure tendant à la conservation, à la préservation et à la mise en valeur du patrimoine culturel national ;

- Élaborer les projets de lois et de règlements qui régissent le domaine culturel et artistique ainsi que les métiers y afférents et de veiller à leur application ;

- Concourir en relation avec les départements concernés à protéger l'environnement et notamment l'environnement culturel.

On peut dire que la Direction du Patrimoine Culturel constitue, de par ses attributions, le noyau principal lié à l'activité GIZC.

À ce titre, elle est appelée notamment à :

- Protéger, étudier et évaluer le patrimoine culturel ;

- Mettre en place et appliquer la réglementation pour sauvegarder le patrimoine culturel ;

- Restaurer et mettre en valeur sites et monuments historiques ;
- Inventorier le patrimoine culturel national.

De plus, l'Institut national des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine est en charge de la formation des ressources humaines dans le domaine du patrimoine culturel et de l'archéologie réalise les programmes de fouilles et de prospections archéologiques et enfin s'occupe de toutes les recherches spécifiques et publie leurs résultats.

Le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLD)

L'administration des eaux et forêts et de la lutte contre la désertification a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre toute politique de conservation et de développement durable des ressources forestières, alfatières, sylvopastorales, ainsi que le développement cynégétique, piscicole continentales et des parcs et réserves naturelles.

Par ailleurs, elle est appelée à coordonner la mise en place des mécanismes institutionnels pour toute la politique du gouvernement en matière de lutte contre la désertification et de développement rural.

De plus, le HCEFLD est le point focal de la Convention de Ramsar sur les Zones humides, de la Convention sur le Commerce International des Espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction et de l'Accord sur la Conservation des Oiseaux d'eau Migrateurs d'Afrique-Eurasie. Il se trouve ainsi directement impliqué dans la gestion des espaces et des espèces considérés comme patrimoine naturel du pays.

III.2.2. Départements intervenant de manière indirecte dans la gestion des zones côtières :

- Le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche Scientifique ;
- Les Agences de Bassins Hydrauliques ;
- L'Office National de l'Eau Potable (ONEP) ;

III.2.3. Établissements publics spécialisés en environnement marin et côtier

L'Agence nationale des ports : est chargé de gérer et d'exploiter les ports. Cet office assure en particulier la police portuaire, la coordination entre les divers usagers des installations, la maintenance des infrastructures, l'évacuation des déchets des navires et le dragage dans les ports. Il intervient dans 18 ports, dont quatre se trouvent sur la côte méditerranéenne, alors qu'un cinquième vient d'être inauguré dans la zone de Ksar Esghir, à l'est de la ville de Tanger.

L'Institut National de la Recherche Halieutique (INRH) : chargé d'entreprendre des études, des actions expérimentales et des travaux en mer où sur les côtes ayant pour

objectifs l'amélioration de la gestion des ressources halieutiques et aquacoles, ainsi que leur valorisation. Cet institut dispose, en plus de ses laboratoires centraux à Casablanca, de cinq centres régionaux, dont deux à Nador et Tanger, deux centres spécialisés, dont le Centre Aquacole de M'diq et un réseau de sept stations de surveillance de la qualité des eaux et de la salubrité des produits de la mer.

En plus de ces deux établissements, il y a lieu de citer d'autres organismes spécialisés en rapport avec le milieu marin, notamment l'Office National des Pêches et l'Institut Supérieur des Études Maritimes.

III.2.4. Institutions interministérielles de consultation

Ces institutions constituent de véritables enceintes de concertation et d'expertise. Elles se composent de responsables de l'administration, de professionnels, d'universitaires ainsi que des experts en matière d'environnement marin on cite à titre d'exemple :

- *La Commission Nationale des Études d'Impact sur l'Environnement.*
- *L'Observatoire National de l'Environnement*
- *Le Conseil Supérieur d'Aménagement des Territoires*
- *Le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat*
- *Le Conseil Supérieur pour la Sauvegarde et l'Exploitation du Patrimoine Halieutique.*
- *Le Conseil Supérieur de l'Aménagement du Territoire*
- *Le Comité National de la Biodiversité*
- *Le Conseil National des Forêts ;*
- *Le Comité Consultatif des Parcs Nationaux ;*
- *Le Conseil National de l'Énergie Nucléaire ;*
- *Le Comité central et les Comités locaux des pêches maritimes*

III.2.5. Institutions militaires et paramilitaires

L'importance de la mission de contrôle et de surveillance est telle qu'elle dépasse les compétences des autorités civiles. En effet, les corps militaire et paramilitaire jouent un rôle déterminant en matière de lutte contre les risques de dégradation des écosystèmes et en matière de police, de surveillance et de contrôle de l'espace marin.

Ladite surveillance est assurée principalement par les unités de la *Marine Royale*, de la *Gendarmerie Royale*, de la *Protection Civile* et des agents de la *Douane* ; elle consiste à patrouiller continuellement le littoral et la zone économique exclusive et à vérifier la

conformité des produits qui circulent à travers les ports aussi bien à leur entrée qu'à l'export.

Ces unités de contrôle sont constituées principalement d'agents verbalisateurs, qui sont également sollicités lors des catastrophes naturelles ou des pollutions accidentelles (marées noires en particulier). Ce rôle confère à ces unités un pouvoir d'appréciation, en plus de leurs pouvoirs de sanction et de dissuasion, lesquels peuvent être déterminants dans la sauvegarde des ressources naturelles marines. Les *Services forestiers*, en assurant le contrôle permanent et la gestion d'une partie des ressources naturelles continentales (exploitation des forêts, reboisements, contrôle de la chasse dans les zones humides littorales ...) contribuent à la conservation de l'environnement littoral.

III.2.6. Les acteurs non étatiques

Les acteurs non étatiques sont des organisations indépendantes de la société civile, en dehors des gouvernements et de l'administration publique. On y regroupe notamment les Organisations Non Gouvernementales (ONG), les partenaires sociaux (syndicats, associations d'entrepreneurs...), les associations du secteur privé, les universités, etc.

Dans le Contexte international, des organisations, comme WWF ou Greenpeace se sont imposées comme un style pour mener la bataille de l'environnement.

Dans ce climat, où les ONG de l'environnement avaient pris le droit non seulement de regard mais d'inspiration et de décision, la Communauté internationale, tout en se mobilisant pour des rencontres comme celle de Rio de Janeiro en 1992, de Johannesburg en 2002, ne pouvait plus ignorer la présence des associations spécialisées et par conséquent ne pouvait plus rejeter leurs revendications, pour ne pas prendre en compte leur idéologie et leur façon de voir et d'analyser.

Dans le Contexte national, toutes les instances non gouvernementales sont nées dans le cadre de la loi du 15 novembre 1958, relative à la réglementation du droit d'association, modifiée et complétée le 10 avril 1973 et en 2002.

Cependant, de point de vue nombre, les ONG marocaines de l'environnement ne constituent pas véritablement une grande quantité. Selon le répertoire, établi récemment par le ministère de l'Environnement, on dénombre une cinquantaine environ. Ce qui représente, par rapport à l'ensemble des associations reconnues au Maroc (quelques milliers), un pourcentage pratiquement insignifiant.

Certaines d'entre elles ont un caractère global, alors que d'autres ont choisi un thème précis, comme la faune, la flore, les sols ou la mer.

Mais historiquement, les plus anciennes se sont intéressées surtout à la conservation de la faune, ce qui s'est traduit une fois encore par la reproduction du schéma international qui s'était initialement tourné lui aussi vers cette voie.

III.2.6.1. Les ONGs dans la zone d'étude

Le mouvement associatif social joue un rôle de plus en plus important dans la vie politique, économique et socioculturelle, c'est pourquoi de nombreuses associations sont au cœur de la vie sociale culturelle et citoyenne de cette région. Les plus importantes sont :

- Association AZIR pour la Protection de l'Environnement à Al Hoceima
- Association AGIR (Gestion Intégrée des Ressources) Al Hoceima.
- Noumidia pour la Culture et l'Environnement, Al Hoceïma;
- Association Aït Youssef ou Ali pour le Développement, l'Environnement et la Solidarité, Al Hoceima ;
- Association Solidarité et Sauvegarde de l'Environnement (ASSE), Al Hoceima,
- Association Benaaman pour l'Environnement et le Patrimoine, Beni Boufrah, Aït Youssef Ou Ali, Izemmouren, Al Hoceïma;
- Association Adouz pour la Coopération, le Développement et l'Environnement (AACDE)
- Association Ajdir pour l'Environnement et le Développement Social, Aït Youssef Ou Ali, Al Hoceïma.
- Association Al Moustaqbal pour la Gestion des Déchets Solides, Beni Bouayach, Imzouren, Aït Youssef ou Ali, Al Hoceïma;
- Association ECORIF, Liège ;
- Association Izemmouren pour le Développement et la Coopération.
- Réseau des ONG de développement oeuvrant dans le Parc National d'Al Hoceïma(RODPAL) ;
- Association Rif Pour le Développement du Tourisme Rural, Al Hoceima ;
- Association Annahda Assiyahya, Al Hoceima ;
- Association « jeunes sans frontières » à la ville d'Al Hoceima
- Associations des armateurs de la pêche artisanale d'Oulad Amghar
- Association des Enseignants de la Science de Vie et de Terre (AESVT)
- Association agricole de développement et solidarité à Trougout
- Association NOR pour le Développement et la Solidarité, Al Hoceima ;
- Forum des Jeunes du Millénaire, Al Hoceima ;
- Tisagent pour le Développement et la Coopération, Izemmouren, Al Hoceïma;
- Association Tala Youssef pour la Solidarité Sociale et le Développement Izemmouren, Al Hoceïma;

III.3. Le cadre juridique

III.3.1. Cadre juridique national

L'arsenal juridique marocain dispose d'un nombre important de lois et décrets portant sur la gestion de l'environnement en général. Les textes adoptés couvrent presque tous les aspects relatifs à ce droit (aires protégées, études d'impact, air, eau, énergies renouvelables, etc.) Il s'agit, entre autre, de (*Cf. site du département de l'environnement <http://www.minenv.gov.ma>*) :

- La loi n° 12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement (Dahir n°1.03.60 du 12 mai 2003, BO n°5118 du 19 juin 2003).
- Loi n° 13 -03 relative à la lutte contre la pollution de l'air (Dahir n° 1-03-61 du 12 mai 2003, BO n° 5118 du 19 Juin 2003).
- Loi n° 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination (Dahir n° 1-06-153, B.O. n° 5480 du 7 décembre 2006).
- La loi n°22-07 relative aux aires protégées (Dahir n°1-10-123 du 16 juillet 2010, BO n°5866 du 19 aout 2010).

Ce processus a été renforcé par l'adoption en 2010 de la Charte Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (CNDD), qui représente un cadre pour unifier l'action de l'état en matière de développement durable et oriente les politiques publiques et les règlements de droit à venir, mais aussi contribuer à l'intégration des préoccupations environnementales dans toutes les politiques publiques

En ce qui concerne le littoral, on peut citer la circulaire du Premier Ministre relative au développement touristique publiée en 1964 et qui a conduit à la création de la Commission Interministérielle Chargée de l'Aménagement Touristique du Littoral (CICATEL), qui jusqu'en 2002 était chargée de définir la politique générale des aménagements touristiques et balnéaires. En particulier les projets d'investissement à réaliser dans une bande de 5 km étaient soumis à l'approbation de cette commission.

La législation marocaine avait également, dès les années vingt, réglementé l'extraction des sables notamment dans des sites comme Essaouira (1924), Rabat- Salé (1930), Safi (1933) et dans l'ensemble des lits des cours d'eau (arrêté du 6 décembre 1924).

La pêche maritime au Maroc est également l'un des secteurs où la réglementation a joué un rôle non négligeable pour la sauvegarde du patrimoine halieutique. Les premiers textes remontent à 1917, mais la loi qui a régi cette activité date 1919, abrogée et remplacée par le dahir de 1973.

En matière de protection de la diversité biologique, les textes de loi veillent sur la reproduction naturelle des stocks halieutiques, en interdisant notamment la capture de certaines espèces (mérrou, alose, phoque moine, etc.), en fixant les caractéristiques des engins et filets de pêche et en prohibant la pratique destructive de certains procédés, comme les explosifs, les substances toxiques ou encore l'établissement de barrages artificiels pour

l'exercice de la pêche. Enfin, la pratique du repos biologique depuis 1989, permet aux stocks de se reconstituer pendant la période de repeuplement.

Tout récemment en Mai 2013, le gouvernement a adopté le projet de loi n° 81-12 relative au littoral -qui est en cours de consultation-, c'est un texte juridique consacré de manière spécifique à la protection et à la mise en valeur du littoral. Ce projet de loi a pour objectif d'établir les principes et règles de base permettant une gestion intégrée des zones littorales nationales. Il vise la préservation des équilibres biologiques et écologiques, la conservation du patrimoine, des sites et des paysages naturels, la lutte contre l'érosion dans les zones littorales, la lutte contre la pollution et la dégradation du littoral, la préservation et le développement d'activités économiques initiées à proximité de la mer et la planification de l'aménagement, de la protection et de la mise en valeur du littoral. Le projet de loi vise également l'implication des collectivités locales concernées, du secteur privé et des associations de la société civile dans la prise de décisions relatives à la gestion du littoral, la garantie du libre accès au rivage de la mer, ainsi que la promotion d'une politique de recherche et d'innovation portant sur la valorisation du littoral et de ses ressources. Cette loi qui contient les principes fondamentaux de la gestion durable du littoral, va en cas d'application, apporter une valeur ajoutée pour la préservation du littoral national.

Toutefois, si tous ces textes en vigueur n'ont pas pu endiguer, et de manière efficace, la dégradation de l'environnement en général et celle du littoral en particulier, c'est parce que ceux-ci sont pour la plupart en application souvent limitée, et sectorielle car ne prenant pas en compte l'adéquation entre développement et environnement et ignorant le concept de gestion intégrée et de développement durable.

III.3.2. Législation internationale

Sur le plan international, le Maroc a signé plusieurs conventions traitant des zones côtières et marines. Il serait inutile de les lister toutes ici, car plusieurs de ces conventions ne sont malheureusement pas traduites à l'échelle nationale par des textes d'application et restent donc sans grands effets. Parmi les plus importantes on peut citer :

- la convention portant création de l'Organisation Maritime Internationale (1948) ;
- la convention internationale pour la prévention de la pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures (1954) ;
- la convention RAMSAR sur les zones humides (1971) ;
- la convention internationale sur la responsabilité civile pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures (1975) ;
- La convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution (Barcelone, 1976) et ses protocoles ;
- la convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets (1977) ;
- la convention des Nations Unies sur le droit de la mer (1982) ;

- la Convention sur la diversité biologique (1992) ;
- la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements climatiques (1992).
- La convention sur la responsabilité et l'indemnisation pour les dommages liés au transport par mer de substances nocives et potentiellement dangereuses (1996).

III.4. Conclusion

Cet aperçu sur d'état des lieux en matière de gouvernance montre que la gestion de la zone côtière dépend d'une multitude de structures institutionnelles se retrouvant aussi bien dans l'administration publique qu'au niveau d'organismes spécialisés à caractère semi-public ou privé. Ces compétences se chevauchent souvent ce qui pose un réel problème de coordination aussi bien au niveau central que local.

Généralement, l'insuffisance des mécanismes de coordination, la prédominance de la vision sectorielle de la gestion, l'inefficacité de l'arsenal juridique et l'absence de mesures d'incitation, de sensibilisation et d'éducation, sont autant de facteurs qui compliquent cette situation. La gestion, "transversale" et "mutli-actionnaire" porte préjudice à l'harmonie et à la concertation dans la prise de décision mais en même temps permet une gestion enrichie par l'intervention de secteurs spécialisés.

Par ailleurs, pour tenir compte de l'interpénétration entre le littoral et la mer, il convient de rechercher une adéquation entre ces deux secteurs. C'est pourquoi depuis le début des années 2000 se développe des initiatives en faveur de la Gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Il s'agit donc de rechercher une coordination des politiques sectorielles, la bonne échelle d'action (au-delà des simples limites administratives) et d'associer la société civile – souvent la grande absente dans les plans de gestion du littoral– et l'ensemble des acteurs concernés.

IV. Synthèse et déclinaison des principales problématiques de la zone d'étude.

Au terme de cette présentation de l'état des lieux, nous allons tenter de faire ressortir les caractéristiques les plus saillantes de la zone d'étude, en utilisant l'approche méthodologique AFOM (Atouts, Faiblesses, Opportunités, et Menaces) ou (SWOT: Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats). Cette démarche vise à souligner les principaux points forts et points faibles mais aussi les opportunités et menaces affectant la zone côtière de la baie d'Al Hoceima. L'objectif est de décliner les principales problématiques de la zone, et identifier les principaux enjeux, pour *in fine* proposer des pistes de réflexions pour une gestion intégrée et durable de la baie d'Al Hoceima.

Le cadre AFOM (SWOT)

Le cadre AFOM (Atouts – Faiblesses – Opportunités – Menaces) est un outil d'analyse stratégique. Il combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation, d'un territoire, d'un secteur, etc., avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. Ce cadre commun permet une présentation structurante et cohérente des connaissances acquises pour faciliter la suite de l'analyse. L'analyse SWOT, a été d'abord utilisée dans les années 1970 comme un outil de gestion d'entreprise (Porter, Harvard University) ; ces derniers temps, l'analyse SWOT a atteint un plus large champ d'application, et elle est communément utilisée pour identifier les fonctionnalités et résoudre les conflits du territoire. On peut citer par exemple son utilisation dans la politique régionale européenne pour identifier les stratégies de développement, dans des projets de gestion de la zone côtière, comme le projet MECO (Scapini et al. 2000).

Comme nous l'avons mentionné, le modèle AFOM est utilisé ici d'une manière standard pour décliner les problématiques les plus saillantes de la zone d'étude. Cette caractérisation est basée i) Sur la mise en relief des principaux points forts du territoire la baie d'Al Hoceima qui permettent sa mise en valeur, ii) les points faibles qui désignent les limites et défauts qui peuvent empêcher le territoire de se développer, iii) les opportunités qui annoncent des tendances favorables au développement du territoire et enfin, iv) les menaces affectant la zone côtière et qui indiquent les situations non favorables, les risques et contextes menaçants pouvant influencer négativement le développement du territoire (Tableau II-8).

<ul style="list-style-type: none"> • <u>Points forts du territoire</u> : ressource ou caractéristique qui permet de le mettre en valeur • C'est un moteur de développement 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Limite, « défaut » ou « non-compétence » du territoire</u> qui peut l'empêcher de se développer • C'est un frein au développement 		
<ul style="list-style-type: none"> • Situation, tendance, possibilité favorables au développement du territoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Situation non favorable, obstacles, risques, contextes menaçants qui peuvent influencer négativement sur le développement du territoire. 		
Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces

Tableau II-8. Le modèle AFOM et définition de ces concepts (PAC rif central 2011)

Nous présenterons donc ci-après les tableaux AFOM pour les 3 thématiques décrites précédemment, à savoir : la composante environnementale, la composante socioéconomique et le cadre de gouvernance. Il convient de remarquer que, bien que basé sur une appréciation en partie subjective, cet exercice est fondé sur les nombreux débats qui ont impliqué toutes les parties prenantes locales lors des ateliers GIZC organisés dans le cadre des projets PAC et PEGASO, et auxquels nous avons pris part.

Synthèse SWOT de la composante environnementale

1. Atouts	2. Faiblesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Diversité des paysages terrestres, marins et sous-marins. 2. Environ 15 Km de plages sableuses parmi les meilleures en Méditerranée Marocaine. 3. Cordon dunaire boisé dans certains secteurs 4. Climat favorable à un tourisme toute l'année 5. Bonne pluviométrie 6. Important réseau hydrographique 7. Importante nappe alluviale de Rhis-Nekor 8. Potentiel en matière de mobilisation des eaux de surface. 9. Importante plaine agricole 10. Grande Diversité de la faune et de la flore 11. Fort potentiel de valorisation touristique 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enclavement physique 2. Relief accidenté conjugué à des formations lithologiques tendres. 3. Ressource en eau propre limitée 4. Insuffisance de la connaissance des risques et manque de plans de prévention des risques naturels. 5. Exposition et vulnérabilité de la baie aux inondations. 6. Insuffisance de modes de protection.
3. Opportunités	4. Menaces
<ol style="list-style-type: none"> 1. Plan National d'aménagement des bassins Versants. 2. Proximité du PNAH. 3. Cadre réglementaire et technique dans le domaine de la construction parasismique. 4. Plan national de lutte contre les inondations. 5. Plan d'Urgence National de Lutte contre les Pollutions Marines Accidentelles. 6. Programme d'action national en matière de lutte contre la Pollution Marine Accidentelle par les Hydrocarbures. 7. Mise en place d'une procédure réglementaire de prise en compte des risques naturels dans les nouveaux plans d'aménagement à l'échelle provinciale avec le projet du Code de l'Urbanisme. 8. Projet d'élaboration de la stratégie nationale de prévention et de gestion de risques de catastrophes. 9. Dynamisme de la société civile en faveur de l'environnement 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expansion urbaine et touristique au détriment des zones naturelles. 2. Perte de la qualité des paysages et de l'attractivité du territoire. 3. Envasement du barrage Abdelkrim El Khattabi du fait de l'importante dégradation des sols du bassin versant. 4. Dégradation en qualité et quantité des ressources en eau 5. Régression de la biodiversité et des espaces naturels, insuffisamment protégés. 6. Impacts potentiels des changements climatiques 7. Risque sismique, glissement de terrain, érosion côtière, et inondations. 8. Fortes interactions entre les risques naturels et anthropisés : / érosion / inondation/ séismes / mouvement de terrain/ érosion côtière / submersion marine 9. Extraction et exploitations des graviers et sables. 10. Exploitations des eaux de la nappe de Rhis-Nekor de façon incontrôlée.

Tableau II-8. Synthèse SWOT de la composante environnementale

Synthèse SWOT socioéconomique

1. Atouts	2. Faiblesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Population jeune 2. Offre touristique variée et potentiel élevé (Montagnes, mer, histoire et culture). 3. produits halieutiques de qualité 4. Richesse culturelle 5. Proximité de l'Europe 6. Dynamisme de la société civile 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analphabétisme notamment les filles et les femmes 2. Enclavement et sous-équipement 3. Forte densité urbaine notamment au niveau de la municipalité d'Al Hoceima. 4. Espace constructible limité. 5. Non prise en compte de la plupart des risques dans les documents d'urbanisme. 6. Rareté des terres de culture. 7. Activités de subsistance à rendement faible (Techniques agricoles et de pêche anciennes) 8. Saisonnalité du tourisme (dépassant la capacité d'accueil en été)
3. Opportunités	4. Menaces
<ol style="list-style-type: none"> 1. Développement et extension d'infrastructures, qui renforcent le désenclavement : Port d'Al Hoceima (pêche + passagers) <ul style="list-style-type: none"> - Aéroport Charif Idrissi - Rocade Méditerranéenne - Voie Express Al Hoceima-TAZA 2. Programme d'assainissement liquide et d'épuration des eaux usées. 3. Documents d'aménagement du littoral (SDAULMC, carte d'aptitude à l'urbanisation). 4. Possibilité de développer une offre touristique variée. 5. Transferts de devises de la part des MRE 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Étalement urbain 2. Occupation de zones non adaptée à l'urbanisme (côte instable, plaine alluviale inondable) 3. Perte d'écosystèmes côtiers (projets touristiques) 4. Pêche illicite : utilisation de la dynamite et des produits toxiques, pêche des alevins et juvéniles, filet maillant dérivant et chalutage (près des côtes). 5. Diminution de la capacité utile du barrage Abdelkrim El Khattabi du fait de son envasement rapide.

Tableau II-9. Synthèse SWOT socioéconomique

Synthèse SWOT en matière de gouvernance

1. Atouts	2. Faiblesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nombreuses ONGs locales engagées dans le développement durable 2. Prise de conscience et mobilisation des acteurs en faveur de la gestion des risques. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Spécialisation sectorielle et absence d'intégration 2 Pouvoir multi-départemental 3 Manque d'harmonie et de concertation dans la décision 4 Nombreux conflits d'usage des ressources 1. Défaut voire non-application des textes de lois
3. Opportunités	4. Menaces
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ratification du Protocol GIZC 2. Adoption de la loi « littoral » par le Conseil de gouvernement. 3. Charte Nationale pour l'Environnement et le Développement Durable 4. Cadre réglementaire et technique dans le domaine de la construction parasismique. 5. Programme de Régionalisation Avancée 6. Prise de conscience de la société civile 7. Intérêt en haut lieu de l'État pour le désenclavement et la valorisation de la zone 8. Contexte régional et international porteurs (UPM, Conventions...) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dispersion des efforts et démultiplication des responsabilités 2. Désengagement des parties prenantes 3. Prédominance du développement économique sur la protection des ressources naturelles 4. Prédominance du bénéfice à court terme sans vision prospective. 5. Crise économique régionale et retour en masse des MRE

Tableau II-10. Synthèse SWOT en matière de gouvernance

À partir de ces tableaux AFOM, l'analyse **Atouts–Faiblesses** permet de définir les grands traits du diagnostic et d'en dégager les principales problématiques, alors que l'analyse **Opportunités–Menaces** fait ressortir les enjeux thématiques, qui peuvent être déclinés ultérieurement en objectifs et projets opérationnels. Le *Tableau II-10* résume l'essentiel de ces analyses.

Principales Problématiques	Enjeux et objectifs
Vulnérabilité physique et socio-économique et Exposition aux risques naturels	<ul style="list-style-type: none"> - Désenclaver la zone et améliorer son articulation territoriale avec le reste du pays. - Améliorer le niveau de vie des populations notamment rurales - Éduquer, former et sensibiliser les populations pour augmenter leur résilience - Prévenir et diminuer les risques naturels à travers le développement des moyens de suivi et d'études d'évaluation de la vulnérabilité, développement des réflexions collectives et concertées sur les mesures à prendre. - Prendre en compte les risques dans l'arsenal juridique et veiller à l'application des textes de lois - Mettre en place un mécanisme efficace de coordination entre les organismes chargés de la prévention et ceux chargés de la gestion des crises. - Développer la culture du risque : sensibilisation et information du public sur les risques et sur les attitudes à adopter en cas de catastrophe.
Expansion urbaine dans les zones vulnérables	<ul style="list-style-type: none"> - Mieux contrôler l'expansion urbaine le long de la côte et dans les zones exposées aux inondations le long des oueds. - Mieux intégrer les politiques de gestion de l'environnement dans les plans d'aménagement et d'urbanisme.
Dégradation des ressources naturelles	<ul style="list-style-type: none"> - Lutter contre les sources de pollution de l'eau - Préserver la diversité biologique - Protéger les forêts et les habitats côtiers (dunes, plages...) - Diversifier et moderniser les moyens de subsistance des populations. - Sensibiliser les populations aux biens et services rendus par les écosystèmes côtiers.
Problèmes liés à la gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilisation, information et implication de tous les acteurs y compris les citoyens. - Intégration et meilleure coordination interinstitutionnelle - Résolution de conflits selon un processus de démocratie participative et consensuelle. - Renforcement des capacités des intervenants en matière de GIZC - Adoption finale de la loi « littoral » et application de ses textes - Promotion des principes et de la mise en œuvre du Protocole GIZC

Tableau II-10. Principales problématiques et enjeux dérivés dans la zone d'étude.

V. Conclusion du chapitre

Pour conclure ce chapitre, soulignons tout d'abord que cette analyse de l'état des lieux n'a pas cherché à être exhaustive mais à privilégier la mise en exergue des points les plus saillants de la zone d'Al Hoceima. Elle nous a permis d'apporter un ensemble de connaissances de base couvrant les trois aspects : environnemental, socio et économique et en matière de gouvernance, qui ont constitué la base de la synthèse AFOM.

Cette phase, qui nous a ainsi permis de recueillir les principaux éléments factuels qualitatifs et quantitatifs caractérisant l'espace étudié, elle s'est avérée ainsi essentielle pour comprendre le territoire et les problématiques pouvant y intervenir.

L'analyse AFOM a permis de dégager des pistes de réflexion pour la définition d'une stratégie de programmation GIZC en se basant sur les questions suivantes :

- Comment corriger les faiblesses en tirant parti des opportunités de la zone ?
- En quoi les opportunités identifiées permettent de minimiser les menaces ?

Toutefois, si ce diagnostic a permis de décliner les problématiques et les enjeux de la zone d'étude, il ne permet cependant pas de comprendre les relations de causes à effets qui ont menées à la situation actuelle. C'est pour cela que les chapitres qui suivent seront consacrés à des analyses scientifiques plus poussées de quelques-unes de ces problématiques (notamment l'érosion côtière), au développement d'indicateurs pour l'évaluation de la vulnérabilité, et enfin à l'application du modèle DPSIR (Drivers, Pression, States, Impacts, Responses) à la zone d'étude et à la définition d'une batterie d'indicateurs essentiels pour le suivi de l'évolution de l'espace étudié et qui constitueront un tableau de bord pour les décideurs.

Chapitre

III

DÉTERMINATION DES LIGNES DE RETRAIT (SET-BACK LINES) DU LITTORAL DE LA BAIE D'AL HOCEIMA

*Dans ce chapitre nous allons tenter d'estimer les **lignes de retrait (set-back lines)** des côtes sableuses de la baie d'Al Hoceima pour l'horizon 2050. L'identification de ces lignes de retrait est un élément clé de la GIZC. L'approche sera fondée sur une analyse rétrospective et prospective du comportement du trait de côte de la baie.*

Sommaire

I	Zone de retrait (Coastal set-back) et lignes de retrait (Setback lines)	105
I.1.	Définition.....	105
I.2.	Objectifs généraux des set-back lines.....	107
II	Approche méthodologique	108
II.1.	Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte.....	108
II.2.	Prédiction de la position future du littoral pour 2050, sans changement climatique...	109
II.3.	Ajustement avec l'EANM due au changement climatique.....	110
III	Application pour le littoral de la baie d'Al Hoceima	114
III.1.	Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte.....	114
III.1.1.	Définition de la ligne de référence.....	115
III.1.2.	Limites et marges d'erreur.....	116
III.1.3.	Calcul du taux d'érosion (TE) du trait de côte.....	117
III.1.4.	Résultats.....	119
III.1.5.	Synthèse des principaux facteurs responsables de l'érosion.....	129
III.2.	Prédiction de la position future du littoral pour 2050.....	134
III.3.	Ajustement avec l'EANM.....	135
IV	Conclusion du Chapitre	143

INTRODUCTION

Le trait de côte change constamment et sa morphologie fluctue à différentes échelles temporelles et spatiales, résultat de la conjonction de nombreux facteurs naturels et anthropiques. Les variations du niveau de mer, le vent, la houle, les courants, ainsi que les apports sédimentaires fluviaux constituent les principaux facteurs naturels d'évolution des traits de côtes. Ces changements du trait de côte sont souvent aggravés par l'action de l'homme : les barrages piègent les sédiments et ainsi réduisent les apports alluviaux à la côte ; l'extraction du sable des plages et des rivières, et les constructions sur les dunes sont autant de facteurs qui aggravent le processus d'érosion.

L'érosion des côtes est un processus particulièrement important dans les zones basses, telles que les zones deltaïques, les plages, les marais côtiers et certaines falaises meubles ou composées de roches tendres telles que la craie. De plus, le changement climatique engendre une élévation du niveau marin qui devrait se poursuivre au 21^e siècle (*Cf. chapitre I*) ; et qui pourrait accentuer l'effet de l'érosion. Les modifications des régimes de vagues pourraient également avoir un impact déterminant (houles extrêmes, tempêtes...).

Dans ce contexte, il est nécessaire de considérer la problématique de l'érosion côtière dans une approche stratégique et proactive, qui consiste à rétablir l'équilibre sédimentaire, à allouer l'espace nécessaire pour accommoder l'érosion naturelle et les processus sédimentaires côtiers ce qui mènera à une meilleure compréhension de l'évolution côtière.

Comme nous l'avons souligné, l'espace littoral de la baie d'Al Hoceima suscite un grand intérêt pour le support qu'il offre aux activités touristiques et au développement urbain, ainsi que pour ce qu'il représente comme richesses biologiques. Ce littoral ne cesse d'attirer une population et une activité croissante, ce qui conduit à une artificialisation de la côte et un dépassement, notamment en été, de la capacité d'accueil des plages. Les activités que connaît le littoral - urbanisation, infrastructures, aménagements, tourisme balnéaire, etc. - pourraient modifier l'action des agents naturels et contribuer ainsi au retrait de la côte. Ce phénomène risque d'être accentué par le changement du climat, ce qui pourrait dégrader de manière irréversible le système naturel et/ou les implantations humaines, et compromettre le développement programmé de la baie.

Pour ces raisons, il est donc recommandé d'élaborer des plans de développement sur le long terme et ainsi permettre une gestion durable de l'érosion côtière.

La plupart des travaux récents sur l'érosion soulignent la nécessité de l'inscrire dans une logique de GIZC (Rey-Valette 2006). À ce titre, il n'est pas superflu de rappeler ici quelques alinéas de l'article 28 sur l'érosion côtière du Protocole GIZC :

1. « ..., les Parties, afin de mieux prévenir et atténuer l'impact négatif de l'érosion côtière, s'engagent à adopter les mesures nécessaires pour maintenir ou restaurer la capacité naturelle de la côte à s'adapter aux changements, y compris ceux provoqués par l'élévation du niveau de la mer »

3. Les Parties s'efforcent d'anticiper les impacts de l'érosion côtière grâce à la gestion intégrée des activités, y compris l'adoption de mesures spéciales pour les sédiments côtiers et les ouvrages côtiers.

4. Les Parties s'engagent à procéder à l'échange des données scientifiques susceptibles de mieux faire connaître l'état, l'évolution et les impacts de l'érosion côtière. »

C'est dans ce contexte que nous aborderons, de façon intégrée, la problématique de l'érosion côtière afin de comprendre les causes naturelles et anthropiques ainsi que les tendances futures dans le cadre du changement climatique. L'approche méthodologique la plus appropriée dans ce type d'analyse consiste à élaborer ce que l'on appelle des lignes de retrait (*set-back lines*).

I. Zone de retrait (Coastal set-back) et lignes de retrait (Setback lines)

I.1. Définition

La zone de retrait (de l'expression anglaise *coastal setback*) peut se définir comme une zone tampon située derrière la ligne de côte, limitée par une hypothétique ligne de retrait (*setback line*) vers la terre (Sanò et al., 2010) (Figure III.1). Cet espace peut indiquer soit une distance minimale jusqu'au trait de côte, à respecter pour toute nouvelle construction ou infrastructure, soit une élévation minimale au-dessus du niveau marin, au-dessous de laquelle aucun développement d'infrastructures ne doit avoir lieu. Ainsi deux types de lignes de retrait peuvent se distinguer : la ligne d'altitude, qui s'utilise pour l'adaptation aux inondations côtières, et la ligne latérale, qui s'utilise pour l'adaptation au risque de l'érosion côtière (Linham and Nicholls, 2010) (Figure III.2).

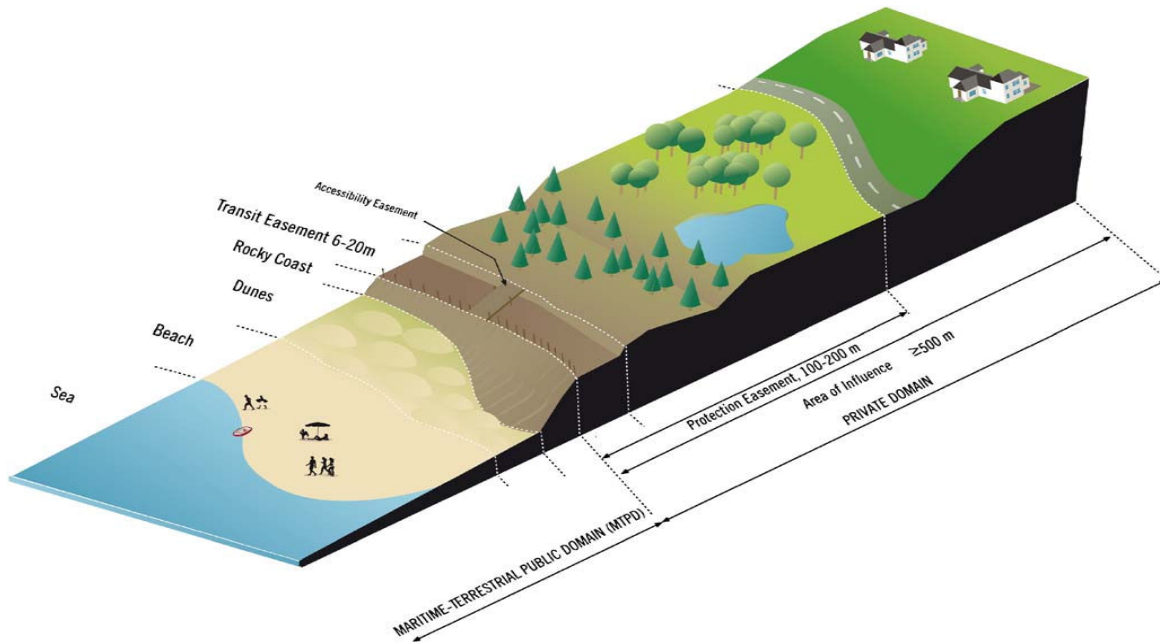


Figure III-1. Ligne de retrait adoptée par la loi littorale espagnole de 1988 et qui définit une zone protégée de 100 m derrière la ligne de côte où les nouvelles constructions ne sont pas autorisées (Sano et al., 2010).

La zone de retrait constitue une zone tampon entre la zone à risque et la zone où commence l'aménagement du littoral (Fenster, 2005). Le concept se fonde sur la notion d'espace de liberté, qui doit permettre au trait de côte de fluctuer naturellement à l'intérieur des terres, dans le contexte d'une ENM et d'éventuels événements extrêmes. Cette mesure offre une protection des installations humaines contre les inondations et l'érosion côtière et veille ainsi à ce que celles-ci ne soient pas situées dans une zone exposée aux aléas.

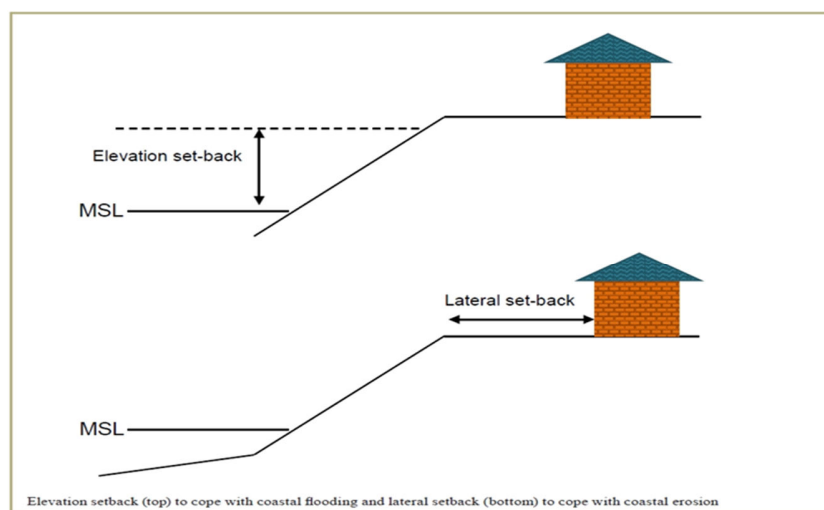


Figure III-2. Types de zone de retrait (Linham and Nicholls, 2010)

Le protocole de la GIZC, dans son article 8, alinéa 2a, stipule que « Les parties instituent une zone non constructible dans les zones côtières à compter du niveau atteint par le plus grand flot d'hiver. Compte tenu notamment des espaces directement et négativement affectés par les changements climatiques et les risques naturels, cette zone ne pourra être d'une largeur inférieure à 100 mètres ». Des exceptions peuvent être faites pour des projets d'intérêt national ou des zones ayant des contraintes particulières.

Cependant cette distance minimale de 100m, proposée d'une manière arbitraire pour toute la côte méditerranéenne, qui est caractérisée par différents types de côtes (plages sableuses, falaises rocheuses, lagunes côtières et côtes urbanisées) pourrait se révéler insuffisante en particulier dans les côtes de sable et les zones deltaïques ainsi que dans le contexte des scénarios futurs du changement climatique mais aussi d'évènements extrêmes potentiels (Sano et al., 2010 ; Rochette et al., 2010).

La définition de cette zone devrait donc être établie en tenant compte des effets possibles du changement climatique, tout en se basant sur des taux d'érosion historiques ou des études d'évaluation de l'impact des niveaux d'eau extrêmes, plutôt qu'à travers l'adoption de distances arbitraires, plutôt qu'à travers l'adoption de distances arbitraires qui ne représentent pas véritablement des zones d'exposition à l'érosion ou aux inondations côtières (Kay, 1990). C'est dans cet esprit que nous avons utilisé le taux d'érosion historique combiné au taux de l'élévation prévue du niveau de la mer, pour proposer une ligne de retrait dans la baie d'Al Hoceima. Il est à noter que les tempêtes extrêmes ne sont pas prises en compte dans cette étude étant donné l'absence de données.

I.2. Objectifs généraux des set-back lines

Les objectifs de la détermination des lignes de retrait se rejoignent dans la planification et la réglementation de la zone côtière, dans le but de contribuer à une gestion intégrée des zones côtières (GIZC). À cet égard, la mise en place de ces lignes se révèle être un outil approprié qui répond à de multiples objectifs :

L'établissement d'une zone de retrait contribue de manière évidente à la protection de la biodiversité ; par l'empêchement de la construction sur l'interface terre-mer, espace naturellement dynamique et particulièrement fragile. Ceci permet d'améliorer la protection des espèces côtières, des écosystèmes et des habitats tels que les dunes, les zones humides, les herbiers et les forêts côtières.

En matière de préservation des zones humides et des estuaires, une zone de retrait permet entre autres de maintenir les fonctions de purification de l'eau fournies par ces environnements particuliers. Elle permet également de ralentir l'érosion naturelle des écosystèmes côtiers : par exemple, la perte d'une plage est toujours accélérée par l'artificialisation du littoral. De même, une zone de retrait permet la protection du cordon dunaire qui aide à stabiliser le sol et à en prévenir l'érosion.

La création d'une zone de retrait a en outre l'avantage de faciliter l'accès du public à une zone plus vaste que le domaine public maritime seul et par là, de rendre les services de loisirs qu'offre ce type d'environnement plus attrayants pour les utilisateurs.

Enfin, la création d'une telle zone remplit également une fonction vitale pour l'adaptation des zones côtières au changement climatique ; elle protège les populations contre les risques de submersion et d'érosion ; elle permet aux écosystèmes de reculer en cas d'élévation du niveau de la mer, ce qui pourrait avoir pour effet de réduire les pressions sur la biodiversité et les écosystèmes côtiers.

II. Approche méthodologique

Notre approche de la détermination des lignes de retrait pour l'érosion dans la baie d'Al Hoceima repose sur 3 étapes principales :

- i)* Une étude de l'évolution linéaire du trait de côte à travers une analyse diachronique du trait de côte, dans le but d'identifier la tendance des changements du rivage, et d'en quantifier les taux d'érosion/accrétion sur une période établie de 1958 à 2013, soit plus d'un demi-siècle ;
- ii)* Une prédiction de la position future du trait de côte basée sur les tendances de l'évolution historique du trait de côte ;
- iii)* Un ajustement en relation avec l'ENM, basé sur la réponse de la côte à une éventuelle élévation accélérée du niveau de la mer.

La réalisation de cette étude nécessite l'établissement d'un horizon temporel. Étant donné que la détermination des lignes de retrait pour l'érosion vise à s'inscrire dans les stratégies de planification et de gestion sur le long et moyen terme, nous avons sélectionné l'horizon 2050 pour l'application de cette étude. Pour des raisons de limitations d'application, il est à signaler que cette méthode n'est appliquée ici que pour les plages sableuses.

II.1. Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte

La méthodologie s'inspire de nombreux travaux existants en matière d'analyse diachronique de l'évolution des littoraux à l'échelle historique (Crowell et al., 1991 ; Dolan et al., 1980 et 1991 ; Moore, 2000). Depuis plusieurs décennies, la méthode de la photo-interprétation est appliquée à l'étude du littoral car elle apporte une vision globale et synoptique du trait de côte. Cette technique d'analyse multidate des photographies aériennes est la plus utilisée pour l'observation des processus côtiers. La fiabilité des résultats obtenus (Crowell et al., 1991 ; Dolan et al., 1991) amène un grand nombre de chercheurs à utiliser ces clichés aériens, dont l'examen permet une vision globale et rétrospective des phénomènes, avec une mise en évidence de la mobilité du rivage et des transferts sédimentaires (Wang et Verger 1985 ; Shoshany et al., 1996 ; Suanez et Simon 1997 ; Suanez et Provansal 1998 ; Faye 2010...etc.).

Les missions aériennes disponibles sur la frange littorale de la baie d'Al Hoceima qui nous ont permis de réaliser cette étude sont celles de 1958, 1966, 2003 et 2013 ; l'ensemble de ces données couvre une période de 55 ans.

L'objectif de cette étape est de retracer l'évolution morphologique du littoral de la baie de 1958 à 2013 afin d'identifier la tendance des changements du rivage et d'évaluer les taux d'érosion (TE) ou d'accrétion du trait de côte.

II.2. Prédiction de la position future du littoral pour 2050, sans ENM

À partir de la position actuelle du rivage, établie sur la base des imageries récentes de 2013 que nous avons considérée comme ligne de base (S_0), là où le trait de côte est en position zéro (Figure III.3), nous avons estimé la position future du trait de côte pour 2050 (S_{2050}), en multipliant les valeurs du taux d'érosion (TE) par le nombre d'années (37 ans d'ici à 2050) pour chaque transect. S_{2050} représente le futur trait de côte, si les principaux facteurs et processus responsables des variations récentes et actuelles du mouvement du trait de côte sont les mêmes, c'est-à-dire que l'estimation ne prend pas en compte le changement climatique et notamment l'accélération de l'élévation de niveau de la mer.

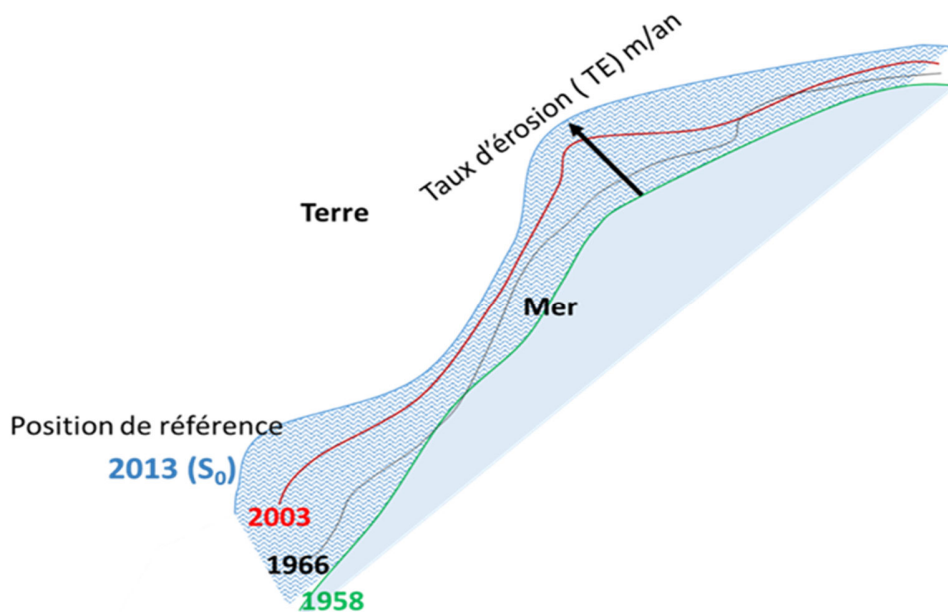


Figure III-3. Schéma explicatif de la méthode de prédiction de la position future du littoral pour 2050.

TE est variable, et trois situations ont été définies dans la baie d'Al Hoceima : érosion (recul du rivage) ; stabilité dynamique (TE tend vers zéro) ou accrétion.

Pour les segments qui ont subi une érosion, la prédiction d'une ligne en retrait d'ici 2050 (S_{2050}) -pour chaque transect- est donnée par l'équation suivante :

$$S_{2050} = S_0 + (TE * 37) \quad (1)$$

Où S_{2050} représente la distance vers la terre à partir de la ligne de base S_0 à laquelle la ligne de retrait devrait être établie.

Pour les segments de côte ayant montré une stabilité (où la variation du trait de côte tend vers zéro) ou une accrétion, l'on suppose, comme suggéré par Ferreira et al, (2006), que la ligne de retrait restera égale à celle de référence actuelle, puisqu'il s'agit de la position de rivage située le plus loin vers la terre, prévue pour 2050 (Figure III.4).

Cette procédure simple suppose que les principales influences sur l'évolution du trait de côte à long terme – notamment l'équilibre entre les apports liquides et solides des cours d'eau d'une part et l'élévation relative du niveau marin de l'autre – ne changeront pas de manière notable au cours de l'horizon de temps considéré.

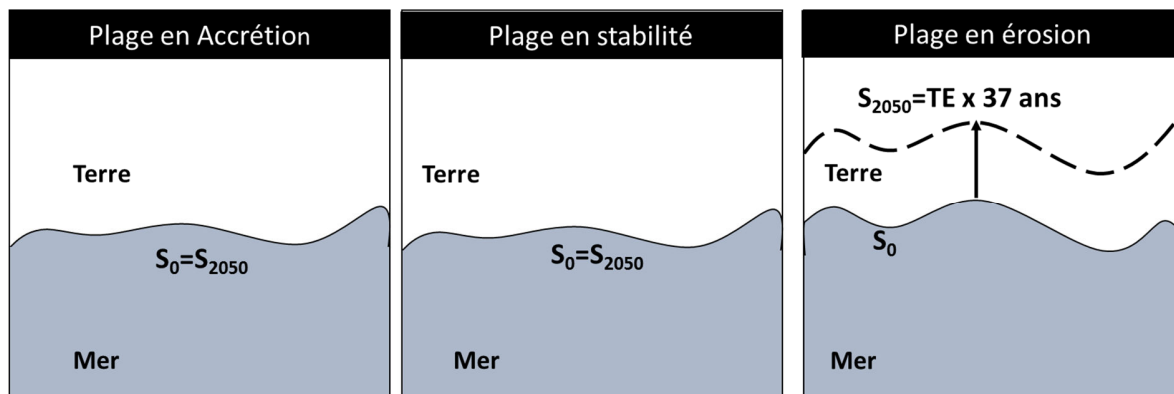


Figure III-4. Représentation schématique de la position de la ligne de retrait dans le cas d'une extrapolation du trait de côte actuel jusqu'à 2050, basée sur les taux d'érosion.

II.3. Ajustement avec l'EANM due au changement climatique

Le trait de côte déterminé pour 2050 (S_{2050}) inclut l'effet de la tendance actuelle de la montée des eaux. Cependant, S_{2050} ne tient pas compte de l'accélération attendue de l'ENM (GIEC, 2007) pour l'échéancier 2050. Un ajustement supplémentaire de l'érosion induite par l'EANM doit donc être effectué.

II.3.1. La vitesse d'élévation relative du niveau de la mer

En l'absence de données portant sur les variations du niveau marin local (absence de marégraphes), nous nous sommes servis des données régionales estimées par l'altimétrie satellitaire Topex/Poseidon et Jason-1 entre 1992 et 2010 en Méditerranée. Elles considèrent une élévation relative actuelle du niveau marin en Méditerranée occidentale de 2.5 mm/an (Figure I.8, Cf. Chapitre I).

Par ailleurs, la plaine de Rhis-Nekor est située dans une zone tectoniquement active ; or, en raison du manque de données sur l'ampleur des mouvements tectoniques dans la région, la vitesse de la remontée du niveau de la mer donnée par les satellites dans cette partie de la Méditerranée (2.5 mm/an) sera considérée comme élévation relative dans cette étude. Dans ce cas, le taux d'érosion ne tient donc pas compte d'une éventuelle accélération de l'ENM.

Pour l'accélération du niveau marin nous avons utilisé les estimations basées sur les scénarios climatiques projetés dans le 3^{ème} et 4^{ème} rapport du GIEC de 2001 et 2007. Nous avons considéré l'hypothèse moyenne des scénarios proposés par le GIEC qui correspond aux valeurs médianes pour la sensibilité moyenne du climat à une perturbation donnée de la concentration en gaz à effet de serre. Le niveau moyen des mers s'élèverait de 20 cm en 2050. Il est à rappeler que cette valeur est entachée de grandes incertitudes car l'élévation du niveau marin peut être due à des causes autres que climatiques, les modèles n'expliquant que la contribution du climat.

Connaissant ainsi la vitesse de la montée du niveau de la mer actuelle (ENM_p) et la prédiction pour le niveau marin prévue pour 2050 (NM_{2050}) avec accélération selon les estimations du GIEC 2001-2007, l'ajustement (ENM_a), qui tient compte de l'ERNM, peut être obtenu par l'équation (2) :

$$ENM_a = NM_{2050} - ENM_p * 37 \quad (2)$$

En utilisant ensuite le modèle de Bruun (Bruun, 1962) cette valeur ENM_a peut alors être appliquée pour obtenir la valeur de recul de trait de côte (R_a) additionnelle à celle prévue.

La formule de Bruun permet théoriquement, dans le cas d'une plage, de calculer la valeur du recul du trait de côte lorsque l'on connaît la vitesse de l'élévation de la mer. Elle est fondée sur l'hypothèse que le profil transversal côtier cherche à maintenir un état d'équilibre par rapport au climat local des houles. Cette règle s'applique :

- à un profil à deux dimensions perpendiculaire à la ligne de rivage où seul le transport « onshore-offshore » est considéré ; le transport parallèle au rivage n'est pas pris en compte,

- lorsque le profil est supposé être en état d'équilibre et reflète le climat des houles ainsi que la granulométrie des sédiments ;
- lorsque le matériel du coté terre est sableux et facilement érodable;
- lorsque l'énergie de houle suffit pour éroder, transporter et redistribuer les sédiments dans le profil.

Et afin que ce profil puisse se translater suite à l'élévation du niveau marin (Figure III-5), il est supposé que :

- l'action des houles érode la partie supérieure de la plage ;
- le matériel érodé est déposé sur le profil sous-marin, et le volume de sable érodé est équivalent au volume déposé ;
- l'épaisseur du dépôt sédimentaire équivaut à l'élévation du niveau marin, ce qui maintient ainsi une profondeur d'eau constante dans la plage sous-marine (Dubois, 1977).

Donc à partir de l'équation 2, et en appliquant la formule de Bruun aux plages qui répondent au mieux aux conditions de cette loi, (Ra) peut s'exprimer par la formule suivante :

$$Ra = (ENMa * L) / (h + D) \quad (3)$$

Où (L) est la largeur du profil actif compris entre la base du cordon littoral et la profondeur de fermeture du profil, en mètres, (h) la profondeur de fermeture de plage, en mètres, mesurée en dessous du niveau moyen de la mer, et (D) l'élévation du cordon dunaire, en mètres, mesurée au-dessus niveau moyen de la mer.

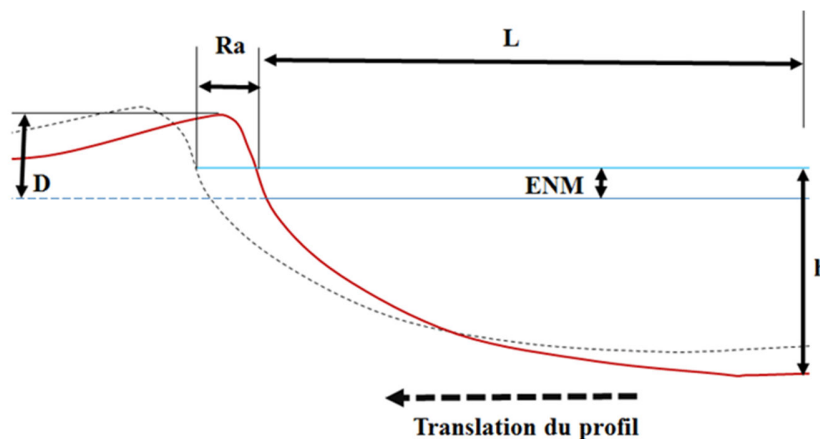


Figure III-5. Profil du recul du trait de côte selon la règle de Bruun (Bruun, 1962)

Deux types de lignes de retrait ont été distinguées (Ferreira et al., 2006) :

Côtes en érosion ou en stabilité

Pour les segments de côte qui sont en tendance de recul ou en stabilité, la ligne de retrait ajustée par l'EANM sera donc déplacée vers la terre à une distance égale à (Ra) (Figure III.6). En utilisant les équations 1 et 2, la ligne de retrait (S_{2050a}) qui tient compte de l'ajustement due à l'accélération du niveau marin est donnée par la formule suivante :

$$S_{2050a} = S_{2050} + Ra \quad (4)$$

Côtes en accréation

Pour les côtes subissant une tendance à l'accréation, la détermination d'une ligne de recul ajustée est déterminée suivant deux scénarios possibles (Figure III.6). Le scénario (a) concerne le cas où le mouvement attendu du trait de côte vers la mer (accumulation) pour l'horizon 2050 (S_{p2050}) est supérieur au déplacement vers la terre causé par l'EANM (Ra) ; dans ces conditions (S_{2050a}) restera égale à S_0 (la position de la côte la plus avancée vers les terres pour l'échéancier 2050). Le scénario (b), où l'érosion prévue en raison de l'EANM (Ra) est supérieure au déplacement attendu de la côte vers le large pour l'horizon 2050 (S_{2050}) ; la ligne de retrait ajustée dans ce cas est donnée par :

$$S_{2050a} = S_0 + Ra - S_{p2050} \quad (5)$$

Où S_{p2050} désigne la distance de l'accumulation d'ici 2050.

Les lignes de retrait ainsi obtenues représentent la position du trait de côte estimée pour l'horizon 2050, en assumant un taux de l'érosion ajusté associé à l'ERNM.

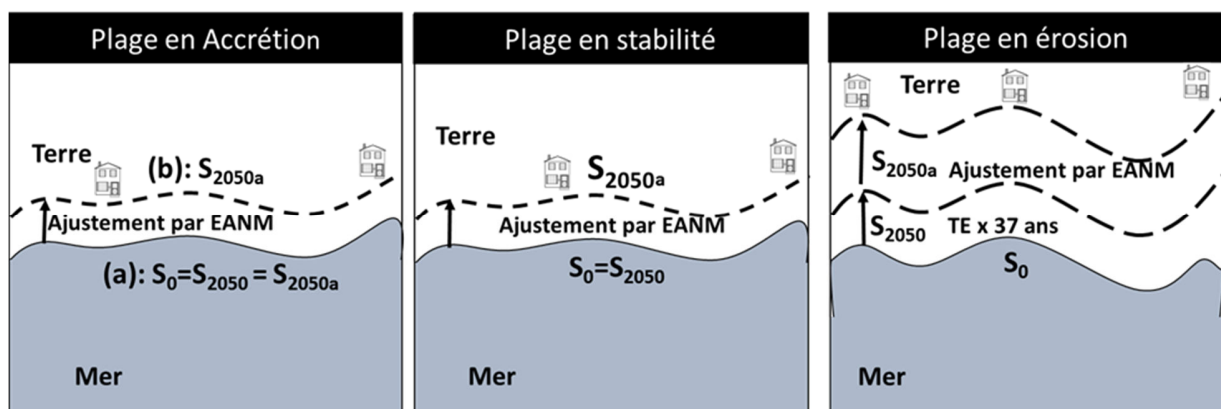


Figure III-6. Représentation schématique de la position de la ligne de retrait dans le cas d'une extrapolation du trait de côte actuel basé sur le taux d'érosion ajusté par l'EANM.

III. Application au littoral de la baie d'Al Hoceima

Suivant l'approche décrite ci-dessus, 3 lignes de retrait (Tableau III.1) devront être définies après avoir déterminé les taux d'érosion et d'accrétion :

Ligne de retrait	Position
S_0	Trait de côte en position zéro (ligne de référence 2013 dans notre cas)
S_{2050}	Ligne estimée pour 2050 basée sur le taux constant de l'évolution (Sans changement climatique)
S_{2050a}	la position du trait de côte ajustée en fonction de l'EANM (Avec changement climatique)

Tableau III.1. Résumé des principales lignes de retrait à déterminer

III.1. Analyse diachronique de l'évolution du trait de côte

Pour déterminer les taux d'évolution du rivage de la baie d'Al Hoceima et mieux comprendre la morphodynamique de cette frange littorale, nous nous sommes appuyés sur une étude diachronique de photographies aériennes verticales, dont l'échelle varie entre 1/30 000 et 1/50 000, et des images contemporaines à haute résolution de Google Earth Pro. À l'aide du Système d'Information Géographique (SIG), ces imageries sont géopositionnées sur une base de cartes topographiques de la baie d'Al Hoceima au 1/25 000.

Nous nous sommes basés sur les missions aériennes disponibles pour cette frange littorale, datées de 1958, 1966 et 2003. Pour les données récentes, les imageries Google Earth Pro de 2013 ont été utilisées. L'ensemble de ces données couvre une période de 55 ans (Tableau III.2).

La première étape porte sur l'acquisition de photographies aériennes au format numérique. Tous les clichés ont été scannés, à 600 dpi. Les photographies aériennes de 1958 et de 1966, dont l'échelle est de 1/50 000, ont été numérisées à une résolution de 600 dpi (1 pixel est égal à 1.10 m), les photographies 2003 ont été numérisées à la résolution de 600 dpi (1 pixel est égal à 0.65 m). Ensuite, les images ont subi une correction géométrique et un géopositionnement par rapport aux cartes topographiques à 1/25 000 en système de coordonnées Lambert Projection Lambert Conforme Conique Merchich, Maroc zone I, afin d'obtenir des statistiques dans un système métrique.

Cette étape est indispensable pour pouvoir comparer les différents clichés. Par la suite, on a procédé à la superposition des images multitudes, et à la numérisation des traits de côte, sous le logiciel ArcGIS 10.

Tableau III.2. Photos aériennes, imageries et ressources cartographiques utilisées dans ce

	Mission 1958	Mission 1966	Mission 2003	Imagerie Google earth Pro 2013	Cartes topographiques Edition 1970 et 2007.	Carte géologique Edition 1984
N° de la mission ou carte	230	588	1245	-	NI-30-XXI-1-a2 NI-30-XXI-1-a3 NI-30-XXI-1-a4 NI-30-XXI-1-b3 NI-30-XXI-1-d1 N°525	N° 302
Nombre de clichés ou cartes	5	2	6	12	6	1
Échelle	1/50 000	1/30 000	1/30 000	1/20000	1/25000 et 1/50000	1/50000
Résolution	600 dpi	600dpi	600 dpi	-	-	-
Taille du pixel	1.10 m	0.65m	0.65m	-	-	-

travail.

Dans cette étude nous nous sommes également appuyés sur des témoignages collectés auprès des riverains de la baie d'Al Hoceima, ce qui nous a permis d'obtenir des précisions et d'autres informations sur des éléments de géomorphologie, sur la position du trait de côte par rapport à des repères de terrain, et sur les zones d'extraction du sable. Enfin, des observations et des mesures sur le terrain au cours de nos missions ont également servi à l'évaluation de la situation actuelle.

III.1.1. Définition de la ligne de référence

Une revue de la bibliographie existante sur le sujet montre que la définition d'un concept apparemment simple comme le trait de côte, censé représenter la frontière linéaire entre les domaines maritime et terrestre, est problématique et sujette à controverse en raison de la grande diversité des critères d'identification (Kraus et Rosati, 1997 ; Morton et Speed, 1998 ; Bonnot-Courtois et Levasseur, 2002 ; 2003 ; Robin, 2002 ; Boak et Turner, 2005, Faye 2010...etc). Ainsi, par exemple, Robin (2002) a relevé plus d'une douzaine de «traits de côte» tandis que Boak and Turner (2005) ont recensé 19 lignes génériques à partir de 45 indicateurs différents (rupture de pente, végétation côtière, degré d'humectation de l'estran, niveau de marée conventionnel ou extrême, etc.). Cette diversité d'indicateurs a suscité la recherche et la mise au point de nombreuses méthodes pour détecter, extraire et suivre la mobilité du trait de côte. Ces approches méthodologiques reposent sur la compilation et la comparaison de données acquises, soit sur le terrain par des instruments de topométrie (niveau de chantier, théodolite, tachéomètre électronique, Lidar, récepteur DGPS, etc.), soit en laboratoire par traitements numériques d'images aériennes et satellitaires (Faye, 2010).

Dans notre cas la ligne d'humectation de l'estran (High Water Line) semble la plus adaptée. Sur les clichés que nous possédons, la limite d'humectation de l'estran, matérialisée par la limite de la dernière pleine mer, est très distincte grâce à la couleur plus sombre de l'estran humide.

En outre, la ligne d'humectation est souvent utilisée lorsque l'on travaille dans un contexte microtidal comme celui de la Méditerranée (Suarez S. et al. 1997, Durand P., 2000, Crowell M. 1991) (Figure III.7).

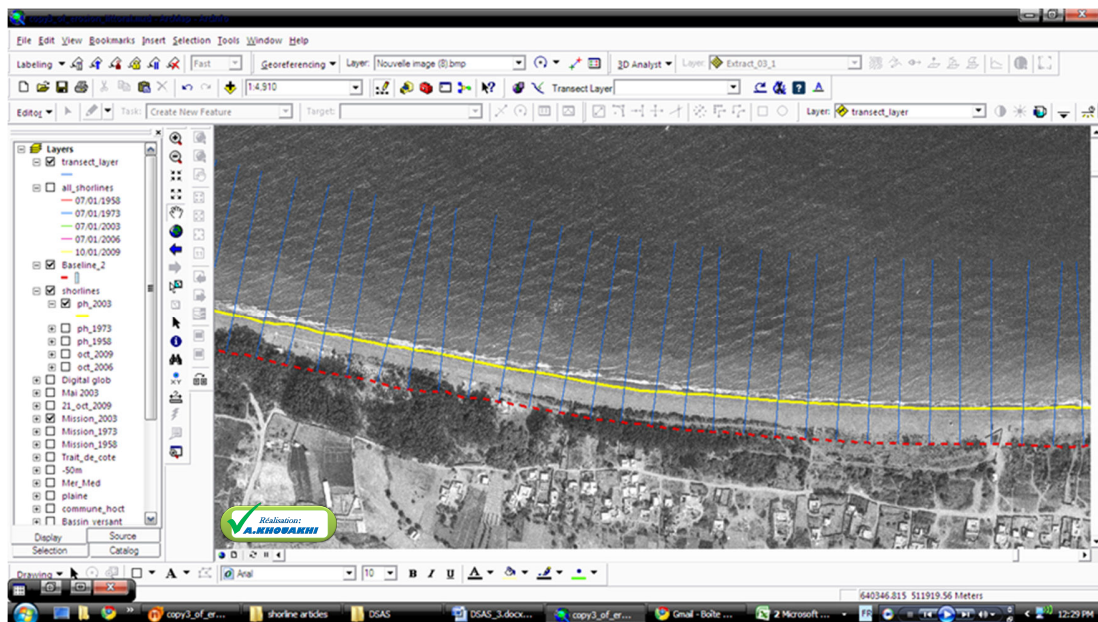


Figure III-7. Tracé de la ligne d'humectation (trait jaune) comme ligne de référence

III.1.2. Limites et marges d'erreur

Les taux d'érosion ne peuvent être obtenus de manière précise que si les données à partir desquelles ils sont issus et les méthodes avec lesquelles ils ont été calculés le sont également. Il existe de nombreuses sources potentielles d'erreur dans le processus de mesure des taux d'érosion du trait de côte ; une compréhension approfondie de ces erreurs est essentielle à la réussite d'une étude. Selon Moore (2000), ces erreurs sont divisées en deux catégories : i) Les erreurs issues des sources de données et ii) les erreurs introduites par les méthodes de mesure. Les erreurs issues des sources de données, les plus grandes, sont attribuées à des inexactitudes liées à la prise des photographies aériennes. Ces erreurs ont été estimées à $\pm 10\text{m}$ (Dolan et al., 1980, Cazes-Duvat et al., 2002, Hapke and Reid, 2007).

Pour le géoréférencement des photographies aériennes et des images satellitaires, la reconnaissance de la position des amers est laissée à l'appréciation humaine. La plupart des points ont été positionnés en utilisant un zoom suffisamment important à l'écran pour

minimiser les erreurs. L'erreur due à une mauvaise dextérité semble donc être relativement bien minimisée. Les erreurs de placement peuvent donc être dues uniquement à une erreur d'interprétation de la photo. Nous estimons l'erreur maximale potentielle à 5 pixels pour les missions 1958 et 2 pixels pour 1966 et 2003 (or celle-ci n'est jamais atteinte quand les amers sont des angles de bâtiments).

Pour les missions de 1958, l'erreur maximale de 5 pixels correspond à 5,50 m (110cm/pixel), pour la mission 1966, 2003 et 2013, deux pixels correspondent une erreur moyenne de 1.18 m.

Pour autant, ces erreurs n'ont pas forcément été commises, et dans de nombreux cas les légers décalages peuvent se compenser. Lors du mosaïquage, nous nous sommes aperçus qu'un décalage pouvait exister entre deux photos. Le décalage maximum que nous avons trouvé au niveau du trait de côte est de 4 pixels, soit une moyenne de 4,40 m. En réalité, le décalage entre deux photos n'excède jamais 4 pixels, mais s'additionne parfois au décalage avec la photo précédente ou suivante.

Le tracé de ligne de pleine mer de 1958 a été plus délicat à cartographier, car l'échelle est beaucoup plus petite.

L'erreur totale de la position du trait de côte pour chaque date a été précisée et insérée dans le modèle DSAS qui prend en considération les erreurs lors de calcul des taux d'évolution (Cf. *DSAS ci-après*).

III.1.3. Calcul du taux d'érosion (TE) du trait de côte

III.1.3.1. Le Modèle DSAS

Le calcul des taux d'érosion et d'accrétion est réalisé grâce à l'outil DSAS v4.2 (*Digital Shoreline Analysis System*). Il s'agit d'un logiciel libre développé par l'United States Geological Survey (USGS), qui fonctionne sous ArcGIS ©ESRI (Thieler et al., 2009). L'outil permet d'obtenir les statistiques d'évolution d'une série de traits de côte. L'exécution de cette analyse nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géodatabase (une entité par année) et la numérisation d'une ligne de base (onshore ou offshore) à partir de laquelle DSAS crée des transects perpendiculaires qui viennent couper les différents traits de côtes (Figure III.8). C'est à partir de ces points d'intersection que DSAS calcule le taux d'évolution entre les différents traits de côte. Il utilise le temps écoulé entre deux traits de côte (dates) et la distance entre les deux lignes (distance calculée entre les deux points d'intersection). En sortie, DSAS fournit une table contenant les statistiques d'évolution (évolution nette du trait de côte, taux de régression linéaire, moyenne des moindres carrés,...) et une table contenant les caractéristiques des points d'intersection (coordonnées et distance par rapport à la ligne de base).

Dans notre cas d'étude, 303 transects de 50m d'écart et perpendiculaires à la ligne de base ont été élaborés pour le calcul du taux d'évolution pour la baie d'Al Hoceima. Comme déjà souligné, DSAS incorpore également les marges d'erreur estimées (Figure III.8)

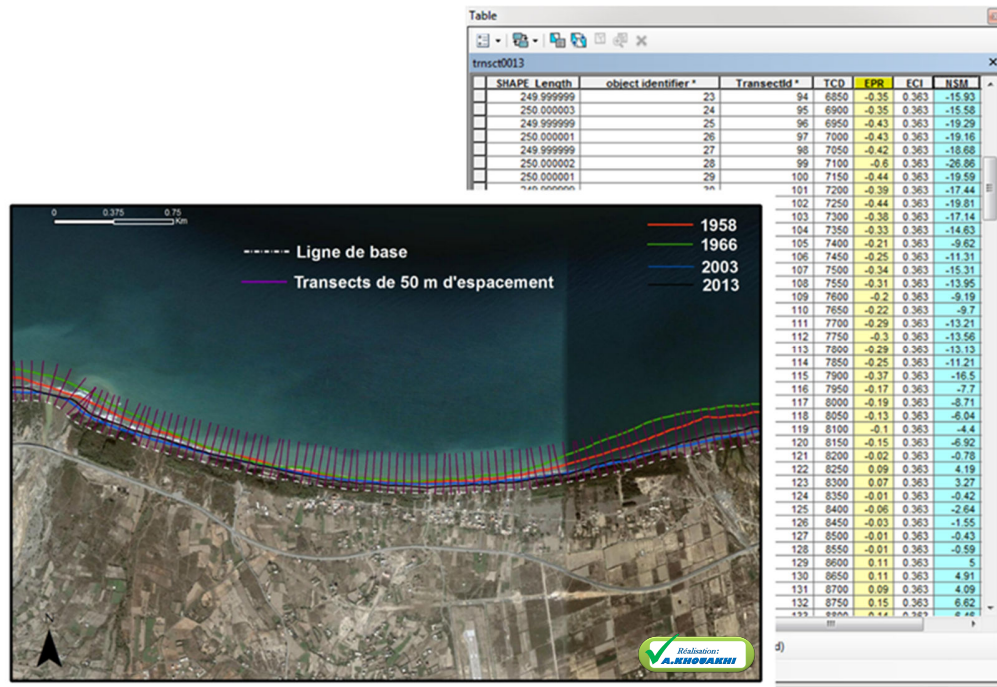


Figure III-8. Transects perpendiculaires de 50 m d'écart qui coupent les différents traits de côtes et la table attributaire des résultats de calcul, selon le modèle DSAS.

III.1.3.1.1 Les méthodes statistiques de calcul de la mobilité du trait de côte

Pour modéliser les tendances évolutives du littoral, les méthodes statistiques d'analyse quantitative de la mobilité du linéaire côtier communément utilisées sont les méthodes des moyennes ou régressions linéaires. Deux techniques en particulier sont employées par le modèle DSAS : la méthode des points extrêmes (End Point Rates, EPR) et la régression linéaire (Linear Regression Rate, LRR).

La méthode des points extrêmes (EPR) n'utilise que deux positions connues de la ligne de référence (la position la plus ancienne et la plus récente). La distance mesurée entre ces deux emplacements extrêmes du trait de côte durant la période d'étude est divisée par le nombre d'années écoulées pour obtenir la vitesse d'évolution annuelle du littoral. L'avantage de cette méthode réside dans sa simplicité. Toutefois, lorsque l'on dispose de positions intermédiaires entre les deux dates extrêmes de la période d'étude, les taux estimés par cette technique n'intégreront pas les éventuelles variations temporelles dans l'évolution du littoral (accélération, ralentissement ou inversion de tendance). Ainsi, ils peuvent être moins significatifs que ceux obtenus par les méthodes régressives qui utilisent toutes les positions disponibles et nécessitent donc plusieurs traits de côte.

Dans le cas de la méthode de régression linéaire (LRR), au niveau de chaque point, les mesures de distances entre toutes les positions successives de la ligne de référence sont utilisées pour calculer, par les moindres carrés, une droite de régression ajustée aux différents emplacements de la ligne de référence. La pente de la droite de régression correspond au taux d'évolution. La régression linéaire est la méthode la plus robuste pour estimer les tendances historiques de l'évolution du trait de côte (Fenster et al., 1993). Néanmoins, dans la mesure où toutes les positions sont utilisées pour résoudre l'équation de la droite d'ajustement, les taux d'évolution obtenus peuvent être biaisés par les points excentrés liés aux traits de côte extraits de données acquises immédiatement après une tempête. Il en est de même si les linéaires côtiers analysés sont groupés et ne sont pas répartis de façon homogène dans le temps. Pour minimiser l'influence de ces facteurs, des méthodes de régression linéaire plus sophistiquées ont été développées en utilisant d'autres techniques telles le Jackknife, la longueur de description minimum, la moindre déviation absolue, les moindres carrés médians ou les moindres carrés pondérés par la marge d'erreur associée aux lignes de référence.

Toutes ces techniques de calcul sont disponibles dans la version 4.2 de l'application DSAS (Thieler et al., 2009).

Nous avons utilisé les méthodes de calcul EPR et LRR afin d'effectuer une comparaison entre les deux techniques ; cependant pour déduire les valeurs du taux d'évolution (TE) qui seront utilisées pour estimer l'érosion en 2050, nous avons utilisé la méthode LRR, puisqu'elle prend en considération toutes les positions successives de la ligne de référence.

III.1.4. Résultats

Comme les données sont peu nombreuses, l'analyse de la cinématique du trait de côte de la baie d'Al Hoceima a été entreprise tout d'abord d'une manière globale, pour voir l'évolution générale du rivage sur toute la période allant de 1958 à 2013, ensuite par une analyse par période basée sur la segmentation de toute la période d'étude en 3 principaux intervalles de temps (1958-1966, 1966-2003 et 2003-2013), et enfin par une analyse sectorielle par plage.

L'estimation de la cinématique du rivage de la baie et la cartographie des taux d'évolution sont fondées sur l'analyse des tables attributaires générées automatiquement par DSAS. Pour rappel, la régression linéaire, d'usage très répandu dans la littérature, est considérée comme la meilleure méthode pour estimer les tendances évolutives du littoral sur le long terme (Dolan et al., 1991 ; Fenster et al., 1993).

III.1.4.1. Tendances marquant l'évolution du trait de côte pour l'ensemble de la période étudiée 1958-2013.

L'évolution du trait de côte et les taux d'érosion (TE) de la ligne de rivage du littoral de la baie d'Al Hoceima pour une période 55 ans, représentés dans la figure, illustrent la cinématique des plages sableuses Quemado, Calabonita, Isly, Sfiha, Tayt, Souani, Salina,

thanda , bathou et R'hach. Trois types de tendances ont été distingués : érosion, stabilité et accrétion, selon les classes suivantes :

- Érosion : Forte (< -0.6 m/a) et faible (entre -0.2 et -0.6 m/a).
- Stabilité dynamique : entre -0.2 et $+0.2$ m/an.
- Accrétion : >0.2 m/ an

Globalement, l'évolution du littoral de la baie est irrégulière sur l'ensemble de la période étudiée. En effet, sur les dates des clichés obtenus (1958, 1966, 2003 et 2013), l'ensemble de la côte a montré une tendance à l'érosion, notamment au niveau des plages situées à proximité des embouchures de Nekor et Rhis. Sur les 303 transects de 50 mètres d'espacement générés par le modèle DSAS, les valeurs obtenues montrent une tendance régressive sur environ 60% du trait de côté étudié, avec 30% classé en stabilité dynamique, et seulement 10% représenté par une tendance à l'engraissement, et ce pour toute la période d'étude de 1958 à 2013 (Figure III.9).

Les tendances à la régression ont touché notamment les plages de Calabonita, la partie sud de Quemado, Esly, Sfiha Ouest, Tayt, Souani, Salina et la plage de Bathou. Le reste des plages semblent en situation de stabilité dynamique (Sfiha Est, Thanda et la plage R'hach vers l'Est de la baie), car ici les tracés se chevauchent et ne montrent pas de réelle évolution, à l'exception de la plage de Thanda qui a montré une légère progradation (Figure III.9).

Nous avons présenté les résultats aussi sous forme de graphiques sur la *Figure III.9*, représentant les taux d'évolution du trait de côte de la baie sur toute la période de 1958 à 2013, en comparant les deux méthodes de calcul EPR et LRR. Les valeurs négatives correspondent au recul du trait de côte. Ce format permet aussi de simuler les formes du rivage.

Les secteurs côtiers les plus fortement érodés se retrouvent de part et d'autre des deux embouchures de Nekor et Rhis, ce qui indique une baisse des apports sédimentaires pendant la période d'étude. Le recul maximal a atteint une valeur de -119 m, correspondant à un recul de 2.3 m/an au niveau de l'embouchure de Nekor, et -60.15 m, soit un recul de 1.84 m/an, au niveau de Rhis (Figure III.9).

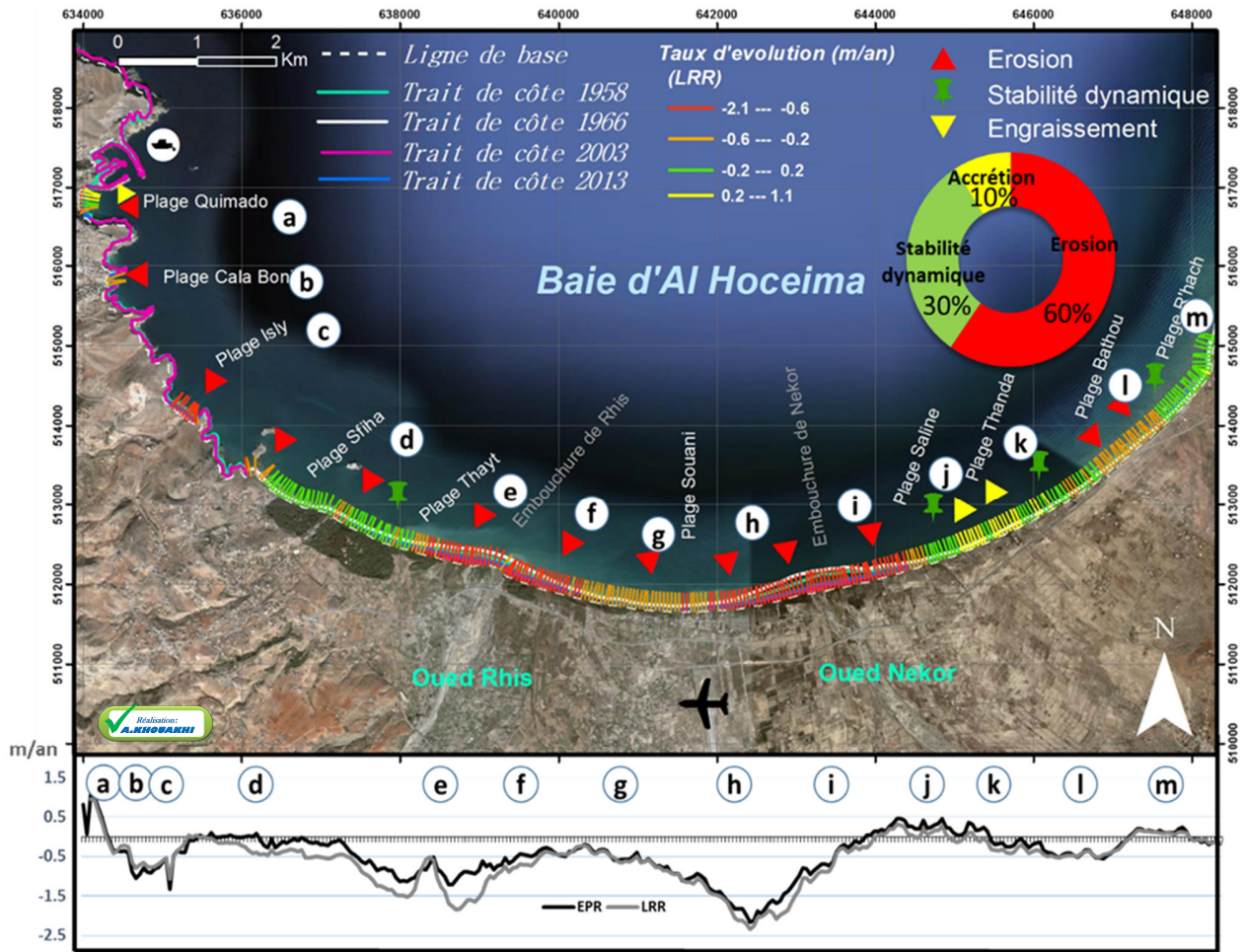


Figure III-9. Évolution du trait de côte pour l'ensemble de la période d'étude de la baie (1958 - 2013).

III.1.4.2. Analyse par période

Les cartes suivantes présentent les résultats obtenus sur des pas de temps plus courts, entre 1958-1966, 1966-2003, 2003-2013.

Période 1958-1966

Cette période a été marquée dans l'ensemble par une progradation intense du segment côtier situé entre les deux embouchures de Rhis et Nekor, allant jusqu'à +95m ; 41% des transects répertoriés sont en érosion, et 59% en accrétion (Figure III.10). Cette accumulation traduit l'importance des apports des oueds Rhis et Nekor pendant cette période. Ces derniers constituent en effet les sources principales d'alimentation de la baie en matériel sableux, qui est ensuite emporté par l'énergie des houles NE et WNW. Ces apports importants en

sédiments durant cette période sont probablement dus aux fortes précipitations qu'a connues la zone. En effet, les données pluviométrique de la station d'Al Hoceima montrent que les deux années qui ont précédé 1966 ont connu des précipitations supérieures à la moyenne (sur une période de 42 ans), allant jusqu'à environ 400mm en 1965 (Figure III.10). Il s'agit d'une période caractérisée également par l'absence d'aménagements le long des rivières de Nekor et Rhis mais aussi le long de la côte.

À l'inverse, on note un recul dans la partie Est de la baie, au niveau de la plage de Bathou, allant jusqu'à -30m (Figure III.10). Cela pourrait être dû à la dérive littorale est-ouest qui est dominante dans la baie.

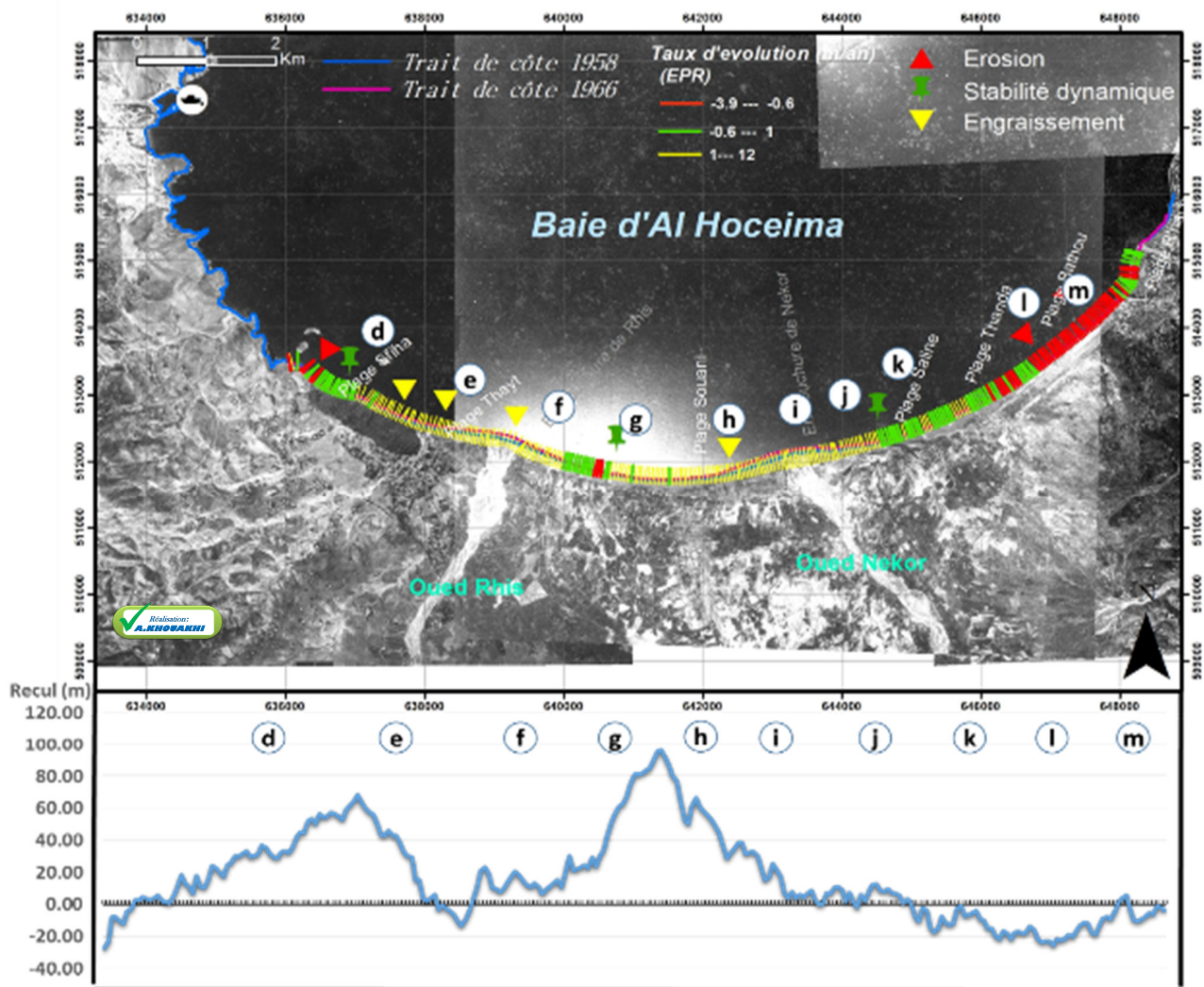


Figure III-10. Évolution du trait de côte sur l'ensemble de la baie entre 1958 et 1966

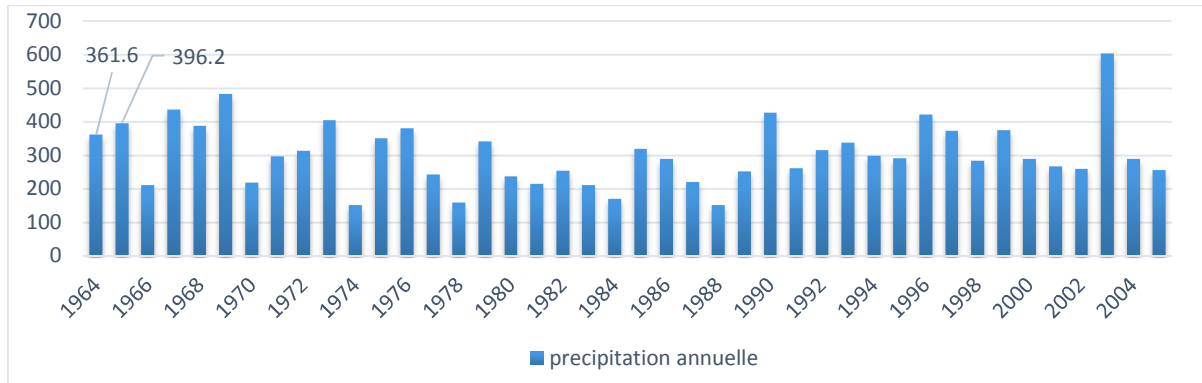


Figure III-11. Précipitations moyennes annuelles (station d'Al Hoceima)

Période 1966-2003

La *figure III.13* montre que durant ces 37 ans, la baie a été marquée par une forte régression côtière qui a touché environ 65% de son littoral. La plage de Souani, ainsi que les deux embouchures de Nekor et Rhis, ont connu un net recul allant de -214 au niveau du delta de Nekor à -20 m enregistré au centre de Souani.

Ce recul est probablement dû à la baisse des apports des oueds Rhis et Nekor, contrairement à ce que nous avons pu observer pendant la période 1958-1966. Cette baisse pourrait s'expliquer en partie par un important évènement qui est celui de la construction du barrage Mohammed Ben Abdelkrim El Khattabi (MBK) sur la l'oued Nekor en 1981. Bien que nous n'ayons pas de données voisines de la date de construction du barrage, pour faire ressortir l'effet de celui-ci sur le trait de côte, l'analyse rapide des données du débit liquide de l'oued au niveau de la station du barrage montre effectivement que le débit annuel a fortement baissé à partir de 1981 (Figure III.12). Ceci laisse supposer une baisse des apports solides également, retenus par le barrage.

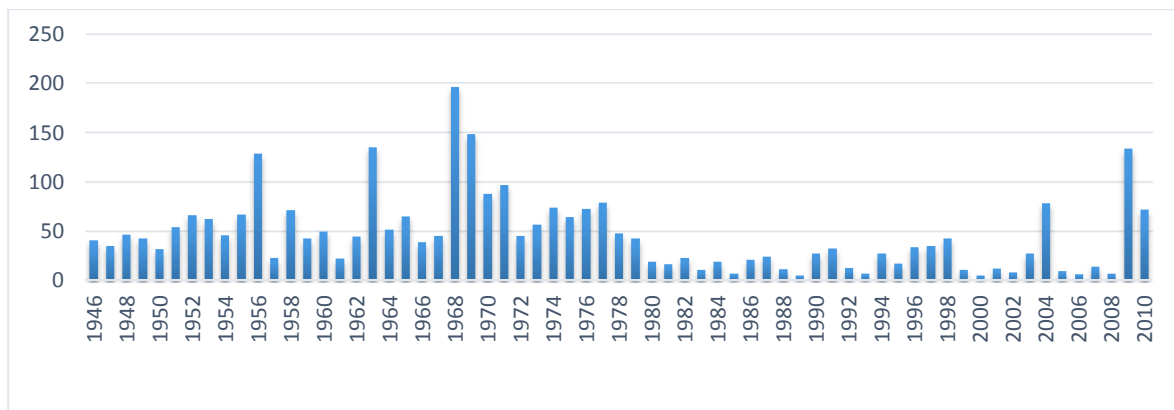


Figure III-12. Apports annuels liquides de l'oued de Nekor (Mm³), station du barrage El Khattabi

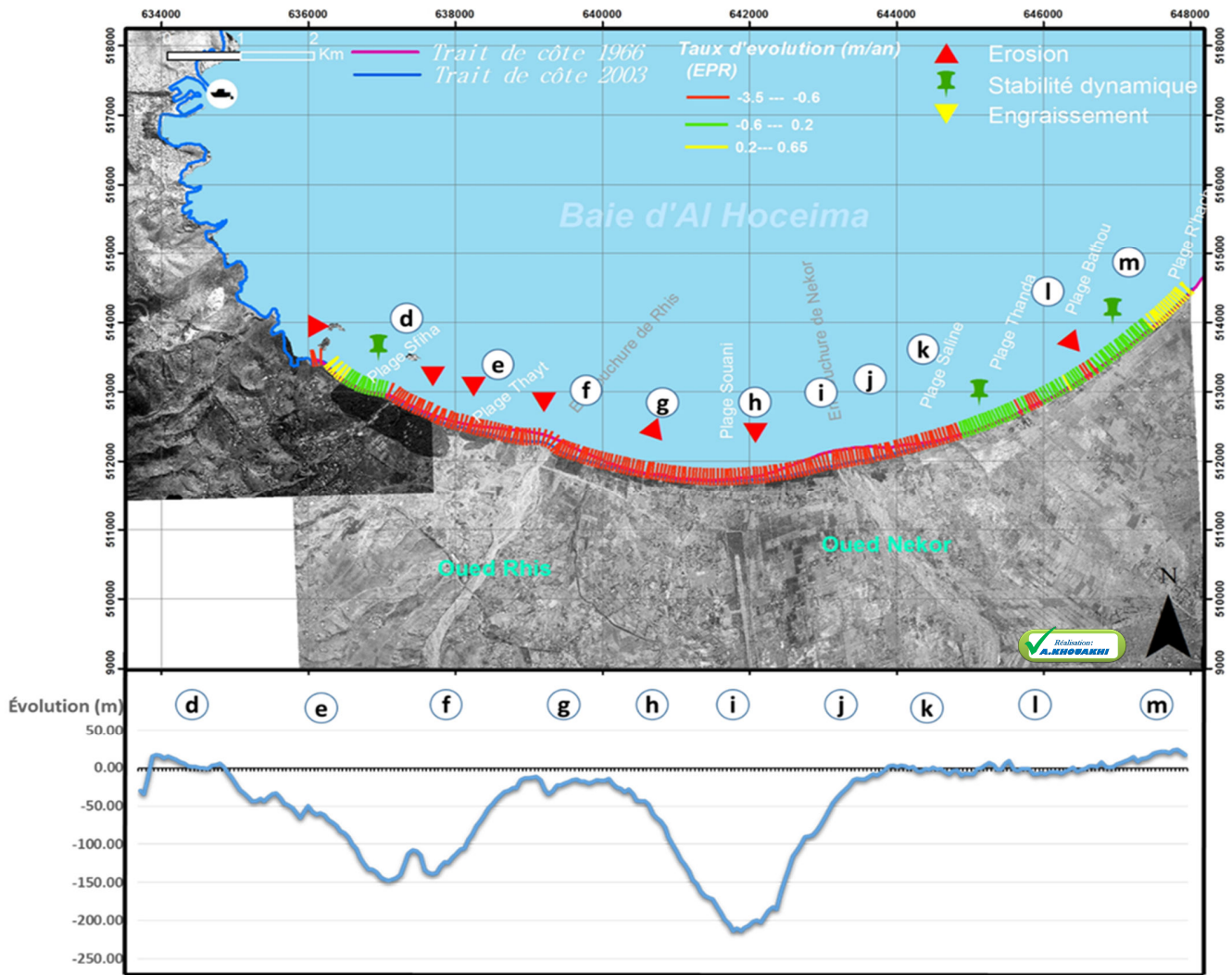


Figure III-13. Évolution du trait de côte sur l'ensemble de la baie entre 1958 et 2003.

Toutefois, le piégeage des sédiments par le barrage MBK ne peut à lui seul expliquer cet important recul de l'ensemble du centre de la baie, y compris à l'embouchure de l'oued Rhis, pourtant non régularisé. Nous pensons que les périodes de sécheresse que le Maroc a connu durant les années 1980, ont également contribué à la faiblesse d'alimentation de la baie en sédiments et par conséquent à sa récession.

Période 2003-2013

Cette période de 10 ans est caractérisée par une avancée deltaïque légère et une progradation allant jusqu'à 30 m au niveau de Nekor et Rhis. Par contre, la plage de Souani a connu un recul d'environ -20m, alors que les plages de Sfiha et celle de Bathou ont reculé de quelques dizaines de mètres (Figure III.14).

La progradation de Nekor pourrait s'expliquer par les fortes précipitations de 2009 et 2010 qui ont généré des inondations importantes de la plaine et nécessité de plus grands lâchers du barrage MBK. On peut également penser que les nombreux travaux d'aménagement et de développement de la côte durant cette décade, ont affecté les apports collatéraux, et le ruissellement.

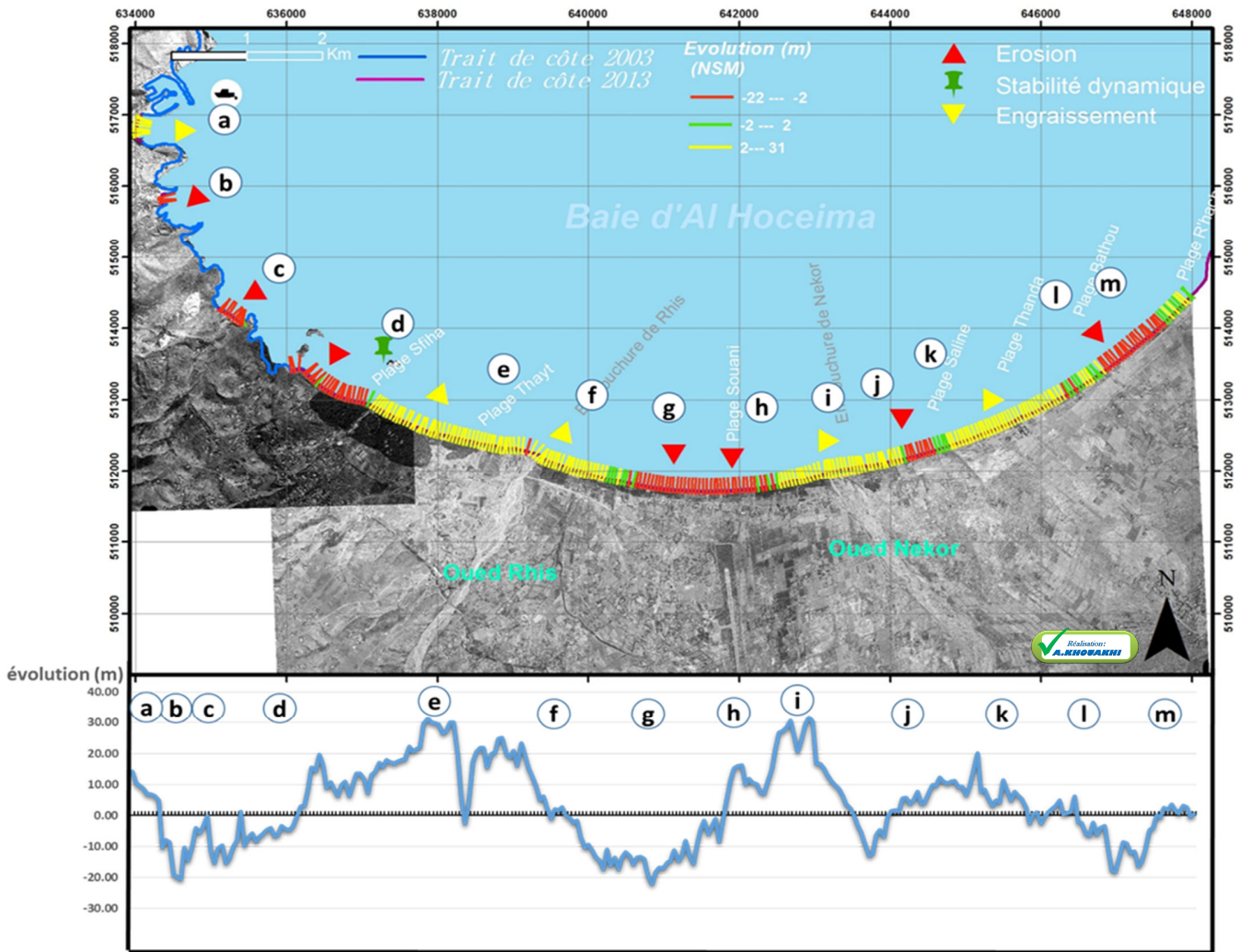


Figure III-14. Évolution du trait de côte sur l'ensemble de la baie entre 2003-2013

III.1.4.3. Analyse sectorielle pour toute la période considérée

Plage Quemado. Plage connaissant une accumulation de sable de l'ordre de 0.2 m/an, notamment vers la partie nord, située à l'abri des effets de la houle, notamment après l'extension du port de l'Al Hoceima et l'ajout d'une jetée qui a protégé la plage et a favorisé l'accumulation des sables.

Plage Cala Bonita. Plage ayant montré une tendance moyenne à l'érosion de l'ordre de -0.2m/an.

Plage Esly. Crique marquée par une tendance moyenne régressive de -0.4m/an, bien que protégée de l'action de la houle. La tendance de recul est vraisemblablement dû à la baisse des apports de l'oued Esly.

Plage Sfiha. Secteur caractérisé par une irrégularité de comportement durant la période considérée, d'une part par l'aspect non linéaire des traits de côte, mais également parce qu'ils se chevauchent, témoignant du caractère indécis de la dynamique. On note un léger retrait qui a touché principalement l'extrême ouest de la plage de Sfiha (-34 m soit ≈ -0.6 m/an) et le centre en face de l'îlot de Nekor avec un recul de -10.6m (≈ -0.41 m/an). Cette érosion devient plus marquée pendant la période 2003- 2013 (Figure III.15), mais dans l'ensemble, il n'y a pas eu d'érosion significative et on peut considérer que le secteur est resté stable durant toute la période considérée.



Figure III-15. Photos illustrant l'érosion de la partie Est de la plage actuelle de Sfiha (à quelques mètres à l'ouest du projet Souani)- Photos Mars 2010-

Plage de Tayt à l'embouchure de l'oued Rhis. Sur la période étudiée, cette plage présente un recul qui atteint environ -60 m, soit un taux de -1.46m/an, à proximité de l'embouchure de

l'oued Rhis. Plus on s'approche vers l'embouchure, plus la régression devient extensive (Figure III.16).

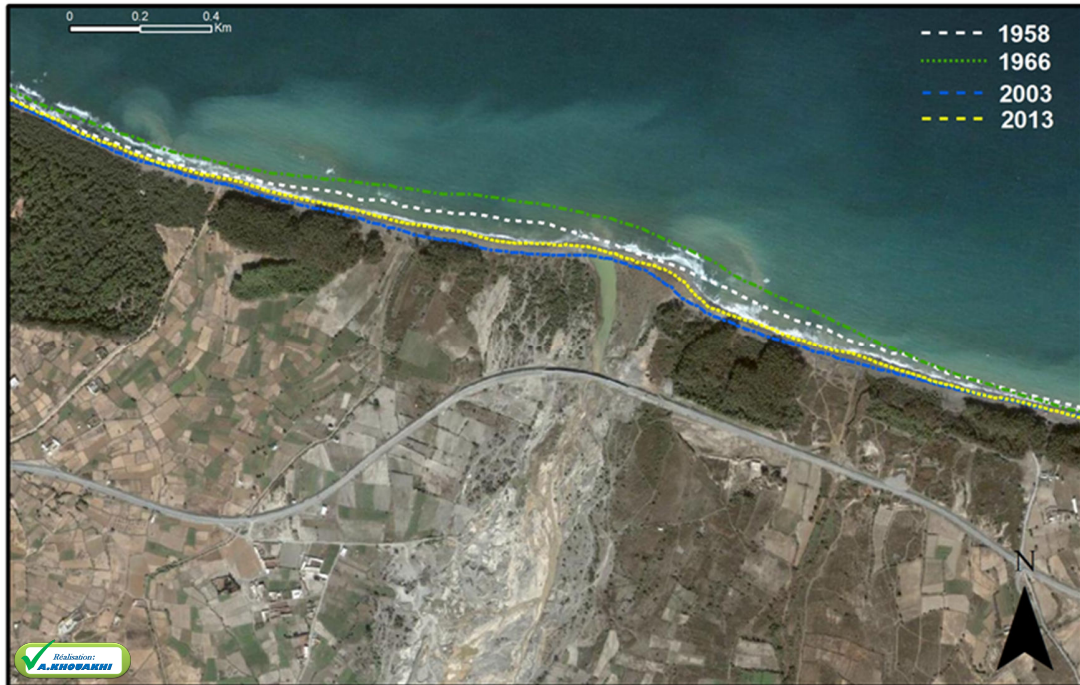


Figure III-16. Carte montrant le recul au niveau de l'embouchure de Rhis

Plage Souani. L'analyse comparative des photos aériennes et images satellitaires de 1958 et 2013 montre que cette plage a connu une importante érosion, particulièrement dans les segments côtiers avoisinants les deltas de Rhis et Nekor. La plage a régressé d'environ -94 m à -11 m soit à -1.8 (à proximité de Nekor) à -0.4 m/an (au centre de Souani) (Figure III.17). Comme expliqué auparavant, ce recul est le résultat d'une réduction des apports en sédiments du Nekor, qui est vraisemblablement la conséquence de la construction du barrage MBK, mais aussi des longues périodes de sécheresse des années 1980, et des extractions de sables des oueds Rhis et Nekor et au niveau des plages.

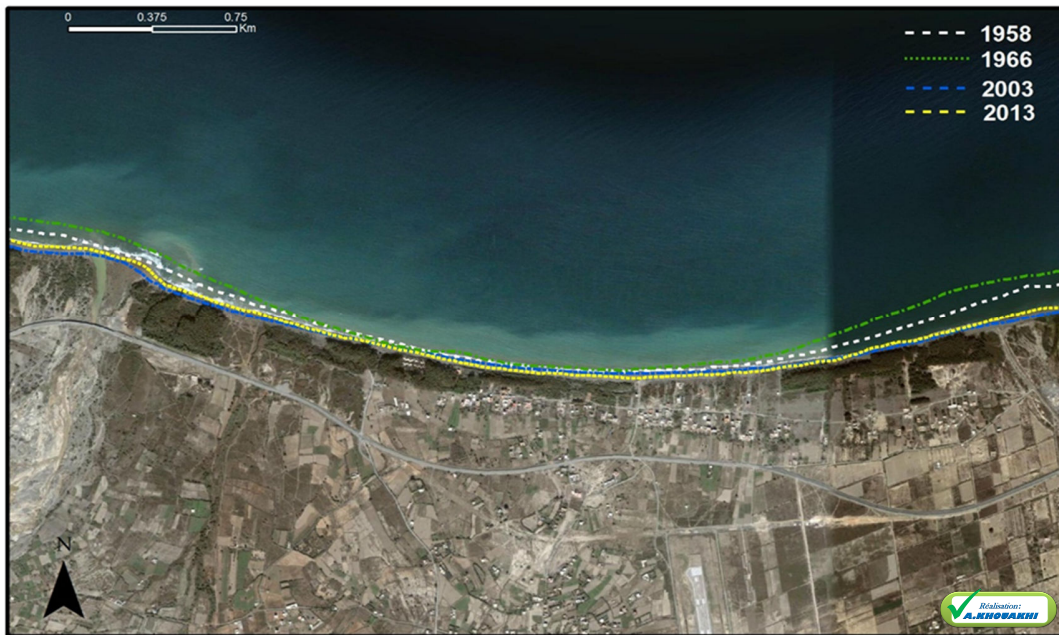


Figure III-17. Carte montrant l'évolution de trait de côte de Souani

Plages Salina et Thanda. Malgré la vulnérabilité de dune bordière à cause des extractions de sables et l'absence de couvert végétal pour la protéger, ce secteur est caractérisé par une stabilité dynamique sur la période d'étude.

Plage Bathou. Ce secteur a présenté un schéma érosif moyen pour la période d'étude avec un retrait de -29m soit environ -0.5 m/an.



Figure III-18. Image satellitaire montrant des installations en front de mer au niveau de la plage Bathou

La plage R'hach et Hadid. Cette partie de la baie a connu une stabilité dynamique pendant la période d'étude. L'accumulation de galets (Figure III.19) est due aux apports transportés par les principaux torrents venant de Jbel Tamsamane.



Figure III-19. Plage R'hach caractérisée par l'accumulation des galets (Photos Septembre 2010)

III.1.5. Synthèse des principaux facteurs responsables de l'érosion

L'analyse de la mobilité du trait de côte de la baie d'Al Hoceima a révélé une tendance régressive, malgré sa grande variabilité, sur une période de plus d'un demi-siècle. La plupart des plages de la baie éprouvent une réduction de leur largeur et deviennent de plus en plus étroites. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette évolution régressive. Nous les avons regroupés en deux grandes catégories : les facteurs naturels et les facteurs anthropiques (Figure III.20).

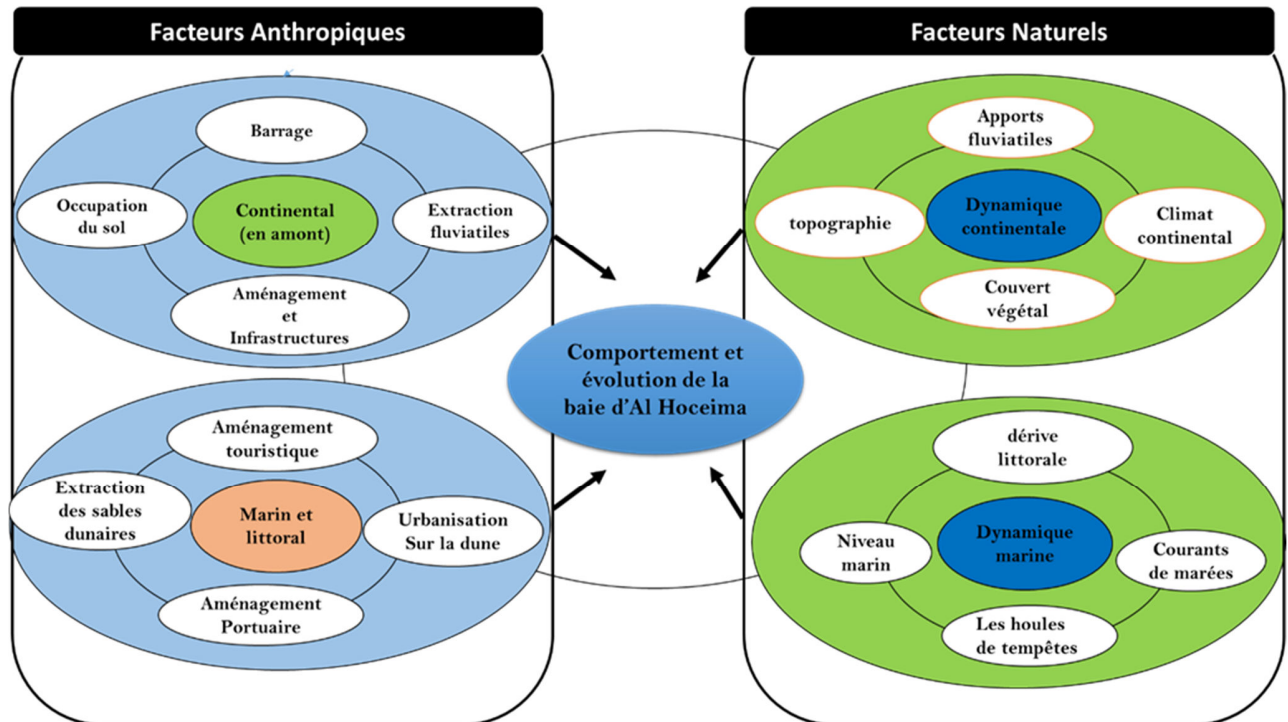


Figure III-20. Principaux facteurs responsables de l'évolution du rivage de la baie d'Al Hoceima

III.1.5.1. Facteurs naturels

À partir des indices de l'étude de l'évolution de la cinématique du trait de côte de la baie d'Al Hoceima, les principaux paramètres naturels qui influent sur la dynamique du rivage sont la contribution fluviatile en sédiments, la morphologie des plages, et la dérive littorale.

Apports fluviatiles

L'alimentation d'une plage en sédiments provient principalement de l'apport du matériel détritique transporté par les cours d'eau, ou produit par l'érosion marine des côtes rocheuses. L'équilibre entre le dépôt de sédiments et leur redistribution par les courants côtiers, détermine la stabilité de la plage, tandis que le déséquilibre en faveur de l'un de ces deux facteurs entraîne son érosion ou son accrétion.

La baie d'Al Hoceima constitue une cellule sédimentaire très influencée par les apports fluviaux du Nekor et du Rhis, dont les flux annuels sont sous le contrôle de facteurs climatiques. L'oued Nekor, qui contribuait fortement à l'approvisionnement en sédiments de la baie, a vu ses apports diminuer après l'installation du barrage MBK en 1981 (Cf. *facteurs anthropiques*). L'oued Rhis (dont la traduction étymologique est 'vase') est également une source d'alimentation significative pour l'approvisionnement en sédiments de la baie d'Al

Hoceima. La quantité de ces apports est toutefois régie par la variabilité climatique et notamment par les événements extrêmes (longues sécheresses ou inondations) qui contribuent de manière significative au façonnement du littoral. Ces facteurs se sont révélés déterminants dans l'évolution du trait de côte de la baie l'Al Hoceima durant ce dernier demi-siècle.

Les courants de dérive littorale

Le principal facteur hydrodynamique qui fait varier les termes du budget sédimentaire au niveau de la baie d'Al Hoceima est la dérive littorale.

À proximité des côtes, les vagues se déforment et induisent la formation de courants : Lorsque le front d'onde des vagues est oblique par rapport à la ligne de côte, il apparaît par réflexion un courant parallèle à la côte, appelé la dérive littorale. Ce courant, en bordure immédiate du trait de côte, joue un rôle d'autant plus important en Méditerranée que les courants de marée sont faibles (Niazi, 2007). Il met en mouvement les sédiments côtiers ; ceux-ci se répercutent sur le volume sédimentaire potentiel en transit, et sur le travail de modelé de plage.

Sur le littoral de la baie d'Al Hoceima, la dérive littorale est tantôt Est-Ouest, tantôt Ouest-Est, en fonction de la direction des houles dominantes. Comme la baie fonctionne en tant que cellule sédimentaire, les sédiments qui se perdent par érosion à l'amont de la dérive sont généralement récupérés et partent engraisser le côté aval. Toutefois, lorsque le courant de dérive n'est plus alimenté en sédiments, le processus érosif touche toute la baie. Peuvent s'ajouter à cette pénurie sédimentaire les courants de retour (*rip-currents*) qui sont capables d'entraîner les sédiments vers le large.

Les houles de tempêtes

Les tempêtes, aussi soudaines qu'imprévisibles, sont un événement climatique provoqué par le passage d'une dépression qui suscite une élévation du niveau de la mer et le déclenchement de vents très violents. Ces derniers lèvent alors une houle de forte amplitude, qui attaque les hauts de plages, emportant le cordon littoral et submergeant l'arrière plage. Ce sont des événements météorologiques marins d'apparition plus rare et plus aléatoire mais néanmoins fortement agressifs. Ces événements sont nuisibles et destructeurs pour un rivage côtier, particulièrement dans le cas où celui-ci est déjà en déséquilibre sédimentaire ; il s'ensuit alors un important recul du rivage.

III.1.5.2. Facteurs anthropiques

L'attractivité croissante des plages de la baie entraîne une anthropisation de l'espace littoral qui se traduit par des usages touristiques, une fréquentation accrue des bords de mer et une urbanisation croissante. Bien que ces facteurs n'impliquent pas systématiquement une modification radicale des paysages littoraux de la baie d'Al Hoceima, les contraintes anthropiques sont susceptibles d'interagir avec l'évolution des formes littorales.

La construction du barrage El Khattabi

La construction du barrage MBK en 1981 sur l'oued Nekor a fortement réduit les débits et la charge sédimentaire de celui-ci vers l'aval, ce qui a affecté l'alimentation des plages de la baie en sédiments. La diminution des apports est responsable de l'érosion de l'apex deltaïque du Nekor. Le réservoir du barrage connaît par ailleurs un important envasement : la capacité de stockage, qui était initialement de 43 Mm^3 , s'est réduite de façon très significative et ne représentait que 20 Mm^3 à la date de la dernière bathymétrie réalisée en Novembre 2003, soit une réduction de plus de la moitié en 23 ans. Le taux d'envasement moyen est de l'ordre de $1 \text{ Mm}^3 / \text{an}$, ce qui finira par combler la retenue du barrage dans une quinzaine d'années (Louzi 2008).

Le lit de l'oued Nekor, en aval du barrage, demeure sec durant la quasi-totalité de l'année (Figure III.21.a), sauf pendant les périodes de fortes averses où l'on assiste à d'importants apports liquides de l'oued Tifarouine. Ces derniers restent toutefois très faibles comparés au débit de l'oued Nekor avant l'édification du barrage. La mise à sec de l'oued Nekor a mis en évidence la composition lithologique de son lit, qui est composé de conglomérats graveleux avec un ciment limono-sableux (Figure III.21.b). La proportion des graviers s'élève considérablement au voisinage de l'embouchure de l'oued Nekor où s'est installée une carrière d'extraction des graviers.

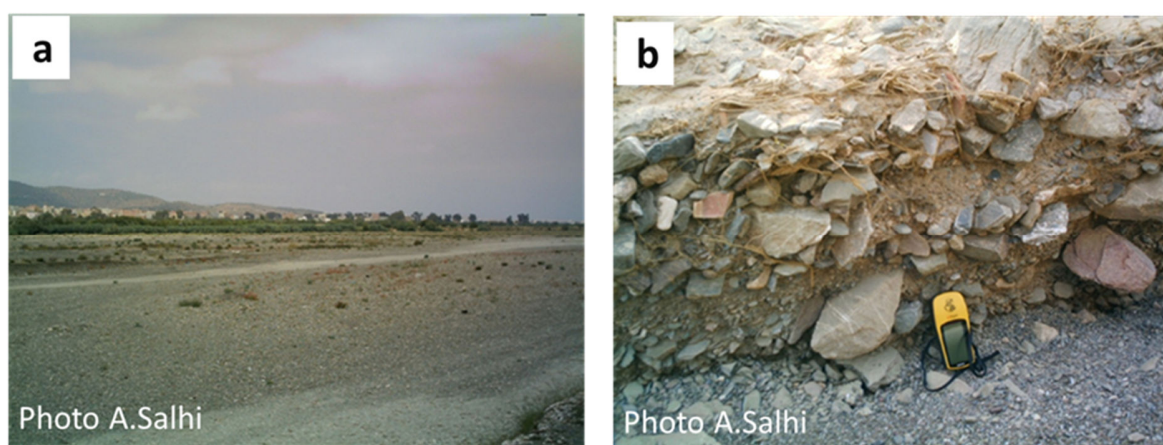


Figure III-21. (a) Chenal sec de l'oued Nekor au niveau de la plaine (b) Conglomérats graveleux du lit de l'oued Nekor (Photos A.Slahi 2008).

Les extractions sur la plage

Les extractions de matériaux sur les sites des plages et au niveau des oueds de Rhis et Nekor ont un effet néfaste sur la stabilité du littoral de la baie. Ces prélèvements se font directement sur l'estran, sur les hauts des plages, au niveau des dunes ou au dans les embouchures des Oueds Rhis et Nekor. Même un nombre réduit de prélèvements a la capacité de défigurer le paysage et de laisser des cicatrices très visibles sur les plages (Figure III-22). Quelle que soit l'unité morphologique sur laquelle les matériaux sont prélevés, le recul de la plage dépend essentiellement de la quantité prélevée. Sur les plages basses, les extractions se traduisent par un amaigrissement du profil.

L'expansion urbaine sans précédent au niveau de la ville d'Al Hoceima et de la plaine de Rhis-Nekor, la cadence de la reconstruction après le séisme de 2004, ainsi que les aménagements touristiques actuels, sont responsables en grande partie de la prolifération des sites d'extractions, lesquels ont pour but de répondre à la forte demande en matériaux de construction.

Ces extractions, souvent clandestines et anarchiques, sont l'une des causes principales de la diminution de la largeur des plages. Selon les secteurs, la plage s'amincit jusqu'à sa disparition quasi-totale (Tayt, certains secteurs de Souani, Batho). La dérive littorale est donc sous-alimentée, et se traduit par un transfert de l'érosion en aval du littoral.



Figure III-22. Photos illustrant les carrières d'extraction du sable (Photos A.KHOUAKHI Mars, 2011)

III.2. Prédiction de la position future du littoral en 2050

En extrapolant les taux d'évolution obtenus par la méthode de régression linéaire (LRR), qui prend en compte toutes les positions successives des traits de côte de la baie d'Al Hoceima entre 1958 et 2013 (Figure III-23), nous avons déduit la position du trait de côte pour 2050. Le TE de chaque transect a été utilisé dans l'équation (1) afin de calculer S_{2050} pour chaque secteur ayant montré une tendance à l'érosion (Esly, Calabonita, centre de Sfiha, Tayt, Souani, Bathou). Globalement la ligne S_{2050} se situerait entre -1.1 et -78m par rapport à S_0 (position 2013), tandis que pour les autres secteurs (Quémado, centre de Sfiha et Salina) qui sont en stabilité/ accrétion les lignes S_{2050} resteraient égales à S_0 (Figure III.23).

La ligne S_{2050} a été tracée sur les images les plus récentes de la zone d'étude (Figure III.23) en utilisant Arcgis 10.1. Pour cela, nous avons tout d'abord transformé la ligne S_0 au format point (chaque point contient une table attributaire montrant la distance calculée de retrait), ensuite nous avons utilisé l'outil *Bearing distance to line* qui calcule les nouvelles positions des points en fonction des distances de retrait calculées.

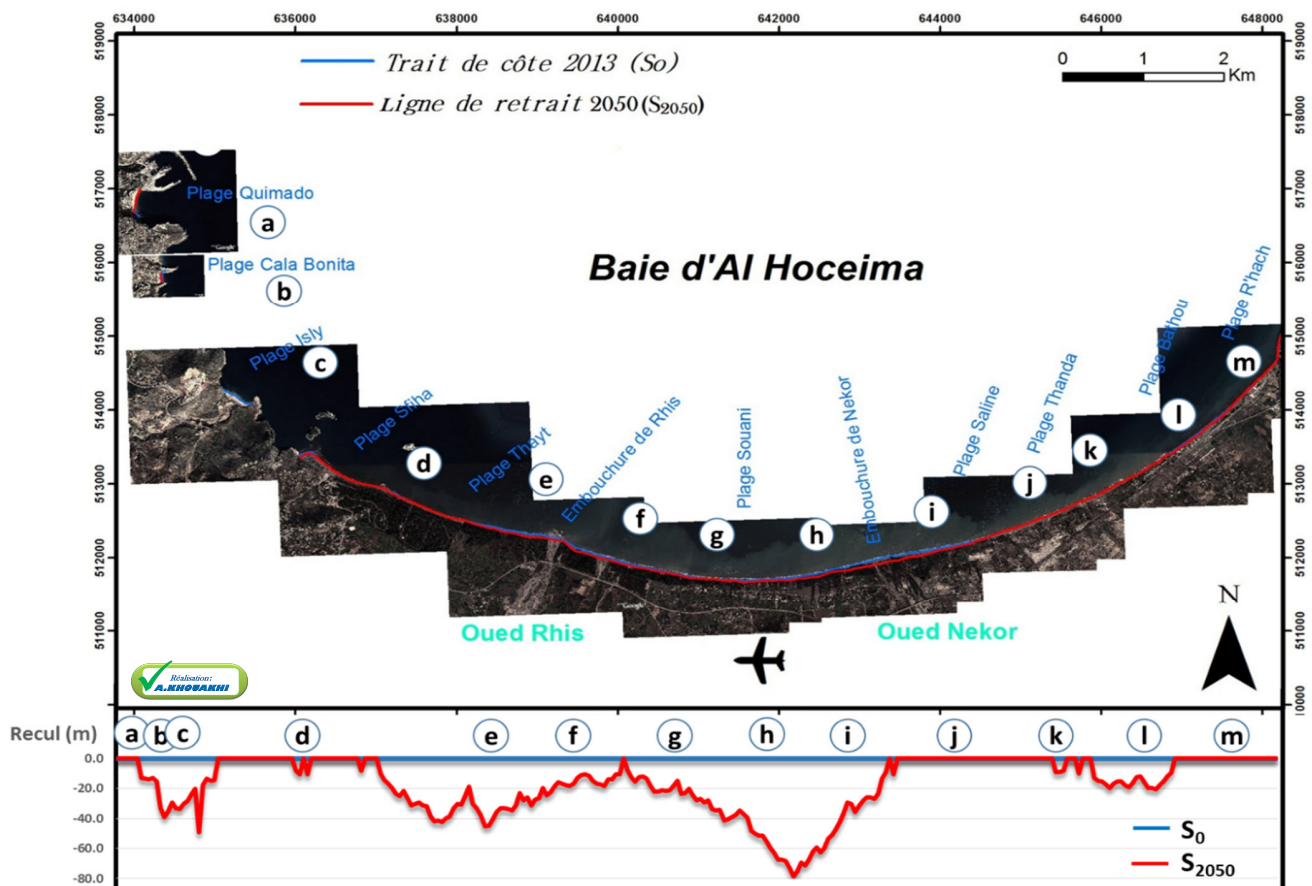


Figure III-23. Ligne de retrait pour 2050 (conditions sans accélération d'ENM).

Le graphique sur la *figure III.23* montre que les retraits les plus significatifs sont situés immédiatement de part et d'autre des embouchures de Nekor et Rhis, ainsi qu'au niveau de la plage de Souani (Figure III.24). Ce résultat était attendu, puisque ce sont ces rivages qui sont marqués par les taux d'érosion les plus élevés, révélés par l'analyse rétrospective de l'évolution de trait de côte.

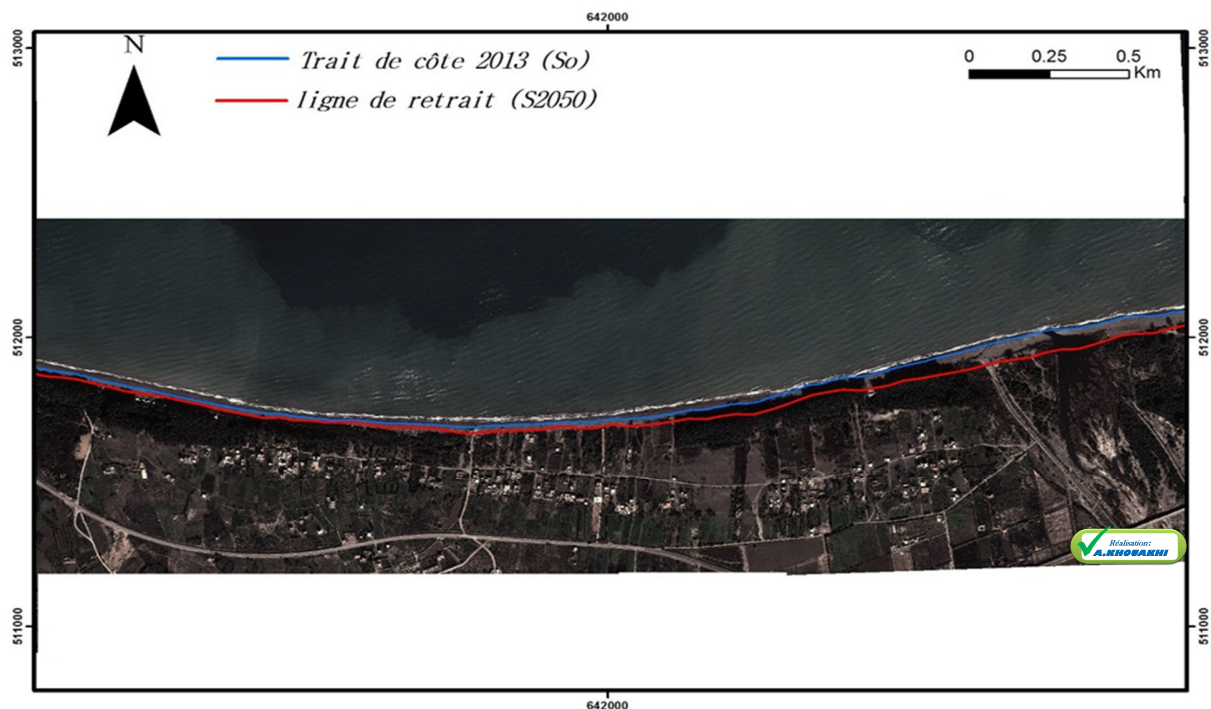


Figure III-24. Situation de la ligne de retrait 2050 au niveau de la Plage de Souani

III.3. Ajustement avec l'EANM

Comme il a été précisé dans l'approche méthodologique, pour déterminer l'érosion supplémentaire qui pourrait être induite par l'EANM pour la baie d'Al Hoceima, il a été nécessaire de déterminer la tendance de l'élévation du niveau marin actuel (ENM_a) et le scénario de l'élévation accélérée de niveau marin (NM_{2050}).

Les valeurs considérées dans cette étude sont consignées dans le tableau III.3 :

Scenarios	Horizon 2050
Sans accélération	$ENM_p = 2.5 \text{ mm/an} \times 37 = 92.5\text{mm}$
Avec accélération (scénario moyen de GIEC)	$NM_{2050} = 20 \text{ cm}$

Tableau III.3. Valeurs de la vitesse d'élévation locale du niveau de la mer et la valeur de la remontée accélérée du niveau marin pour 2050.

En utilisant les valeurs ci-dessus et l'équation 2, l'ajustement du niveau marin (ENMa) à prendre en considération sera donc de 0.11m.

Application du modèle de Bruun

D'après Tesson et Gensous (1979), qui ont réalisé une étude des faciès sédimentaires de la baie d'Al Hoceima (Cf. chapitre II), les zones des plages sous-marines entre 0 et - 20 m sont composées de sables fins de couleur grise, à densité élevée, semblables aux sables alluviaux de la plaine de Rhis-Nekor. Au-delà de - 20 m, les faciès passent progressivement à des vases noires et plastiques qui occupent la majeure partie des fonds de la baie jusqu'à - 120m. Nous avons donc considéré la valeur de -20m comme profondeur de fermeture du profil. Partant de là, nous avons déduit la distance L correspondant à largeur du profil actif compris entre la base du cordon littoral et la profondeur de fermeture du profil (Figure III.25).

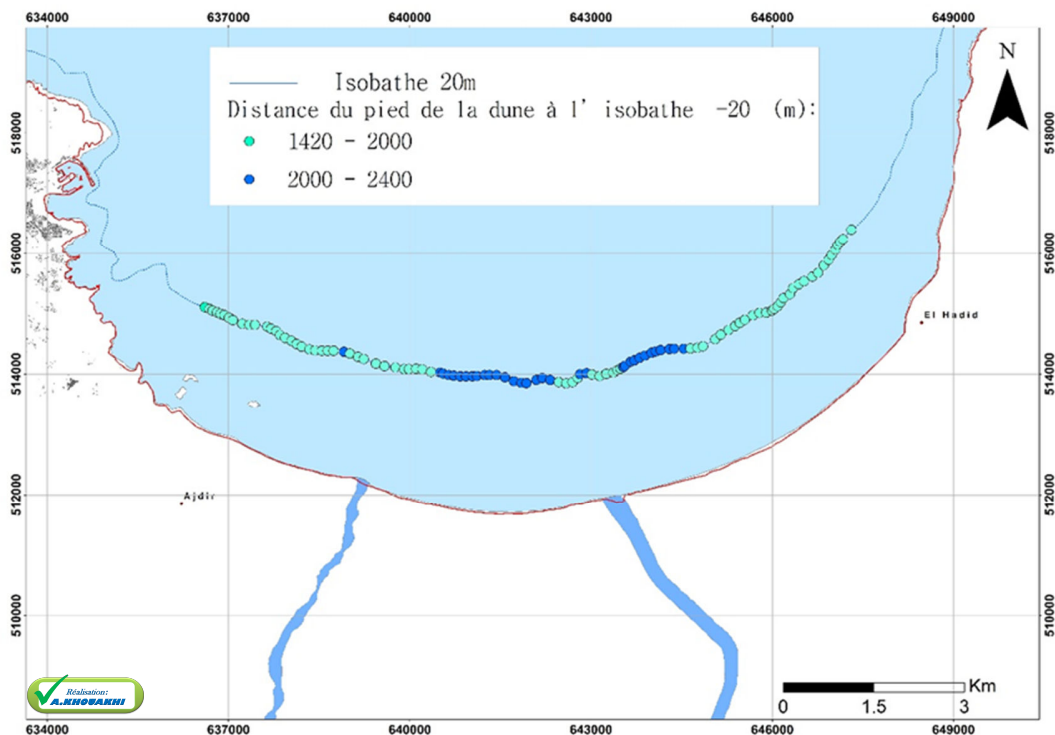


Figure III-25. Distance entre le pied de la dune et la profondeur supposée de fermeture de plage

Nous avons distingué 3 zones : la zone Ouest de la baie avec une largeur moyenne L de 1700m, la partie centrale de la baie, correspondant au segment de Souani, avec une largeur moyenne L de 2070m, et la partie Est de la baie avec une valeur moyenne L de 1600m.

Les hauteurs de la dune (D) de la baie d'Al Hoceima ont été extraites du MNT Spot, et complétées par des mesures sur le terrain. Elles indiquent des valeurs qui ne dépassent pas les

5 mètres (Figure III-26). Pour l'application de la formule de Bruun nous avons opté pour la valeur moyenne de 3m.

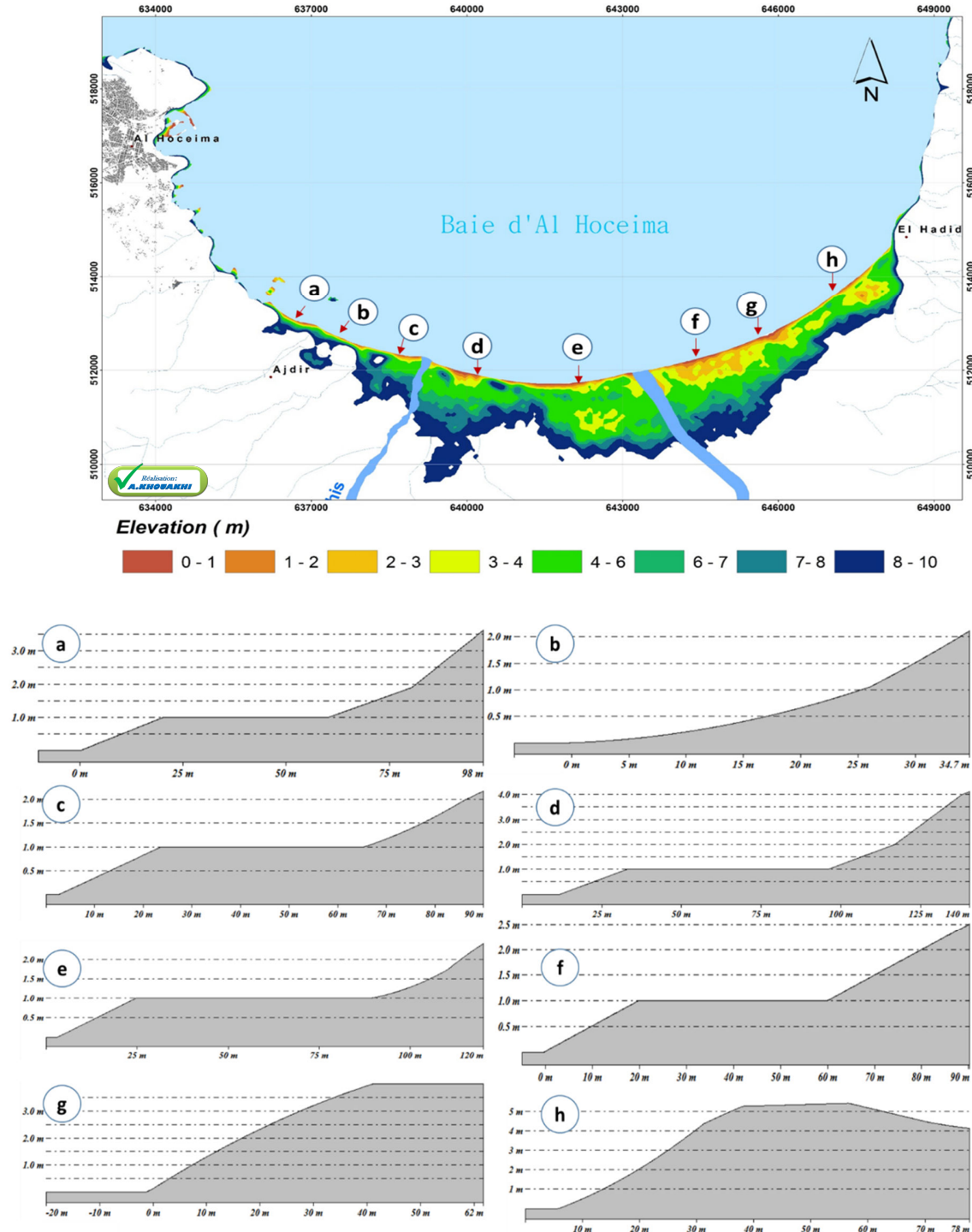


Figure III-26. Hauteurs des dunes de la baie d'Al Hoceima

En insérant les valeurs obtenues D , L , et h dans l'équation (3), les valeurs d'ajustement supplémentaires (R_a) obtenues sont comprises entre 0 et 10.4 m. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du centre de la baie qui couvre la plage de Souani, et les segments côtiers situés immédiatement de part et d'autre des embouchures de Nekor et Rhis.

Les valeurs R_a d'ajustement à l'EANM sont ensuite additionnées aux valeurs S_{2050} (équation 4) pour obtenir des valeurs totales de retrait. Celles-ci varient de 0 à 89m par rapport au trait de côte actuel S_0 (Figure III.27).

Pour les segments côtiers qui ont subi une tendance à l'accrétion pendant la période d'étude (Plages Quemado et Salina), nous avons comparé l'évolution d'accumulation dans ces segments d'ici 2050 (en extrapolant les taux d'engraissement calculés pour l'année 2050) et les valeurs d'ajustement R_a calculées. Si les valeurs de progradation d'ici 2050 (basées sur l'analyse de la cinématique du trait de côte pour la période 1958-2013) sont supérieures à R_a , la ligne de retrait reste égale à S_0 . C'est le cas de la plage Quemado. Dans le cas contraire ($R_a > S_{2050}$: accumulation), la ligne de retrait est extraite en utilisant l'équation 5. C'est le cas de la plage Salina (Tableau III.4).

Plages en accrétion	Accumulation d'ici 2050 (m)	R_a calculé (m)	Retrait
Quemado	7.4 m (0.2m/an)	6.26 m	S_0
Salina	7.4 m (0.2m/an)	9 m	-1.5 m

Tableau III.4. Plages en engraissement et valeurs de progradation extrapolées pour 2050 comparées avec les valeurs d'ajustement à l'EANM (R_a).

Globalement, les zones susceptibles de subir un recul d'ici 2050 sont représentées sur la carte (Figure III.27. a,b). Nous remarquons que les valeurs de retrait les plus élevées correspondent toujours aux linéaires côtiers situés de part et d'autres des embouchures de Rhis et Nekor. La ligne de retrait future et qui tient compte du changement climatique (S_{2050a}) se situerait entre 0m (référence actuelle) au niveau de la plage ouest de Quemado et de R'hach, et -89m au niveau de delta de Nekor.

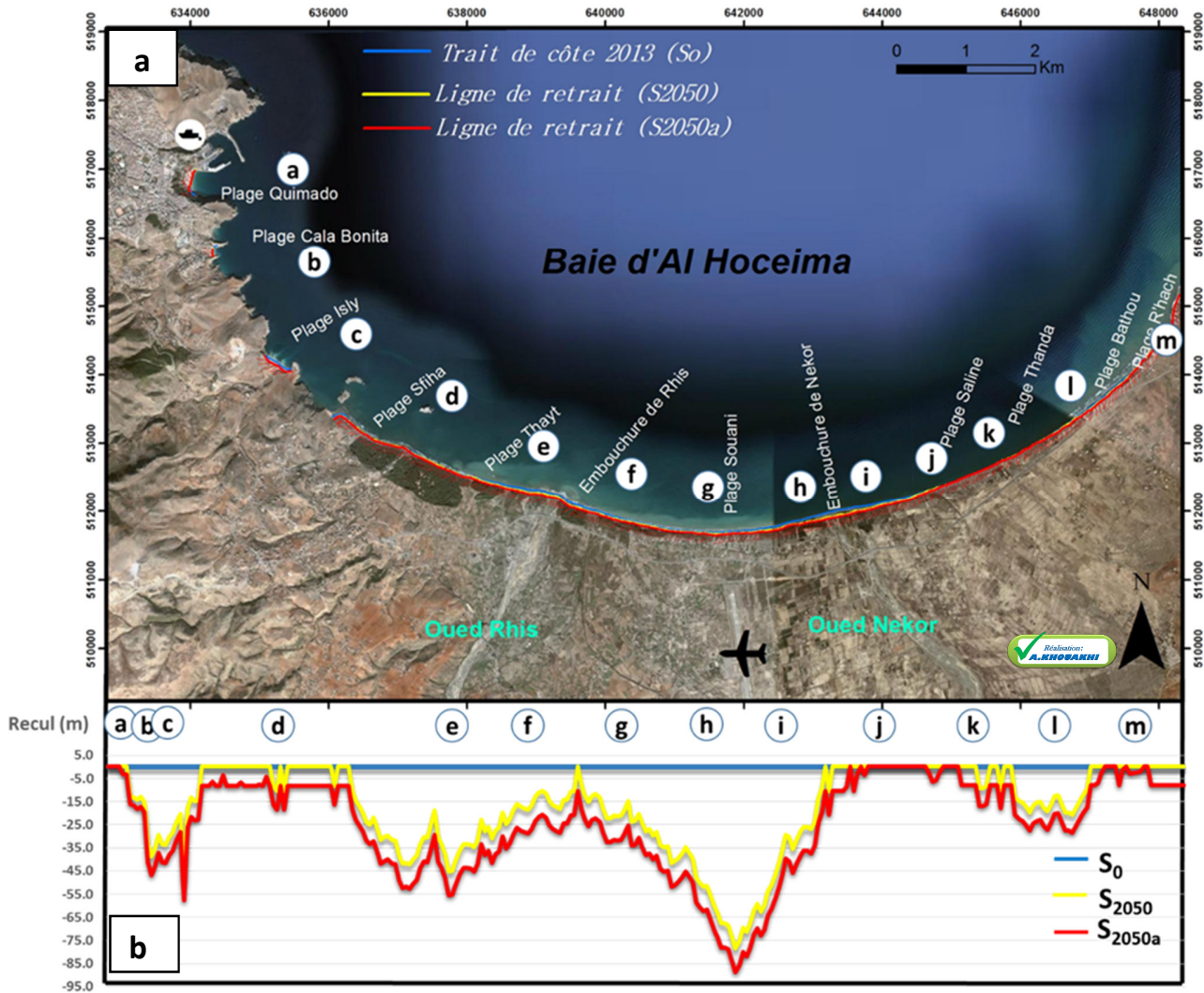


Figure III-27. Représentation finale des lignes de retrait pour la baie d'Al Hoceima a) représentation cartographique b) positions (en m) vers la terre du rivage par rapport à S₀ d'ici 2050 calculées pour tous les transects

Plage / secteur	Largeur Moyenne actuelle (m)	Tendance actuelle	TE moyen (1958-2013) m/an	Recul d'ici 2050 (S ₂₀₅₀) (moyenne en m)	Recul d'ici 2050 (S _{2050a}) avec EANM (Moyenne en m)	Commentaires
<i>Quemado</i>	50	<i>Accrétion</i>	+0.2	0	0	La ligne de retrait correspondant à la ligne actuelle So. Puisque la plage a marqué une légère accumulation de sable, notamment la partie nord, l'ajustement par l'EANM (Ra) est inférieur à la distance d'accumulation d'ici 2050.
<i>Cala bonita</i>	40	<i>Érosion</i>	-0.38	-14.06	-18.25	La ligne de retrait se situerait à une valeur moyenne d'environ -18m par rapport au rivage actuel.
<i>Sfiha</i>	30	<i>Stabilité dynamique</i>	0	0	-9	La plage est considérée en stabilité dynamique pendant la période d'étude bien qu'elle ait montré une tendance à l'érosion dans les dernières années. La ligne de retrait finale dans ce cas est égale à la ligne calculée par le modèle de Bruun (Figure III.28a).
<i>Tayt</i>	25	<i>Érosion</i>	-0.8	-29.6	-40	La plage de Tayt située immédiatement à l'ouest de l'embouchure de Rhis et très influencée par les apports de celui-ci. La ligne de retrait est située dans ce secteur à une valeur moyenne de -40 m par rapport à au rivage actuel. (Figure III.28a,b).
<i>E.Rhis</i>	-	<i>Érosion</i>	-1	-37	-45	Le delta de Rhis est marqué par un fort recul pendant la période d'étude. Le retrait calculé est situé à une moyenne de 45 m de la ligne actuelle (Figure III.28b).
<i>Souani</i>	25	<i>Érosion</i>	-0.8	-29.6	-36	C'est la plus longue plage de la baie qui a montré une tendance à l'érosion. La plage actuelle devient étroite. La ligne de retrait estimée serait située à une moyenne de 36m à l'intérieur des terres. Les distances de retraits les plus

						marquantes sont proches des deltas de Rhis et Nekor. (Figure III-28b,c).
<i>E.Nekor</i>	-	<i>Érosion</i>	-1.6	-59.2	-68	C'est le secteur qui a connu le plus important recul durant la période 1958-2013. La ligne de retrait est évaluée à une moyenne de -68 m par rapport à la référence actuelle (Figure III.28d).
<i>Salina</i>	30	<i>Accrétion</i>	0.2	0	-1.5	Celle plage a montré une légère tendance à l'accumulation de sable. La ligne de retrait finale serait à -1.5m de la ligne actuelle, puisque l'accumulation d'ici 2050 serait plus grande que l'érosion estimée par le modèle de Bruun (Ra) (Figure III.28e).
<i>Bathou</i>	16	<i>Érosion</i>	-0.45	-16.65	-22	La plage actuelle est très étroite, ce qui indique une tendance à l'érosion. La ligne de retrait serait située à -22 m du rivage actuel (Figure III.28e).

Tableau III.5. Résultats d'estimations du retrait du trait de côte des plages sableuses de la baie d'Al Hoceima

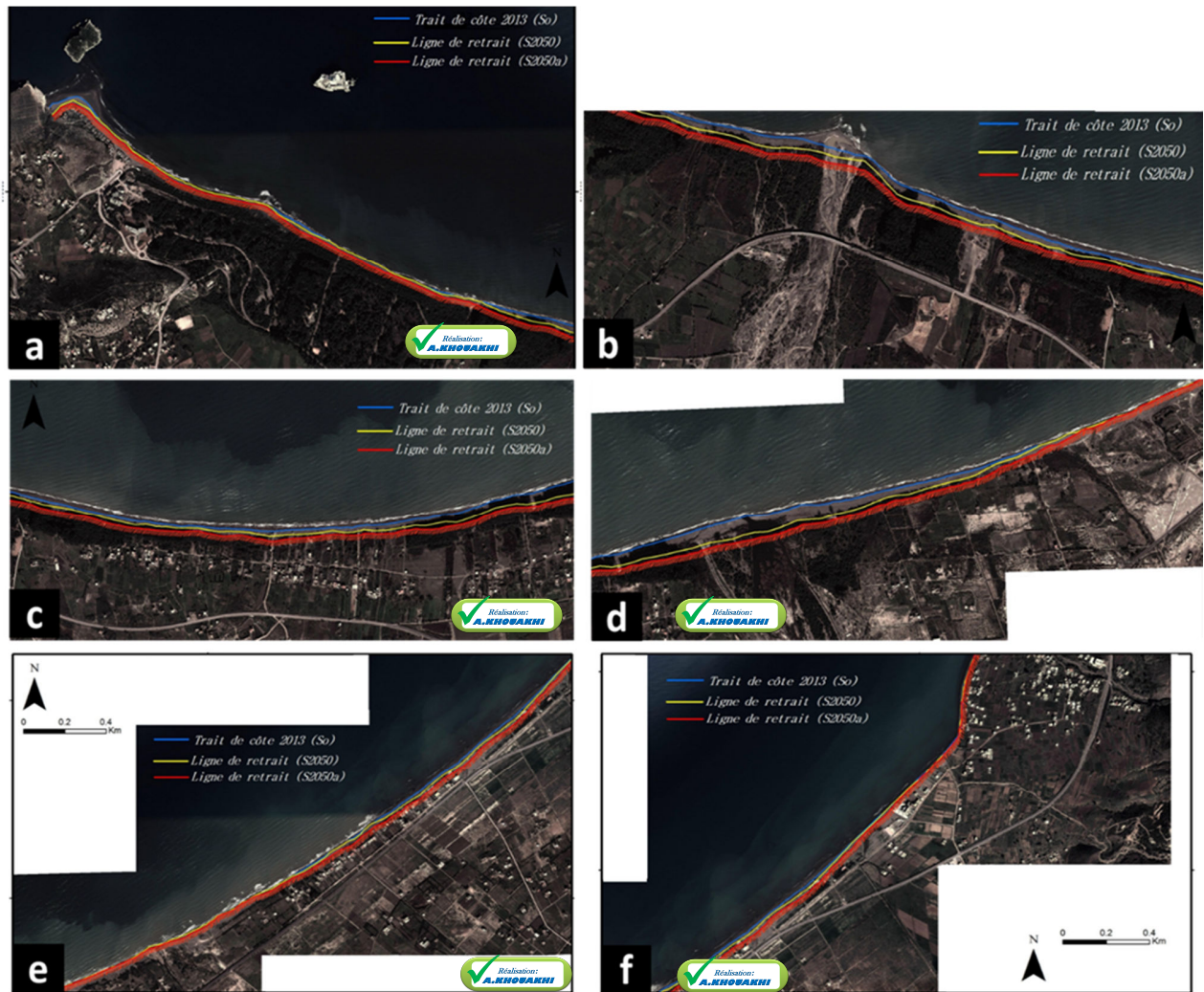


Figure III-28. Cartes présentant les lignes de retrait de la baie de la baie d'Al Hoceima

Avec ces estimations, certaines plages risquent de disparaître (Comme le cas de l'est de Sfiha Tahyt, et Souani), et certaines constructions se trouveraient en danger, notamment les résidences situées sur le cordon dunaire de Bathou. Les plages qui sont déjà vulnérables deviendraient de plus en plus étroites.

Une étude d'évaluation de retrait des plages de la baie d'Al Hoceima pour l'horizon 2100 sous différents scénarios d'ENM, et en utilisant différents modèles, a été réalisée par *Labrèche (2012)*. La méthode d'évaluation utilisée est celle développée dans le cadre du projet RiVAMP (Velegrakis et al., 2009 ; Chatenoux et al., 2012). Il s'agit d'une application sous MATLAB qui regroupe un ensemble de 3 modèles analytiques d'Edelman, Dean, Bruun, (Edelman, 1972 ; Kriebel et Dean, 1985 ; Bruun, 1988 ; Dean, 1991), et 2 modèles numériques Leont'yev et Sbeach (Larson et Kraus, 1989 ; Leont'yev, 1996).

Les différents modèles montrent des résultats plus alarmants : par exemple, une hausse du niveau des mers de 0,59 m (scénario moyen de l'élévation du niveau moyen de la mer prévu pour 2100) conduirait à une perte de la largeur des plages qui pourrait atteindre jusqu'à 98% par rapport à leur largeur actuelle (Labrèche, 2012).

IV. Conclusion du Chapitre

Ce chapitre visait à déterminer le comportement des plages sableuses de la baie d'Al Hoceima en se basant sur une analyse rétrospective et prospective de leur évolution. L'objectif était d'obtenir une meilleure compréhension de la réponse du trait de côte à diverses pressions naturelles et anthropiques afin d'en prédire le comportement futur dans le contexte du changement climatique. Bien que simple et certainement perfectible, l'approche méthodologique utilisée nous a permis de parvenir à une à une évaluation des zones à risque de recul prévues à l'horizon 2050, information capitale pour un développement et des investissements durables, ainsi qu'une sécurité des populations et des actifs côtiers.

La détermination des lignes de retrait a consisté d'abord à retracer l'évolution de la position du rivage de la baie sur une période de 55 ans (1958-2013). Les résultats ont montré que 60% du trait de côté a une tendance régressive, 30% est stable, et seulement 10% montre un engraissement. Les taux d'érosion les plus élevés concernent principalement les plages basses situées aux alentours des embouchures des oueds Rhis et Nekor, principaux pourvoyeurs en sédiments de la baie. La variabilité climatique (fortes précipitations, longues sécheresses, houles de tempêtes), combinée aux activités humaines (barrage, bétonisation, extractions de matériaux, boisement/déboisement), seraient les principaux facteurs qui ont contrôlé le comportement du rivage durant ce dernier demi-siècle.

En assumant la continuation de ces mêmes conditions dans le temps, nous avons ensuite tenté de prédire la position future du trait de côte de la baie à l'horizon 2050 par rapport à la ligne de référence actuelle (2013). La méthode a été appliquée à toutes les plages sableuses de la baie d'Al Hoceima, à savoir celles qui ont subi une érosion mais également les plages stables ou en accrétion. Les résultats obtenus ont ensuite été ajustés en tenant compte de l'élévation attendue du niveau de la mer due au changement climatique, sans toutefois intégrer les événements extrêmes supposés augmenter en fréquence et en amplitude avec le changement climatique. Il apparaît que dans le cas du scénario moyen d'EANM que nous avons choisi, le recul du rivage affecterait les mêmes secteurs identifiés historiquement et prospectivement sans changement climatique. Cela signifie que les zones naturellement vulnérables et/ou anthropisées sont celles qui seront le plus touchées dans l'avenir et donc celles qui appellent à une vigilance prioritaire et une stratégie d'adaptation planifiée.

Il y a lieu de rappeler ici que les estimations données sont largement « optimistes » car elles ne tiennent pas compte des événements extrêmes qui peuvent faire disparaître les plages subitement, le temps d'une tempête. Il faut ajouter à cela les incertitudes liées notamment aux

scenarios de l'EANM, au manque de données météo-marines, au modèle de Bruun (cf. critiques de celui-ci, e.g. Pilky and Cooper, 2004), et enfin à la méconnaissance de la cadence du développement socio-économique futur de la zone ainsi que des mesures qui seront apportées par l'État.

Il n'en demeure pas moins que cette étude a permis de préciser les tendances d'évolution ; cette information capitale pour inciter les décideurs à prendre en compte le risque d'érosion pour les prochaines décennies, à intégrer les impacts du changement climatique et notamment de l'EANM dans tous plans d'aménagement, en instituant de manière légale des zones de retrait déterminées préalablement et en conformité avec le Protocole GIZC ratifié que le Maroc a ratifié.

La définition des lignes de retrait est en effet d'une importance fondamentale pour la mise en œuvre d'une gestion durable des zones côtières ; ces lignes définissent les frontières qui marquent les zones potentiellement à risque d'érosion, et contribuent à maintenir les services écosystémiques côtiers, notamment la protection de la biodiversité et des habitats, la sécurité des hommes et de leurs biens, ainsi que possibilité d'évoluer avec l'élévation du niveau de la mer attendue. Il s'agit donc déjà en soi d'une mesure d'adaptation primordiale au changement climatique. Enfin il faut rappeler que l'établissement d'une zone de retrait permet également de faciliter l'accès des populations à une zone plus vaste que le domaine public maritime et de rendre les loisirs de ce type d'environnement particulièrement attrayants.

Chapitre

IV

ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA BAIE

*Ce chapitre s'articule en deux sous-chapitres : le **premier** est dédié à l'évaluation de la vulnérabilité du littoral de la baie à l'ENM et aux tempêtes. L'étude est fondée sur l'utilisation des indices de vulnérabilité en incluant également les taux d'érosion calculés précédemment. Cinq indices ont été combinés pour cette évaluation (a) la géomorphologie / la géologie de la zone côtière étudiée ; (b) la largeur des plages ; (c) la pente et la topographie ; (d) les variations du trait de côte ; (e) la distance à 20m d'isobathe ; (f) l'exposition de la côte ; (g) la distance de la végétation en arrière-plage. Ces variables ont été choisis en fonction de la disponibilité des données et en raison de leur applicabilité à une échelle locale. Le **deuxième** sous-chapitre est consacré à l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe de Rhis-Nekor à l'intrusion saline par la remontée du biseau salé en cas d'élévation du niveau de la mer, en adoptant les indices de GALDIT. La cartographie de ces zones est effectuée selon les deux scénarios ; sans EANM puis avec une élévation de 0,5m.*

Sous-chapitre IV.1 :

Vulnérabilité de la baie d'Al Hoceima à l'ENM et aux tempêtes dans le contexte du changement climatique

Sommaire

I. Introduction.....	147
I.1. Définition des principaux termes	148
I.2. Aperçu sur les différentes techniques d'évaluation de la vulnérabilité côtière.	152
I.2.1. Méthodes basées sur des indices de vulnérabilité.....	152
I.2.2. Méthodes basées sur les systèmes d'aide à la décision et SIG.....	154
I.2.3. Méthodes basées sur des modèles informatiques dynamiques.....	154
I.3. Conclusion	155
II. Estimation de la vulnérabilité du littoral de la baie d'Al Hoceima	156
II.1. Méthodologie adoptée.....	156
II.1.1. Détermination des paramètres.....	156
II.1.2. Importance de SIG et Subdivision de la côte.....	157
II.1.3. Méthode de calcul	158
II.2. Résultats de la vulnérabilité physique.....	159
II.2.1. Cartographie des variables.....	159
II.2.2. Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI).....	175
II.3. Vulnérabilité socio-économique.....	178
III. Conclusions.....	182

I. Introduction

Aujourd'hui le changement climatique est considéré comme l'enjeu environnemental le plus important de notre époque. Et les systèmes côtiers sont particulièrement menacés par ses impacts potentiels. Parmi les facteurs climatiques influençant ces systèmes, décrits par Nicholls et al., (2008) et résumés sur le *tableau IV-1.*, l'élévation du niveau marin (ENM) et l'intensité accrue des tempêtes constituent des enjeux considérables.

Facteurs climatiques	Les principaux effets physiques et écologiques sur les systèmes côtiers
Niveau marin (↑, R)	Inondation, tempêtes, érosion; intrusion saline, mauvais drainage, perte des zones humides.
Tempêtes Intensité (? , R) Fréquences (? , R) Courants (? , R)	Augmentation de la hauteur des vagues et des niveaux d'eau extrêmes, augmentation de l'érosion épisodique, des risques de tempêtes et inondation. Modification les ondes de tempête et par conséquent augmentation du risque lié aux dommages provoqués par les tempêtes et les inondations.
Climat des vagues (? , R)	Modification des conditions des vagues, y compris la houle; modification du système érosion-accrétion, réorientation de la plateforme de la plage...
Température de la surface des mers. (↑, R)	Modification des circulations; réduction des glaciers dans les hautes latitudes, blanchissement et mortalité des coraux; migration des espèces vers les pôles, augmentation des proliférations d'algues
Concentration CO ² (↑)	Augmentation de la fertilisation de CO ₂ , diminution de pH de l'eau de mer (ou acidification des océans) qui impacte négativement les récifs coralliens et autres organismes sensibles.
Ruissellement (R)	Modification des risques d'inondation dans les plaines côtières, détérioration de la qualité des eaux, changement des apports sédimentaires ...

Légende : ↑ : Augmentation, ? : Incertain, R : Variation Régionale

Tableau IV-1. : Influence des principaux effets climatiques sur les systèmes côtiers

Selon les rapports du GIEC, les niveaux relatifs des mers devraient augmenter, ce qui pourrait accroître le risque d'inondation avec à une probabilité accrue d'événements météorologiques extrêmes et des ondes de tempête (Nicholls et al., 2008). De plus, l'ENM est l'un des principaux déterminants de la position du trait de côte (Phillips et Crisp, 2010) et la submersion marine serait de plus en plus un problème pour les établissements humains et les infrastructures situées à moins de 100 m du trait de côte, domaine le plus susceptible d'être affecté par l'ENM (Purvis et al., 2008)

Avec toutes ces menaces, il apparaît nécessaire pour la communauté scientifique de procéder au développement de méthodes d'évaluation de vulnérabilité physique et socioéconomiques des zones côtières à l'ENM, avec le détail de nouvelles approches spécifiques à certains milieux particuliers, tels les zones deltaïques et les côtes basses ou en subsidence. Celles-ci

seraient les plus menacées par la hausse du niveau marin (GIEC, 2001,2007). Le but serait de disposer d'informations scientifiques suffisantes devant aider dans les prises de décisions futures liées aux impératifs de gestion de ces zones. En effet, les gestionnaires et les planificateurs des zones côtières, cherchent depuis quelques années, à élaborer et évaluer des outils pouvant être utilisés dans les études d'impacts au changement climatique et à l'ENM sur les zones côtières, dans le contexte d'une hausse niveau marin et des enjeux correspondants. Parmi ces outils, l'évaluation de la vulnérabilité du littoral est l'approche la plus utilisée pour la gestion de la zone côtière. Cette estimation nécessite une cartographie des zones les plus vulnérables aux effets de l'élévation du niveau de la mer et aux phénomènes météorologiques extrêmes, principalement l'érosion et la submersion marine (Palmer et al., 2011). Les méthodologies utilisées varient considérablement à travers le monde, en effet, différentes techniques et divers indicateurs ont été utilisés selon la situation environnementale du littoral. Certains utilisent des dizaines de paramètres et d'autres ne se limitent qu'à un petit nombre; certains d'entre eux sont conçus comme étant les plus importants, et d'autres le sont beaucoup moins (McLaughlin and Cooper, 2011).

C'est dans ce contexte de proposer des outils d'aide à la gestion de la côtière que ce chapitre entreprend une évaluation et une cartographie de la vulnérabilité de la bande côtière de la baie d'Al Hoceïma ; surtout que le littoral de la baie d'Al Hoceïma montre une faible résistance physique et une forte exposition aux événements météo-marins, du fait de la basse topographie de la partie centrale de cette zone d'étude. De surcroit, en raison de l'habitat humain et des infrastructures qui se développent à proximité de la ligne de côte ; cette résistance pourrait se révéler limitée avec l'ENM et la hausse des événements de tempêtes extrêmes.

I.1. Définition des principaux termes

Les termes de *vulnérabilité, sensibilité, risques, aléa, et enjeux* couvrent des notions complexes et ne faisant pas l'objet d'un consensus sur les définitions. Ils sont en effet utilisés par deux sphères de la recherche : la première concernant le changement climatique et la seconde de l'étude des risques naturels. Celles-ci utilisent parfois les mêmes termes avec des significations différentes. La *figure IV-1* montre les liens entre les différents termes liés à la vulnérabilité.

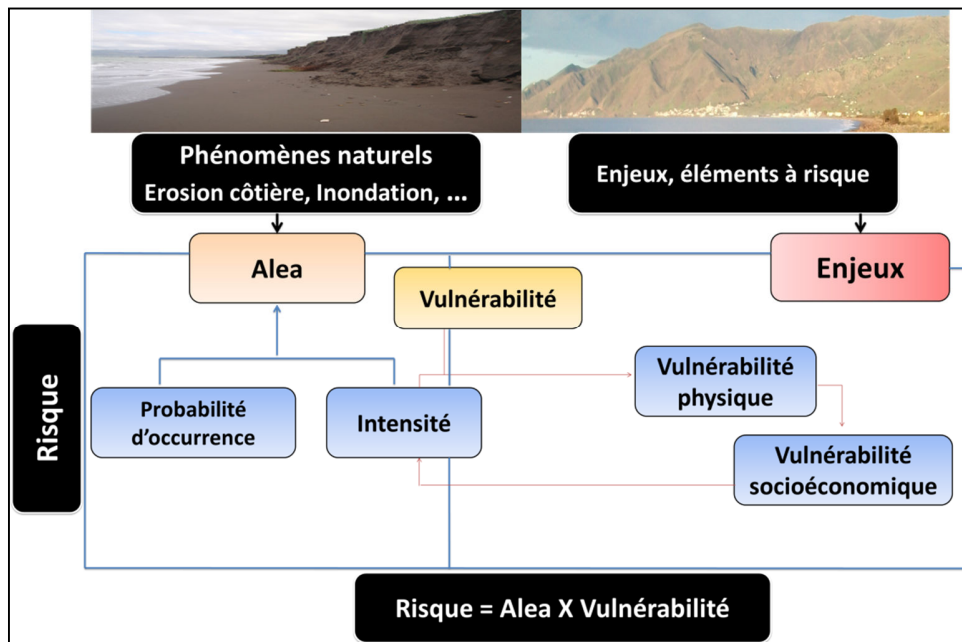


Figure IV-1. Schéma conceptuel soulignant les liens entre les différents termes liés à la vulnérabilité

La notion du **Risque** repose sur un modèle théorique qui est la résultante de deux autres concepts correspondants à l'*Aléa* et la *vulnérabilité*. Un lieu est dit menacé par un risque lorsqu'il y a une probabilité de déclenchement d'un phénomène naturel destructeur et la présence de biens, de personnes et d'activités pouvant subir des préjudices du fait de celui-ci. (Manch, 1996).

L'**aléa** fait référence à la notion de probabilité qu'un phénomène naturel puisse se produire (Choquet, 1995). Le plus souvent, il tient compte à la fois de l'intensité et de la fréquence du phénomène physique, sachant que celui-ci est très difficile à mesurer et à quantifier.

Quant à la difficulté d'aboutir à une définition générale de la **vulnérabilité** provient des multiples facteurs qui entrent en jeu, tels: les dimensions économiques, sociales et matérielles... Elle est cependant susceptible d'intégrer ces différentes dimensions, implicitement ou explicitement. Parmi les définitions existantes, on peut retenir les suivantes : Au sens large, la vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (Henry 2004), Plus techniquement, *Gendreau (1999)* la caractérise comme étant la fragilité des installations humaines dans l'absolu. Autrement dit, cette notion s'appréciera de la même façon pour un élément donné, quelle que soit sa position et le risque considéré. Elle est mesurée par une période de retour, ce qui lui confère la même dimension que l'aléa. Selon *Monachesi (2001)* c'est une caractéristique propre de la société en transformation constante et produit son histoire. De ce point de vue, l'origine de la catastrophe se trouve dans les modalités mêmes du développement de cette société. D'autres

auteurs (Graillet et al., 2001) tentent d'intégrer les aspects socio-économiques et géographiques dans une démarche globalisée d'analyse multicritères, Quant à la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ; elle la définit simplement comme la susceptibilité des ressources à être affectés par des aléas. Mais dans le contexte du changement climatique, la vulnérabilité est le degré auquel les éléments d'un système (éléments tangibles et intangibles, comme la population, les réseaux et équipements permettant les services essentiels, le patrimoine, le milieu écologique...) sont affectés par les effets des changements climatiques (y compris la variabilité du climat moyen et les phénomènes extrêmes). La vulnérabilité est ainsi fonction à la fois de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat (aléas, exposition) à laquelle le système considéré est exposé, et de la sensibilité de ce système (GIEC 2007). Le niveau de la vulnérabilité (ou niveau de risque dans la terminologie de la littérature relative aux risques naturels) s'évalue en combinant la probabilité d'occurrence et l'importance d'un aléa (*l'exposition*) ainsi que l'ampleur des conséquences (*ou sensibilité*) d'une perturbation ou d'un stress sur des éléments du milieu en un temps donné. L'approche de la vulnérabilité est celle d'un caractère de fragilité face aux aléas climatiques.

Les éléments clés de la définition de vulnérabilité sont expliqués par l'**exposition** qui correspond à la nature et au degré auxquels un système est exposé à des variations climatiques significatives (GIEC 2007) sur une certaine durée (à l'horizon temporel de 10 ans, 20 ans,...).

Les variations du système climatique se traduisent par des événements extrêmes (ou aléas) tels que les inondations, les ondes de tempête, ainsi que l'évolution des moyennes climatiques (PNUD - Gestion des risques climatiques, 2010). Les éléments exposés sont les éléments tangibles et intangibles d'un milieu susceptible d'être affecté par un aléa naturel ou anthropique.

Pour Klein et Nicholls (1999), la vulnérabilité du littoral intègre à la fois le système naturel et socio-économique des environnements côtiers (Figure IV-2). Les éléments clés de ce cadre comprennent la différenciation entre «adaptation autonome» et «l'adaptation planifiée» ainsi que l'influence notable du système socio-économique sur le système naturel.

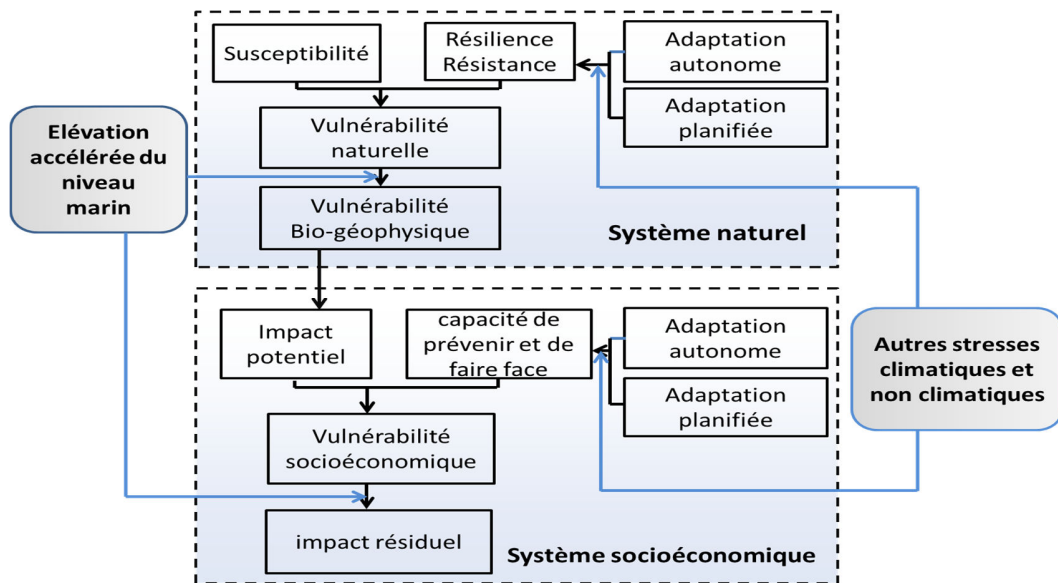


Figure IV-2. Cadre décrivant la vulnérabilité littorale (Klein et Nicholls 1999)

Selon ces mêmes auteurs, la vulnérabilité naturelle du système côtier aux effets de l'ENM est fonction de sa *sensibilité naturelle*, sa résistance et sa résilience. *La sensibilité* est le potentiel du système d'être touché par l'ENM indépendamment de l'influence humaine. *La résistance* est la mesure de la capacité d'un système afin d'éviter des perturbations, alors que *la résilience* est la capacité du système à revenir à son état initial après avoir été perturbé.

L'adaptation autonome est la réponse adaptative du système côtier naturel à l'ENM tandis que *l'adaptation planifiée* comprend les mesures prises pour améliorer la résistance et la résilience naturelles du système, par exemple en créant une zone tampon côtière. *L'adaptation* est la capacité d'un système à se transformer d'une manière qui le rend mieux protégé pour faire face aux influences extérieures (Klein et Nicholls, 1999); (Figure IV-2). Il est à signaler que le terme de «vulnérabilité du littoral», est souvent associé uniquement aux effets de l'ENM en négligeant les autres facteurs non climatiques auxquels l'environnement côtier pourrait être exposé ou incapable de s'adapter (Nicholls et al., 2008, Oyzurt et al., 2009).

Afin de réaliser l'objectif général de ce chapitre en cartographiant la vulnérabilité de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima, les étapes suivantes ont été examinées:

1. Aperçu bibliographique des différentes techniques d'évaluation de la vulnérabilité littorale utilisées à travers les différentes côtes mondiales.
2. Description de l'indice de vulnérabilité côtière (*coastal vulnerability index_ CVI*) et des études pilotes effectuées dans le monde.
3. Identification des variables pouvant être utilisés pour le cas de la baie d'Al Hoceima.
4. Classification des variables de vulnérabilité considérées

5. Segmentation de la côte en «cellules côtières» appropriées pour une meilleure analyse en utilisant le SIG.
6. Application d'une équation pour agréger les différentes variables.
7. Identification et cartographie de l'indice relatif total de vulnérabilité physique de de la baie d'Al Hoceima à l'ENM et aux tempêtes extrêmes.

I.2. Aperçu sur les différentes techniques d'évaluation de la vulnérabilité côtière.

Ce paragraphe constitue une revue de la littérature présente sur les méthodes et les outils utilisés pour l'estimation de la vulnérabilité côtière à travers le monde, particulièrement les plus couramment adoptés, dans l'objectif de sélectionner les plus adéquats pour notre étude.

Suivant *Ramieri et al., (2011)*, les méthodes synthétisées peuvent être structurées en trois grandes catégories:

- Méthodes basées sur des indices de vulnérabilité ;
- Méthode basées sur les SIG et systèmes d'aide à la décision ;
- Méthodes basées sur des modèles informatiques dynamiques.

I.2.1. Méthodes basées sur des indices de vulnérabilité

Souvent, pour simplifier la compréhension et l'applicabilité des études de la vulnérabilité, des indices sont utilisés pour fournir une description synthétique de la réponse de la côte à un événement particulier. De plus, l'attribution d'un indice aux différents traits côtiers permet de regrouper ceux qui présentent des caractéristiques communes et qui donneront vraisemblablement des réponses semblables au danger considéré. L'estimation du CVI est l'une des méthodes les plus simples et couramment utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'ENM, notamment à l'érosion et / ou à la submersion (*Gornitz et al., 1989*). Le CVI est basé sur un calcul numérique simple des segments côtiers en termes d'un changement potentiel. Les résultats du CVI sont ensuite cartographiés pour faciliter aux gestionnaires pour identifier les régions où les risques peuvent être relativement élevés.

Le CVI a été initialement conçu par *Gornitz et Kanciruk (1989)* qui ont utilisé six variables physiques comme indicateurs de la vulnérabilité à l'impact de l'ENM de la côte des États unis: (a) géomorphologie, (b) la pente littoral, (c) le taux d'élévation relative du niveau de la mer (mm/an), (d) taux d'érosion et d'avancement du trait de côte (m/an), (e) marnage moyen de la marée (m), et (f) hauteur moyenne de la houle (m) (Cf. Equation 1). Une valeur de risque de 1 à 5 (1 étant la valeur la plus faible de contribution à la vulnérabilité et 5 étant la valeur la plus élevée) est attribuée à chaque paramètre. L'attribution de cette valeur est basée sur le potentiel de chaque paramètre sur les variations physiques des côtes. Une fois le classement terminé, une formule

de calcul de l'ensemble de paramètres est utilisée (équation I) pour avoir une valeur numérique unique qui définit la vulnérabilité de chaque section de côte.

$$CVI = \sqrt{(a*b*c*d*e*f)/6} \quad \text{equation I}$$

Depuis le développement initial de cet indice par Gornitz et Kanciruk (1989,) de nombreuses approches d'évaluation de vulnérabilité du littoral ont été développées avec des modifications des indices originaux soit par identification de nouveaux paramètres ou par modification de ceux qui existent déjà (Tableau IV-2).

Technique	Application géographique	Variables considérées	Références
Indice de vulnérabilité côtière (CVI)- Coastal Vulnerability Index (CVI)	Etats Unis	Relief, type de roche, les mouvements verticaux, changement du trait de côte, Amplitude des marées, la hauteur de la houle.	Gornitz and Kanciruk (1989), Gornitz (1991) , Gornitz et al., (1991)
Indice de vulnérabilité côtière (CVI) Coastal Vulnerability Index (CVI)	Etats Unis	Taux d'érosion de trait de côte, la géomorphologie, ERNM, la pente littorale, hauteur de la houle, Amplitude des marées	Thieler and Hammer-Klose (2000) et autres rapports de l'USGS.
Indice de vulnérabilité sociale (IVSo). Social Vulnerability Index (SoVI)	Etats Unis	Analyse des composantes principales du recensement dérivé des données sociales.	Boruff et al., (2005)
Score de vulnérabilité côtière sociale. Coastal social Vulnerability Score (CSoVI)	Etats Unis	Combinaisons de l'indice de sensibilité côtière et de IVSo.	Boruff et al., (2005)
Indice de sensibilité Sensitivity Index (SI)	Canada	Relief, niveau marin, géologie, les formes de relief côtier, changement du trait de côte, énergie des vagues et marnage	Shaw et al., (1998)
Matrice de Risque Risk matrix	Afrique de sud	Secteurs, infrastructures (valeur économique), le risque	Hughes and Brundrit (1992)
Indice de capacité durable. Sustainable Capacity Index (SCI)	Afrique de sud	La sensibilité et la résilience des facteurs naturels, culturels, institutionnels, infrastructurels, économiques et humains.	Kay and Hay (1993) Yamada et al., (1995)
Indice de vulnérabilité côtière (CVI) Coastal Vulnerability Index (CVI)	Inde	Géomorphologie, la pente du littoral, l'évolution de trait de côte, amplitude moyenne de la marée, hauteur significative des vagues	Nageswara Rao et al., 2008
Indice de vulnérabilité côtière (CVI) Coastal Vulnerability Index (CVI)	Grèce	La pente du littoral, l'évolution du trait de côte, géomorphologie hauteur de la houle, Amplitude des marées.	Doukakis, 2005
Indice de vulnérabilité côtière (CVI) Coastal sensitivity Index (CSI)	Australie	Types de roches, géomorphologie, type de barrières, changements du trait de côte, exposition à la houle, la pente du littoral, ERNM, la hauteur moyenne des vagues et, l'amplitude moyenne de la marée	Abouttha et Woodroffe 2010
Indice de vulnérabilité côtière (CVI) Coastal Vulnerability Index (CVI)	Afrique de sud	Largeur des plages, Largeur des dunes, Distance à l'isobathe 20m, Distance de végétation en arrière plage, Pourcentage des affleurements rocheux.	Palmer et al.,2011
Indice de vulnérabilité multi-échelle Multi-scale vulnerability index	Irlande du nord	Différentes variables n en fonction de l'échelle spatiale d'évaluation (Nationale, régionale et locale)	Mclauphlin and cooper 2011

Tableau IV-2. Synthèse bibliographique des principales méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière

En outre, d'autres approches intègrent les données socioéconomiques pour une analyse complète qui inclut la dimension sociale, dans le but de déterminer la vulnérabilité sociale. Les plus cités sont celles de *Boruff et al., (2005)*, *Palmer et al., (2011)*, et *McLaughlin and Cooper (2011)*. Leurs résultats indiquent que la vulnérabilité le long de certaines côtes est influencée par une série d'indicateurs sociaux, économiques et physiques.

I.2.2. Méthodes basées sur les systèmes d'aide à la décision et SIG

L'évaluation de la vulnérabilité aux risques est un élément clé des systèmes d'aide à la décision (*Decision Support System DSS*) pour les zones côtières. Ce système est un logiciel interactif qui aide les décideurs à dégager des informations utiles à partir de données brutes pour l'identification des problèmes et risques ; ceci permettrait une prise de décision adéquate pour une meilleure gestion.

DESYCO (*DEcision support SYstem for Coastal climate change impact assessment*) est un exemple de DSS basé sur SIG, proposée *Torresan et al., (2010)*. C'est un système d'aide à la décision basé sur un SIG visant à l'évaluation intégrée des impacts multiples du changement climatique sur les systèmes côtiers vulnérables (*ex.*, les plages, les deltas, des estuaires, des lagunes, ...). Il met en œuvre une méthodologie d'évaluation des risques régionaux (RRA) qui permet (i) de classer les cibles potentielles et les zones menacées par le changement climatique (ii) d'identifier les sites géographiques homogènes pour la définition de stratégies d'adaptation et de gestion.

La mise en œuvre de DESYCO est composée de trois phases principales:

- La construction de scénarios ; visant à l'identification de scénarios climatiques futurs à une échelle régionale;
- L'évaluation intégrée des impacts des risques, en vue d'hierarchiser des cibles et des zones touchées à l'échelle régionale;
- La gestion de l'impact des risques, destinée à soutenir des stratégies d'adaptation pour la réduction des risques et des impacts sur la zone côtière, conformément aux principes de la GIZC.

I.2.3. Méthodes basées sur des modèles informatiques dynamiques

Les modèles informatiques dynamiques sont des techniques de modélisation mathématique qui permettent de comprendre et d'analyser des problèmes complexes d'un système. Ils représentent des outils importants pour analyser et cartographier la vulnérabilité et les risques des systèmes côtiers aux changements climatiques.

Plusieurs outils d'analyse et de cartographie de la vulnérabilité des systèmes côtiers au changement climatique sont basés sur des modèles informatiques (Delft3D, SimCLIM, DIVA...). Parmi ces modèles, le plus performant et le plus utilisé est DIVA (Hinkel and Klein, 2007; 2009; 2010 Hinkel et al, 2010). C'est un modèle intégré qui permet d'évaluer les effets biophysiques et socio-économiques de l'ENM et du développement socio-économique dans les zones côtières (Hinkel, 2005; Forum européen sur le climat, 2011). L'outil DIVA a été initialement développé dans le cadre du projet "DINAS Coast" (Dynamic and Interactive Assessment of national, regional and global vulnerability of Coastal Zones to Climate Change and Sea-level Rise) c'est un projet, impliquant des partenaires britanniques, allemands et néerlandais. Il est conçu principalement pour évaluer la vulnérabilité des zones côtières à L'ENM. Il est basé sur le niveau de la mer (combinant l'eustatisme et les mouvements verticaux de la terre et due à l'ajustement isostatique glaciaire et à la subsidence pour les deltas (McLeod et al, 2010)) et les scénarios socio-économiques (jusqu'à 2500). Il évalue les impacts sur les zones côtières liées notamment à l'érosion côtière (directe et indirecte), aux submersions (y compris celles des rivières), au changement dans les zones humides et aux intrusions salines dans les deltas et les estuaires (Hinkel et Klein, 2007, 2009). La vulnérabilité du littoral est évaluée à des échelles nationales, régionales et, mondiale avec une résolution moyenne de 70 km du littoral., Néanmoins elle n'est pas appropriée pour une application à l'échelle locale (ETC-ACC, 2010b). Cette approche permet également d'estimer des coûts et des avantages liés aux impacts analysés, ainsi qu'aux stratégies d'adaptation prédéfinis. Enfin DIVA est développée pour aider les décideurs dans l'interprétation de l'évaluation de la vulnérabilité du littoral et adresser les mesures qui en sont relatives.

I.3. Conclusion

Bien que les méthodes basées sur les modèles informatiques sont les plus robustes et font intégrer plusieurs paramètres pour une meilleure évaluation de la vulnérabilité côtière, néanmoins, des lacunes dans les informations et données utiles pour une telle étude constituent un obstacle pour les appliquer. Cependant parmi toutes les approches citées ci-dessus, il semblerait que la technique de la vulnérabilité basée sur des indices est la plus adéquate pour notre étude. C'est une technique largement utilisée dans les différentes côtes mondiales et permet une évaluation rapide et efficace de la vulnérabilité côtière. De surcroit, en raison de la limitation des données disponibles notamment hydrodynamiques pour notre site d'étude, la technique CVI reste la plus appropriée pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'ENM et aux tempêtes du littoral de la baie d'Al Hoceima. Mais dans notre cas le manque de données surtout les données hydrodynamiques nous a amené à opter pour l'approche basée sur des indices.

II. Estimation de la vulnérabilité du littoral de la baie d'Al Hoceima

II.1. Méthodologie adoptée

II.1.1. Détermination des paramètres

La détermination des indices permettant l'évaluation de la vulnérabilité à l'ENM et aux tempêtes dans notre cas d'étude est fondé sur : *(i)* l'analyse de la documentation existante sur l'application de CVI à travers le monde (Tableau IV-2). L'objectif de cette première analyse était de sélectionner les paramètres essentiels qui ont prouvés leur efficacité dans différentes études de cas ; *(ii)* l'étude de l'adéquation de certains paramètres à notre littoral en prenant en compte les spécificités liées à la configuration de notre zone côtière ; et enfin *(iii)* l'existence de données mesurables dans la zone d'étude.

Generalement les paramètres selectionnés pour cette etude sont analogues à ceux conçus par Palmer et al., (2011) pour l'évaluation de la vulnérabilité côtière à l'échelle locale au niveau de la province du KwaZulu-Natal en Afrique du Sud. Le degré de vulnérabilité dans notre cas est lié notamment à la résistance physique de la côte face à une éventuelle ENM, et à la survenue de tempêtes. Étant donné l'échelle spatiale réduite de l'application de la méthode CVI dans notre cas d'étude, nous avons supposé que les paramètres hydrodynamiques (ENM, intensité des houles et des marées) sont identiques dans l'ensemble de la baie. Nous avons aussi considéré que les paramètres physiques sont des variables déterminants pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'ENM et aux ondes de tempêtes. Sept variables quantifiables considérées comme les plus applicables à une échelle locale du littoral de la baie d'Al Hoceima ont été choisis (Figure IV-3) : *(a)* la géomorphologie / géologie; *(b)* la largeur des plages ; *(c)* la pente et topographie; *(d)* les variations du trait de côte; *(e)* la distance à l'isobathe de 20m ; *(f)* le degré d'exposition de la côte ; et enfin *(g)* la distance de la végétation en arrière plage.

Les données concernant la géomorphologie et la géologie, le changement du trait de côte et la pente du littoral ont été extraites des résultats des chapitres précédents (*Cf. chapitres II et III*). L'étude a été appuyée par l'utilisation de photos aériennes, d'un modèle numérique de terrain MNT Spot 30m, et des images Google Earth Pro de haute résolution. Pour ces dernières, celles de l'année 2012 ont été utilisée vue de leur donnée contemporaine au regard de la résolution et de leur qualité, et de l'intérêt de l'information géomorphologique qu'elles contiennent. Pour la largeur et la pente des plages ont été mesurées sur le terrain en utilisant un théodolite.

Ensuite, chacun des paramètres considérés est « pondéré » en fonction de sa valeur et du niveau de risque, avec un système de classement de 1-4 : extrêmement faible(1), faible (2), modéré (3) et élevé (4).

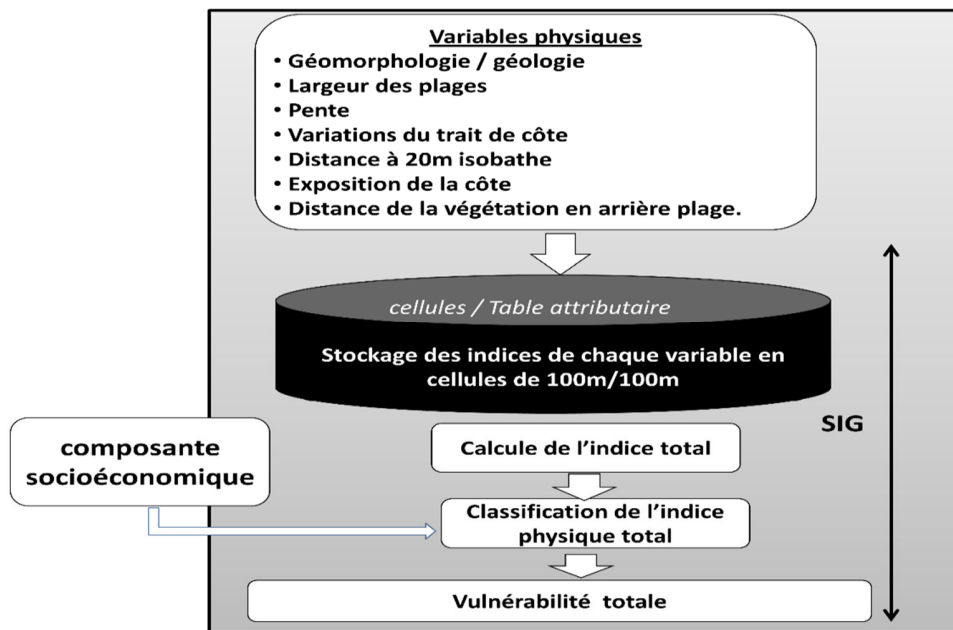


Figure IV-3. Méthodologie adoptée pour l'élaboration de CVI du littoral de la baie d'Al Hoceïma

II.1.2. Importance de SIG et Subdivision de la côte

L'apport du SIG dans la cartographie du degré de vulnérabilité de la zone côtière de la baie d'Al Hoceïma est indéniable. Il offre une multitude d'opérations, en mode vecteur et raster, au sein d'une base de données spatialement référencée, de façon à extraire commodément des synthèses utiles. Parmi les opérations que le SIG nous a facilité durant cette étude, nous pouvons citer :

- La segmentation des côtes en cellules ;
- Les opérations de gestion des données relatives aux différents paramètres ;
- L'estimation des paramètres utilisés pour calculer l'indice de vulnérabilité ;
- L'interpolation de ces données ponctuelles en couvertures thématiques ;
- La superposition des couvertures thématiques afin de générer de nouvelles couches d'informations ;

- Le calcul de l'indice de vulnérabilité par l'application du modèle "spatial analyst"
- La classification de l'indice et la cartographie de sa variabilité en degré de vulnérabilité.
- L'élaboration d'une cartographie totale de vulnérabilité

Les données de chaque indice de vulnérabilité sont donc traitées dans ArcGIS. Dans un premier lieu, à l'aide de l'extension « Grid Index Features », la ligne de côte a été subdivisée en 473 «cellules» de 100 x 100 m (Figure IV-4). Ces cellules sont utilisées pour stocker les données de chacune des sept variables considérées (valeurs de pondération). Depuis l'introduction du concept de cellule côtière par *Carter (1988)*, ces cellules ont été adoptées dans plusieurs études concernant la gestion du littoral. Ensuite, d'autres mesures ont été prises en plaçant aussi un ensemble de transects perpendiculaires à la côte, d'un espacement de 50m chacun. Ils ont été utilisés pour fournir plus de précisions lors des mesures des paramètres physiques de chaque cellule (maille) et afin d'éviter les biais, l'emplacement central de la cellule a été choisi (Figure IV-4). Cette méthode est conforme à celle utilisée par l'USGS pour l'étude de la vulnérabilité du littoral de la côte américaine (Pendleton et al, 2004.), ainsi que dans de nombreuses autres études (Thieler et Hammar-Klose , 2000, Hammar-Klose et Thieler, 2001, Hammar-Klose et al., 2003; Pendleton et al., 2004;. Palmer et al.,2011).

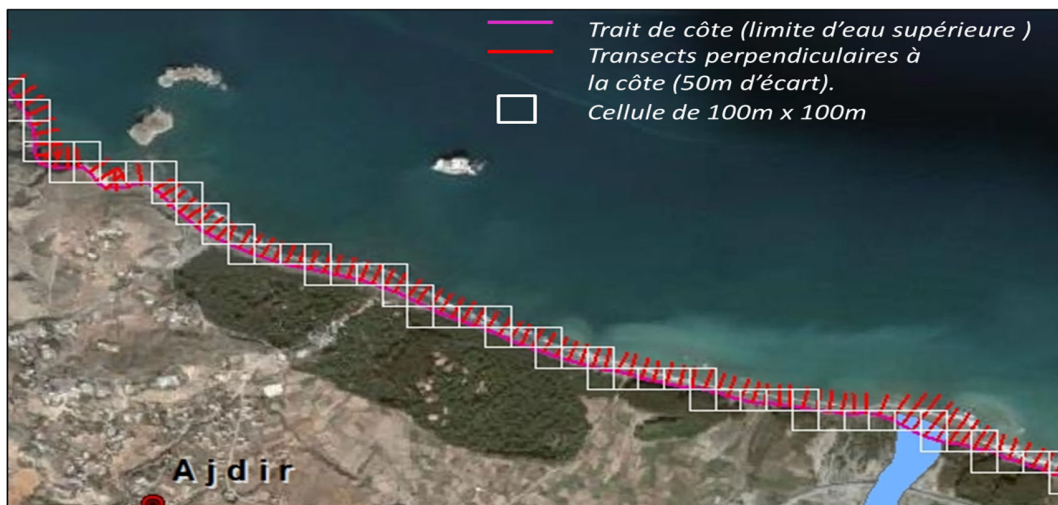


Figure IV-4. Subdivision de la côte étudiée en cellules de 100 m x 100 m, et des transects perpendiculaires au trait de côte, d'un pas de 50m.

II.1.3. Méthode de calcul

La méthode de calcul choisie pour cette étude vise à mettre en évidence les segments de la côte où les différents effets de l'ENM pourraient être les plus élevés. Une valeur du degré de vulnérabilité est attribuée à chaque cellule de littoral pour chaque variable spécifique. Une fois ce travail accompli, l'indice de vulnérabilité côtier CVI est calculé en additionnant les

variables classées. Chaque paramètre est attribué une valeur minimale de 1 correspondant à une faible vulnérabilité et une valeur maximale de 4 correspondant à une vulnérabilité élevée. Le résultat de calcul varie entre un indice total minimal de 7 et total maximal de 28 (Figure IV-5).

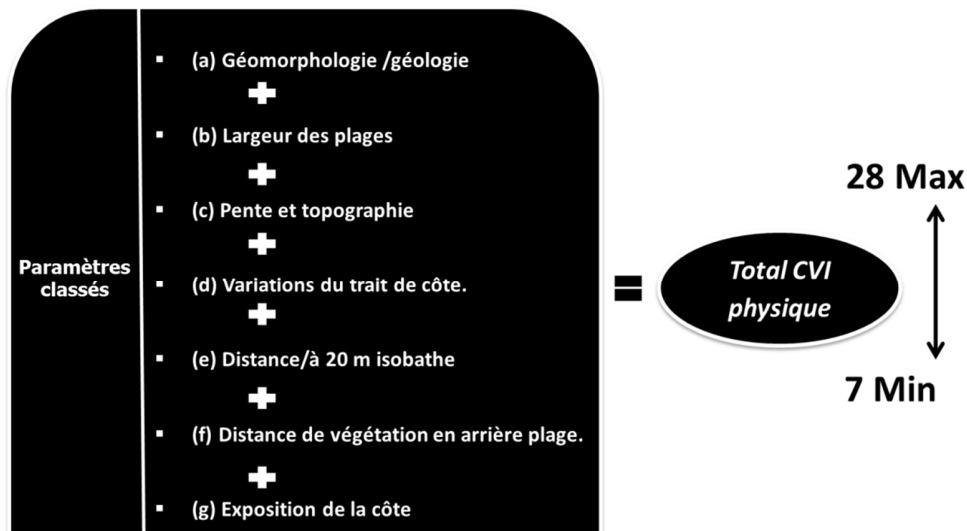


Figure IV-5. Schéma montrant la méthode de calcul des paramètres de vulnérabilité adoptée dans cette étude.

II.2. Résultats de la vulnérabilité physique

II.2.1. Cartographie des variables

II.2.1.1. Variable « Géomorphologie »

Cette variable exprime l'érodabilité relative des différentes formations côtières, suivant la morphologie et le type de roches qui forment la côte, mais également le degré de protection naturelle du littoral contre l'ENM et les tempêtes. Le choix de ce paramètre est justifié par le fait que la configuration géologique (types de roche constituant le littoral) et géomorphologique (formes du relief) sont des indicateurs importants de la vulnérabilité potentielle de la côte à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempêtes. Le système de pondération utilisé nécessite l'attribution à chaque cellule côtière d'une valeur comprise entre 1 et 4. L'affectation d'une variable qualitative, qui est exprimée quantitativement dans ce cas, nécessite des informations détaillées sur la morphologie et la géologie de la côte analysée. Les détails sur les types de roches et cadre géologique et géomorphologique de la zone d'étude ont été décrit précédemment (Cf. Chapitre II).

Dans la baie d'Al Hoceima, nous avons distingué 3 unités importantes à considérer lors de la classification et pondération de la vulnérabilité :

- a) Dans la partie ouest de la baie, correspondant à de la zone de la ville d'Al-Hoceïma et au promontoire de Ras El Abid, la côte est principalement à falaise. À l'exception de quelques plages protégées par des falaises, elle est représentée par les rebords orientaux du massif des Bokoya, caractérisés par des escarpements abrupts taillés dans les matériaux carbonatés de la Dorsale calcaire, et allant jusqu'à plus de 100 m d'altitude (Figure IV-6a,b).
- b) Une seconde partie allant, depuis Laazib à cap Quilates, où la côte devient plus haute et raide. Il s'agit d'une zone de relief correspondant aux vulcanites plio-quaternaires de Ras Tarf et aux schistes de l'unité de Ketama. La bordure ouest se présente comme un piémont constitué par une juxtaposition de cônes de déjection qui avancent vers la plaine alluviale.
- c) Enfin, la zone de plaine, correspondant à la plaine alluviale de Rhis-Nekor, s'étend sur environ 15 Km, et est caractérisée par des sédiments quaternaires (Figure IV-6c,d).



Figure IV-6. Quelques photographies illustrant les différents paysages géomorphologiques et géologiques du littoral de la baie d'Al Hoceïma (a,b): bordures maritimes du Massif de Bokoya (Ouest de la baie) caractérisées par un relief escarpé et des falaises raides taillées dans les matériaux carbonatés de la Dorsale calcaire ; (c,d) zone de plaine (plaine de Rhis-nekor) caractérisée par des plages sableuses à sable gris-noir limoneux, mêlées avec des galets dans certaines plages ; (d) les bordures de la côte Est de la baie où la côte devient plus haute et raide, correspondant au volcan de Ras Tarf.

La classification des différents segments côtiers est représentée sur le Tableau IV-3. Les résultats montrent que les plages sableuses dont l'arrière plage est un sable non consolidée, ou une plaine directement exposée aux effets hydrodynamiques, sont très sensibles aux effets des processus naturels. Nous avons donc affecté la valeur la plus élevée de vulnérabilité (*la classe 4*) aux portions de traits de côte localisés principalement au centre de la baie, allant de la plage Sfiha à l'ouest jusqu'à la plage R'hach, parce qu'il s'agit d'un segment côtier composé de plages sableuses avec des dunes de sable non consolidées et d'alluvions quaternaires de topographie basse. Ces zones sont directement reliées à la plaine de Rhis-Nekor et pourraient être particulièrement sensibles à une élévation accélérée du niveau marin et d'éventuelles tempêtes. Les petites embouchures des oueds El Hadid et Errabda sont aussi fortement exposées car il s'agit également de zones basses avec des galets et des alluvions quaternaires.

Nous avons affecté *la classe 3* aux plages de Quemado, Calabonita et Isly, car, bien qu'elles soient protégées par des promontoires rocheux et relativement à l'abri des vagues, ce sont des plages de basse altitude qui pourraient ainsi être sensibles aux effets des ondes de tempête et à l'ENM. Cette même classe 3 a été également attribuée aux zones dont l'arrière plage est formée par des formations consolidées, un substratum rocheux ou des structures artificielles ; ce qui représente une sensibilité modérée. En effet, nous avons considéré que les plages localisées en face d'un substratum rocheux ou d'une structure artificielle, le retrait vers l'arrière-plage est susceptible d'être entravé par le substratum rocheux ou par des structures artificielles comme le port et ce malgré leur potentiel d'érosion en cas de tempêtes et d'élévation du niveau de la mer. Toutefois, dans le cas des falaises de roches peu consolidées, l'érosion serait accrue. De ce fait, les segments de côte de la partie Est de la baie qui sont constitués de plages à galets très étroites connectées à des zones abruptes du massif volcanique de Ras Terf, ont été classés dans *la catégorie 2*. La même classe a été attribuée à la zone du port d'Al Hoceima. Pour ce qui est des segments côtiers à l'ouest de la baie, qui sont principalement à falaises rocheuses dures (carbonates de la dorsale calcaire du massif des Bokoya), sont classées dans la catégorie 1.

Variable (Géomorphologie/ Géologie)	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
Centre de la baie (plages adossées à une zone de plaine à sédiments quaternaires).	4	16	38.8	Elevée
Plages de Quemado et Calabonita, Isly,	3	7.5	18.1	Modérée
Est de la baie (plages à galets très étroites, connectées à des zones abruptes correspondant au massif volcanique de Ras Terf	2	8.5	20.5	Faible
Côtes à falaise à l'ouest de la baie principalement à falaises rocheuses dures, caractérisées par des formations carbonatées de la dorsale calcaire du massif des Bokoya.	1	9.3	22.6	Très faible

Tableau IV-3. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon la variable Géomorphologie /Géologie

II.2.1.2. Variable « Largeur des plages »

La largeur des plages agit comme un tampon, en dissipant l'énergie des vagues, elle peut donc atténuer la vulnérabilité. Ainsi plus la plage est large, plus sa capacité à dissiper l'énergie des vagues est grande, ainsi que sa capacité à réduire les impacts des événements climatiques extrêmes et de l'ENM (Palmer et al., 2011). Pour les plages le long de la baie d'Al Hoceima, leurs largeurs sont déterminées en utilisant les images satellitaires récentes de Google Earth Pro à haute résolution, ainsi que des résultats de mesures sur le terrain des profils des plages effectuées en 2011 (Figure IV-7a). Pour quantifier la largeur des plages, nous préconisons l'extension DSAS v4.3, plugin qui fonctionne sous le programme ArcGis (*Cf. Chapitre III*). L'emploi de cette technique nécessite de définir des lignes de référence fictives qui délimitent la plage, et une longueur pour les transects. Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini (100 m), des transects perpendiculaires aux linéaires de référence, et mesure les écarts entre les deux références. Le long de la côte étudiée, 481 transects de 100 m d'intervalle ont été générés et sont perpendiculaires aux deux lignes de référence (Figure IV-7b). Celles-ci ont été définies pour les plages de la baie d'Al Hoceima suivant la méthodologie fondée sur la compilation et la comparaison de données de terrain (mesures au théodolite), et le traitement d'images satellitaires numériques. Nous avons considéré le pied de la dune comme la limite amont d'une plage. Cette limite du front dunaire est matérialisée par une rupture de pente en avant de la limite de végétation dunaire. Dans les endroits où le contact entre la plage et la dune est difficilement exploitable en raison de l'absence d'une nette rupture de pente, la ligne de la végétation a été utilisée. Pour celle située en aval, la ligne de rivage instantanée est considérée, compte tenu du faible marnage dans la baie. (Figure IV-7b).

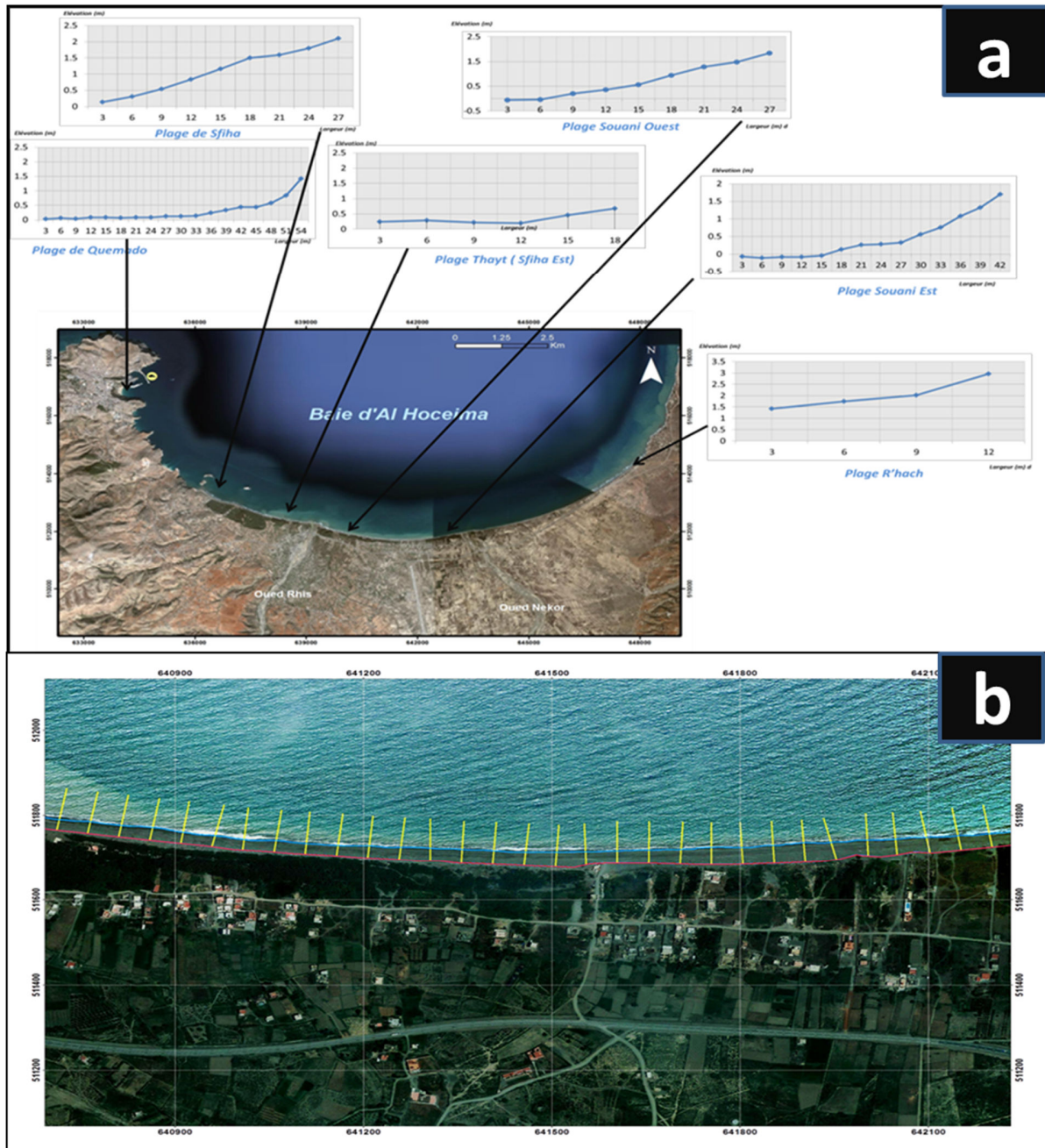


Figure IV-7. a) Exemple de mesures sur le terrain des profils de certaines plages le long de la baie d'Al Hoceïma b) Exemple de Transects perpendiculaires à la linéaire de référence supérieure.

La distribution statistique des largeurs des plages de la baie d'Al Hoceïma montre une forte asymétrie. Une observation intéressante à l'examen des données est la concentration des mesures enregistrées ; celles-ci sont dominantes entre 6 et 30 m (Figure IV-8). Cela est

important, dans la mesure où les plages de moins de 50 m de largeur sont considérées comme étant vulnérables (Palmer et al.,2011).

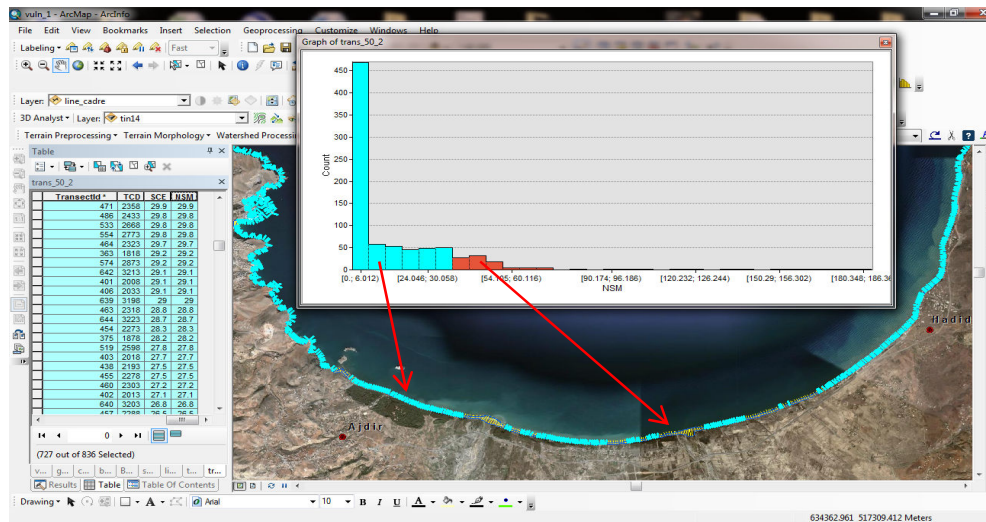
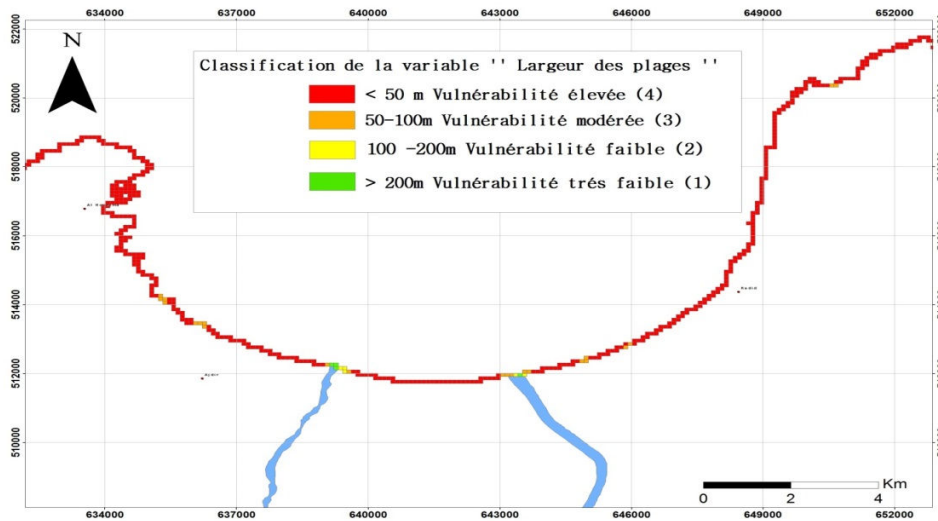


Figure IV-8 Distribution statistique des largeurs des plages

Les résultats obtenus, montrent que les plages sont généralement étroites au niveau de la baie d'Al Hoceima et Leur largeur moyenne est d'environ 14 m. Cependant, il faut signaler que cette valeur a été biaisée par quelques secteurs côtiers dont les plages ont des largeurs plus importantes, comme celles adjacentes aux embouchures des oueds Rhis et Nekor. Les plages de moins 50m de largeur, représente 94% de la longueur du rivage étudié et sont donc classés en vulnérabilité élevée. Les plages de largeur varie en 50 et 100m, 100 et 150 représente respectivement des vulnérabilités modérée et faible. Enfin les plages au dela de 150m de largeur sont classées en vulnérabilité très faible (Figure IV-9).

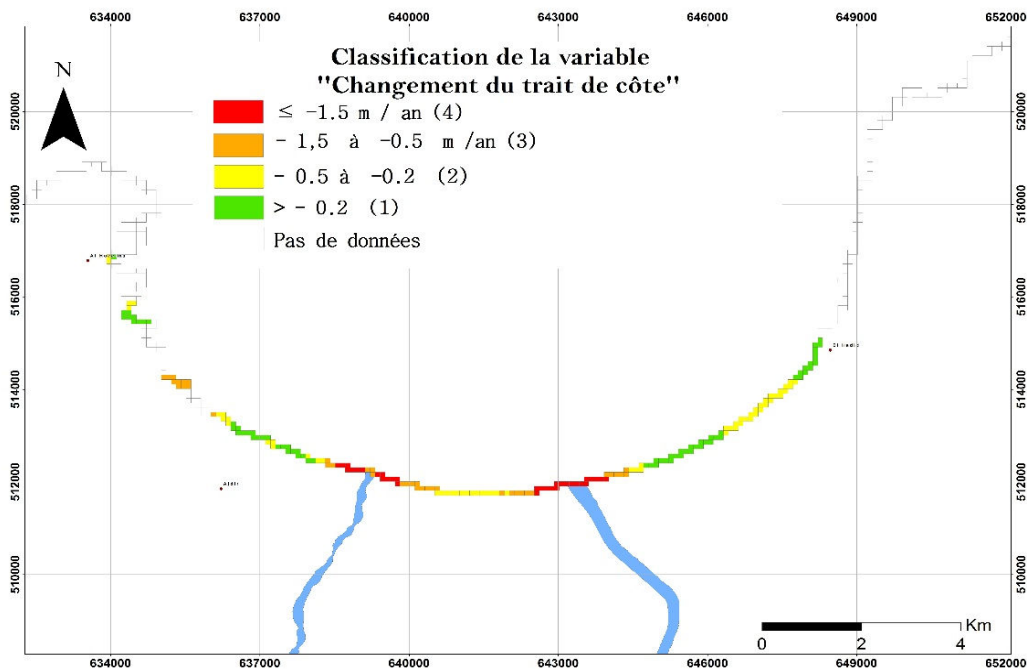


Variable largeur des plages	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
< 50	4	39.2	94.1	Élevée
50-100	3	1.80	4.3	Modérée
100-150	2	0.33	0.8	Faible
>150	1	0.31	0.7	Très faible

Figure IV-9. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon la largeur des plages

II.2.1.3. Variable « variation du trait de côte »

Le calcul du taux de variation du trait de côte a été utilisé pour dériver des classes de vulnérabilité (Cf. chapitre III). L'étude de l'évolution du trait de côte de (1958-2013) montrent qu'environ 18% de la longueur du littoral de la baie d'Al Hoceima présentent des plages en recul avec un rythme de -1.5 m/an. Celles-ci présentent une vulnérabilité élevée et la valeur de 4 leur a été attribuée. Elles correspondent aux plages adjacentes aux embouchures des 2 oueds; tandis que celles ayant un recul allant de - 1,4 à -0.5 m / an (21,34%), elles sont classées dans la catégorie 3 et représentent une vulnérabilité modérée. La valeur 2 a été attribuée aux traits de côte dont le taux d'évolution se situait entre -0.5 et -0.2 (31, %). Ces côtes peuvent être considérées comme stables dans le long terme. Certains segments de côte sont en accrétion et sont classés avec une valeur de 1, représentant une très faible vulnérabilité ; ils représentent environ 30% (Figure IV-10).



Variable largeur des plages	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
≤ -1.5 m / an	4	2.78	17.98	élevée
- 1,4, -0.5 m / an	3	3.30	21.34	modérée
-0.5 et -0.2	2	4.78	30.91	Faible
> -0.2	1	4.60	29.75	Très faible

Figure IV-10. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon l'évolution du trait de côte

II.2.1.4. Variable topographique

La pente du littoral, appelée aussi profil de l'arrière plage, est souvent utilisée comme un paramètre déterminant pour l'estimation de la vulnérabilité côtière aux submersions et à l'ENM. Plus la pente est faible, plus la sensibilité de la côte à l'inondation, aux impacts majeurs des événements extrêmes est forte.

Pour la présente étude, les mesures de la pente sont basées sur des données topographiques du modèle numérique de terrain Spot 5 ; sa résolution est de 30 m et résolution verticale est de 2.5 m. Elles sont réalisées par corrélation automatique de couples stéréoscopiques acquis par l'instrument HRS de Spot 5 (Figure IV-11a). La pente moyenne est calculée par rapport à la limite de 10 m d'altitude par rapport au zéro hydrographique et les profils perpendiculaires à la côte ont été générés en utilisant l'outil DSAS afin de calculer la pente moyenne au niveau de chaque cellule (Figure IV-11b).

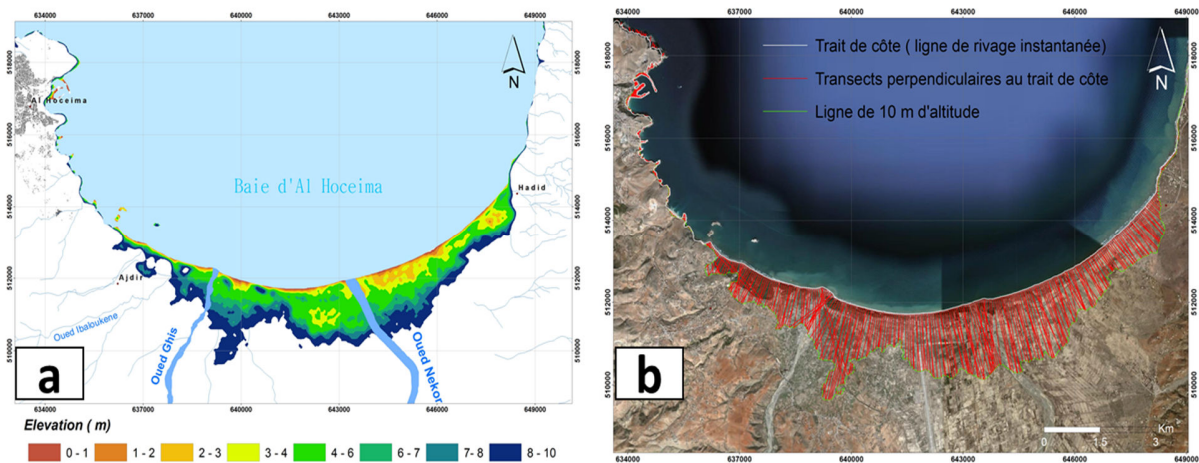


Figure IV-11. a) Modèle numérique de terrain issu des données Spot 5 montrant les 10m d'altitude b) Transects perpendiculaires au trait de côte de 50m d'écart utilisé pour calculer la pente moyenne par rapport à 10m d'altitude.

Le choix de 10 m d'altitude pour calculer la pente moyenne s'explique par le fait que les zones côtières de moins de 10 m d'altitude sont susceptibles d'être inondées par des tempêtes extrêmes. Ceci a été démontré par l'étude réalisée à l'Est de la Méditerranée marocaine qui estime que les inondations pourraient atteindre 7m d'altitude en cas de conjonction des tempêtes exceptionnelles avec des différents paramètres hydrodynamiques dans le contexte de l'ENM (Snoussi et al., 2009).

L'analyse du MNT a permis de subdiviser la zone d'étude en 4 classes: Des segments côtiers à pentes douces (0-2 °), à pentes faibles (2-8 °), à pentes modérées (8-12 °), et enfin à pentes abruptes et escarpées (> 12 °). La pente douce implique un terrain plat, tandis que celle forte représente un terrain escarpé.

Et comme le montre le graphique de la distribution statistique (Figure IV-12a), le littoral de la baie est marqué par l'étendu des segments côtiers à faible pente caractérisés au milieu de la baie par la plaine côtière de Rhis-Nekor alors que vers les extrémités la pente devient de plus en plus forte.

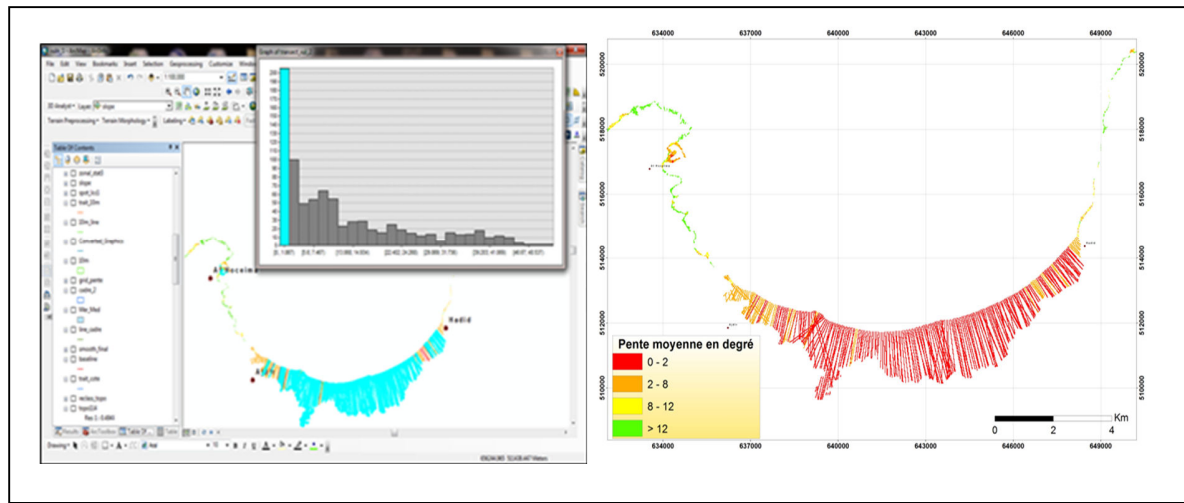
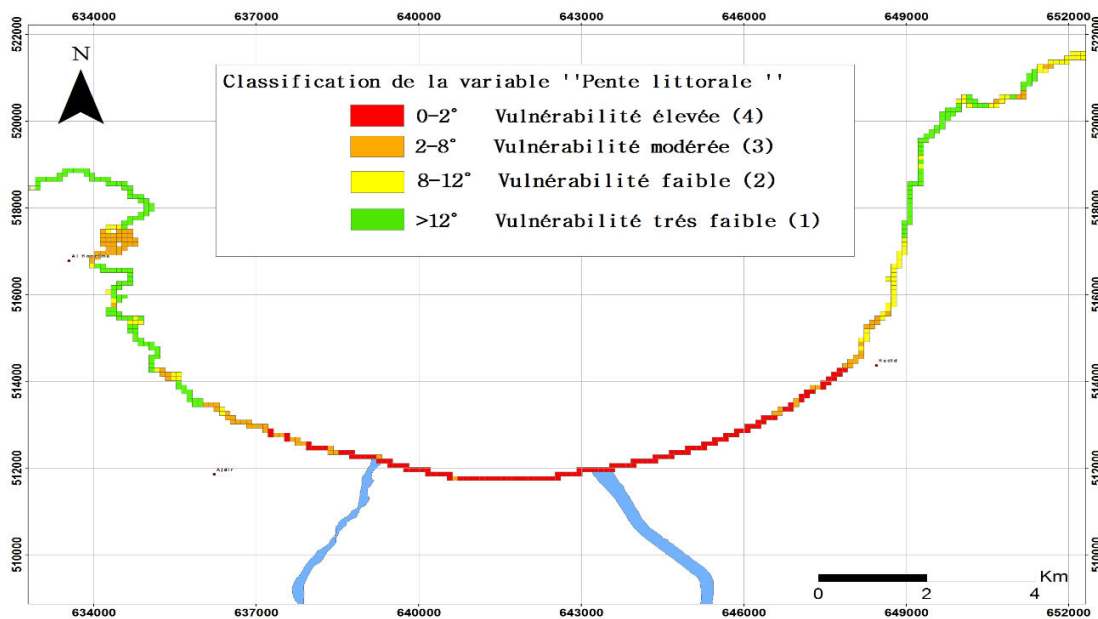


Figure IV-12. (a) Distribution statistique des pentes inférieures à 2° (b) pentes moyennes du littoral de la baie d'Al Hoceima par rapport à 10m d'altitude.

La Partie centrale de la baie à pente faible de 0 à 2 degré caractérise particulièrement les plages Souani, Bathou, Saline et Thanda ainsi que les zones adjacentes aux embouchures des oueds Rhis et Nekor (Figure IV-13). Ce sont donc des zones plus sensibles aux effets de l'élévation du niveau de la mer et sont donc classées avec une valeur de 4 présentant alors une forte vulnérabilité. La valeur 3 est accordée aux segments correspondant aux plages Sfiha, Laazib, Quemado, Calabonita, et Isly. Les pentes y sont modérées avec un degré compris entre 2 et 8° et par conséquent présentent une vulnérabilité modérée (catégorie 3). Les pentes entre 8 et 12° sont classées avec une valeur de 2, représentant des pentes faibles. Tandis que les pentes raides avec une pente de plus de 12°, caractérisent les falaises de la ville d'Al Hoceima, et sont attribuées à la valeur 1, représentant alors une très faible vulnérabilité à l'ENM et aux tempêtes. Ce sont principalement les falaises à pente presque verticale dont la hauteur atteint plus de 100m dans certains endroits.



Pente moyenne en degré	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
0-2	4	10.25	25.37	Élevée
2-8	3	8.59	21.26	modérée
8-12	2	6.56	16.24	Faible
>12	1	15	37.13	Très faible

Figure IV-13. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceïma selon la topographie.

II.2.1.5. Variable « Distance à l'isobathe 20m »

Ce paramètre est important car plus la distance entre le trait de côte et l'isobathe de 20m est grande, plus la dissipation de l'énergie des vagues est importante selon Mather et al., (2010) : Lorsque la houle s'approche de la côte et entre en contact avec le fond de la mer, les ondes commencent à ralentir. Une partie de l'énergie des vagues est perdue par le contact avec le fond marin. Par conséquent, il s'ensuit une réduction de l'énergie des vagues qui atteignent la côte, ce qui pourrait diminuer la vulnérabilité aux effets de l'ENM et aux événements météo marins extrêmes. Pour mesurer cette variable, une carte bathymétrique la baie d'Al Hoceïma a été acquise auprès des Services Hydrographiques et Océanographique de la Marine (SHOM) Edition 1988 correction 2010. Pour mesurer la distance à l'isobathe -20 m, des profils de 10 m d'espacement perpendiculaires au trait de côte ont été générés. Ces profils viennent intercepter cet isobathe afin de calculer les distances le long de la baie ; celle-ci mesurées ont été représentées graphiquement (Figure IV-14). La distance au large de l'isobathe de -20 m se rapporte à des formes de reliefs sous-marins. Le graphique montre que les distances les plus

importantes entre le trait de côte à l'isobathe -20 sont enregistrées au niveau du centre de la baie.

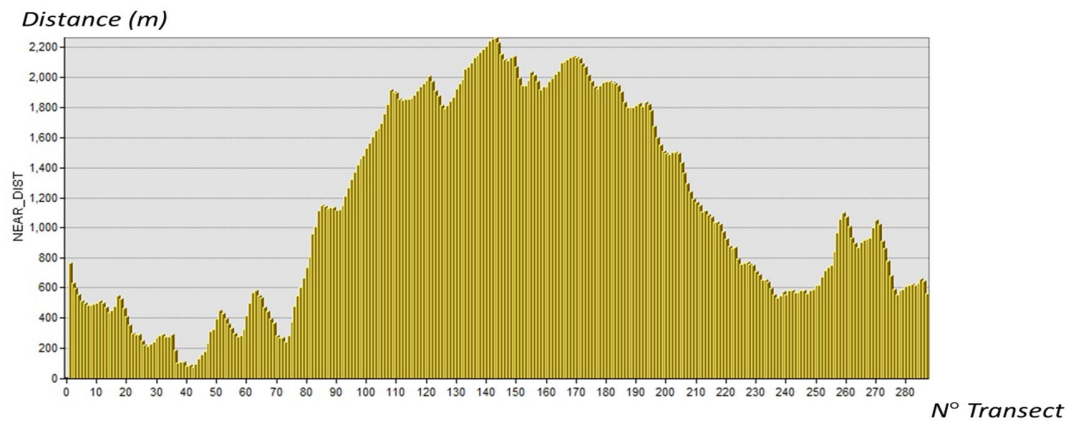
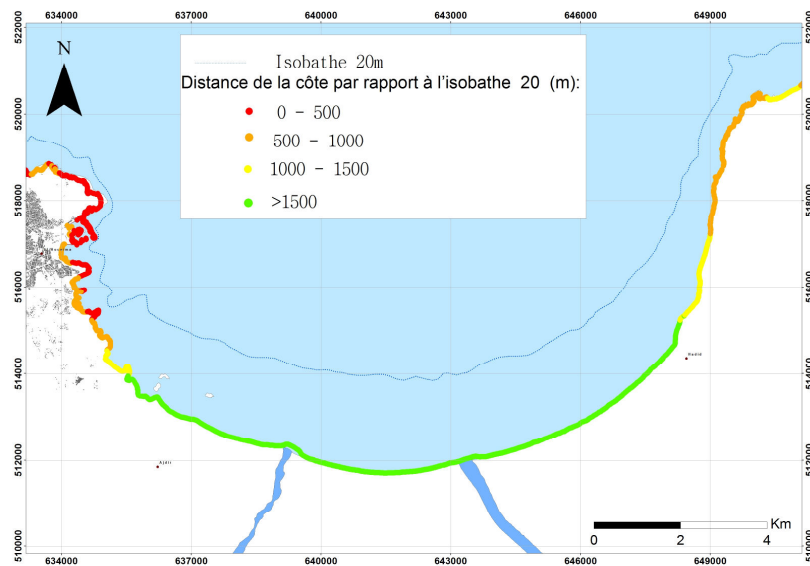


Figure IV-14. Distances de la côte par rapport à l'isobathe -20 m le long de la côte de la baie d'Al Hoceima

Les résultats montrent qu'environ 37% de cette côte présentent une distance de plus de 1500 m par rapport à l'isobathe 20 m (Figure IV-14), soit à peu près 15 km de long et caractérise principalement toute la partie centrale de la baie. Classée dans la catégorie 1, toute cette zone côtière montre une très faible vulnérabilité selon cette variable.

Les segments côtiers où l'isobathe de 20 m se trouve à une distance inférieure à 500 (20%) se localisent à l'ouest de la baie et par conséquent leur vulnérabilité reste forte (Catégorie 4). Par Contre les zones à vulnérabilité modéré et à faible avec respectivement des classes de 2 et 3, se localisent de part et d'autres de la partie centrale de la baie (Figure IV-15)



Distance à l'isobathe 20m	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
0-500m	4	8.44	20.36	élevée
500-1000m	3	12.70	30.64	modérée
1000-1500m	2	4.78	11.53	Faible
>1500m	1	15.52	37.45	Très faible

Figure IV-15. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon distance de la côte par rapport à l'isobathe -20 m.

II.2.1.6. Variable « Distance de la végétation en arrière plage »

Ce paramètre est considéré comme étant aussi pertinent que les précédents en tant qu'indicateur de la sensibilité de la côte de la baie d'Al Hoceima aux impacts de l'ENM et aux tempêtes extrêmes. En effet, lorsqu'une végétation est présente, celle-ci peut aider à atténuer l'énergie des vagues, et contribuer à réduire le recul du trait de côte. A l'instar des précédentes variables, la distance de la végétation en arrière plage a été mesurée à l'aide de l'outil SIG. Cette variable est définie comme la zone située au-delà de la ligne des hautes eaux habituelles des vagues et marées (McGraw-Hill, 2003). Elle est arrêtée à la première limite de végétation vers l'arrière plage ou la plus proche infrastructure. Le plus souvent ce sont des habitations le long la côte ou une rocade.

Le graphe suivant (Figure IV-16) illustre la distance de la végétation en arrière plage par rapport au trait de côte de la baie d'Al Hoceima, la distance la plus élevée (environ 500m) est représentée par la forêt de Sfiha et souani.

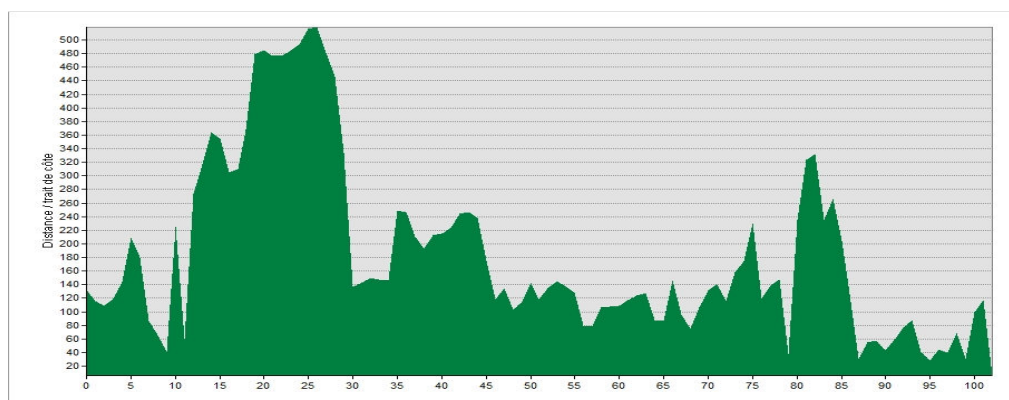
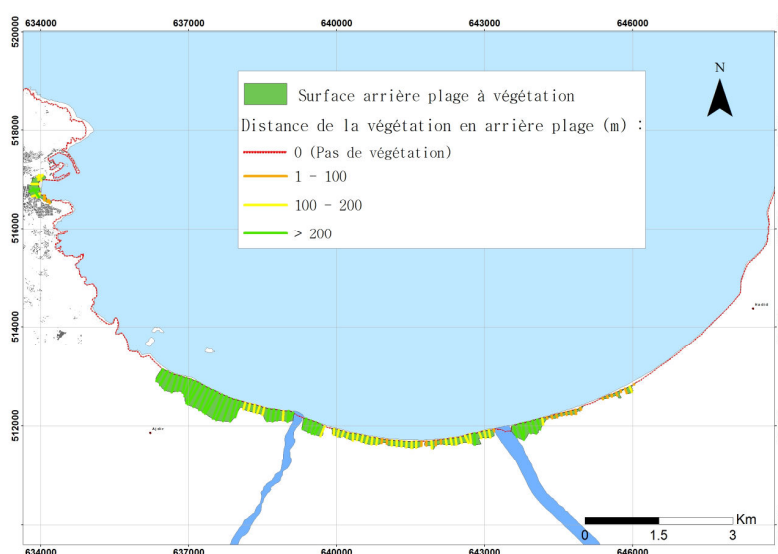


Figure IV-16. distance de la végétation en arrière plage /au trait de côte dans

L'analyse de cette variable montre que 77 % de ce linéaire côtier ne présente pas de végétation en arrière plage (Figure IV-17) , par conséquent le degré de vulnérabilité de ces segments côtiers est élevé (Catégorie 4), et se localisent dans les parties Est et Ouest de la baie qui entourent la zone centrale (plane Rhis-Nekor) qui elle présente environ 23% et se caractérise par la présence des 3 autres catégories , à savoir modérée (4), faible(3) et très faible (1). Celles-ci représentent les segments côtiers adossant les forêts de Sfiha et souani.



Variable distance de la végétation en arrière plage	Score	Longueur (Km)	Longueur (%)	Vulnérabilité
Pas de végétation	4	31.46	77.22	élevée
1-100 m	3	2.21	5.42	modérée
100-200 m	2	3.52	8.64	Faible
>200 m	1	3.55	8.71	Très faible

Figure IV-17. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon la distance de la végétation en arrière plage

II.2.1.7. Variable « Exposition de la côte aux houles »

L'exposition de la côte fait référence à l'orientation des côtes par rapport à la direction des vagues (Sharples, 2006, Aboudha, 2009). Elle est mesurée en degrés positifs de 0 à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord. Ainsi l'orientation d'un rivage par rapport à la direction de la houle, et à la présence ou l'absence d'obstacles tels que les promontoires ou îlots, fait que certains segments côtiers sont plus exposés aux ondes de tempêtes que d'autres. La variable « exposition de la côte » a été dérivée à partir des aspects de chaque segment de côte.

Dans la baie, le fetch le plus long se présente au niveau du secteur NNW en concordance avec les vents dominants qui sont de secteur N, d'après le rapport d'étude de construction de la corniche d'Al Hoceima (inédit). Quant aux données de la houle, absentes au niveau de la zone d'Al Hoceima, elles ont été extraites à partir des mesures présentes sur le portail des ports espagnols (Puertos Estados <http://www.puertos.es/>). Nous avons adopté les données du site situé au niveau du Cap des Trois Fourches, le plus proche de notre zone d'étude. Ainsi, l'analyse de ces données a permis d'établir la rose des houles significatives calculées sur une période de 16 ans. Celle-ci montre que la houle dominante dans la région est de direction WNW suivie de celles provenant du NE (Figure IV-18b).

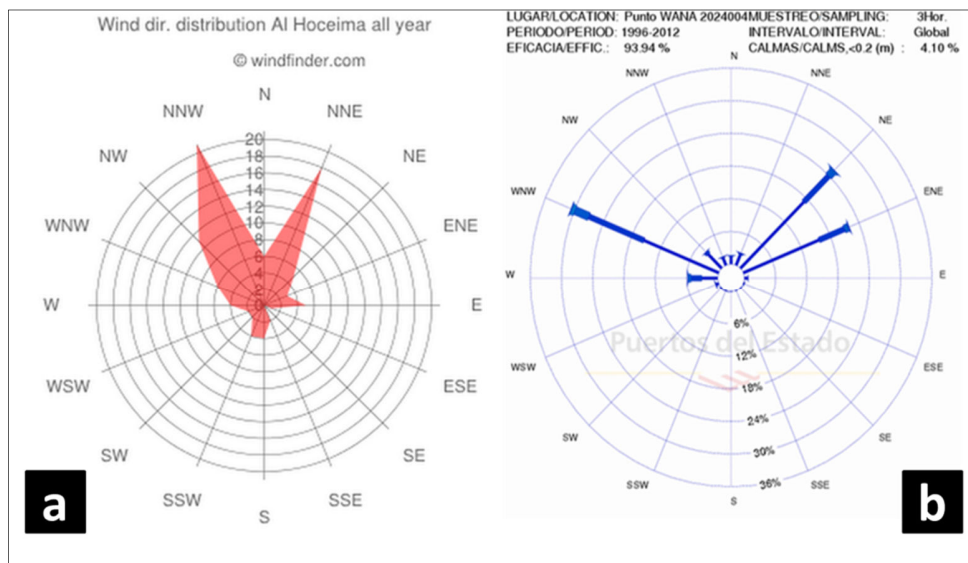


Figure IV-18. **a)** Direction du vent dominant sur un période 11 ans (2001 -2012) au niveau de la station d'Al Hoceima aéroport (source : Windfinder.com) **b)** Direction des houles dominantes au niveau de la station avoisinante du Cap des Trois Fourches (à l'Est de la baie) sur une période de 16 ans (1996-2012). (source :www.Puertos.es)

Étant donné que nous nous intéressons principalement à l'ENM et aux houles de tempête, nous avons réalisé la rose des directions des houles maximales notées mensuellement sur une

période de 16 ans. Le résultat montre que les houles de direction W à WNW sont dominantes suivie des houles venant du NE qui sont les plus fortes et avec des périodes longues (Figure IV-19).

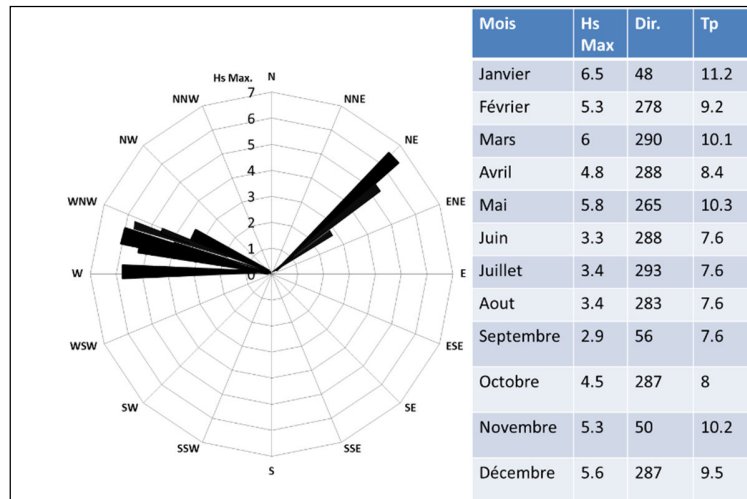


Figure IV-19. Rose des houles mensuelles significatives maximales (Hs) sur une période de 16 ans (1996-2012) extraites des données de Puertos.es (WANA Point 2048066)

Suivant la direction du vent dominant, les directions de la houle dominante le long de la côte de la baie d'Al Hoceïma et la direction des houles mensuelles d'amplitudes maximales, nous avons choisi pour cette étude de représenter la vulnérabilité de la côte de la baie d'Al Hoceïma aux houles de direction W à NNW et celles venant de NE (Figure IV-19). Ainsi l'exposition des segments de la côte a été mesurée par rapport à ces deux directions choisies (Figure IV-20).

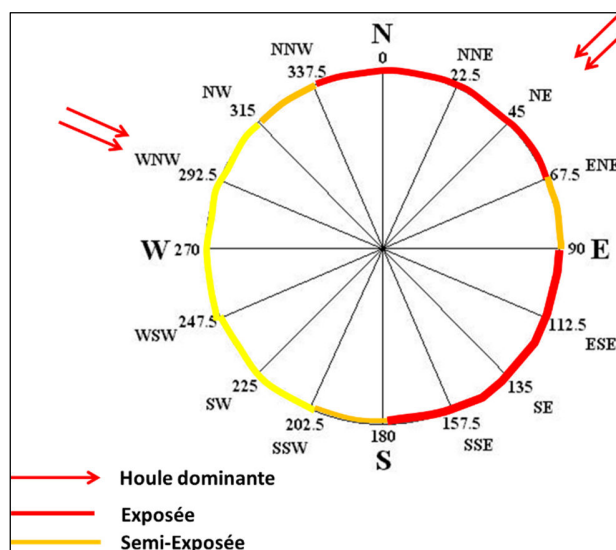


Figure IV-20. Représentation schématique en degré de côtes exposées

La configuration de la baie fait que les houles venant de l'Ouest au Nord-Ouest subissent des diffractions importantes du fait de la pointe de Ras El Abid. De ce fait, les segments côtiers Ouest de la baie sont relativement à l'abri. Cependant ces mêmes segments pourraient être affectés par les houles de direction NE (Figure IV-21).

En outre, la classification de la vulnérabilité de la baie d'Al Hoceima selon le degré d'exposition de la côte présente les catégories suivantes (Figure IV-21) :

- a) Les côtes exposées se référant aux segments de côte qui se situent entre 337.5 et 0 degré, 0 et 67.5 et enfin 90 et 180 degrés et représentent environ 61% du linéaire côtier étudié.
- b) Les côtes semi-exposées qui sont des segments de la côte se retrouvant entre 67.5° et 90°, 180 et 202,5 ainsi que 315 et 337.5 (39%)

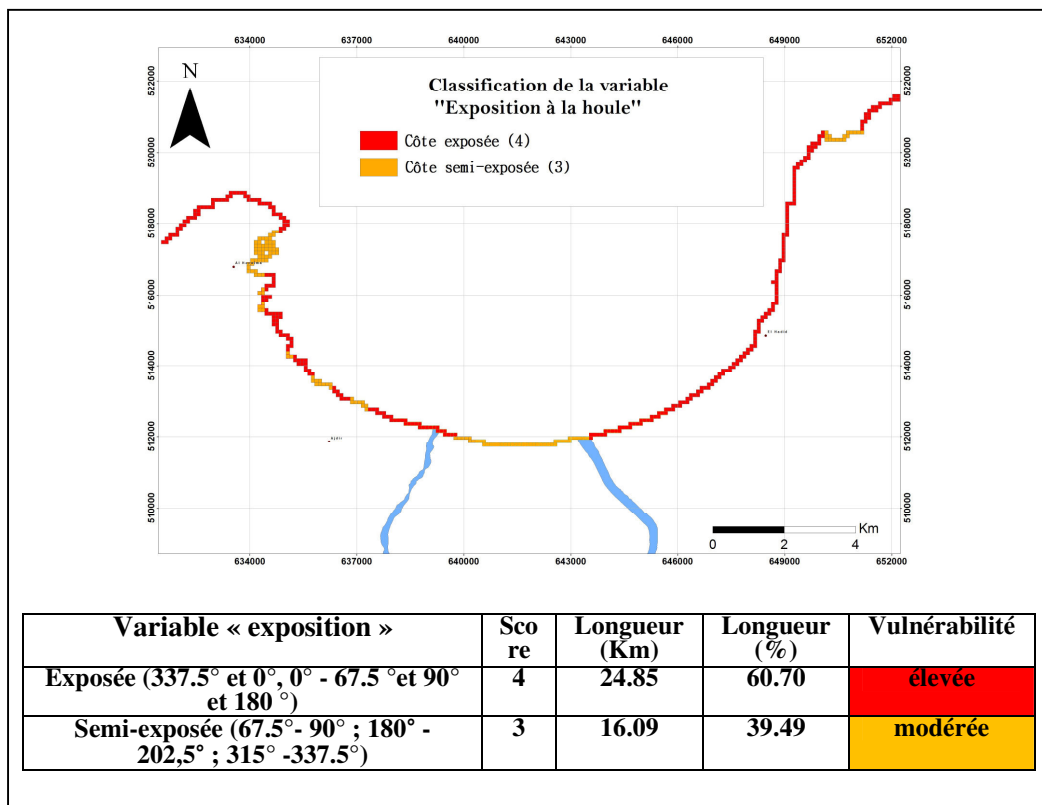


Figure IV-21. Degré de vulnérabilité des segments côtiers du littoral d'Al Hoceima selon le degré d'exposition aux houles d'amplitudes maximales.

II.2.2. Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI)

Le calcul du CVI permet aux sept paramètres considérés dans cette étude d'être assemblés d'une manière quantifiable (Tableau IV-4). Cet indice exprime le degré de vulnérabilité

relative de la côte à l'ENM et aux tempêtes extrêmes Une fois qu'une valeur de vulnérabilité a été attribuée à chaque cellule de la côte, pour chaque variable spécifique, le CVI est calculé comme la somme de l'ensemble des indices des variables classées ; suivant l'équation suivante :

$$CVI \text{ relatif} = a+b+c+d+e+f+g$$

		Classification des paramètres			
Id	Variable	Très faible (1)	Faible (2)	Modéré (3)	Elevé (4)
a	Géomorphologie	Falaises rocheuses dures avec des formations carbonatées de la dorsale calcaire du massif des Bokoya.	Zones abrupte correspondant au massif volcanique de Ras Terf	Plages protégées criques quemado, calabonita, Isly...)	Centre de la baie : Plages sableuses ; arrière plages sous forme de plaine avec des sédiments quaternaires
b	Largeur des plages	>150 m	100-150 m	50-100 m	< 50 m
c	Pente et topographie	> 12°	8-12°	2-8 °	0-2 °
d	Variations du trait de côte.	> -0.2	entre -0.5 et -0.2 m/an	entre - 1,4 et - 0.5 m/an	≤ -1.5 m/an
e	Distance/à 20 m isobathe	>1500 m	1000-1500 m	500-1000 m	0-500 m
f	Distance de végétation en arrière plage.	>200 m	100-200 m	1-100 m	Pas de végétation
g	Exposition de la côte	-	-	Semi-exposée (67.5°- 90° ; 180° -202,5° ; 315° -337.5°)	Exposée (247.5 et (337.5° et 0°, 0° - 67.5 °et 90° et 180 °)

Tableau IV-4. Résumé des indices utilisés et leurs classifications

Le long du linéaire côtier de la baie d'Al Hoceima, 473 cellules ont été identifiées et évaluées. Le calcul de l'indice total de chaque cellule a généré des scores de CVI allant de 17 à 23, avec une moyenne de 19.8 (Figure IV-22). Ensuite pour déterminer les classes de la vulnérabilité relative totale, une représentation graphique des pourcentages cumulatifs des indices calculés a été élaborée. Les scores CVI sont fortement regroupés autour de la moyenne statistique et la distribution interquartile (25ème et 75ème centiles) des scores CVI est considérée comme étant la classe de vulnérabilité modérée qui se retrouve comprise entre les valeurs de CVI allant de 19 et 21. Celles caractérisant la vulnérabilité plus élevées sont classées de 22 à 23 et

finalement les valeurs les plus faibles (17 à 18) représentent la classe de vulnérabilité faible (Figure IV-22).

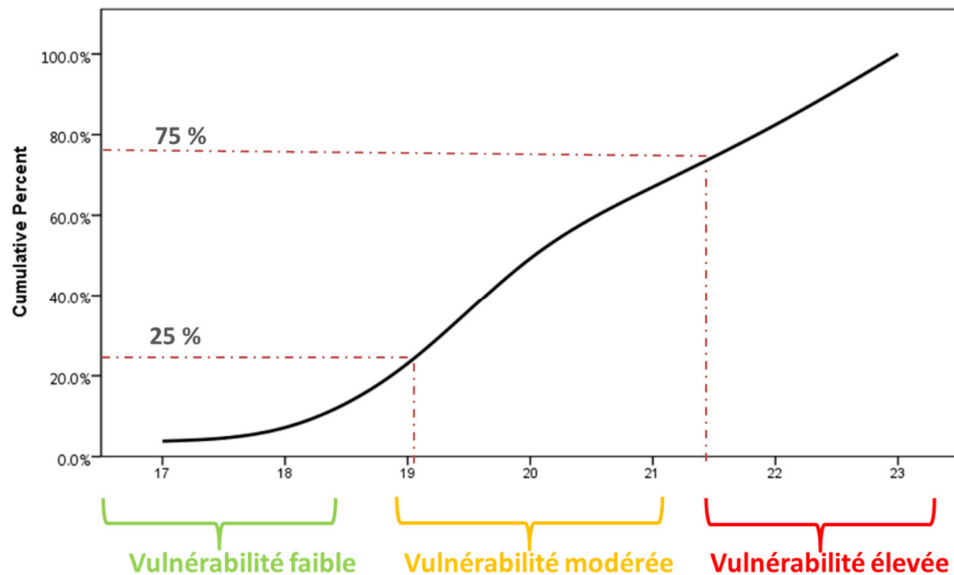


Figure IV-22. Courbe de distribution cumulative du pourcentage des indices CVI calculés pour la baie d'Al Hoceima.

À l'aide de SIG, nous avons élaboré une carte de vulnérabilité relative du littoral de la baie d'Al Hoceima. Nous avons catégorisé les sections côtières en fonction des classes de vulnérabilité déterminées précédemment. La figure IV-23 montre que :

- sur un linéaire de 41 Km (473 cellules côtières), 43 % du trait de côte étudié présenteraient une vulnérabilité élevée, soit environ 18 km de ce linéaire côtier. Ils correspondent aux segments côtiers allant de douar Hadid jusqu'au douar Rabda Il s'agit d'une côte qui a des scores élevés pour les paramètres de géomorphologie, la largeur des plages, et l'absence de végétation. En plus ce segment côtier est exposé à la houle dominante de WSW. De même la zone côtière de Sabadilla serait aussi classée en zone à forte vulnérabilité car c'est une zone ouverte très exposée aux houles W à NW, les plages sont étroites le rivage est proche de l'isobathe de - 20 m, et se trouve dépourvue de végétation.
- 42% du littoral montrerait une vulnérabilité modérée, ce qui représente une longueur de 17.5 km. Ils représentent les segments côtiers situés dans la partie Est, et correspondent aux plages de Souani, et Sfiha. Celles-ci pourraient présenter une résistance moyenne aux effets de l'ENM et aux événements de tempêtes, en vue de la présence d'une forêt et de plages relativement larges (Sfiha Ouest). Les plages de Quemado, Calabonita et Isly, bien que protégées par des promontoires rocheux, montrent une vulnérabilité aussi modérée vue leur topographie basse. Il en est de même pour les zones côtières de Ras El

Abed et celles situées au niveau de la partie Est de la baie vers Ras Ouaddar, en raison de la présence des falaises hautes et résistantes.

- seul 15% (6.3 km) du littoral étudié montrerait une vulnérabilité faible à une ENM et aux houles de tempêtes extrêmes. C'est le cas de la zone de Sfiha et souani Ouest. Cette partie du littoral est marquée par une faible résistance physique, des plages très étroites, des pentes basses, des sédiments alluviaux quaternaires, ainsi que des côtes relativement exposées aux houles dominantes.

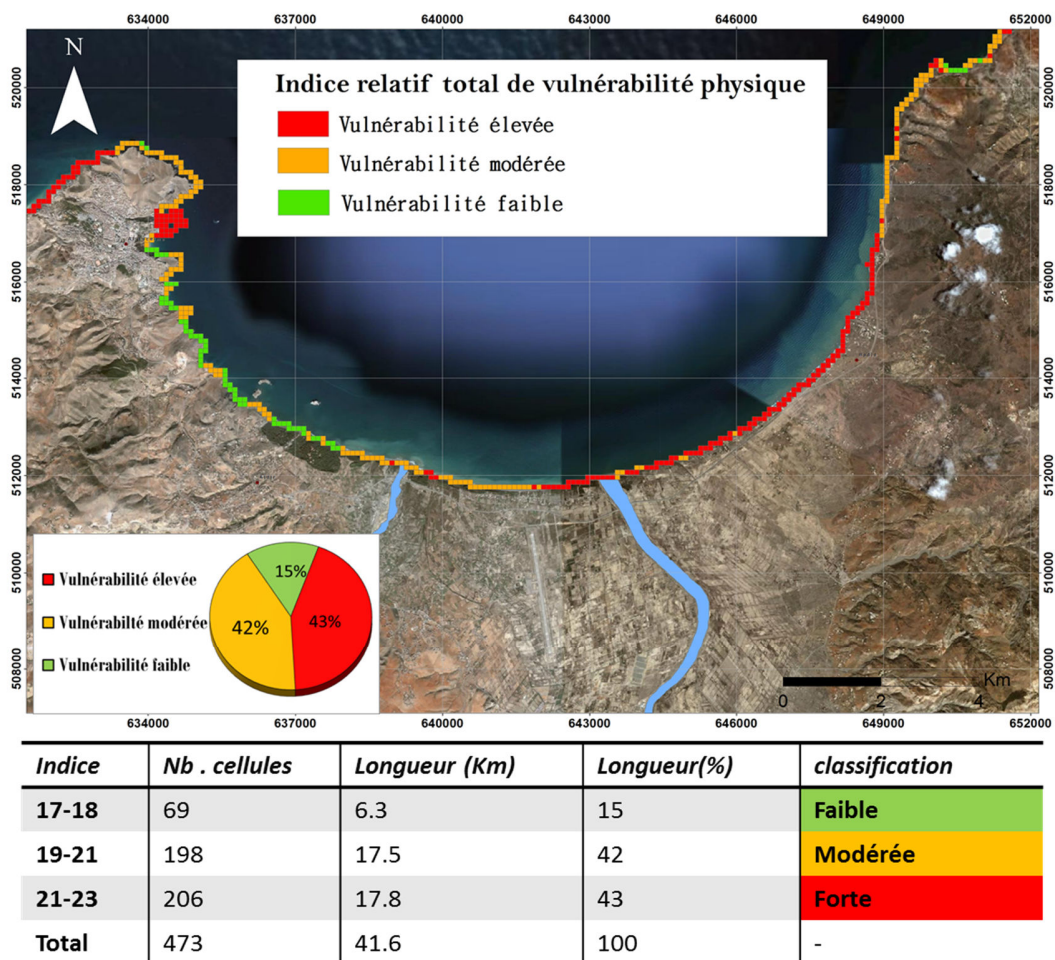


Figure IV-23. Indice de la vulnérabilité côtière (CVI) de la baie d'Al Hoceima.

II.3. Vulnérabilité socio-économique

L'évaluation socioéconomique s'est reposée sur les résultats de la vulnérabilité physique. Nous nous sommes focalisés plus précisément sur les zones côtières (cellules) qui ont montrées une vulnérabilité élevée. Il s'agit donc de segments côtiers qui ont marqué un score

de vulnérabilité entre 21-23. Pour cela, Nous avons élaboré une carte d'occupation des sols (Figure IV-24) afin de dégager les principales caractéristiques socioéconomiques qui seraient susceptibles d'être localisées dans les zones à vulnérabilité élevée et par conséquent menacés en cas d'ENM et de tempêtes extrême.

Ainsi la carte d'occupation des sols établie montre différentes unités localisées dans des zones de vulnérabilité élevée :

- Les zones d'habitation à l'Est de Souani, à Bathou, au niveau du segment côtier de R'hach et du village Azghar.
- La zone côtière de Sabadillia à l'ouest de Ras El Abed (corniche et la route adjacente)
- Le port d'Al Hoceïma
- La rocade méditerranéenne dans la zone de R'hach.
- Un ensemble de plage très convoitée pour la baignade, à l'est de Souani, Saline et bathou
- Les terres agricoles de la plaine Rhis-Nekor

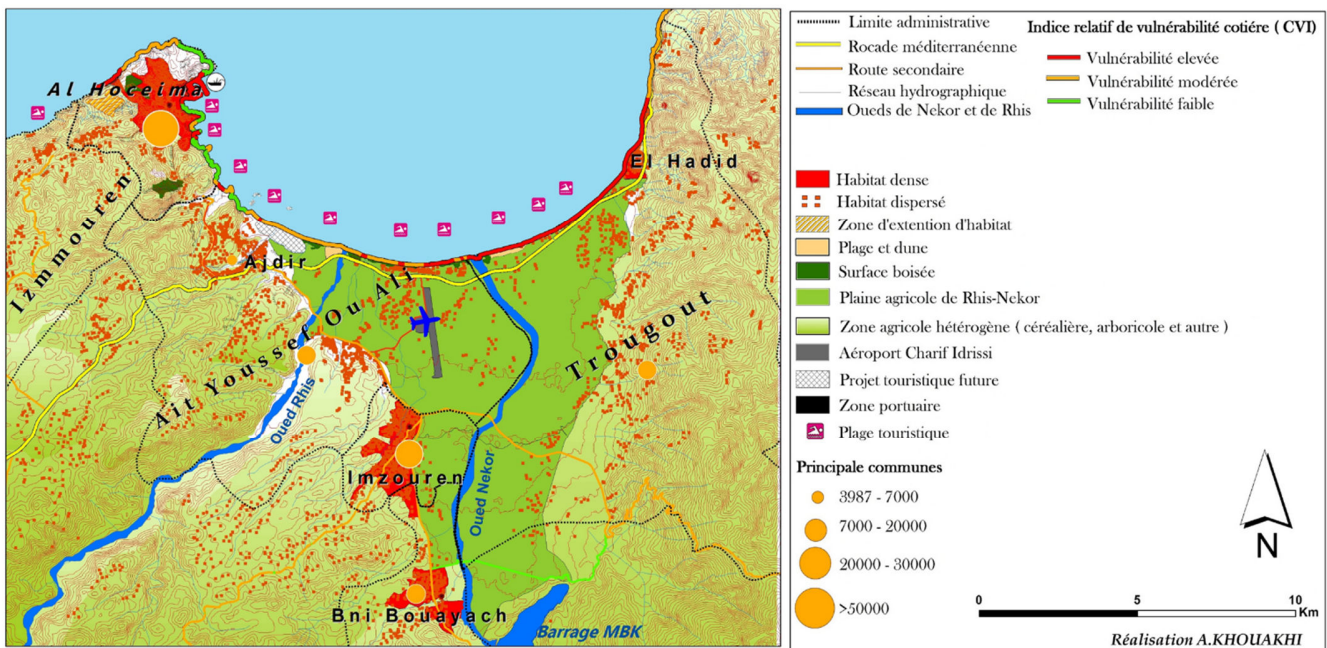


Figure IV-24. Carte d'occupation des sols et localisation des zones à différents degrés de vulnérabilité de du littoral de baie d'Al Hoceïma

Pour la suite de cette analyse nous nous sommes focalisés sur les installations situées dans la bande côtière de 100m. En termes d'infrastructures, nous avons identifié 160 unités résidentielles situées dans des zones de vulnérabilité élevée et dans une bande littorale qui ne dépasse pas les 100m. En utilisant le nombre national moyen de personnes par ménage (6

personnes), cela signifie que quelque 960 habitants se trouveraient menacés au sein de la bande de 100 m du littoral de la baie d'Al Hoceima. En effet la *figure IV-25* montre l'emplacement de certaines unités résidentielles sur la bande de 100 m. L'altitude de cette bande ne dépasse pas les 4 m au-dessus du niveau de la mer actuel. La zone est fortement exposée aux inondations pendant les tempêtes en raison des influences combinées des inondations côtières et continentales. Ainsi la rocade méditerranéenne qui relie les villes marocaines méditerranéennes est généralement située très près des zones le plus vulnérables de la côte et se trouve dans la bande de 100 m dans certains endroits (Figure IV-25a). En outre les plages touristiques sont particulièrement vulnérables au sein de la zone étudiée, avec plus de 55% classées comme étant très vulnérables. L'aéroport Charif Idrissi est aussi situé des terres localisées à environ 1 km du rivage. Cependant bien qu'il ne soit pas directement situé dans la zone vulnérable des 100 m, mais une partie de la piste d'atterrissage de cet aérodrome est néanmoins situé dans la zone dont l'altitude est inférieure de 10 m au-dessus du niveau de la mer, et donc potentiellement à risque de submersion marine.

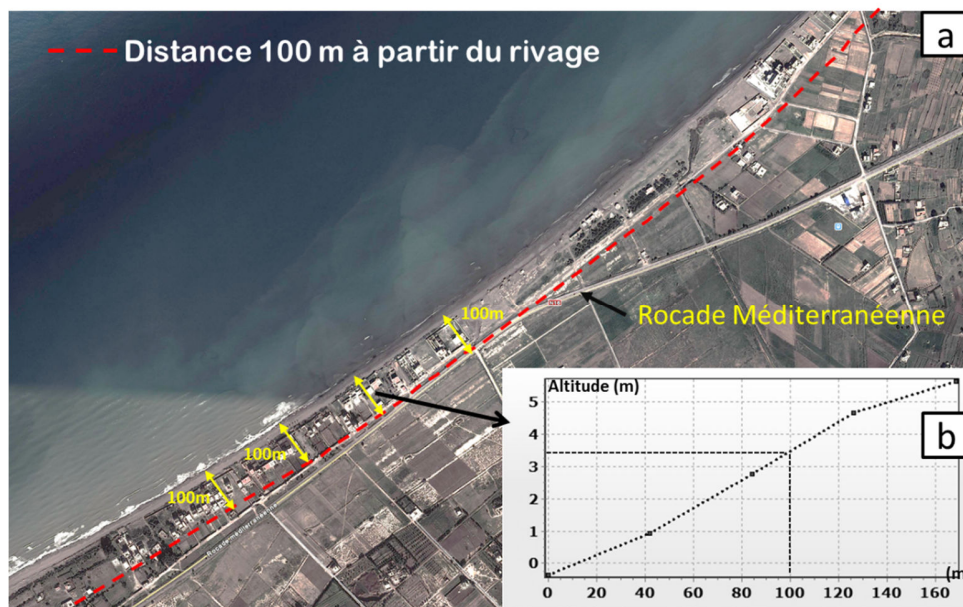


Figure IV-25. : a) Unités résidentielles situées dans la zone des 100 m et à vulnérabilité élevée
b) Profil transversal de la bande des 100m indiquant sa faible topographie dans la baie d'Al Hoceima.

Cependant certaines infrastructures touristiques ont déjà été construites dans la bande littorale des 100m qui présentent une vulnérabilité à l'ENM et aux tempêtes extrêmes, en plus d'autres projets situés près de la côte sont en cours de construction. Tels le cas du projet «Souani Méditerranée" (Figure IV-26). Ce dernier est situé dans une section côtière qui est classée comme modérément vulnérable. Mais un examen plus approfondi de ce segment côtier montre que les scores CVI modérés sont influencés principalement par la variable de la

distance de la végétation (forêt) derrière la plage. Par conséquent cette classification CVI pourrait facilement passer d'une vulnérabilité modérée à élevée si la densité des arbres est réduite pour des fins du projet.

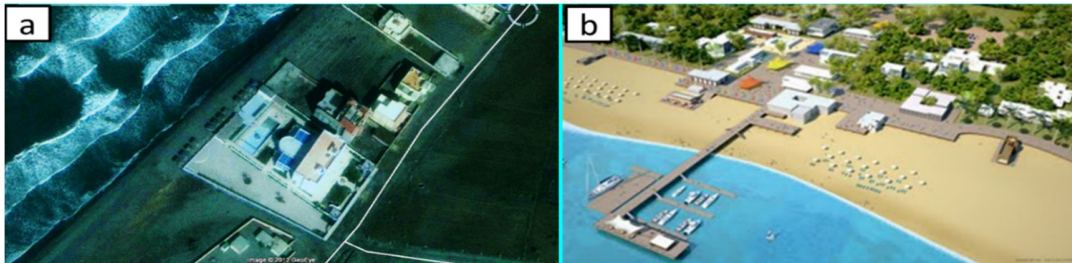


Figure IV-26. a) Exemple de projets touristiques déjà existant b) Projet prévu sur la plage de Souani.

En outre les zones montrant une vulnérabilité modérée pourraient évoluer en régions à vulnérabilité très élevée en cas d'une conjonction des inondations continentales qui caractérisent la plaine de Rhis-Nekor et des conditions météo marines extrêmes (Figure IV-27).



Figure IV-27. Photos illustrant les quelques dégâts suites à des houles fortes combinées aux crues fluviales A,b) Dégâts dûs à l'érosion au niveau de la zone sabadilla et Tala youssef. c,d) Inondations des constructions situées au pied de la dune au niveau de la côte de Bathou, dues à la conjonction de la houle et les crues.

III. Conclusions

Dans le contexte du changement climatique, cette évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima à l'ENM et aux tempêtes basée sur des variables physiques, nous a permis d'identifier et prioriser les sections côtières susceptibles d'être les plus vulnérables dans une perspective de gestion des zones côtières. En outre les éléments socio-économiques présents dans les zones à vulnérabilité élevée au niveau de la bande littorale des 100m ont été aussi évalués. Il apparaît donc que le long du littoral de la baie d'Al Hoceima, 85% de ce linéaire côtier présenterait une vulnérabilité physique modérée à élevée. Ce degré risquerait d'évoluer vers une vulnérabilité plus forte en raison des infrastructures et unités socio-économiques déjà présentes sur ce littoral et celles en cours ou en projet.

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité côtière à l'ENM et aux tempêtes extrêmes appliquées dans la baie d'Al Hoceima peut être facilement réitérée dans le temps notamment dans le cas d'un suivi à travers un système permettant l'intégration d'autres paramètres quantifiables, des mises à jour avec des données initiales plus précises ; idéalement dans une base de données de vulnérabilité des zones côtières sous un environnement SIG. Ceci rendrait l'outil à la fois dynamique et continuellement pertinent. En fin de compte, le CVI peut être facilement intégrées dans une stratégie globale de gestion du littoral marocain, favorisant l'efficacité dans sa gestion en terme de risque.

Sous chapitre IV.2 :

Évaluation de la vulnérabilité à l'intrusion saline de l'aquifère Rhis-Nekor

Sommaire

I. Introduction.....	184
II. Principaux facteurs d'une intrusion saline.....	185
II.1. Intrusion saline dans les aquifères côtiers.....	185
II.2. Facteurs induisant une intrusion saline dans les aquifères côtiers.....	187
II.2.1. Facteurs géologiques.....	188
II.2.2. Facteurs climatiques.....	189
II.2.3. Facteurs anthropiques.....	190
III. Vulnérabilité de l'aquifère Rhis-Nekor à une intrusion saline.....	191
III.1. Méthode qualitative GALDIT.....	192
III.2. Résultats.....	195
III.2.1. Type de l'aquifère Rhis-Nekor.....	195
III.2.2. Conductivité hydraulique de l'aquifère.....	195
III.2.3. Hauteur du niveau des eaux souterraines au-dessus du niveau marin.....	197
III.2.4. Distance par rapport au rivage.....	199
III.2.5. Impact de l'état actuel de l'intrusion saline.....	200
III.2.6. Épaisseur de l'aquifère Rhis-Nekor.....	201
III.2.7. Indice de GALDIT sous les conditions actuelles et futures du niveau de la mer.	202
IV. Mesures de contrôle de l'intrusion d'eau salée et méthode ADR.....	204
V. Conclusion.....	206

I. Introduction

L'intrusion saline (IS) d'eau de mer représente l'un des mécanismes de salinisation les plus répandus affectant la qualité de l'eau des aquifères côtiers (Custodio, 2010). C'est un processus actif qui correspond à une rupture de l'équilibre hydrodynamique entre l'eau douce et l'eau de mer. Une des raisons les plus communes de ce déséquilibre est la surexploitation des aquifères, exacerbée par la population toujours croissante des zones littorales, mais également suite à une baisse naturelle de la recharge en eau ou d'une montée du niveau des eaux marines. Melloul et Collin (2006) ont présenté les différents scénarios qui pourraient induire une perte permanente d'eau douce par intrusion marine, y compris dans le cas d'une montée du niveau marin (Figure IV-28). En effet l'IS est un problème mondial exacerbé par la montée des eaux des mers, le changement climatique et notre dépendance croissante des nappes côtières d'eau douce pour l'approvisionnement en eau (Poste, 2005 ; White et Falkland, 2010 ; Werner, 2010 ; Barlow et Reichard, 2010).

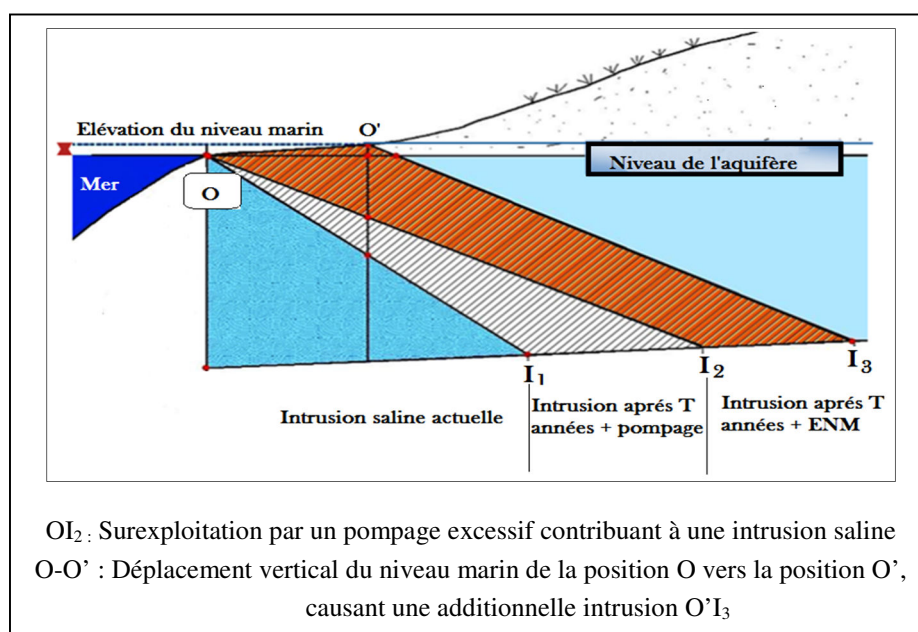


Figure IV-28. Illustration des scénarios conduisant à l'intrusion saline dans un aquifère côtier (Melloul et Collin, 2006).

La place des nappes phréatiques côtières dans les enjeux socioéconomiques impose la nécessité d'évaluer leur vulnérabilité à l'intrusion saline. Celle-ci est une étape importante dans l'estimation des menaces potentielles de l'ENM induite par le changement climatique pour les aquifères côtiers. Ainsi, l'IS est définie par Ferreira et Cabral (1991) comme la sensibilité de la qualité des eaux souterraines à un pompage imposé ou à la montée du niveau de la mer, ou aux deux phénomènes conjointement, dans une zone côtière. Quant à la vulnérabilité des eaux souterraines à l'IS, elle peut être définie comme «la sensibilité de la qualité des eaux souterraines à un pompage des eaux souterraines ou à l'ENM, ou

les deux dans la bande côtière et elle est déterminée à partir des caractéristiques intrinsèques de l'aquifère » (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005).

Deux types de vulnérabilité de ces réservoirs d'eau souterraine ont été distingués par *Foster et al.*, (2000). La première, dite intrinsèque, ne dépend que des propriétés du système aquifère, et la seconde dite spécifique où les propriétés intrinsèques sont référencées à un type particulier de contaminant ou d'activité humaine (exemple de la vulnérabilité aux nitrates).

Diverses méthodes de cartographie de la vulnérabilité (intrinsèque ou spécifique) ont été utilisées dans le monde : en particulier, (i) la *Aquifer Vulnerability Index* (AVI) (Van Stempfort et al. , 1993), (ii) la *Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, and hydraulic Conductivity* (DRASTIC) (Aller et al, 1987); ou encore (iii) l'indice GOD (Foster 1987). Néanmoins peu de techniques ont été publiées pour permettre une évaluation rapide de la vulnérabilité des aquifères côtiers à l'IS, particulièrement en cas de données limitées. Actuellement la méthode GALDIT élaborée par *Chachadi et Lobo-Ferreira* (2005) semble être la seule approche qui considère le risque d'intrusion saline en intégrant la remontée du niveau marin due au changement climatique. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi cette approche qualitative pour estimer et cartographier la vulnérabilité à une intrusion saline de l'aquifère côtier de Rhis-Nekor.

II. Principaux facteurs d'une intrusion saline

II.1. Intrusion saline dans les aquifères côtiers

Le phénomène de l'IS est régi par la relation Ghyben-Herzberg (Todd, 1980). Du fait de la différence de densité, l'eau douce (masse volumique $\rho_f = 1000$ g/L) qui s'écoule vers la mer entre en contact avec l'eau de mer salée (masse volumique $\rho_s = 1025$ g/L) et s'installe sur cette dernière. Une zone d'interface se forme entre l'eau douce plus légère et l'eau de mer sous-jacente plus lourde. Il s'agit du biseau salé. Cet interface n'est pas statique, notamment en cas de surexploitation de l'aquifère, où il existe une intrusion marine. Ainsi, les deux milieux vont s'affronter selon des règles simples en théorie, mais complexes dans la réalité, si bien que souvent l'impact d'une invasion d'eau salée dans un aquifère littoral peut se révéler irréversible.

Déterminer la forme ainsi que la position de la zone de contact entre l'eau douce et l'eau de mer a motivé de nombreux chercheurs depuis plus d'un siècle. Les premiers travaux sur les aquifères littoraux poreux ont été réalisés à la fin du XIXe siècle par *Ghyben* (1889) et *Herzberg* (1901) sur la base du principe des équilibres hydrostatiques. Dans un aquifère poreux à l'équilibre, les deux milieux- eau douce et eau salée- se mélangent très peu. En effet, l'eau douce, moins dense, flotte sur l'eau de mer avec un contact incliné assimilé à une surface courbe (Figure IV-29).

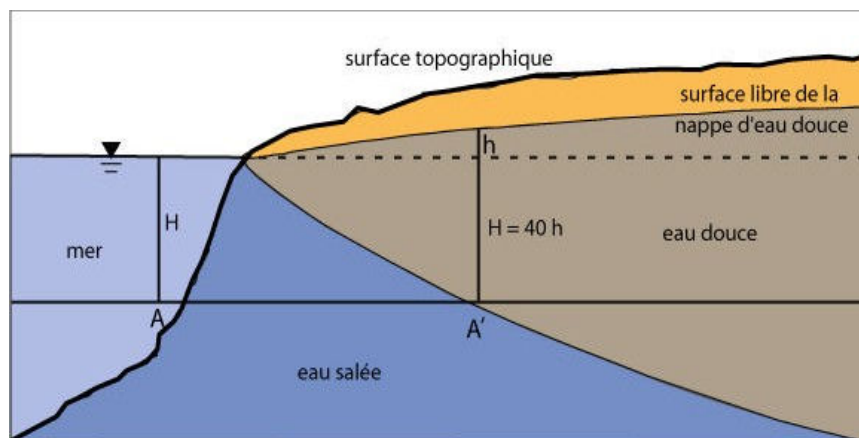


Figure IV-29. Position de l'interface eau douce-eau salée selon la loi de Ghyben-Herzberg (d'après Frissant et al., 2005).

Suivant l'illustration ci-dessus, la loi de Ghyben-Herzberg définit la position du contact entre les deux milieux à l'équilibre par l'équation suivante :

$$\rho_f \cdot (h + H) = \rho_s \cdot H$$

Soit approximativement $H = 40 h$

H : La profondeur de l'interface,

h : La charge hydraulique (ou niveau piézométrique) par rapport au niveau de base,

ρ_f : Densité de l'eau douce,

ρ_s : Densité de l'eau de mer

En première approximation, l'interface entre l'eau douce et l'eau de mer peut être assimilée à une limite franche. Cette approximation correspond au cas de deux fluides non miscibles, de densités différentes, en équilibre hydrostatique. L'eau de mer est supposée immobile et l'aquifère est supposé homogène avec une répartition hydrostatique des pressions. Il est considéré plus fréquemment étant en équilibre dynamique, en régime permanent, où la composante verticale de l'écoulement dans l'aquifère est négligeable (hypothèse de Dupuit). La profondeur de l'interface est alors déterminée en résolvant l'équation d'équilibre entre les charges des deux fluides de densité différente ; et le cas est analogue à un tube en U (Figure IV-28). La profondeur de l'interface est alors proportionnelle à la piézométrie, la référence étant le niveau moyen local de la mer.

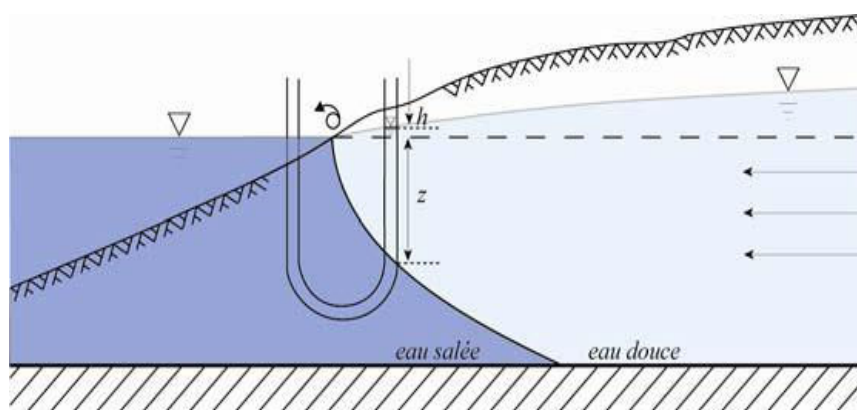


Figure IV-30. Position de l'interface selon le modèle de Ghyben-Herzberg (Custodio, 2002), modifié par Montety (2008)- échelle verticale exagérée par rapport à l'échelle horizontale.

L'équilibre hydrostatique est rompu lorsqu'un changement de poids intervient sur l'une des deux colonnes, généralement lié à la variation d'épaisseur des couches d'eau. Ainsi dans le cas où l'aquifère se recharge suffisamment, la nappe d'eau s'épaissit, devient plus lourde et la position de l'interface migre en profondeur. Par conséquent l'eau douce s'écoule vers la mer. Dans le cas contraire, la couche d'eau douce s'amincit, devient plus légère, la position de l'interface remonte et l'eau salée s'introduit dans l'aquifère d'où une avancée du biseau salé et la couche d'eau saumâtres envahit l'aquifère.

Cependant il est à noter que la géométrie réelle des interfaces eau douce-eau salée est généralement bien plus complexe que celle décrite par la loi de Ghyben-Herzberg vu l'imbrication de strates de perméabilité différente dans de nombreux aquifères côtiers, particulièrement dans un milieu deltaïque (Custodio, 2010).

Le terme d'aquifère côtier désigne ici les réservoirs d'eau souterraine en quantité exploitable situés en zone littorale. Ce sont des types de nappes souterraines bien particulières et complexes dont les spécificités ont fait l'objet de plusieurs travaux entre autres (Jones et al., 1999).

II.2.Facteurs induisant une intrusion saline dans les aquifères côtiers

Les principaux facteurs qui peuvent entraîner une intrusion saline dans les nappes phréatiques côtières peuvent se regrouper en trois catégories : géologique, climatique et anthropique (Figure IV-31).

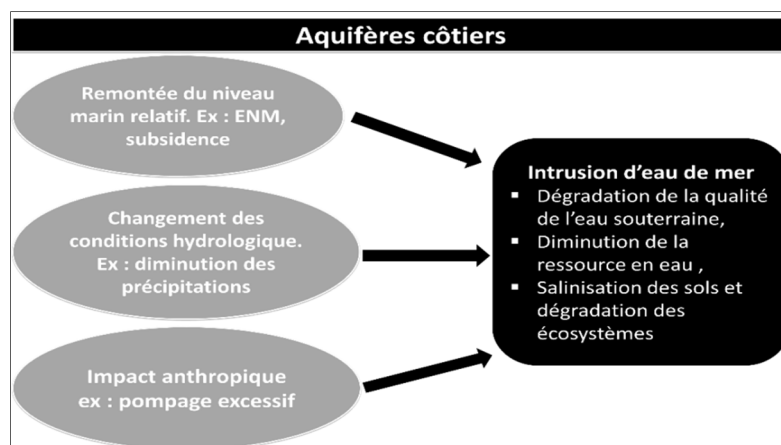


Figure IV-31. Causes et conséquences des différentes pressions s'exerçant sur un aquifère côtier.

II.2.1. Facteurs géologiques

Il correspond à la remontée du niveau marin depuis l'Holocène ; il a en effet fortement varié depuis 10 000 ans (d'une centaine de mètres environ) et n'a atteint une certaine stabilité que depuis ~6000 ans (e.g. Labeyrie et al., 1976; Edmunds et al., 2001). Durant une importante hausse du niveau marin, les aquifères côtiers qui ont été mis en place lors des périodes de bas niveaux marins (lors des glaciations quaternaires), ont été envahis par la mer. Ensuite, depuis la stabilisation du niveau des eaux des océans et des mers, les eaux marines ont pu être repoussées dans les aquifères côtiers, lorsque le gradient piézométrique était suffisamment élevé. Par contre pour ceux à faible gradient hydraulique, l'intrusion marine n'a pas toujours pu être repoussée (Edmunds et Milne, 2001 ; Custodio, 2002 ; Post, 2004). De ce fait la présence actuelle d'eau marine dans un aquifère côtier pourrait correspondre donc à une ancienne intrusion saline (Figure IV-32). En outre, la distribution souvent complexe des zones à forte et à faible salinité reflète l'histoire des transgressions-régressions antérieures qui ont pu laisser des lentilles d'eaux salées ou douces dans certaines parties de l'aquifère (Montety, 2008).

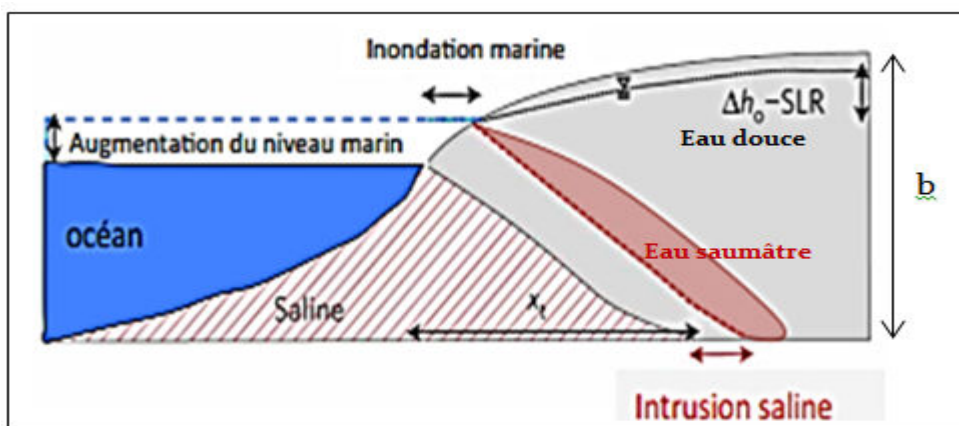


Figure IV-32. Modèle conceptuel utilisé pour simuler l'impact d'une élévation du niveau marin sur l'étendue d'un réservoir aquifère (Ferguson & Gleeson, 2012). Épaisseur de l'aquifère (b) ; distance basale au biseau salé (X_1).

L'augmentation globale du niveau moyen des océans, associée aux changements climatiques actuels, mettrait encore plus en péril les aquifères côtiers (IPCC, 2007). En effet, l'élévation du niveau marin peut entraîner non seulement la submersion, mais aussi l'érosion de la côte, menant à une perte du territoire (Figure IV-33) et donc à une diminution de la capacité de réserve des réservoirs souterrains et du volume d'eau douce disponible dans un aquifère côtier (Oude Essink, 2001 ; Ferguson & Gleeson, 2012).

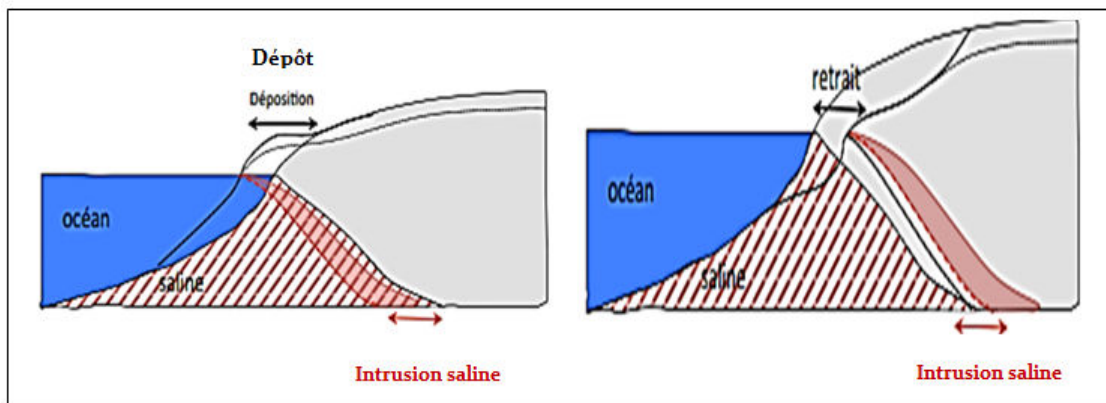


Figure IV-33. Vue schématique d'une élévation du niveau de la mer et d'une modification du trait de côte sur l'étendue d'un aquifère côtier (modifié Ferguson & Gleeson, 2012).

II.2.2. Facteurs climatiques

Les variabilités climatiques locales couplées aux changements globaux modifient les caractéristiques des principales composantes du cycle hydrologique des précipitations, leur fréquence ainsi que leur répartition géographique et saisonnière, les taux d'évaporation et d'évapotranspiration, la survenue et la vitesse de la fonte des neiges. De ce fait, le scénario d'intrusion marine peut être observé dans des conditions dites « naturelles », notamment en cas de sécheresse ou d'abaissement de la charge hydraulique impactant les conditions de la recharge naturelle de l'aquifère.

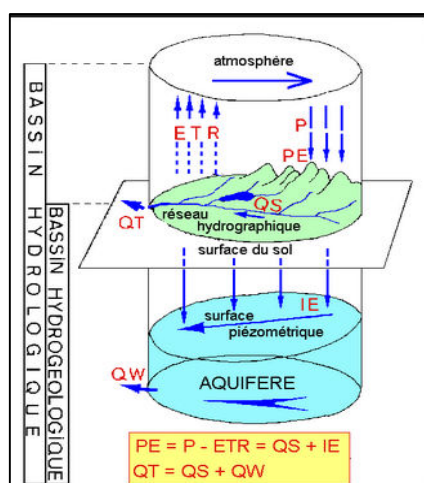


Figure IV-34. Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère (Castany 1979 ; Margat 1981).

II.2.3. Facteurs anthropiques

La surexploitation des aquifères est le principal facteur anthropique induisant une intrusion saline dans les aquifères, lorsque les prélèvements d'eau excèdent la recharge et conduisent à un abaissement du niveau piézométrique. Au cours des 30 à 40 dernières années, le développement socio-économique et agricole des zones littorales a entraîné une forte augmentation des prélèvements d'eau, en particulier dans les régions où des ressources en eau alternatives, comme les eaux de surface, sont insuffisantes. La surexploitation modifie alors les charges hydrauliques et entraîne l'établissement d'un nouvel équilibre et par la suite une migration du biseau salé (Figure IV-35). De plus, la surconsommation de la ressource par un pompage excessif pour subvenir aux besoins des activités humaines (irrigation intensive, industries, consommation domestique...) entraîne souvent le rabattement de la nappe (Ferguson & Gleeson, 2012). En effet un prélèvement excessif d'eau provoque une remontée verticale du biseau salé sous le forage, qui peut donc atteindre 40 fois la valeur de rabattement observé. Cette arrivée indésirable d'eau salée détériore de façon quasi-irréversible la qualité de la ressource. Des processus géochimiques peuvent se superposer au simple mélange entre les deux masses d'eau, notamment des échanges cationiques. Ceux-ci font évoluer le faciès de l'eau saumâtre d'un type Na-Cl vers un type Ca-NaCl ou Ca-Cl dans le cas de la progression de la salinité (Bianchini et al., 2005) ou vers un type Na-HCO dans le cas d'un radoucissement de la nappe (régression du niveau de la mer) selon *Walraevens et al.*, (2007).

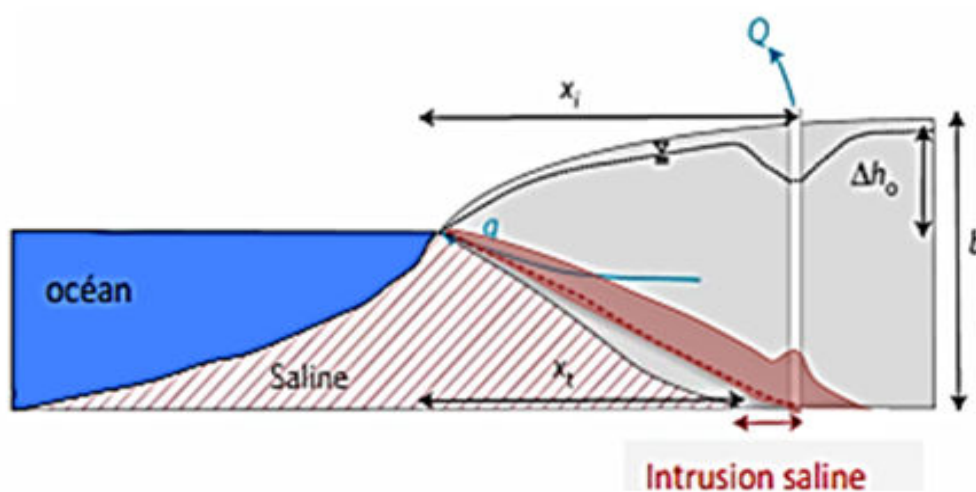


Figure IV-35. Modèle conceptuel simulant l'impact de l'extraction de l'eau souterraine dans un aquifère côtier (Ferguson & Gleeson, 2012).

Les incertitudes liées à l'impact d'une augmentation du niveau marin sur l'intrusion saline au sein des aquifères côtiers sont dues d'une part à la complexité des processus en jeu, et d'autre part à la spécificité locale des aquifères côtiers. De ce fait, l'impact d'une remontée du niveau marin sur l'extension du biseau salé des aquifères côtiers nécessite de procéder à la compréhension de l'intrusion marine associée à une augmentation du niveau marin. Cela est important pour la gestion future des aquifères côtiers. En outre, une première

caractérisation de la vulnérabilité d'un aquifère côtier à l'échelle locale, selon une approche cartographique simplifiée, permettrait de mettre en évidence le degré de sa sensibilité à un risque d'une intrusion saline. Tel a été le cas de l'évaluation de la vulnérabilité à l'intrusion saline de l'aquifère côtier d'Al Hoceima.

III. Vulnérabilité de l'aquifère Rhis-Nekor à une intrusion saline

La nappe alluviale de Rhis-Nekor est considérée comme l'un des aquifères les plus importants de la Méditerranée marocaine : elle couvre environ 100 km² et joue un rôle important dans l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Al Hoceima. C'est un aquifère non confiné : il est entouré de flyschs schisteux-gréseux qui sont généralement imperméables, sauf dans le Nord-Ouest et Nord-Est où apparaissent des calcaires et des vulcanites du Plio-Quaternaire (Figure IV-36). L'aquifère est formé d'alluvions plio-quaternaire composées de sédiments détritiques, sables, graviers et de limons, traversés par de nombreux niveaux argileux discontinus. L'épaisseur de l'aquifère varie entre 5 et 430 m. les zones les plus minces sont situées au Sud, au Nord-est et au Nord-Ouest de la plaine alluviale (Salhi, 2008).

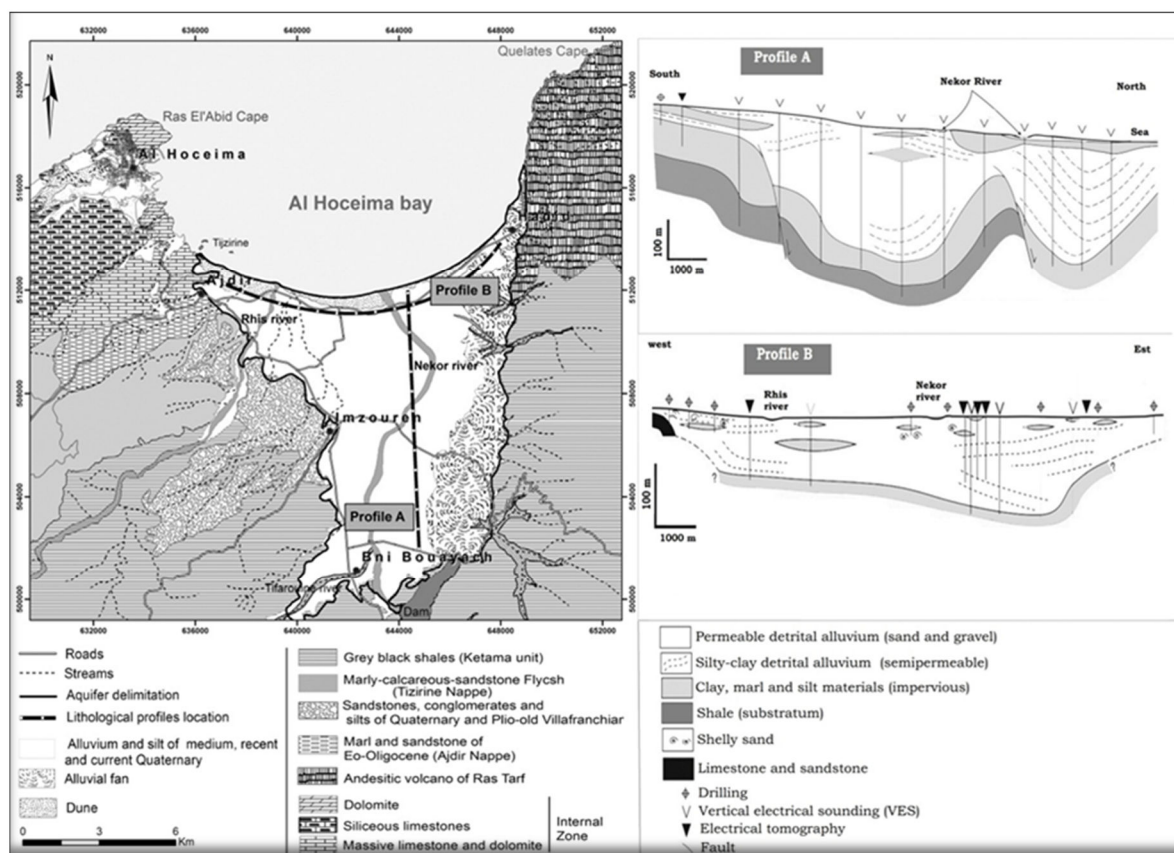


Figure IV-36. Limite de la nappe alluviale de Rhis-Nekor et section hydrogéologique transversale de l'aquifère Rhis-Nekor (d'après Salhi 2008).

Concernant la cartographie de la vulnérabilité des aquifères côtiers, il existe très peu de guides ou méthodologies pour évaluer rapidement la vulnérabilité des régions à l'intrusion marine. Seule une approche qualitative dédiée aux aquifères côtiers et intégrant la notion de remontée de niveau marin est utilisée pour évaluer la vulnérabilité à l'intrusion saline lors d'une hausse du niveau marin. C'est la méthode GALDIT qui a été développée par Chachadi et Lobo-Ferreira (2001) dans le cadre d'un projet euro-indien COASTIN et ensuite modifiée en 2005 (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005). Elle est utilisée pour étudier l'impact de l'élévation du niveau marin induit par le changement climatique sur un aquifère côtier.

III.1. Méthode qualitative GALDIT

La méthode GALDIT est une méthode simple d'utilisation, qui nécessite peu de données. C'est une approche qualitative qui peut être utilisée dans différents contextes hydrogéologiques, car elle ne prend pas en compte la recharge ou le flux qui s'écoule au travers de l'aquifère, ou les débits pompés, mais se base sur les caractéristiques intrinsèques de l'aquifère étudié. Elle permet une estimation de la vulnérabilité à l'intrusion saline induite par une remontée du niveau marin. De ce fait, cette méthode repose sur le principe de détermination d'indices de vulnérabilité et d'attribution de classes de vulnérabilité des eaux souterraines par rapport à une intrusion saline. Elle repose ainsi sur la combinaison de six paramètres dont les premières lettres forment l'acronyme GALDIT :

- Le type d'aquifère : libre, captive et semi-captif (*Groundwater Occurrence*)
- La conductivité hydraulique de l'aquifère (*Aquifer Hydraulic Conductivity*).
- Profondeur à la nappe au-dessus du niveau de la mer (*Height of Groundwater Level below Sea Level*);
- La distance par rapport au rivage (*Distance from the Shore*) ;
- Impact de l'état actuel de l'intrusion saline de la région concernée (*Impact of existing status of seawater intrusion in the area*) ;
- L'épaisseur de l'aquifère (*Thickness of the aquifer*).

La méthode se fonde sur un système de classification et de pondération pour évaluer les potentialités d'une intrusion saline. Le système comprend trois parties essentielles : la pondération (de 1 à 4), le rang (de 2.5 à 10) et la classification (détermine le lien entre les caractéristiques hydrogéologiques locales et la valeur du paramètre) (Tableau IV-5). Une note est attribuée aux 4 classes de chaque paramètre ; elle est comprise entre 2,5 et 10. Les valeurs résultantes sont obtenues par agrégation de celles des paramètres, qui sont pondérés de manière significative. La combinaison de ces facteurs constitue la base nécessaire à l'évaluation d'une intrusion saline potentielle. Ce type de méthode permet d'obtenir une première estimation qualitative de la vulnérabilité de l'aquifère Rhis-Nekor à une intrusion saline.

Il est à noter que, pour le cinquième paramètre (I), indiqué par la variation spatiale du rapport $Cl^- / HCO_3^- + CO_3^-$, nous avons considéré que ce rapport est un critère important

de l'intrusion saline de mer et donc un facteur important de vulnérabilité. Dans l'aquifère Rhis-Nekor, nous avons donc reclassé et modifié le poids de ce paramètre auquel nous lui avons attribué une valeur de 3.

Paramètre	poids	Rangs			
		Très faible	Faible	Moyen	Elevé
Type de l'aquifère	1	Contraint, barrière imperméable ou recharge // à la côte	Semi-captif	Libre	captif
Conductivité hydraulique (m/j)	3	<5	5-10	10-40	>40
Profondeur de la nappe (m)	4	>2	1.5-2	1-1.5	<5
Distance du rivage (m)	4	> 1000	750-1000	500-750	< 500
Impact d'un état d'intrusion saline (ppm) (concentration Chlorures)	3	<1	1-1.5	1.5-2	>2
Epaisseur de la nappe (m)	2	<5	5-7.5	7.5-10	>10

Tableau IV-5. Scores et pondération de de chaque indicateur de vulnérabilité (modifié ; Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005)

L'indice de vulnérabilité relative de l'aquifère à l'intrusion saline est défini par la somme de tous les produits calculés à partir de la multiplication de la valeur attribuée à chaque paramètre (la rangée R) par son importance relative (le poids P) divisé par la somme de ces poids, selon l'expression suivante :

$$\text{Index GALDIT} = \frac{\sum_{i=1}^6 P_i R_i}{\sum P_i} \quad \text{Équation 1}$$

Où

- p_i est le poids accordé (1 à 4) à chaque paramètre i
- R_i est le rang ou la notation accordée à chaque paramètre (2.5 à 10)

Le calcul de l'indice a été effectué selon l'équation 1 à l'aide du SIG (Arcgis 10). Après spatialisation, les données de chaque indicateur GALDIT sont intégrées dans une base de données SIG. Ensuite, les points de données sont interpolés pour chaque couche afin de créer des fichiers de grille raster pour chaque paramètre ; celui-ci est classé en quatre rangés différentes suivant le système de notation recommandée dans le modèle GALDIT modifié (Tableau IV-6). Au total, 6 fichiers raster individuels sont élaborés et sont intégrés en un seul nouveau fichier de données raster suivant l'équation-1. Le calcul est réalisé à l'aide de l'extension « Raster calculator » (Figure IV-37). Une fois les différents paramètres de GALDIT sont calculés ; ils sont ensuite cartographiés à l'aide du SIG. La création d'une géodatabase permet de traiter tous les facteurs GALDIT ainsi que l'indice de vulnérabilité

final. En outre, elle permet le suivi dans le temps des paramètres GALDIT et par conséquent celui de la classification de la vulnérabilité finale.

Une fois que l'indice total GALDIT est calculé, il devient possible d'identifier les zones qui sont les plus susceptibles d'être sensibles à l'intrusion d'eau de mer. Cet indice total varie de 2,5 (Valeur minimale) à 10 (sa valeur maximale). Le score le plus élevé indique la plus grande vulnérabilité à l'intrusion saline. Trois classes sont alors indiquées (Tableau IV-6) : *Vulnérabilité faible* (<5), *Vulnérabilité modérée* (5 à 7,5) et *Vulnérabilité élevée* (> 7,5). Ces valeurs sont particulièrement utiles en termes de prise de décisions et pour la mise en œuvre des mesures d'atténuation.

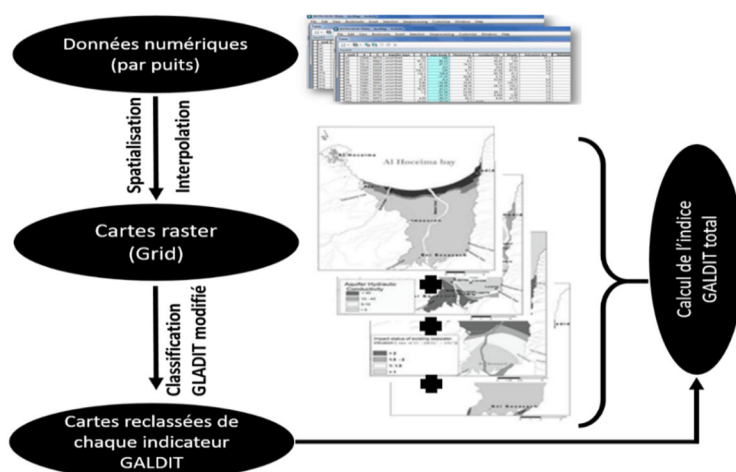


Figure IV-37. Méthodologie de calcul de l'indice GALDIT total.

Id	Indicateur	Poids	Rangée des importantes classes				Rangées des scores (poids des importantes classes)			
			Min.	Intermédiaire		Max.	Min.	Intermédiaire		Max.
1	Type de l'aquifère	1	2.5	5	7.5	10	2.5	5	7.5	10
2	Conductivité hydraulique	3	2.5	5	7.5	10	7.5	15	22.5	30
3	Profondeur de la nappe	4	2.5	5	7.5	10	10	20	30	40
4	Distance du rivage	4	2.5	5	7.5	10	10	20	30	40
5	Impact d'un état d'intrusion saline	3	2.5	5	7.5	10	7.5	15	22.5	30
6	Epaisseur de la nappe	2	2.5	5	7.5	10	5	10	15	20
score Total (ST)							42.5	85	127.5	170
Index GALDIT = S T /17							2.5	5	7.5	10
Vulnérabilité faible							Faible (<5)			
Vulnérabilité modérée							Modéré (5-7.5)			
Vulnérabilité élevée							élevé (>7.5)			

Note : 17 est la somme des poids totaux des indicateurs

Tableau IV-6. Calcul de l'indice GALDIT total

III.2. Résultats

III.2.1. Type de l'aquifère Rhis-Nekor

Dans le contexte naturel, les eaux souterraines prennent place généralement au sein de formations géologiques qui donnent naissance à des aquifères libres, captifs ou semi captifs. Le contexte géologique des aquifères côtiers (géométrie, organisation des formations perméables et imperméables) a une influence indéniable sur la présence et sur l'extension d'une intrusion saline. L'ampleur de l'intrusion dépend donc étroitement du type de l'aquifère. L'aquifère captif est le plus vulnérable du fait de l'existence d'un cône de dépression plus important lors du pompage ; et dans le cas d'un aquifère multicouche, la valeur la plus importante doit être adoptée (Chachadi & Lobo Ferreira, 2001). Par conséquent, la rangée la plus élevée est attribuée à l'aquifère confiné alors que la plus faible est donnée à un aquifère rechargé (Tableau IV-7).

Indicateur G	Poids	Variables de l'indicateur	La rangée
Type de l'aquifère	1	Confiné	10
		Libre	7,5
		Semi confiné	5
		Rechargé	2,5

Tableau IV-7. Les rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT G (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005)

Le cadre géologique de l'aquifère de Rhis-Nekor (Cf. *paragraphe III*) permet d'identifier comme étant non confinée (nappe libre). Le classement attribué à l'aquifère de Rhis-Nekor est donc de 7,5.

III.2.2. Conductivité hydraulique de l'aquifère

La conductivité hydraulique se définit comme la capacité des matériaux de l'aquifère à transmettre l'eau. Elle contrôle la quantité d'eau qui va couler sous un certain gradient hydraulique ainsi que la quantité d'eau qui va pénétrer dans l'aquifère. Dans les sédiments non consolidés, la conductivité hydraulique résulte de l'interconnectivité des pores (porosité efficace). Ainsi, l'importance du front d'intrusion saline est influencée par la conductivité hydraulique : plus la conductivité est grande, plus le front de pénétration de l'intrusion saline est important. En cas d'une intrusion saline, la conductivité hydraulique va contrôler l'écoulement de l'eau de mer vers la terre. La valeur de la rangée est attribuée suivant celle de la conductivité, et elle représentée dans le *Tableau IV-8*.

Indicateur A	Poids	Variables	rangée
Conductivité hydraulique (m/j)	1	Elevé > 40 m/s	10
		Moyen 10 - 40 m/s	7,5
		Bas 5 – 10 m/s	5
		Très bas < 5 m/s	2,5

Tableau IV-8. Les rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT A (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005).

Dans le cadre de cette étude, la conductivité hydraulique (en m/s) a été déduite des données de transmissivité et de l'épaisseur saturée en appliquant la formule suivante :

$$\text{Conductivité hydraulique (m/s)} = \text{Transmissivité (m}^2\text{/s)} / \text{Épaisseur saturée (m)}$$

Les mesures de la transmissivité et de l'épaisseur saturée utilisées, sont relatives aux pompages réalisés dans la région par l'Agence du bassin hydraulique de Loukkous. Les seules données disponibles ne sont pas récentes mais ceci ne devrait pas influencer le calcul de l'indice de GALDIT étant donné que ce paramètre n'évolue pas, ou très peu, dans le temps.

Le calcul de ce paramètre montre des valeurs qui s'échelonnent de 0,58 à 102 m/j (cf. Annexe D) et la cartographie de cet indicateur montre que les valeurs qui dépassent les 40 m/j caractérisent la partie amont de l'aquifère, les zones adjacentes aux rives de l'oued Rhis et la partie centrale de l'aquifère (Figure IV-38).

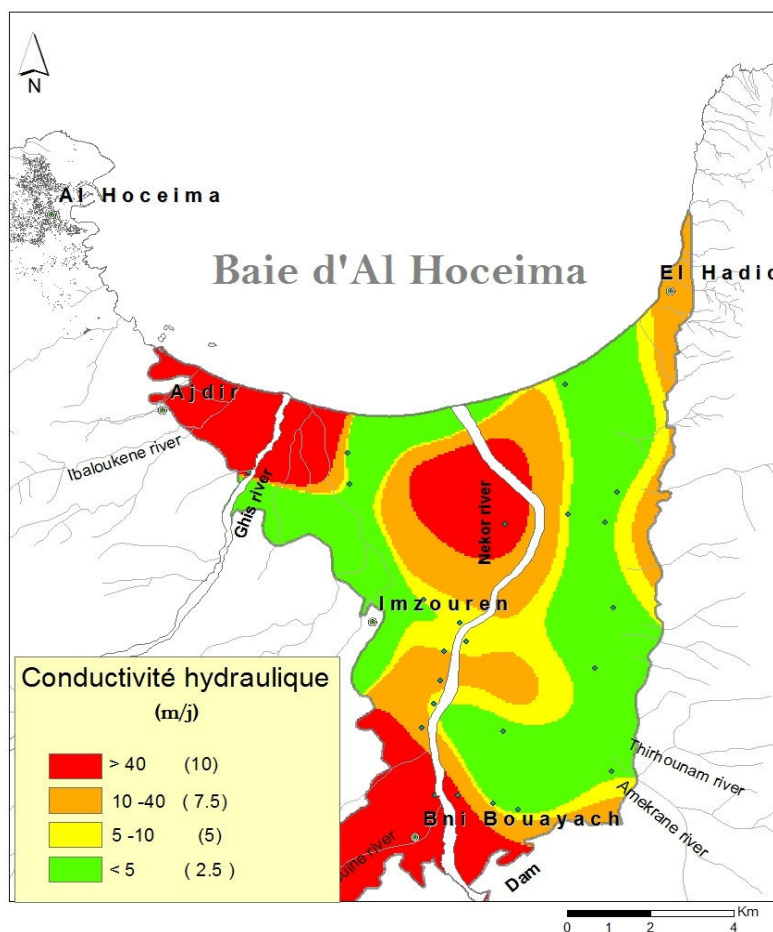


Figure IV-38. Représentation cartographique de la conductivité hydraulique de l'aquifère Rhis-Nekor

III.2.3. Hauteur du niveau des eaux souterraines au-dessus du niveau marin

Le niveau des eaux souterraines (niveau piézométrique) par rapport au niveau moyen de la mer est un facteur très important dans le contrôle de l'avancée du biseau salé et pour l'évaluation de l'intrusion saline dans l'aquifère côtier ; il exprime la capacité de la nappe à faire reculer la pénétration d'eau salée vers la mer (modèle Ghyben-Herzberg). De ce fait les valeurs les plus faibles font augmenter la vulnérabilité à une possible intrusion d'eau marine. L'élévation du niveau de la mer contribue aussi à la diminution de la hauteur du niveau des eaux souterraines au-dessus du niveau marin, raison pour laquelle elle conduit à l'intrusion saline. Le *Tableau IV-9* présente les différentes classes de la conductivité hydraulique et les rangées attribuées pour chaque classe.

Indicateur L	Poids	Variables de l'indicateur		La rangée
Niveau de la nappe par rapport au niveau de la mer	4	Elevé	< 1	10
		Moyen	1 - 1,5	7,5
		Bas	1,5 – 2	5
		Très bas	> 2	2,5

Tableau IV-9. Rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT "L"

(Chachadi et Lobo- Ferreira, 2005).

Afin d'apprécier l'influence de l'élévation du niveau de la mer sur la vulnérabilité de la nappe de Rhis-Nekor à l'intrusion saline, deux scénarios sont choisis :

- **Le scénario 1** est le scénario de référence, qui est l'état actuel du niveau moyen de la mer ;
- **Le scénario 2** : correspond à une hypothèse de élévation du niveau de la mer de 0,5m ; cette remontée est probable en considérant les prévisions à une échelle globale du GIEC (2007) (Cf. Chapitre I).

Scénario de référence : État actuel du niveau marin

Pour la hauteur des eaux souterraines par rapport au niveau marin dans les conditions actuelles du niveau de la mer, nous avons examiné les périodes pour lesquelles le niveau piézométrique est le plus bas. Nous avons sélectionné les données piézométriques de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukous (ABHL) caractérisant une année sèche de 2005. Celle-ci est présente des valeurs piézométriques au-dessous du niveau marin particulièrement à proximité du rivage. Pour l'attribution des valeurs, nous nous sommes basés sur celles proposées par *Aller et al. (1987) in Chachadi & Lobo Ferreira, 2001*). Ensuite, ce paramètre est cartographié sur la base des données des puits présents dans la plaine alluviale Rhis-Nekor (Figure IV-39a). La cartographie de ce paramètre révèle déjà la sensibilité de la partie aval de cet aquifère, à proximité du rivage (Figure IV-39b) particulièrement entre les deux oueds et dans la partie orientale, sur la rive droite de l'Oued Nekor. Ces résultats sont confirmés par Salhi (2008).

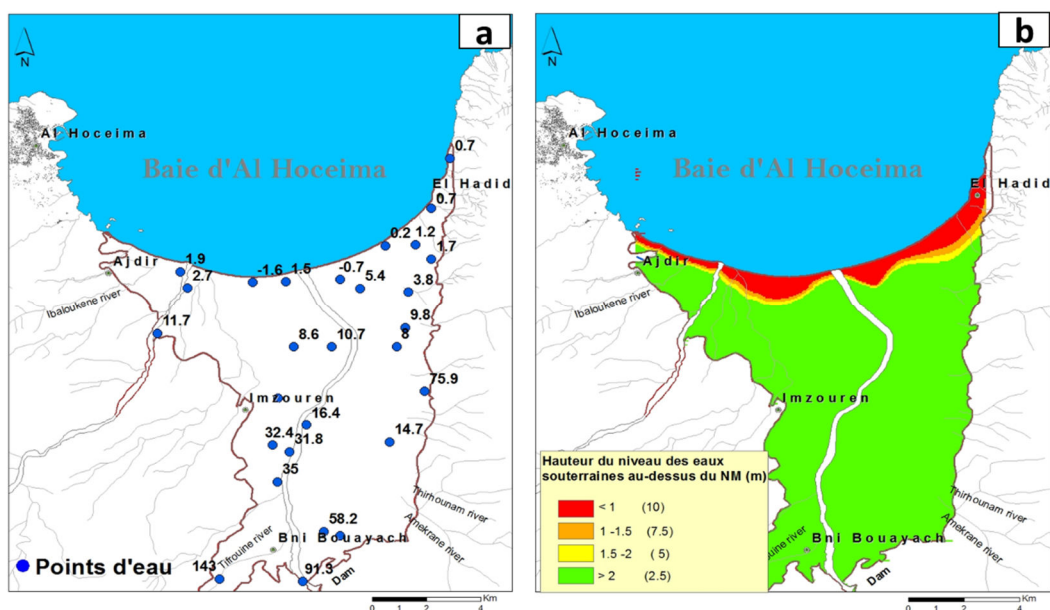


Figure IV-39. Représentation du paramètre L dans les conditions actuelles
 a : Carte piézométrique année sèche 2005
 b : Classification du paramètre « Hauteur du niveau des eaux souterraines au-dessus du niveau de la mer »

Scénario prévisionnel : élévation du niveau de la mer de 0,5m

La hauteur projetée du niveau des eaux souterraines par rapport au niveau de la mer est calculée sur la base de la soustraction de la hauteur d'élévation du niveau de la mer considérée (+0.5m) et les différentes cotes piézométriques de l'aquifère. Ceci permet ensuite de représenter les niveaux piézométriques relatifs au scénario 2. La cartographie des résultats montre que l'intrusion saline s'accroîtrait dans les parties centrales et orientales de cette aquifère (Figure IV-40)

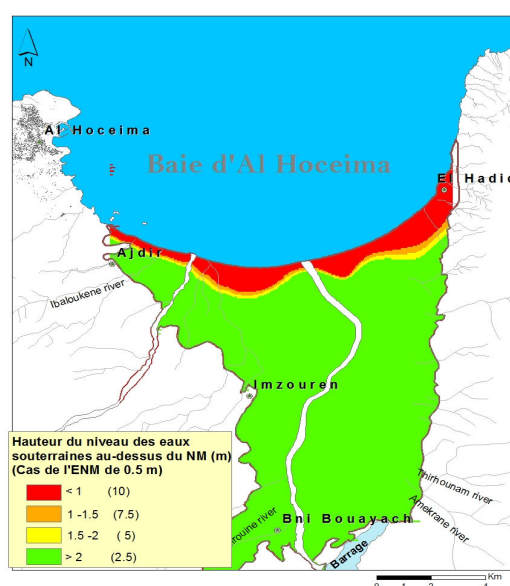


Figure IV-40. Représentation du paramètre L en cas d'une élévation du niveau marin de 0,5m

III.2.4. Distance par rapport au rivage.

Ce paramètre est aussi un facteur important dans la détermination du degré de vulnérabilité d'un aquifère côtier face à une IS. Son impact décroît généralement avec l'éloignement de la côte. Cependant il faut noter que la présence des cours d'eau pourrait accroître la distance parcourue par l'intrusion saline dans la mesure où les cours d'eau contribuent à l'invasion marine vers l'intérieur des terres, notamment dans le cas d'une élévation du niveau marin (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005). Ce phénomène a été pris en considération en calculant les distances par rapport à la ligne de côte et des cours d'eau. Ainsi les distances par rapport à la ligne du rivage côtier ont été classées en quatre classes : distance inférieure à 500 m, de 500m à750 m, de 750m à 1000m et la distance supérieure à1000 m (Tableau IV-10). Pour le scénario de référence, ces distances ne sont considérées que par rapport au trait de côte vu l'absence actuellement d'une importante diffusion des eaux salines par les oueds Rhis et Nekor, mais pour le scénario 2, elles sont considérées par rapport aux rivages côtier et fluviatiles. La rangée attribuée pour chacune de ces classes pour l'aquifère étudié est représenté sur le *Tableau IV-10*.

Indicateur D	Poids	Variables de l'indicateur		La rangée
Distance du point en question par rapport au rivage (m)	4	Elevé	< 500	10
		Moyen	500 - 750	7,5
		Bas	750 – 1000	5
		Très bas	> 1000	2,5

Tableau IV-10. Rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT 'D'
(Chachadi et Lobo- Ferreira, 2005).

La cartographie de ce paramètre pour les deux scénarios montre clairement le rôle que peut jouer la présence des oueds dans la diffusion des eaux salines marines à l'intérieur du réservoir de l'aquifère côtier et donc accentuer la salinisation des eaux de ce réservoir aquifère (Figure IV-41).

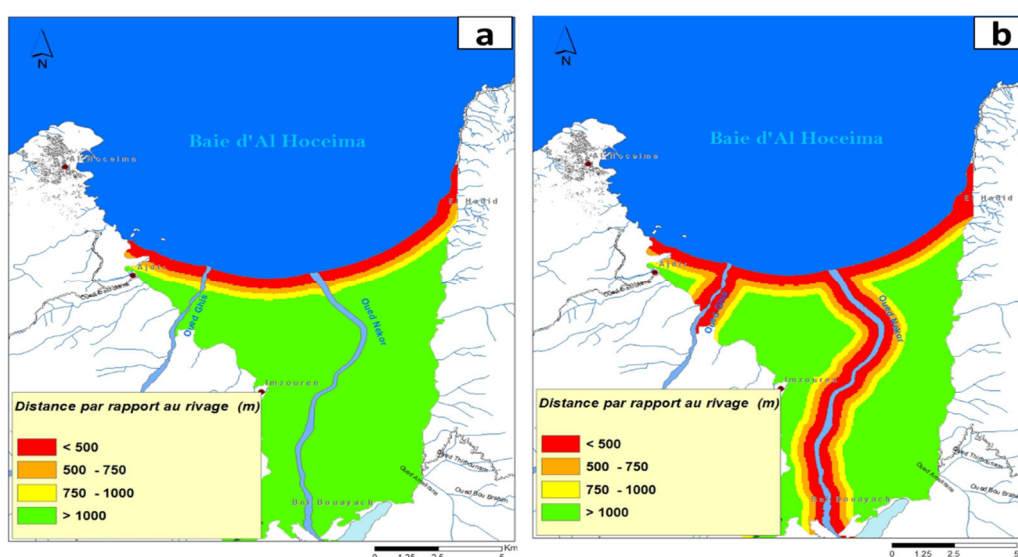


Figure IV-41. Distance par rapport a : à la ligne du rivage côtier (situation actuelle) b : à la ligne du rivage côtier et fluviatile pour une élévation du niveau marin de + 0.5m.

III.2.5. Impact de l'état actuel de l'intrusion saline

Ce paramètre est représenté par la variation spatiale du rapport $Cl^- / HCO_3^- + CO_3^-$. Le chlore est l'ion dominant dans les eaux marines alors qu'il est présent en faibles quantités dans les eaux douces. L'ion bicarbonate, au contraire, est présent en grandes quantités dans les eaux douces et moins dans les eaux marines. C'est la raison pour laquelle Revelle (1941) propose ce rapport comme critère pour identifier les aires de l'intrusion saline, et qu'il a été repris par Chachadi et Lobo-Ferreira en 2005. Nous considérons aussi que ce paramètre de l'état actuel de l'intrusion saline est un facteur important de la vulnérabilité dans notre cas d'étude. Les résultats de la tomographie électrique effectuée au niveau de la plaine de Rhis-Nekor indiquent que l'extension de l'intrusion d'eau de mer est effective et est située près de la côte (Salhi 2008).

En prenant en considération la valeur attribuée à ce paramètre (poids $I = 3$) dans le cas de l'aquifère Rhis-Nekor, le ratio $Cl^- / HCO_3^- + CO_3^-$ est calculé pour tous les puits en gardant les mêmes rangées adoptées par (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005). Le *Tableau IV-11*, illustre le poids du paramètre et la rangée adoptée pour chaque classe. Les analyses chimiques à la base de ce calcul sont issues de l'ABHL (cf. annexe D).

Indicateur I	Poids	Variables de l'indicateur		La rangée
Impacts de l'intrusion saline ($Cl^- / HCO_3^- + CO_3^-$)	3	Elevé	> 2	10
		Moyen	1,5 - 2	7,5
		Bas	1 - 1,5	5
		Très bas	< 1	2,5

Tableau IV-11. Rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT 'I' (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005).

La carte représentative de ce paramètre (Figure IV-42) montre que plus de la moitié de cet aquifère côtier étudié est caractérisée par un rapport supérieur à 2 et donc montre une forte sensibilité à l'intrusion saline.

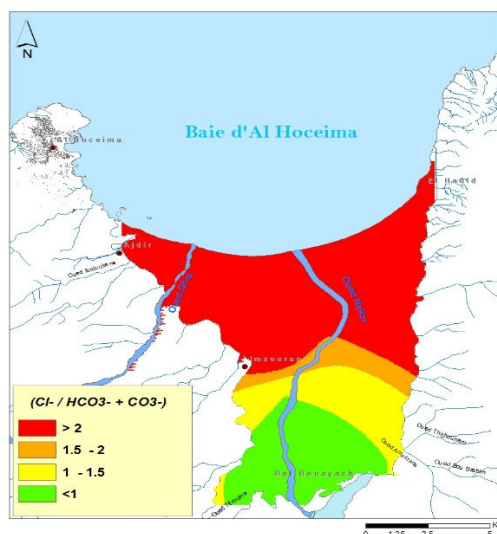


Figure IV-42. Représentation graphique du rapport ($Cl^- / HCO_3^- + CO_3^-$)

III.2.6. Épaisseur de l'aquifère Rhis-Nekor

L'épaisseur de l'aquifère ou de la zone saturée d'un aquifère libre joue un rôle important dans la définition de l'extension et l'importance de l'intrusion saline dans les zones côtières. Il est clairement établi que plus l'épaisseur de l'aquifère est importante, plus la quantité de l'eau souterraine en contact avec les eaux marines est grande et donc un risque plus élevé de l'extension du biseau salée (Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005). Ainsi toute épaisseur supérieure à 10 m aura une valeur de 10 (Tableau IV-12).

Indicateur T	Poids	Variables de l'indicateur		La rangée
Épaisseur de l'aquifère	2	Elevé	> 10	10
		Moyen	7,5 - 10	7,5
		Bas	5 - 7,5	5
		Très bas	< 5	2,5

Tableau IV-12. Rangées adoptées pour le paramètre de GALDIT "T"
(Chachadi et Lobo-Ferreira, 2005).

L'épaisseur moyenne des couches alluvionnaires qui forment l'aquifère de Rhis-Nekor est d'environ 240m et peuvent atteindre un maximum de 430m particulièrement vers les centres au voisinage de Souani et d'Imzouren. Les faibles épaisseurs sont notées en amont de la plaine Rhis-Nekor ainsi qu'au niveau des deux cornes nord-orientale et nord-occidentale (Salhi 2008). Sur presque l'ensemble de l'aquifère Rhis-Nekor la valeur de 10 a été attribuée à ce paramètre (Figure IV-43).

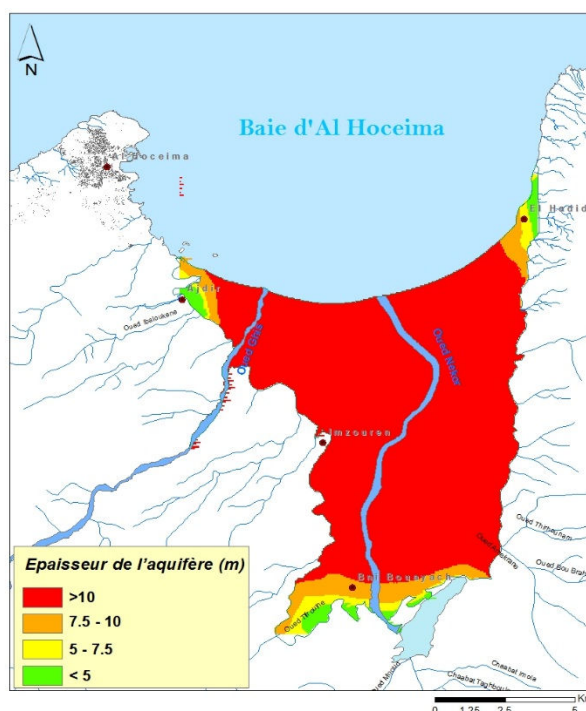


Figure IV-43. Carte représentant la classification de l'épaisseur de l'aquifère Rhis-Nekor.

III.2.7. Indice de GALDIT sous les conditions actuelles et futures du niveau de la mer.

En superposant les différentes couches des paramètres définis ci-dessus pour l'aquifère côtier Rhis –Nekor de la baie d'Al Hoceima, et en calculant les indices de GALDIT, il est alors possible d'identifier les régions qui sont susceptibles d'être affectées par une potentielle intrusion saline en cas d'une potentielle remontée du niveau marin de 0.5m sur la base d'un scénario actuel (scénario de référence) (Figure IV-44).

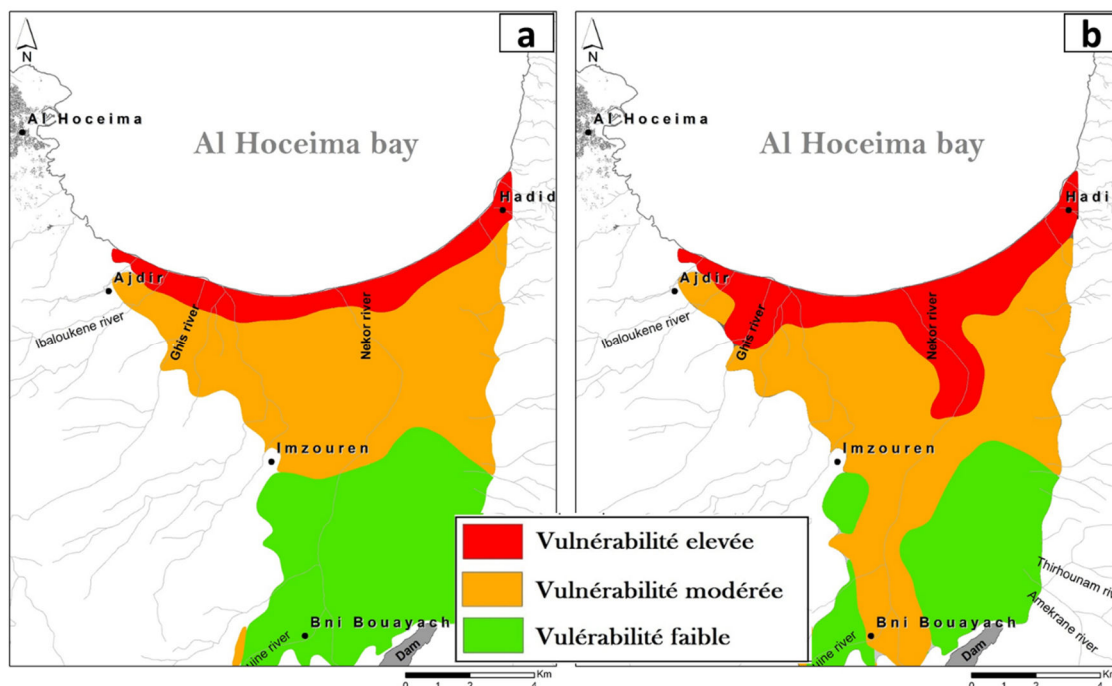


Figure IV-44. Vulnérabilité de la nappe de Rhis-Nekor à une intrusion saline **a** : pour des Conditions actuelles **b** : en cas d'élévation niveau marin de 0.5m

Le calcul de l'indice total a montré une valeur minimale pour les conditions actuelles de 3.68 et une valeur maximale dans le cas d'une ENM de 0.5 m égale à 9.85.

Dans les conditions actuelles (Figure IV-44a) la zone de vulnérabilité élevée à l'intrusion saline est localisée à proximité du rivage avec une avancée remarquable des étendues fortement vulnérables au niveau des embouchures de l'oued Nekor et Rhis. La surface ayant une vulnérabilité élevée représenterait environ 11 % de la surface totale de l'aquifère (Figure IV-45). Conformément aux résultats de la prospection de tomographie électrique obtenus par *Salhi (2008)*, l'invasion marine est déjà présente au niveau de l'embouchure de l'oued Nekor. Elle est susceptible de se développer d'avantage si on tient en compte du pompage excessif que connaît ce réservoir aquifère en raison de la présence illégale des carrières d'exploitation des graviers de l'oued et comme le montre les puits localisés sur la *Figure IV-39a*. Ils sont plus concentrés et plus nombreux dans la partie orientale de cette nappe. Les résultats obtenus par la méthode GALDIT révèlent une vulnérabilité modérée

à élevée de l'aquifère de Rhis-Nekor à intrusion saline induite par une ENM (Figure IV-44b). Pour une élévation potentielle du niveau marin de 0,5 m, environ 21% de la superficie de l'aquifère montrerait une vulnérabilité élevée à l'IS, et ceci est dû au mouvement latéral de l'eau de mer dans l'aquifère côtier Rhis-Nekor. (Figure IV-45). Cette superficie pourrait s'étendre à d'autres régions modérément vulnérables s'il s'avère qu'un pompage s'accroît à proximité du rivage.

La proportion de la superficie à vulnérabilité modérée représente environ 50% de la superficie totale de l'aquifère. L'extension de ces zones modérément vulnérables dans le cas du second scénario se ferait par des changements de salinité des cours d'eau et pourrait affecter d'autres régions en amont. Ces mêmes constatations ont été faites pour d'autres aquifères côtiers de la région méditerranéenne marocaine, notamment les aquifères de Martil-Alila et Smir (Niazi, 2007) et la nappe phréatique de Bou Areg (Raji, 2008).

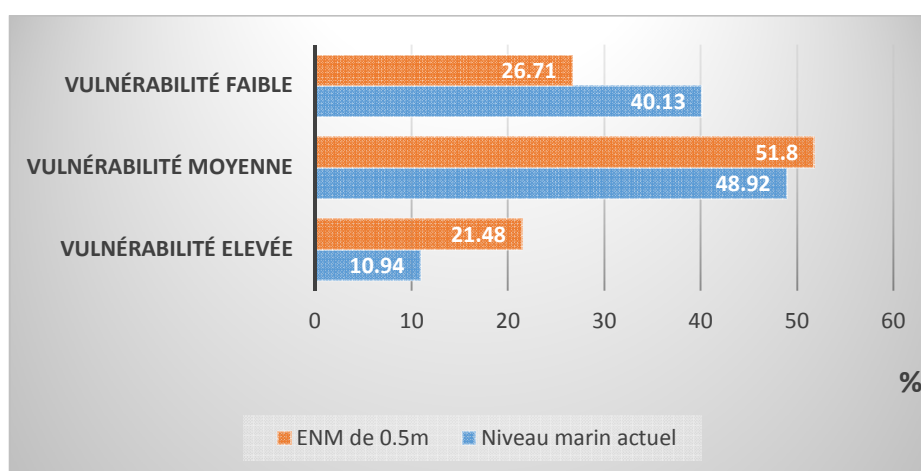


Figure IV-45. Pourcentage des surfaces pour chaque degré de vulnérabilité à l'intrusion saline dans l'aquifère Rhis-Nekor.

La superposition de la carte de vulnérabilité à la carte d'occupation du sol actuel de la région montre que dans la plaine alluviale Rhis-Nekor, les zones susceptibles de présenter une vulnérabilité élevée à modérée coïncident avec des terres agricoles ; celles-ci constituent plus de 50% de la surface de la plaine. Une telle IS risquerait d'affecter les terres fertiles de façon irrémédiable, entraînant l'abandon de celles-ci par la population locale.

Les différences entre les deux scénarios (scénario actuel et ENM) révèlent à quel point il est important d'évaluer l'impact de l'ENM dû aux changements climatiques sur les réservoirs côtiers d'eau souterraine. Il est également essentiel de considérer ces résultats dans les conditions des effets négatifs de la surexploitation de l'aquifère, qui peut affecter le niveau des eaux souterraines en provoquant une intrusion d'eau salée, en particulier si les eaux souterraines sont exploitées à proximité de la côte. En effet, dans la zone côtière d'Al Hoceima, la pression démographique accrue pourrait conduire à une augmentation des besoins en eau et donc des prélèvements, accentuant l'extension et le développement du biseau salé plus loin à l'intérieur du réservoir d'eau souterraine ; le risque d'intrusion saline serait irrémédiable.

IV. Mesures de contrôle de l'intrusion d'eau salée et méthode ADR

De nombreuses et diverses techniques de mesures ont été utilisées à travers le monde pour contrôler et lutter contre l'IS. Leur principe de base consiste à augmenter le volume d'eau douce souterraine et de réduire celui de l'eau salée dans l'aquifère. Certes, de nombreuses recherches ont été menées pour étudier l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers, néanmoins seules quelques-unes ont été développées pour étudier le contrôle et le monitoring de l'intrusion d'eau salée dans les aquifères ; elles sont citées ci-dessous :

Réduction des taux de prélèvement : la technique vise à réduire les taux de pompage (Scholze et al., 2002).

Redistribution des points de pompage : la concentration des pompes profondes dans les zones proches du littoral conduit à des baisses importantes des niveaux piézométriques et à l'élaboration de grands cônes pour l'intrusion d'eau salée. Cependant lorsque les pompes à haut volume sont réparties entre celles de petits volumes, ou si elles sont éloignées plus à l'intérieur de la côte, l'intrusion d'eau salée peut être réduite sans réduction du volume total d'eau prélevée de la nappe (Sherif et Al-Rashed 2001).

Recharge de la nappe : la méthode consiste à recharger les aquifères d'eau de surface supplémentaire (Ru et al., 2001, Papadopoulou et al., 2005). Ceci peut se faire par l'utilisation des eaux traitées issues des STEP, mais aussi des eaux pluviales ou de rivières. Selon le type de sol du site de recharge et la profondeur de la nappe, la recharge pourra se faire soit, par la création de bassins gravitaires (infiltration), soit par injection directe dans la nappe. Cette opération consiste à introduire l'eau traitée de qualité, directement dans l'aquifère. Cette recharge est généralement appliquée dans les conditions où l'évaporation est importante, et où la couche imperméable est peu profonde. Dans le cas où l'intrusion du biseau salé est importante, les puits sont disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, formant ainsi une barrière.

La recharge par infiltration se fait par le biais de bassins gravitaires. L'eau atteint la nappe par percolation, utilisant ainsi le pouvoir épurateur des couches sédimentaires traversées. Ces bassins peuvent servir de lacs et doivent régulièrement être nettoyés pour éviter le dépôt d'algues. Les solutions préconisées sont variées : introduire des poissons ou des algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter la stagnation des eaux trop longtemps, ou encore couvrir les réservoirs.

Captage d'eau salée : il s'agit de réduire le volume d'eau salée par l'extraction de l'eau saumâtre de la nappe aquifère (Sherif et Hamza 2001).

Combinaison de l'injection et des systèmes de captage : cette méthode vise à réduire le volume d'eau salée et d'augmenter le volume d'eau douce (Rastogi et al., 2004).

Parmi les mesures de lutte et de contrôle de l'IS citées, il semble que les deux premières techniques sont technologiquement et économiquement les plus appropriées pour notre cas d'étude pour une meilleure prévention à l'IS : la redistribution des points de pompage vers l'intérieur de la plaine et la recharge de la nappe. Afin de bien mener cette dernière opération, un approvisionnement suffisant en eau à faible coût est nécessaire. Elle pourrait alors se faire à travers les lâchers d'eau du barrage Abdelkrim El Khattabi, le traitement des eaux usées urbaines de la ville d'Al Hoceima ou les eaux de surface non utilisées.

Les effets du changement climatique et l'élévation du niveau de la mer sur l'IS sur le long terme doivent être pris en compte dans les modèles de contrôle des nappes. La majorité des systèmes de contrôle précédents n'ont pas forcément tenu compte de ce point, alors que quelques centimètres d'une hausse du niveau marin pourrait avoir un effet important sur l'intrusion d'eau salée. Dans ce contexte, une nouvelle méthode de monitoring de l'intrusion d'eau salée a été proposée par *Abd-Elhamid et Javadi (2008)* ; elle consiste à surmonter certaines limitations des méthodes précédentes. Il s'agit de la méthode *Abstraction, Dessalement et Recharge (ADR)* qui est basée sur trois étapes : (i) le captage d'eau saumâtre de la zone d'eau salée, (ii) le dessalement de l'eau prélevée par le processus de traitement par osmose inverse et (iii) la recharge de l'eau traitée dans l'aquifère.

La méthodologie ADR a pour avantage de remettre la zone de d'IS dans son état d'origine afin d'atteindre un équilibre dynamique entre les eaux souterraines douces et l'eau de mer. Elle y parvient par deux principaux processus : (i) l'abstraction des eaux souterraines, saumâtres afin de réduire le volume d'eau salée, et (ii) la recharge des eaux traitées, pour augmenter le volume d'eau douce souterraine. Le processus d'abstraction-recharge permettrait d'aider à déplacer l'interface eau douce / eau salée vers la mer, et se poursuit jusqu'à ce qu'un état d'équilibre dynamique soit atteint. Ce concept est considéré comme une méthode efficace pour contrôler l'intrusion d'eau salée.

La deuxième étape de dessalement de l'eau saumâtre consiste à utiliser le processus de traitement par osmose inverse. Il s'agit de produire de l'eau douce à partir de l'eau saumâtre et de le réutiliser pour recharger l'aquifère. Cette technique est généralement moins coûteuse, car la salinité de l'eau saumâtre est inférieure d'un tiers de celle de l'eau de mer. Par conséquent, les eaux saumâtres peuvent être dessalées à un coût nettement inférieur à celui de l'eau de mer. Cette opération reste une alternative efficace au dessalement de l'eau de mer.

V. Conclusion

L'intrusion saline dans l'aquifère Rhis-Nekor à Al Hoceima constitue, comme dans d'autres réservoirs d'eau souterraine sur la côte méditerranéenne marocaine, un problème qui serait amplifié dans un contexte d'une élévation de niveau marin, de changement climatique (modification des conditions de recharge) et d'une dépendance croissante des ressources en eau souterraine en cette zone littorale. L'utilisation de la Méthode GALDIT, fondée sur des indices, est simple d'utilisation et nécessite peu de données tout en intégrant l'impact d'une hausse du niveau de la mer induit par le changement climatique. Elle a permis de cartographier le degré de vulnérabilité à une intrusion saline dans l'aquifère Rhis-Nekor. Ce dernier a montré une vulnérabilité élevée à modérée sur respectivement 21% et 50% de la totalité du réservoir. Les parties à vulnérabilité élevée se localisent particulièrement dans la partie aval de cette nappe ; et une hausse du niveau marin de +0.5m favoriserait une salinisation des eaux particulièrement dans les régions centrale (entre les deux oueds) et orientale (rive droite de l'oued Nekor). Ces zones connaissent déjà un début de salinisation qui serait accentuée avec les perspectives de l'ENM.

L'indice GALDIT n'est qu'un outil relatif et n'est pas conçu pour apporter des réponses absolues. Par conséquent, il est possible que les zones définies comme modérément vulnérables puissent devenir extrêmement vulnérables.

Enfin, dans la mesure où l'aléa climatique échappe à tout contrôle, la gestion durable de cet aquifère côtier nécessiterait la maîtrise des facteurs socioéconomiques pour freiner l'extension d'une salinisation des eaux douces. Dans ce contexte, l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines d'Al Hoceima et les cartes résultantes peuvent être utilisées comme un outil de gestion de l'aquifère côtier afin de permettre l'amélioration de stratégies de protection.

Chapitre

V

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA : APPLICATION DU MODÈLE "DPSIR"

Ce chapitre est dédié à l'application du modèle DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses) au littoral de la baie d'Al Hoceima. Il permettra de comprendre et de mettre en exergue les relations causales entre les différents processus et leurs interactions dans la zone côtière de la baie d'Al Hoceima. Cette partie serait également une synthèse d'indicateurs tirés de la caractérisation DPSIR de la zone d'étude et sur des évaluations présentées dans les chapitres précédents prenant en compte les problématiques les plus saillantes identifiées auparavant.

Sommaire

I. Introduction.....	209
II. Cadre DPSIR général du littoral de la baie	211
III. DPSIR et problématiques identifiées dans le territoire étudié	212
III.1. Principales forces motrices (Drivers)	212
III.1.1. FM1 : L'évolution démographique :.....	214
III.1.2. FM2 : L'urbanisation et la littoralisation	214
III.1.3. FM 3 : Le développement du tourisme	218
III.2. Principales pressions générées par ces FM	219
III.2.1. Changement de l'occupation du sol	219
III.2.2. Augmentation des besoins en eau	221
III.3. État.....	222
III.3.1. Pollution et dégradation de l'environnement.....	222
III.3.2. Diminution des ressources halieutiques	225
III.3.3. Changement de la qualité des eaux de baignade	226
III.3.4. Changement du trait de côte	227
III.4. Les impacts	227
III.5. Les réponses	228
III.5.1. Assainissement dans la zone d'Al Hoceima	228
III.5.2. Autres programmes et actions.....	229
IV. Proposition d'indicateurs	231
IV.1. Définition et utilisation des indicateurs.....	231
IV.2. Indicateurs renseignés dans le cadre de cette étude	232
V. Conclusion	235

I. Introduction

Comme cela a été exposé dans le premier chapitre, la zone côtière de la baie d'Al Hoceima est un territoire complexe, comprenant un système naturel dynamique et fragile de plus en plus exposé à des pressions multiples, suite au désenclavement et au développement socio-économique rapide de la région.

A partir des résultats obtenus sur l'évaluation de l'érosion côtière, de la vulnérabilité du littoral à l'élévation du niveau de la mer et la prévision future des lignes de retrait, et afin de comprendre comment l'éco-socio-système de la baie d'Al Hoceima répond-il à cette mutation rapide et apparemment sans vision prospective intégrée, nous avons tenté une évaluation environnementale intégrée à travers l'approche DPSIR (Drivers-Pressures, State, Impact, Response) du terme français (Forces motrices, Pressions, État, Impacts, Réponses). Le modèle DPSIR est l'abréviation d'un cadre conceptuel pour la description des problèmes environnementaux et de leurs relations avec le domaine socio-économique, de manière à intégrer les réponses.

Selon cette terminologie, le développement social et économique (**Forces motrices**) exercent des **pressions** (P) sur l'environnement et, par conséquent, l'**État** (S) de l'environnement change, cela conduit à des **Impacts** (I) sur les écosystèmes, la santé humaine et la société, qui peuvent susciter des **Réponses sociétales** (R) qui alimentent en retour les forces motrices, l'état ou les impacts grâce à des actions d'atténuation et d'adaptation (Gabrielsen et Bosch, 2003). Ainsi, le modèle DPSIR est présenté comme un cadre de causalité pour décrire les interactions entre la société et l'environnement (AEE, 2006a) (Figure V-1).

Les forces motrices sont considérées comme les évolutions structurelles (économiques et sociales), extérieures au système, mais influençant celui-ci dans ses évolutions dynamiques ; alors que les autres éléments (Pressions, État, Impacts, Réponses) sont considérés comme des éléments internes au système, appréhendés au niveau local dans le cas de notre étude. Les pressions sont les contraintes directes exercées sur le capital économique, environnemental, social ou humain. L'état subit l'effet des pressions en termes de niveau (volume, qualité) de capital, qui se traduit par un niveau de ressources environnementales, sociales et économiques ; le changement de cet état du système d'activités se répercute en termes d'impacts (économiques, sociaux, sanitaires, environnementaux) de la variation du capital ; les réponses sont les mesures publiques ou comportements privés adoptés en réponse à la variation de l'état du capital et à ses impacts (Gabrielsen et Bosch, 2003).

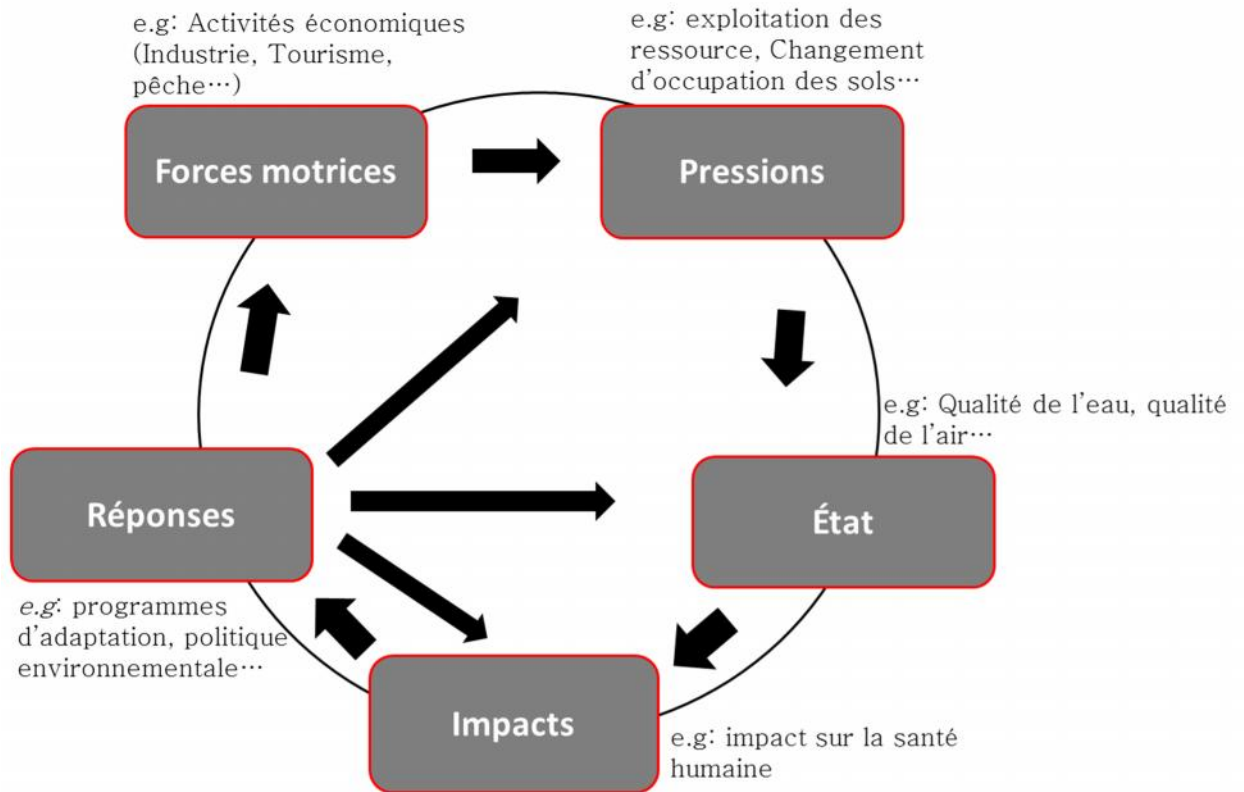


Figure V-1. : Cadre DPSIR (d'après Smeets et Weterings, 1999).

Ce cadre analytique, le plus communément utilisé depuis des décennies, permet d'avoir une image synoptique sur les relations de cause à effet et les interactions entre les différentes composantes environnementales, socio-économiques et législatives du territoire étudié. Ce modèle est particulièrement intéressant dans le cas de la baie d'Al Hoceima, car il permet de conceptualiser la démarche d'évaluation des incidences des activités humaines sur l'environnement de cette zone en pleine métamorphose et ouverture territoriale ; c'est un cadre d'analyse systémique qui permet d'aborder aussi bien les problématiques environnementales que les démarches sociétales.

Ainsi, sur la base de l'information et des connaissances acquises dans les chapitres précédents, le diagramme ci-dessous (Figure V-2.) décrit, de manière simplifiée, le cadre général du modèle DPSIR qui peut être appliqué à la baie d'Al Hoceima.

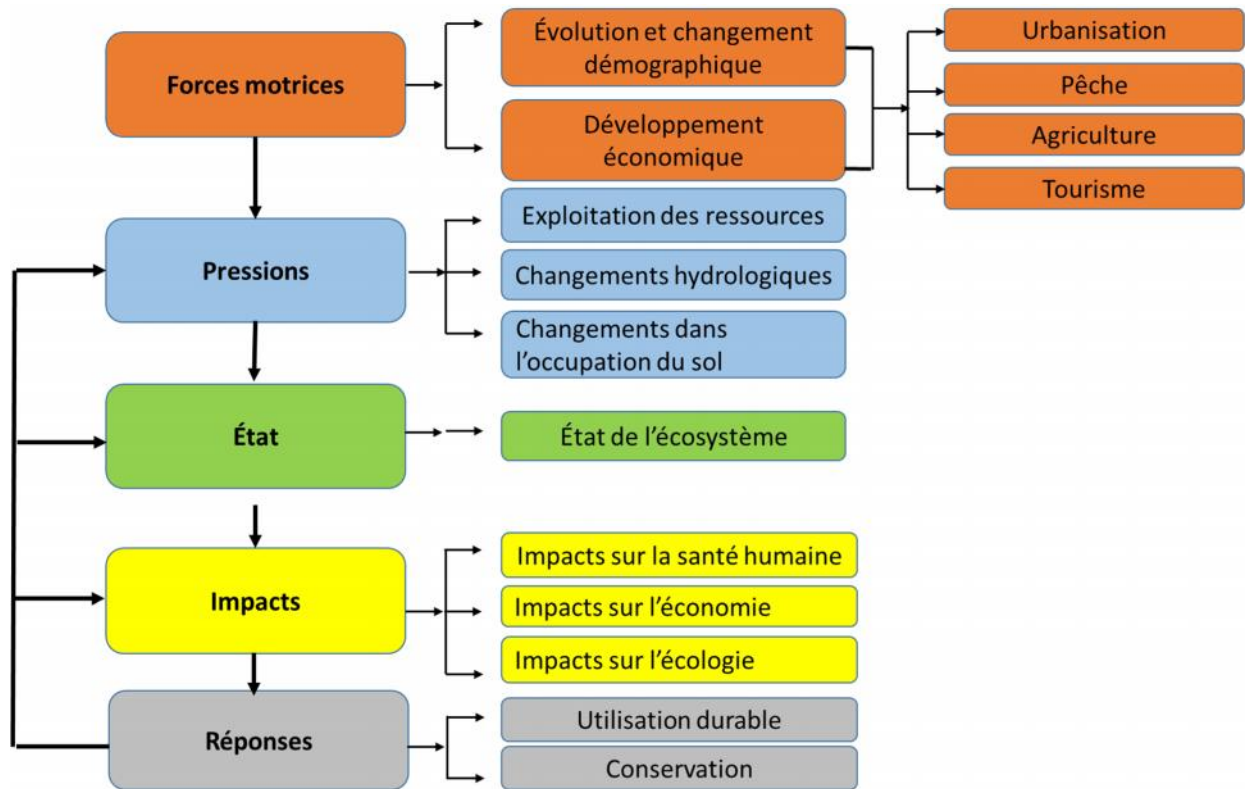


Figure V-2. Cadre général du modèle DPSIR qui peut être appliqué à la baie d'Al Hoceima

L'intérêt de cette évaluation est de comprendre l'ensemble des performances du développement de la zone côtière et de fournir les informations nécessaires pour développer un programme de monitoring, basé sur des indicateurs correspondants aux problématiques dominantes de la zone, et dont il apparaît pertinent de réaliser un suivi. Ces indicateurs permettront de répondre à plusieurs questions, telles que : (1) Quelles sont les principales forces sociales, économiques et environnementales qui provoquent des répercussions sur les ressources côtières de la baie d'Al Hoceima (2) Quelles sont les pressions actuelles et leur extension possible à l'avenir ? (3) Quels sont les changements qui en découlent sur l'état de l'environnement à l'heure actuelle et de son évolution dans le futur ? Et (4) Quels sont les besoins d'information clés pour la gestion durable de l'environnement de la région sur le long terme ?

II. Cadre DPSIR général du littoral de la baie

Afin d'avoir une image synoptique du territoire étudié, nous avons essayé dans un premier temps d'élaborer, de manière non exhaustive, un schéma général de l'ensemble des interactions et des relations de cause à effet entre les principales forces motrices identifiées

dans le chapitre précédent, à savoir l'urbanisation, la pêche, l'agriculture, et le tourisme et leurs incidences sur l'environnement (Figure V-3.).

Sur le schéma de la figure V-3., on peut vite se rendre compte de la complexité du modèle en raison des multiples interactions qui lient les différents éléments. À ce sujet, il convient de rappeler ici, que le cadre DPSIR présente certaines limitations - pour lesquels il a été d'ailleurs critiqué- (Ness et al., 2010), en raison notamment de la difficulté à catégoriser les paramètres qui peuvent parfois agir en tant que FM ou R, ou encore E et I, et aussi parce qu'il ne tient pas compte de la non-linéarité des interactions. Il reste néanmoins un cadre conceptuel encore très utilisé à travers le monde.

III. DPSIR et problématiques identifiées dans le territoire étudié

Le diagnostic et l'analyse AFOM (*Cf. chapitre I*) ont permis de dégager les enjeux thématiques en relation avec les principales problématiques de la baie d'Al Hoceima. Il s'agit maintenant de conceptualiser ces enjeux en termes de Force motrice, Pressions, État, Impacts et Réponses et d'en comprendre les interrelations au sein de chacune des problématiques identifiées.

III.1. Principales forces motrices (Drivers)

De nombreuses forces motrices sont à l'origine de cette problématique dans la baie d'Al Hoceima. Nous ne retiendrons ici que les principales d'entre elles à savoir : (i) l'évolution démographique dans les communes littorales, (ii) l'urbanisation et la littoralisation, et (iii) le tourisme côtier.

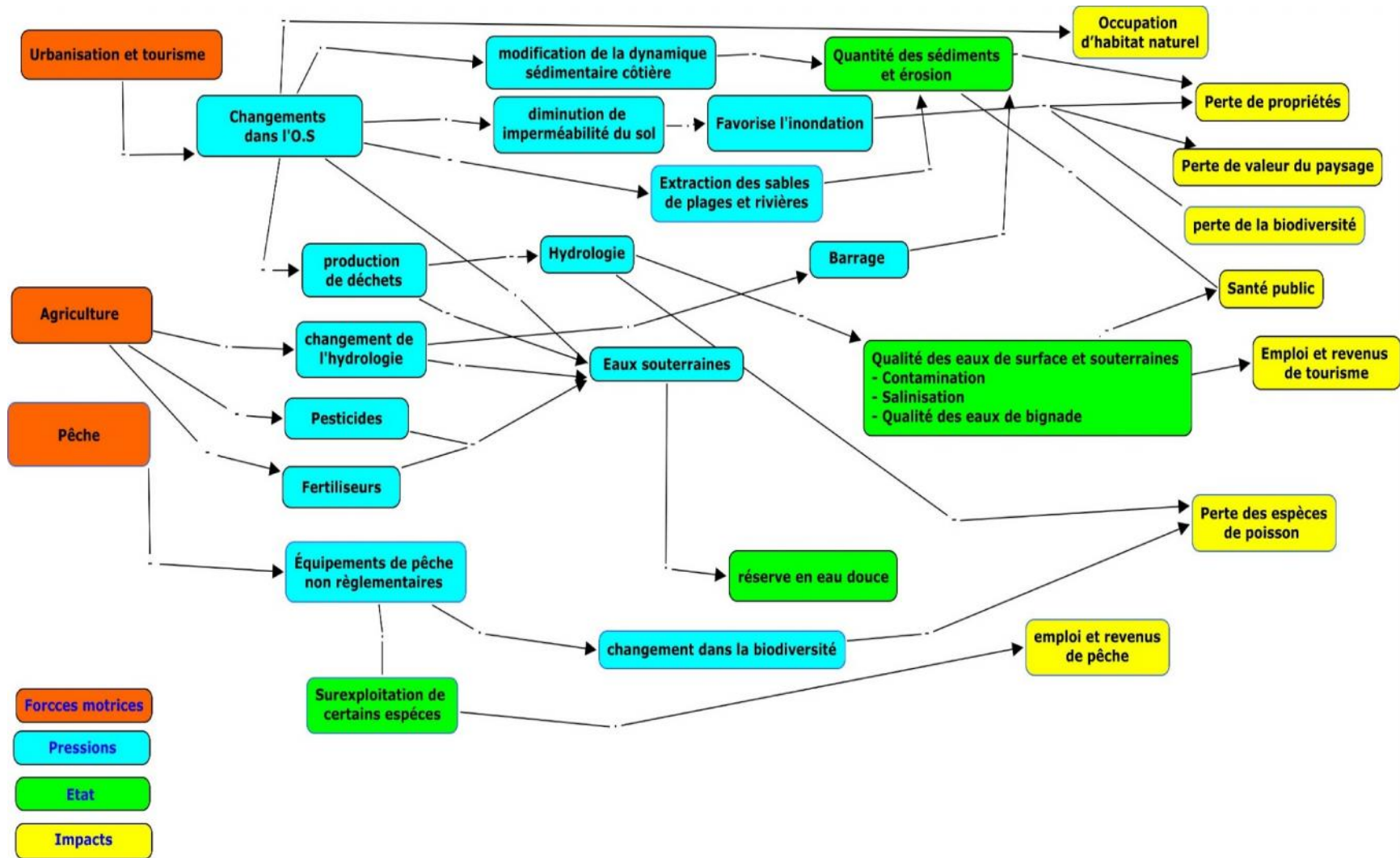


Figure V-3. Schéma général des interactions et des relations de cause à effet entre les principales forces motrices

* Les réponses n'ont pas été présentées dans ce cadre général afin de ne pas ajouter à la complexité du schéma.

III.1.1. FM1 : L'évolution démographique

L'accroissement démographique dans les communes littorales de la baie, particulièrement la municipalité d'Al Hoceima, est une des principales forces motrices qui exerce des pressions sur l'environnement naturel du littoral. Ceci risque de générer des menaces potentielles sur la qualité de l'environnement et la disponibilité des ressources naturelles.

L'effectif de la population totale dans la province d'Al Hoceima a augmenté entre le RGPH de 1994 à 2004 de 382 972 habitants avec une densité de 107,8 h/ km² pour atteindre 395644 habitants en 2004 avec un taux d'accroissement annuel très faible (0,3 %). Les projections avaient estimé que cet effectif serait de 411 000 habitants en l'an 2010. Pendant la période estivale la population touristique et celle des MRE vient s'ajouter sur à la population actuelle.

La principale agglomération dans la zone d'étude se localise au niveau de la ville d'Al Hoceima avec un peu plus de 55300 habitants. Les deux autres grandes agglomérations sont Imzouren et Béni Bouayach avec 26570 et 15500 habitants respectivement (RGPH, 2004). Les communes rurales les plus peuplées sont dans l'ordre décroissant : Aït Youssef Ou Ali (16500 hab.), Trougout (11550 hab.) et Oulad Amghar (6350 hab.) (FigureV-4.).

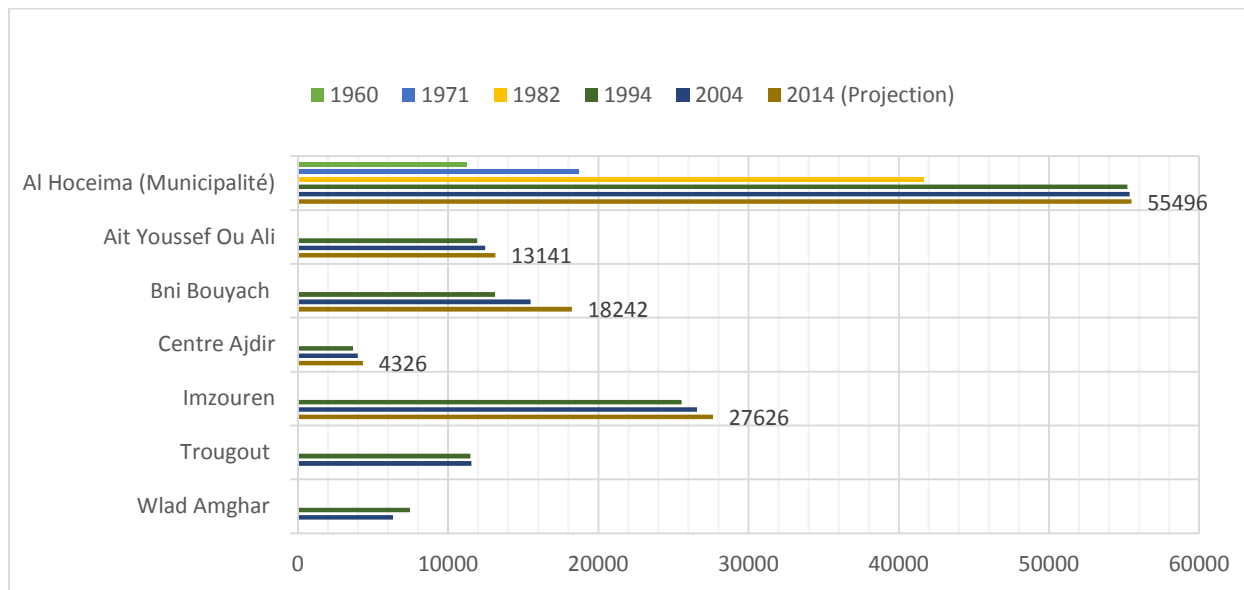


Figure V-4. Évolution démographique dans la zone d'étude

III.1.2. FM2 : L'urbanisation et la littoralisation

La tendance urbanistique connaît une expansion incessante depuis l'indépendance du Royaume, du fait de l'accroissement naturel de la population mais aussi de l'émigration rurale. Au niveau de la province d'Al Hoceima, le taux d'urbanisation est passé de 9% en 1964, à environ 30% en 2004, soit une augmentation du simple à plus du triple. La croissance démographique, mais aussi la migration vers le littoral, conduisent à une forte littoralisation

et une forte densification surtout au niveau de la municipalité d'Al Hoceima, une ville maintenant saturée vu son relief inadapté à une extension de l'urbanisation.

La densité de la population dans la municipalité d'Al Hoceima est en effet très élevée (Tableau V-1) : 3521 h/km² contre 111 h/km² dans la province d'Al Hoceima, 78h/ km² au niveau de la région Taza-Taounate-Al Hoceima et 73 h/km² au niveau national. Cette densification et le manque d'espace constructible, ont poussé la population à s'installer dans les communes situées dans la plaine de Rhis-Nekor, et c'est ainsi que les communes d'Imzouren et Bni Bouyach sont passées du statut de communes rurales à des municipalités urbaines avec des densités importantes (Tableau).

Localité	Poids démographique 2004	Densité hab. /km ²	TAAM
Province d'Al Hoceima	395 644	111	0,3
MU Al Hoceima	54 333	3521	0,03
MU Imzouren	26575	2702	-
MU Bni Bouyach	15 497	934	1,7
Ait Youssef Ou Ali	12 465	288,0	0,54
Province de Nador- Driouch	728 634	118,7	0,6
Oulad Amghar	6 342	107,4	-1,6
Troughout	11 541	156	0

Tableau V-1 : Densité de la population dans les communes de la zone d'étude

Le littoral de la baie d'Al Hoceima exerce donc une forte attraction sur les populations des communes avoisinantes. Cette littoralisation, qui se manifeste par une forte densité dans les communes littorales par rapport à celles continentales, résulte non seulement du fait que les ruraux quittent leurs campagnes, mais aussi que les citoyens des centres urbains des provinces intérieures cherchent à améliorer leurs conditions de vie en espérant de meilleures opportunités à proximité du littoral. La figure V-5., illustre ce phénomène de densification des communes littorales par rapport aux communes continentales limitrophes. Toutefois, on peut noter qu'à partir de 1994, la capacité d'accueil étant dépassée notamment à Al Hoceima, certaines communes intérieures commençaient à leur tour à se densifier. L'un des résultats de la migration et de la littoralisation est la multiplication d'agglomérations urbaines de petites et moyennes dimensions comme le cas d'Imzouren et Bni Bouyach et Ait Youssef ou Ali.

Ainsi, vu la dynamique d'investissement que connaît la région ces dernières années, à savoir : la construction de la rocade méditerranéenne, l'extension du port et de l'aéroport, les programmes de mise à niveau urbaine et le développement de l'infrastructure touristique (zone touristique balnéaire Cala Iris-Torres-Bades, complexe touristique Souani, réhabilitation de l'hôtel Mohamed V et la reconstruction de l'hôtel Quemado), on assiste à

une "durcification" progressive du littoral, et les tendances futures présagent d'une artificialisation de la quasi-totalité de la côte de la zone d'étude. Les contraintes de l'urbanisation sur ce littoral vont donc augmenter, et les risques côtiers étant fortement liés aux formes d'anthropisation des littoraux et de densification des espaces, vont accentuer la vulnérabilité de la population et des biens littoraux.

Dans l'ensemble, le phénomène de la littoralisation dans la zone d'Al Hoceima revêt aujourd'hui trois formes différentes :

- Une augmentation de la population côtière, dont l'effectif s'est multiplié par 1,5 fois en 44 ans ;
- Une croissance rapide de la densité des communes urbaines côtières, jusqu'à saturation ;
- Un rythme accéléré de l'urbanisation.

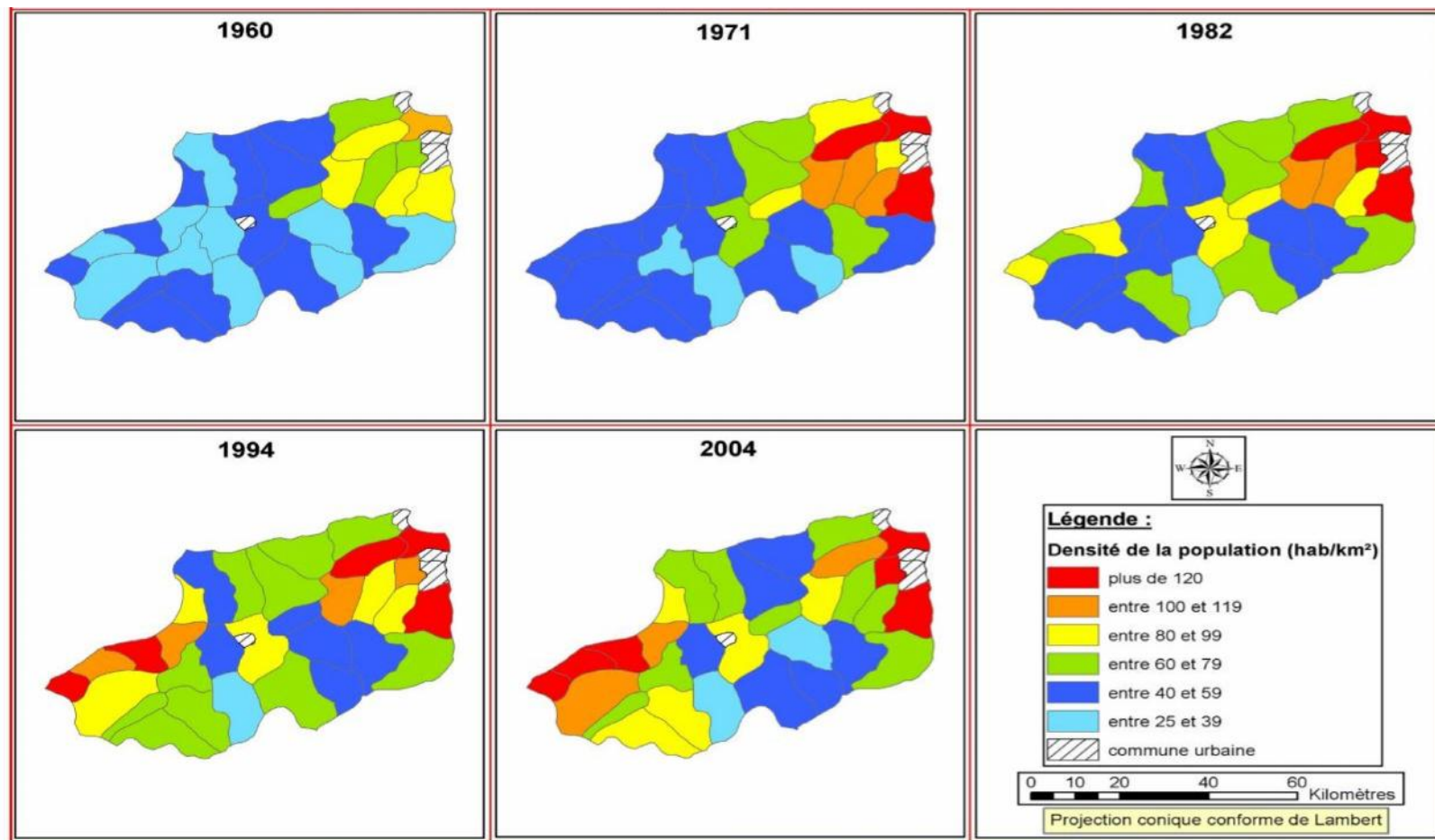


Figure V-5. Densité communale de la population entre 1960 et 2004 dans la province d'Al Hoceima (PAC 2011).

III.1.3. FM 3 : Le développement du tourisme

Al Hoceima a une vocation touristique incontestable et recèle des potentialités diversifiées permettant le développement d'une destination touristique à part entière, alliant le balnéaire et la nature. Les établissements d'accueil des touristes sont en augmentation progressive depuis les années 2000 ; en effet le nombre de ces établissements a doublé et est passé de 10 en 2000 à 20 établissements en 2012 (Figure V-6).



Figure V-6. *Évolution de la capacité d'accueil touristique de la ville d'Al Hoceima (source : Observatoire du tourisme, 2012)*

En 2012, la ville d'Al Hoceima a enregistré 26384 arrivées nationales et internationales avec 40838 nuitées, ce qui correspond à une augmentation de 90.47% par rapport à 2003 (Cf. Figure II-38, chapitre II).

Le Schéma de Développement Touristique de la Province d'Al Hoceima "Vision Al Hoceima 2015", lancé en 2008, valorise une dizaine de sites touristiques et offre d'autres opportunités d'investissements (Cf. Chapitre II).

Le développement de la zone côtière d'Al Hoceima dans le secteur du tourisme et des loisirs implique le développement d'autres activités le long de la côte telle que les ports de plaisance, les parcs de loisirs, de divertissement et d'autres infrastructures. Ce qui va augmenter les pressions sur l'environnement (Figure V-7). Les pressions qui sont potentiellement suscitées sont :

- Les pressions sur les ressources naturelles et sur le paysage, y compris la perte d'habitat naturel, la perturbation de la valeur esthétique pittoresque, la perturbation de l'écosystème côtier.

- La surpopulation saisonnière : la ville d'Al Hoceima connaît un surpeuplement pendant la période estivale du fait des nombreux touristes nationaux et internationaux, y compris les marocains résidents à l'étranger. Bien que cette situation ne se produise que quelques mois par an, elle cause une forte pression sur l'environnement local (ressources en eau, ressources halieutiques, déchets solides, eaux usées, pollution sonore, etc.).

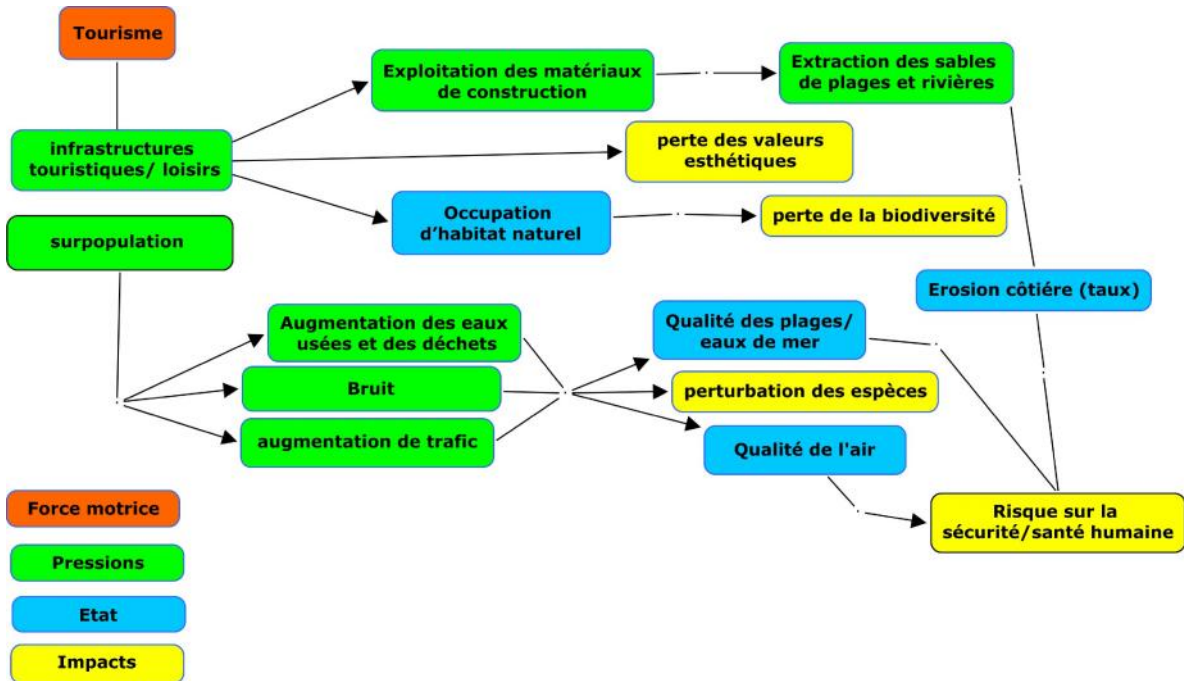


Figure V-7. Schéma des interactions et des relations de cause à effet générées par les activités touristiques

III.2. Principales pressions générées par ces FM

III.2.1. Changement de l'occupation du sol

La conséquence directe de l'urbanisation excessive sur l'occupation du sol, est d'une part, son empiètement sur les espaces naturels et ceux dédiés à l'agriculture, et d'autre part sur les espaces supposés « non-aedificandi » car vulnérables et exposés à divers risques naturels.

Ne disposant pas d'information et de données suffisantes sur une longue période pour montrer ces changements, nous avons tenté de mettre en exergue notamment l'augmentation de la superficie urbanisée dans la zone d'étude, à partir de la comparaison des photos aériennes de 1966 avec des images satellitaires Google earth pro de 2012 (Figure V-8).

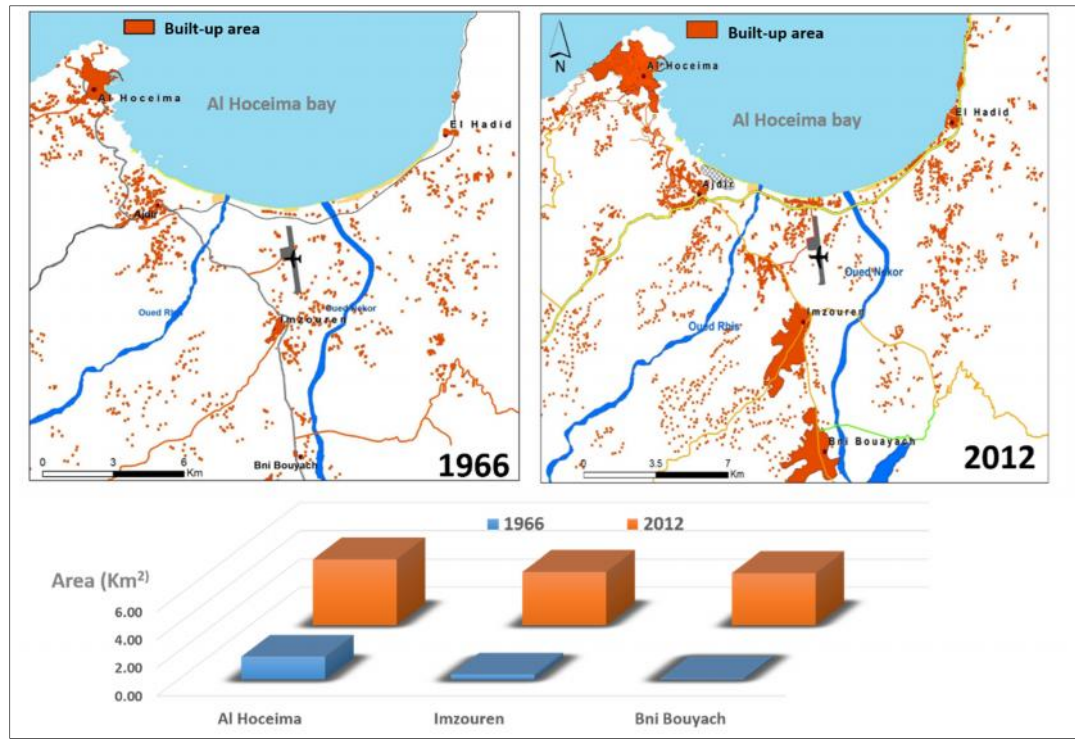


Figure V-8. Développement de l'espace urbain de la ville d'Al Hoceima entre 1966 et 2012.

Nous constatons une expansion urbaine autour de la baie, notamment les centres urbains d'Al Hoceima, Bni Bouayach, et Imzouren. La saturation de la ville d'Al Hoceima a donné naissance à un développement urbanistique vers les villes d'Imzouren et Bni Bouyach, tout le long de l'axe structurant de la rocade méditerranéenne, et enfin au niveau de la plaine alluviale de Rhis-Nekor (Figure V-8).

Une autre comparaison du plan urbain de la ville d'Al Hoceima de 1943 réalisé par l'armée américaine avec une image satellite récente montre également l'importante expansion urbaine qu'a connue cette ville (Figure V-9).

La descente des populations vers la mer est un phénomène généralisé alors que la côte n'était habitée que par quelques groupements épars de pêcheurs il y a à peine plus de vingt ans (PAC Rif central 2011). L'accaparement du littoral est aussi le fait d'investisseurs extérieurs : fonctionnaires régionaux, négociants enrichis, citadins du Nord comme de l'intérieur, MRE, qui construisent des maisons de vacances.



Figure V-9. Développement de l'espace urbain de la ville d'Al Hoceima entre 1943 et 2012.

Les pressions à prendre en considération sont donc la littoralisation et l'urbanisation excessive dans les zones vulnérables et à risque d'inondation ou d'érosion. D'une manière générale, le glissement vers la côte s'est fait en relation avec le développement des axes routiers, accompagné par le début de la modernisation de l'agriculture et de la pêche, du développement des flux touristiques pendant la saison estivale et surtout de l'extension vers la zone littorale. Cette littoralisation se manifeste par :

- La densité de plus en plus croissante notamment dans la ville d'Al Hoceima ;
- L'occupation des zones inadaptées à l'urbanisation ;
- L'empiètement sur les zones forestières ou agricoles.

III.2.2. Augmentation des besoins en eau

L'important développement démographique, économique et social de la zone d'étude implique automatiquement une forte demande en eau.

En 2000, les besoins en eau potable pour la province d'Al Hoceima étaient estimés à 241 litres/seconde alors qu'ils sont actuellement de 312 litres/seconde. Les projections de l'ONEP estiment une augmentation des besoins de l'ordre de 346.5 et 380 litres/secondes respectivement en 2015 et 2020 (Figure V-10)

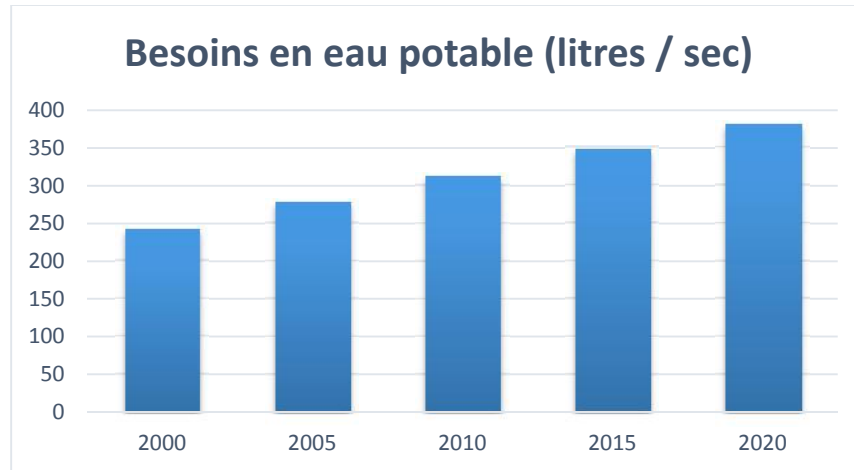


Figure V-10. Besoins en eau potable de la province d'Al Hoceima (projections de l'ONEP)

On peut ainsi constater que ces besoins sont en progression constante dans le futur, et seraient de plus de 1,5 fois plus en 2020 que ceux estimés en 2000. Ceci sans compter les impacts attendus du changement climatique qui prévoient pour le Maroc une augmentation de la température entre 2° et 5°C (Mokssit, 2007). Une autre étude effectuée sur le bassin de la Moulouya en utilisant le modèle ARPEGE-Climat, prévoit une augmentation des températures mensuelles moyennes du bassin de la Moulouya de 1.5 à 1.7°C (2021–2050) par rapport aux moyennes de 1971–2000 (Driouech, 2010). Le même bassin connaîtrait une diminution des cumuls pluviométriques de 10 à 20% durant la saison d'hiver (Cf. Chapitre I).

III.3. État

III.3.1. Pollution et dégradation de l'environnement

Le développement galopant de la baie d'al Hoceima va indéniablement avoir des impacts négatifs sur la qualité de son environnement. D'après Salhi (2008), 16 types d'activités potentiellement polluantes liées au développement urbanistique, industriel et agricole ont été identifiés (Figure V-12).

Les rejets incontrôlés de déchets solides dans les villages situés en amont des rivières Rhis et Nekor sont charriés par ces derniers pour atteindre la côte de la baie. Sous l'action des houles une grande partie de ces matériaux dérivent vers les plages ; les bouteilles en plastique et autres macro-déchets dérivant tout le long de la côte est un phénomène courant lors de grandes houles, et de fort débit des rivières, notamment à la fin les saisons de pluies (Figure V-11).



Figure V-11. Déchets solides transporté par les rivières et dérivés vers les plages

Une autre source de pollution concerne la nouvelle zone de décharge à Ajdir, qui est une zone de traitement par brûlage des ordures avec le risque de libération de dioxine dans l'air, néfaste pour l'environnement et la santé (cancérogène), de mauvaises odeurs pour la population, et enfin de la pollution de la nappe phréatique lors des précipitations par infiltration de lixiviats pollués.

En ce qui concerne les ressources en eaux souterraines, Salhi (2008) a montré que les zones où le risque de contamination est maximum, correspondent aux espaces consacrés à l'urbanisation, l'agriculture, la briqueterie, les zones d'extraction de sables et graviers de l'oued, ainsi que la décharge de Béni Bouayach. Selon son analyse, plus de 56 % de la surface totale de la plaine présente un risque de pollution très élevé, 33 % un risque élevé alors que seulement 10,5 % sont caractérisés par un risque modéré (Fig.) La pollution risque de s'accroître avec les projets programmés dans la région (développement des tissus urbains et industriels, complexes touristiques...) ; ceux-ci entraîneraient des pressions environnementales supplémentaires et d'autres émergentes.

En ce qui concerne les eaux marines, en plus des pollutions telluriques potentielles décrites précédemment, l'intensité du trafic maritime qui transite par la Mer d'Alboran implique un risque sérieux et permanent d'accidents potentiellement polluants, par les hydrocarbures ou autres substances dangereuses dans la région d'Al Hoceima. Le 6 Août 1990, une collision s'est produite entre le pétrolier « Sea-Spirit » et le méthanier « Hesperis ». Cette collision a provoqué le déversement de 20.000 tonnes des 55.000 tonnes de fuel lourd qui étaient transportées par le pétrolier. Le déversement a eu lieu aux abords du Cap Spartel, donnant

lieu à la formation d'une nappe importante d'hydrocarbures. Cette dernière, sous l'effet des courants et des vents, a transité par le Détroit de Gibraltar avant de se partager entre la baie d'Al Hoceima et celle de Malaga (Idrissi, 1991). L'impact des déversements accidentels de pétrole est connu par son effet toxique direct sur la faune et la flore marine et le dépôt de résidus lourds sur le substratum marin conduisant à son asphyxie ; cette conséquence négative a aussi des répercussions à long terme sur les générations futures des organismes exposés, ainsi que sur les activités économiques de pêche et d'aquaculture et sur la salubrité des plages à proximité des zones atteintes.

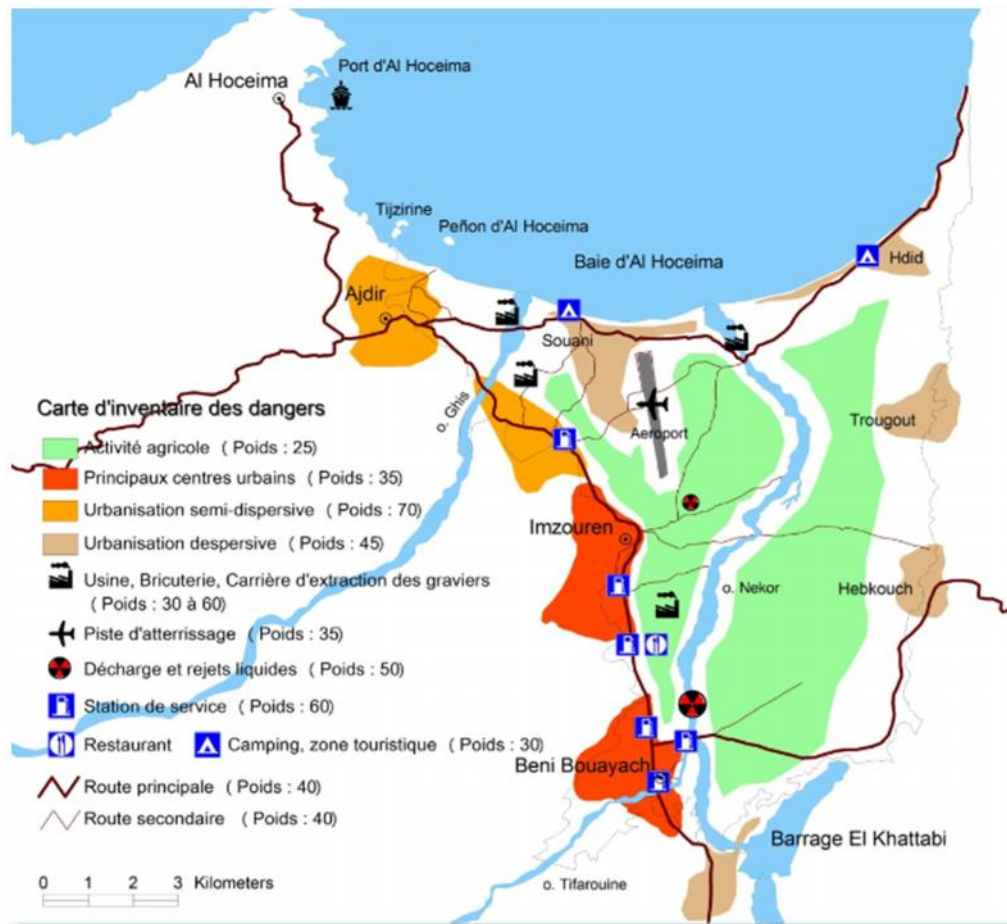


Figure V-12. Inventaire des sources potentielles de pollutions dans la plaine de Rhiss-Nekkor (Salhi, 2008)

III.3.2. Diminution des ressources halieutiques

Comme déjà précisé dans le Chapitre II, la pêche maritime constitue une activité socioéconomique prépondérante dans la zone d'étude.

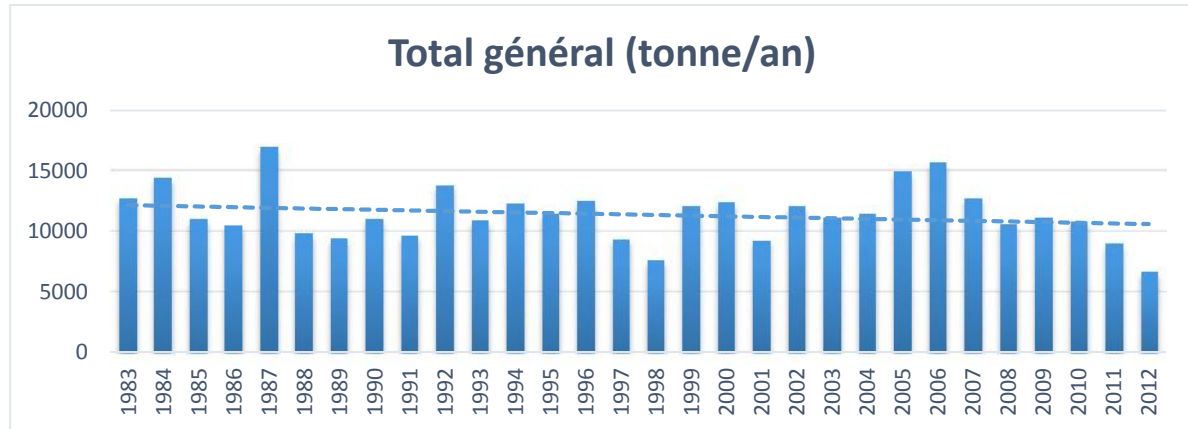


Figure V-13. Quantité des débarquements de poissons entre 1983 à 2011 (Office National des Pêches).

Toutefois, en raison des nombreuses pressions dont il fait l'objet, le stock halieutique, bien qu'il fluctue selon les années est globalement en baisse (Figure V-13). En plus des diverses formes de pollutions qui dégradent le stock de poissons, d'autres pressions doivent être prises en compte comme (Figure V-14) :

- La surpêche qui est considérée comme l'une des plus importantes pressions sur l'écosystème marin de la zone d'Al Hoceima.
- Les équipements utilisés pour la pêche : Certaines pratiques de pêche fréquentes dans la zone d'Al Hoceima sont nuisibles sur l'écosystème marin et les espèces vulnérables, notamment l'utilisation du filet maillant dérivant, la pêche au chalut dans des zones très proches de la côte, l'utilisation de la dynamite ou du sulfate de cuivre, la pêche du poulpe par le harpon à l'aide des chambres à air (Malouli 2004) ;
- La pêche illégale qui constitue une menace pour les ressources halieutiques dans la zone.

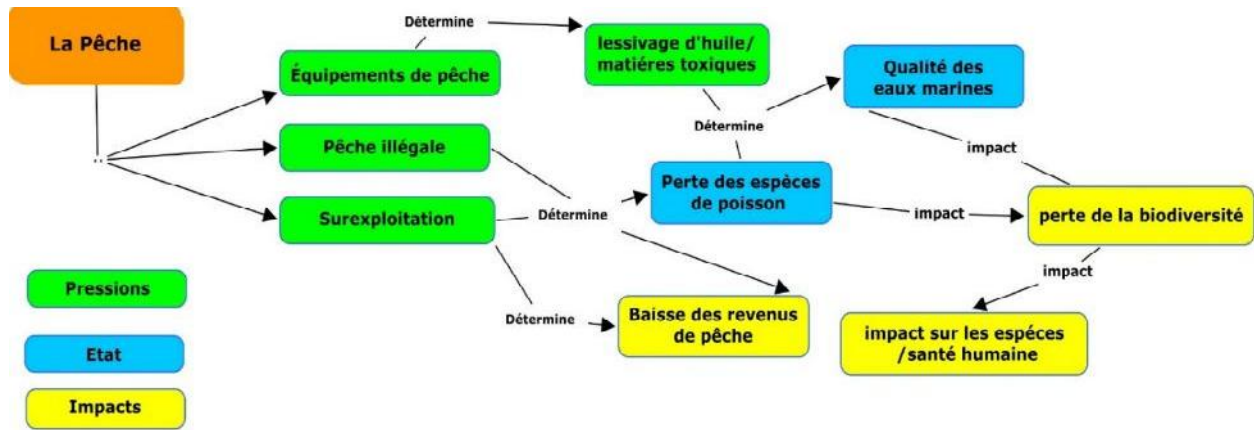


Figure V-14. Interactions de causes à effets générées par l'activité pêche

III.3.3. Changement de la qualité des eaux de baignade

Durant la période estivale, les plages constituent un pôle d'attraction important pour les populations autochtones et les touristes. Depuis quelques années, elles font l'objet d'un programme annuel de surveillance et de contrôle de leur qualité hygiénique mené par le ministère de l'équipement et le département de l'Environnement. Dans la baie d'Al Hoceima deux plages seulement disposent de station de surveillance de la qualité des eaux de baignade : Quemado et Calabonita.

Calabonita		
Saison	S1*	S2*
93-94	A	-
94-95	B	-
95-96	B	-
96-97	B	-
97-98	B	-
98-99	B	-
99-00	A	-
00-01	A	-
01-02	B	-
02-03	A	-
03-04	B	-
04-05	B	B
05-06	B	B
06-07	C	D
07-08	C	D
10-11	B	A

Quemado		
Saison	S1*	S2*
93-94	A	-
94-95	B	-
95-96	B	-
96-97	B	-
97-98	B	-
98-99	B	-
99-00	B	-
00-01	A	-
01-02	B	-
02-03	A	-
03-04	B	-
04-05	B	B
05-06	A	A
06-07	A	B
07-08	B	B
10-11	B	A

Catégorie A : Bonne qualité pour la baignade (conforme)

Catégorie B : Qualité moyenne pour la baignade (conforme)

Catégorie C : Momentanément polluée (Non conforme)

Catégorie D : Polluée (Non conforme)

S* : Station de mesures (S1 : extrémité droite de la plage ; S2 : extrémité gauche de la plage)

Tableau V-2. Évolution de la qualité microbiologique des eaux de baignade au niveau des principales plages de la baie d'Al Hoceima (Source : Rapport analytique 2010-2011 sur la Surveillance de la qualité des eaux de baignades)

Les analyses (Tableau V-2) montrent que les eaux de baignades des 2 plages sont actuellement de bonne qualité ; alors que pendant les années 2006, 2007 et 2008, les eaux de Calabonita ont été de mauvaise qualité (C, D). Cependant avec le développement du tourisme balnéaire et le développement de la zone industrielle de la commune d'Ait Youssef Ou Ali, la qualité des plages risque de se détériorer. Les différentes études menées à l'échelle nationale ont en effet montré que les plages les plus polluées sont celles qui reçoivent une forte population d'estivants.

III.3.4. Changement du trait de côte

La pression des activités humaines près du rivage, combiné au déficit d'apport de sédiments fluviaux, et à d'autres actions anthropiques, sont parmi les facteurs de changement observé au niveau du trait de côte de la baie d'Al Hoceima. Pour déterminer la cinématique du rivage de la baie, nous avons réalisé une étude diachronique du trait de côte sur une période de 55 ans (1958-2013). Les résultats présentés dans le *chapitre III* montrent que la baie a connu une tendance régressive sur toute la période d'étude.

III.4. Les impacts

La qualité initiale de l'état de la zone côtière est un facteur décisif pour toutes modifications ultérieures de l'écosystème, des ressources naturelles et du bien-être humain. Si ces changements sont négatifs et indésirables, ils font référence aux «Impacts». Cependant, l'identification et la détection des impacts ne sont pas du tout facile pour plusieurs raisons. D'abord, les changements dans l'état de l'environnement sont plus ou moins progressifs, et les changements dans le système naturel et humain sont insidieux et semblent invisibles au début jusqu'à ce qu'ils deviennent très sérieux. Deuxièmement, tout impact peut être le résultat d'une combinaison de plusieurs contraintes de pressions à différents niveaux d'importance.

Par conséquent, la relation de cause à effet n'est pas simple, ni directe ; il s'agit plutôt d'interactions complexes entre l'homme et les processus naturels. Dans l'ensemble, les impacts peuvent être classés en quatre catégories d'indicateurs :

- Les impacts sur la santé humaine, c'est à dire l'impact (potentiel) de la qualité de l'environnement sur la santé publique ;
- Les impacts écologiques, qui signifient l'impact sur l'environnement de vie de la faune, de la flore et de leurs habitats ;
- Les impacts économiques, signifient l'impact sur la productivité et les revenus.
- Les impacts sur la sécurité humaine, ce qui signifie l'impact des différents risques naturels et anthropiques sur la sécurité humaine.

À long terme, et en raison de l'augmentation potentielle des pressions et des tendances de la dégradation de la qualité de l'environnement, ces impacts pourront s'aggraver si des mesures d'atténuation ou «Réponses» ne sont pas mises en œuvre,

III.5. Les réponses

Les réponses font référence aux prises de décision. Selon (Maxim et al. 2009), les principales définitions de "Réponses" peuvent être identifiées en deux groupes : i) Des Réponses associées de manière unique à l'action politique, ii) Des réponses associées à différents niveaux de la société, représentée à la fois par des groupes et des individus, du gouvernement, du secteur privé ou des ONG.

Les réponses peuvent chercher à contrôler les forces motrices ou les pressions (prévention, mitigation), pour maintenir ou rétablir l'état de l'environnement, afin d'aider à s'adapter aux impacts (adaptation) (Smeets Weterings, 1999 ; Gabrielsen and Bosch, 2003 ; Perrings, 2005). Les réponses ont également été présentées comme Forces motrices "négatives", car elles visent, par exemple, à réorienter les tendances actuelles de la consommation et de la production (Smeets and Weterings, 1999).

Plusieurs programmes de protection de l'environnement ont été mis en place dans la zone d'Al Hoceima durant ces dernières années. Les plus importants sont les projets intégrés de l'assainissement liquide et de la gestion des déchets solides qui se sont avérés d'une importance capitale pour la réduction des pressions et la réhabilitation et protection de l'environnement.

III.5.1. Assainissement dans la zone d'Al Hoceima

Dix projets intégrés dans les domaines de l'assainissement liquide et la gestion des déchets solides, dotés d'un investissement global d'environ 137 millions dirhams sont programmés à l'échelle de la province d'Al Hoceima.

Les réseaux d'assainissement urbain étaient cependant saturés et connaissaient des dysfonctionnements importants ; mais il convient de signaler qu'une maîtrise progressive des phénomènes de l'environnement, a fait que la décharge principale de la ville d'Al Hoceima qui se trouvait au niveau du cap Ras El Abid et qui polluait fortement l'environnement et les plages de la ville, a été aménagée en 2008 en une décharge publique contrôlée dans le cadre d'un projet qui s'inscrit dans la stratégie de développement touristique de la côte méditerranéenne.

L'objectif est d'une part, de préserver l'environnement et les ressources naturelles, et d'autre part, de faire de la ville d'Al Hoceima une ville propre et une des agglomérations du sud de la méditerranéen qui ne rejette plus d'eaux usées en mer. L'impact du projet sur la qualité des eaux de baignade est considérable car tous les rejets des eaux usées qui arrivaient sur le littoral sont désormais acheminés vers la station d'épuration d'Al Hoceima. Ce dispositif intégré

Mesures Infrastructurelles	Désenclavement	Rocade, route express Al Hoceïma-Taza, extension du port et aéroport
		Programme Routes rurales
	planification	Programme National d'Assainissement liquide
		Documents d'aménagement du littoral (SDAULMC, PA)
Mesures Institutionnelles/ Réglementaires	Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV).	
	Schéma régional d'aménagement des territoires	
	Projet de loi sur l'Aménagement des territoires	
	Cadre réglementaire et technique dans le domaine de la construction parasismique.	
	Plan national de lutte contre les inondations.	
	Plan d'Urgence National de Lutte contre les Pollutions Marines Accidentelles (PUN).	
	Programme d'action national en matière de Lutte contre la Pollution Marine Accidentelle par les Hydrocarbures.	
	Mise en place d'une procédure réglementaire de prise en compte des risques naturels (Inondations, glissements de terrain, etc..) dans les nouveaux plans d'aménagement à l'échelle provinciale avec le projet du Code de l'Urbanisme.	
	Projet d'élaboration de la stratégie nationale de prévention et de gestion de risques de catastrophes.	
	Projet de Loi Littoral (en cours de concertation)	
	Programme d'action et de développement et de mise à niveau du secteur de la pêche dans les provinces du Nord.	
	Construction de l'Institut spécialisé en hôtellerie et tourisme à Al-Hoceïma	
	Construction de la nouvelle gare maritime d'Al Hoceïma, Programme de mise à niveau urbaine de la ville d'Al Hoceïma Aménagement de la corniche Sabadia Plan d'Urgence National de Lutte contre les Pollutions Marines Accidentelles (PUN). Programme d'action national en matière de Lutte contre la Pollution Marine Accidentelle par les Hydrocarbures. Code de l'Urbanisme Projet d'élaboration de la stratégie nationale de prévention et de gestion de risques de catastrophes. Programme de l'ONUDC pour la mise en place de systèmes d'enquêtes pour la collecte et l'analyse de données fiables sur les cultures illicites de cannabis pour mieux les contrôler. Programme d'action et de développement et de mise à niveau du secteur de la pêche dans les provinces du Nord.	

Tableau V-3. Actions et mesures menées dans la zone d'Al Hoceïma

Ces mesures, d'ordre infrastructurel, institutionnel ou réglementaire, bien que certainement insuffisantes, accompagnent le développement de la zone tout en réduisant les pressions et en améliorant le niveau de vie des populations locales.

IV. Proposition d'indicateurs

La caractérisation d'un système côtier, en termes de Forces Motrices, Pressions, État, Impacts et Réponses, est une étape incontournable pour le suivi de l'état de l'environnement d'une zone, de l'état d'avancement d'un programme ou d'une politique, ou de l'évaluation de l'efficacité de ce programme ou de cette politique. Ce suivi peut être réalisé à l'aide d'indicateurs, renseignés périodiquement, et dont l'ensemble pourrait constituer un tableau de bord territorial pour les décideurs.

L'alimentation d'un tel outil fait appel à un grand nombre de données, de sources très diverses comme celles provenant des images satellites, de cartes topographiques, des travaux antérieurs, etc., dont l'essentiel a été consigné dans les sections précédentes. La validité et la fiabilité des informations délivrées sont directement dépendantes de la qualité des données qui viennent les alimenter.

IV.1. Définition et utilisation des indicateurs

Il existe une abondante littérature sur les indicateurs, qui ont été initialement créés par des organisations internationales telles que la Commission du Développement Durable des Nations Unies (CDD) et l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE). Il s'agit d'une composante essentielle de l'évaluation globale de l'état d'un écosystème ou des progrès vers un développement durable.

Les indicateurs sont des variables qui synthétisent les nombreuses informations brutes, en simplifiant les phénomènes complexes, permettant ainsi de communiquer de manière plus visible ou plus perceptible les problématiques intéressantes et les informations pertinentes. Ils nous aident à comprendre les interactions complexes entre différents phénomènes et sont donc indispensables pour prendre des décisions dans la planification du territoire et la gestion de l'environnement.

Les indicateurs fournissent à l'ensemble des utilisateurs et des décideurs, des informations statistiques, scientifiques et techniques sur les objectifs et les buts des politiques publiques et sur les caractéristiques et les tendances en matière environnementale, économique et sociale de la zone d'étude.

En résumé, un indicateur est une information quantitative, synthétique, caractérisant un phénomène souvent complexe. Elle est mobilisée à des fins de diagnostic, d'aide à la décision, d'évaluation ou de communication.

Différents types d'indicateurs ont déjà été proposés lors de différents projets de la GIZC dans la zone méditerranéenne marocaine. Les listes d'indicateurs proposés dans le projet PAC et le projet PEGASO sont présentés à titre d'exemple en annexe.

IV.2. Indicateurs renseignés dans le cadre de cette étude

Sur la base des chapitres précédents et des évaluations présentées dans ce chapitre, et tenant compte des problématiques les plus saillantes identifiées dans la zone côtière de la baie d'Al Hoceima, à savoir : 1) L'expansion urbaine ; 2) La dégradation des ressources côtières et 3) La vulnérabilité aux changements climatiques, on peut considérer que les indicateurs consignés dans Tableau V-3, peuvent, dans un premier temps, constituer un tableau de bord pour les décideurs. Ce tableau doit toutefois être complété et alimenté régulièrement à partir de programmes de suivi de toutes les variables environnementales, sociales et économiques.

Principales problématiques	Indicateur	D	P	S	I	R	Données sources/ Variables	Commentaires
L'expansion urbaine : Le développement résidentiel et touristique dans les zones vulnérables (pas propice à l'urbanisation) pose de sérieuses menaces à la viabilité des plages, et des terres agricoles	l'espace bâti dans la zone côtière						Photos aériennes de 1966 et images Google earth 2013	Le % des superficies urbanisées sont sous-estimé en raison de la présence de plusieurs habitations éparses imposées par la nature accidentée du terrain.
	Taille de la population vivant dans la zone côtière.						RGPH	Population des communes littorales (1960 & 2004)
	Densité de la population vivant dans la zone côtière						RGPH	Population des communes littorales
La dégradation des ressources côtières : Les plages sont perdues à cause de la compression du littoral et l'artificialisation du littoral, barrages, extraction des sables des dunes ainsi que des rivières de Nekor et Ghis. Les eaux-de baignade sont contaminées par les engrais et les produits agrochimiques. Pêche sont en baisse en raison notamment de la surpêche et les conflits entre la pêche artisanale et la pêche industrielle.	Qualité des eaux de baignade						Programme de surveillance des plages nationale	Seulement 2 stations surveillées dans la baie (normes nationales)
	Taux de l'érosion côtière						Photos aériennes de 1958, 1966,2003 et 2013 (Google earth)	Analyse diachronique
	État du stock halieutique						Données de l'Office National des Pêches	Les données concernent uniquement la quantité des débarquements de poissons entre 1983 à 2011 et non l'état des stocks

<p>La Vulnérabilité aux changements climatiques :</p> <p>La baie d'Al Hoceima et en Particulier la plaine côtière Ghis-Nekor sont des zones basses et donc très exposé (i) aux inondations dus à l'élévation du niveau marin et des ondes de tempête et (ii) la salinisation de l'aquifère de Rhis-Nekor</p>	Vulnérabilité physique					<ul style="list-style-type: none"> ○ géomorphologie / géologie ○ largeur des plages ○ pente et topographie ○ variations du trait de côte ○ distance à l'isobathe 20m ○ exposition de la côte distance de la végétation en arrière plage. 	Calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI)
	Vulnérabilité de la nappe à l'intrusion marine					<ul style="list-style-type: none"> ○ Le type d'aquifère ○ La conductivité hydraulique de l'aquifère ○ Profondeur à la nappe au-dessus du niveau de la mer ○ La distance par rapport au rivage ○ Impact de l'état actuel de l'intrusion saline. ○ Épaisseur de l'aquifère 	Méthode de GALDIT pour le niveau de la mer actuel et avec le scénario 0,5 m de hausse du niveau des mers.
	Les lignes de retrait, avec et sans changement climatique					<ul style="list-style-type: none"> ○ Taux d'évolution du trait de côte. ○ Scenarios GIEC ○ Données satellitaires Topex/poseidon-Jason. 	Analyse diachronique

Légende :



Tableau V-3. Synthèse des indicateurs renseignés dans le cadre de cette étude

V. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons tenté de réaliser une première évaluation environnementale intégrée de la zone côtière d'Al Hoceima, à travers l'approche DPSIR (Drivers-Pressures, States, Impact, Response). Bien qu'entaché de certaines limitations, cet outil conceptuel s'est avéré approprié pour avoir une image synoptique des relations de causalité, souvent complexes et multidirectionnelles, qui se sont dégagées de cette évaluation.

Les principaux résultats de cette étude, montrent que malgré l'insuffisance des données, l'écosystème côtier de la baie d'Al Hoceima est en train d'éprouver des changements importants et progressifs, en raison des nombreuses pressions et menaces qu'il a subit ces dernières décades et continue de subir actuellement. Les tendances présagent d'une augmentation de ces pressions à l'avenir, aggravées par le réchauffement global qui constitue une pression supplémentaire à ne pas négliger.

Les points suivants résument les résultats de cette évaluation :

- Les principales FM de la zone côtière d'Al Hoceima considérées dans cette étude sont : la croissance de la population, le développement urbain, le tourisme et la pêche. Ces forces constituent un moteur de développement certes, mais elles exercent de nombreuses pressions sur l'environnement et les ressources. Les pressions les plus visibles engendrées par ces activités humaines concernent le changement d'occupation des sols et notamment la densification urbanistique du littoral, l'augmentation de la demande en eau potable, la hausse des effluents d'eaux usées et des déchets solides.
- L'état environnemental du littoral, évalué à travers l'analyse de quelques variables, a révélé une tendance à la diminution des ressources halieutiques, un changement de la qualité des eaux de baignade en relation avec les réponses mises en œuvre, et un recul du trait de côte.
- Un ensemble d'indicateurs, catégorisés en termes de D, P, S, I ou R, et quantifiés à partir de l'ensemble des données dont nous avons pu disposer, ont été proposés comme un premier pas vers la construction et le renseignement d'un tableau de bord, outil incontesté de développement durable, qui peut aider à fournir des informations utiles pour les gestionnaires et les décideurs locaux de l'environnement côtier de la baie d'Al Hoceima.

Chapitre

VI

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Sommaire

I. Principales conclusions	237
II. Importance du SIG	242
III. Limitations et incertitudes	242
IV. Perspectives de recherche	244

Dans le concept et le processus de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC), l'apport de la science constitue la pierre angulaire de l'aide à la prise de décision ; en effet le développement d'outils novateurs et l'acquisition de connaissances fiables sont indispensables pour guider les décideurs et gestionnaires vers des choix optimaux.

L'objectif principal de cette thèse consiste justement à contribuer au volet scientifique de la GIZC appliqué à la zone côtière de la baie d'Al Hoceima à travers l'élaboration de connaissances, de produits synthétiques et de documents cartographiques qui seront autant d'outils d'accompagnement et de produits d'aide à la décision. Ces outils serviront également au niveau de l'intégration et de la mutualisation de connaissances entre les différents acteurs de la GIZC dans la perspective du développement durable du littoral de la baie.

Ainsi, cette contribution intervient sur trois plans, différents mais complémentaires :

Sur le plan conceptuel, ces recherches ont donc pour objectif d'améliorer les connaissances relatives au fonctionnement des systèmes complexes sous l'effet des interactions entre les systèmes sociaux, naturels et institutionnels afin de fournir aux acteurs de l'environnement littoral (gestionnaires, planificateurs...) les outils permettant de promouvoir le concept de la GIZC et de ses instruments, puis de faciliter l'application du protocole GIZC à l'échelle nationale et locale.

Sur le plan méthodologique, ce travail propose un ensemble de méthodes développées et adaptées à la zone d'étude, basées, dans la mesure de la disponibilité des données, sur une approche à la fois rétrospective et prospective.

Sur le plan pratique, les résultats acquis sont, chaque fois que cela est possible, présentés sous un format cartographique facilement lisible par les décideurs. Outre les produits finaux, une base de données dynamique a été élaborée et pourrait être alimentée et actualisée afin d'assurer un suivi des politiques de gestion de la zone.

I. Principales conclusions

Dans *le premier chapitre*, nous avons tout d'abord mis l'accent sur la complexité du milieu littoral qui se retrouve au croisement de nombreux usages, puis sur la complexité du concept de la GIZC processus dynamique et itératif où la recherche scientifique a un rôle capital car elle traduit et visualise les données et l'information en connaissances facilement utilisables par les décideurs. Nous avons également évoqué la question du changement climatique (CC) qui devrait se traduire inévitablement par une modification de la variabilité climatique, une élévation du niveau de la mer (ENM) et des événements extrêmes inhérents. Ainsi le recours à la GIZC s'avère un moyen approprié et pertinent pour contribuer à l'adaptation de ses zones côtières au changement climatique. En effet l'adaptation et la GIZC reposent sur des fondements communs et visent les mêmes finalités. Il faudrait donc considérer le CC non

comme une contrainte supplémentaire pour les zones côtières mais plutôt comme une opportunité qui devrait inciter les décideurs à mettre en œuvre le Protocole GIZC puis à inclure la composante CC dans tous les projets d'aménagement du littoral.

Dans le *deuxième chapitre*, nous avons analysé la baie d'Al Hoceima en tant que système, dans toutes ses composantes physiques, sociales, économiques, et juridiques, qui interagissent entre elles de manière complexe. À partir de données bibliographiques, nous avons présenté l'état des lieux environnemental, socio-économique et institutionnel de la zone d'étude. Le diagnostic établi a mis en évidence les aspects majeurs de la zone côtière d'Al Hoceima en termes d'«atouts», «faiblesses», «opportunités» et «menaces». L'analyse AFOM réalisée pour les 3 thématiques qui constituent les piliers du développement durable (la composante environnementale, la composante socioéconomique et le cadre de gouvernance) a révélé que globalement la situation de la zone se caractérise par les problématiques suivantes : un enclavement physique qui pénalise son développement territorial depuis longtemps, une expansion urbaine et touristique qui se fait dans des zones vulnérables au détriment des zones naturelles, une régression de la biodiversité et des ressources naturelles insuffisamment protégées, et enfin la prévalence du développement économique sur la protection des ressources naturelles. Face à ces faiblesses et ces menaces, la zone dispose d'opportunités remarquables qui méritent d'être exploitées et valorisées ; l'importance de la plaine agricole de Rhis Nekor, la richesse biologique, la beauté et la diversité des paysages terrestres et marins offrent un potentiel touristique varié. Sur le plan de la gouvernance, l'intérêt de l'État pour le désenclavement et la valorisation de la zone, l'existence de nombreuses ONG engagées dans le développement durable, la prise de conscience et la mobilisation des acteurs en faveur de la gestion des risques sont autant d'atouts et d'opportunités à saisir.

Cette phase, qui nous a permis de recueillir les principaux éléments factuels qualitatifs et quantitatifs de l'espace étudié s'est avérée essentielle pour comprendre le territoire et les problématiques pouvant y survenir. Ces problématiques identifiées peuvent être transformées en enjeux et objectifs et se résument en quatre thèmes *i)* l'expansion urbaine et la densification littorale, *ii)* la vulnérabilité et l'exposition aux risques naturels *iii)* la dégradation des ressources naturelles *iiii)* les problèmes liés à la gouvernance.

En termes de GIZC, la synthèse AFOM permet de dégager des pistes de réflexion pour la définition d'une stratégie de programmation GIZC en se basant sur les questions suivantes :

- Comment corriger les faiblesses en tirant parti des opportunités de la zone ?
- En quoi les opportunités identifiées permettent de minimiser les menaces ?

Dans le *troisième chapitre*, Dans la perspective de proposer des outils d'aide à la GIZC ce chapitre visait à présenter une approche menant à l'identification des lignes de retrait (set-back lines) des côtes sableuses de la baie d'Al Hoceima, principe essentiel pour la GIZC, comme énoncé dans l'article 2a du protocole GIZC. L'estimation de ces lignes de retrait a été

fondée sur une analyse rétrospective et prospective du comportement du trait de côte de la baie.

L'étude de l'évolution historique du trait de côte, basée sur une analyse diachronique entre 1958 et 2013, a montré une tendance globale à l'érosion (60% de la côte étudiée) ; les taux d'érosion varient entre -2 et -0.2 m/an. Les plages basses situées aux alentours des embouchures des oueds Rhis et Nekor, principaux pourvoyeurs en sédiments de la baie, présentent les taux les plus élevés. La variabilité climatique (fortes précipitations, longues sécheresses, houles de tempêtes) et les activités humaines (barrage, bétonisation, extractions de matériaux, boisement/déboisement) seraient les facteurs principaux responsables du comportement du rivage dans les 50 dernières années.

L'étude prospective a tenté d'estimer la position future du trait de côte pour l'horizon 2050 selon deux scénarios : i) dans les conditions de climat actuel, sans prendre en compte l'accélération de l'élévation de niveau de la mer liée au changement climatique. ii) dans les conditions d'élévation accélérée du niveau marin (EANM). Le scénario d'EANM considéré est le scénario moyen de GIEC. L'approche appliquée aux plages sableuses est celle du modèle de Bruun.

Les résultats montrent que globalement, les zones susceptibles de subir un recul d'ici 2050 avec les valeurs les plus élevées correspondent aux linéaires côtiers situés de part et d'autre des embouchures des oueds Rhis et Nekor. La ligne de retrait finale S2050 a été déterminée entre 0m (référence actuelle) au niveau de la plage ouest de Quemado et de R'hach et -89m au niveau de l'embouchure du Nekor.

Dans *le quatrième chapitre*, nous avons tenté d'évaluer la vulnérabilité physique de la zone côtière de la baie d'Al Hoceima à l'élévation du niveau marin et aux événements de tempêtes. L'étude est fondée sur l'utilisation des indices de vulnérabilité en incluant également les taux d'érosion calculés précédemment. Cinq indices ont été combinés pour cette évaluation (a) la géomorphologie / la géologie de la zone côtière étudiée ; (b) la largeur des plages ; (c) la pente et la topographie ; (d) les variations du trait de côte ; (e) la distance à 20m d'isobathe ; (f) l'exposition de la côte ; (g) la distance de la végétation en arrière-plage. Ces variables ont été choisis en fonction de la disponibilité des données et en raison de leur applicabilité à une échelle locale. Les résultats ont montré que 43 % du trait de côte de la baie présente une vulnérabilité élevée, 42% présente une vulnérabilité modérée et seulement 15% du littoral reste faiblement vulnérable.

L'étude de la vulnérabilité a porté également sur l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe de Rhis-Nekor à l'intrusion saline par la remontée du biseau salé en cas d'élévation du niveau de la mer, en adoptant les indices de GALDIT. La cartographie de ces zones, selon les deux scénarios, sans EANM puis avec élévation de 0,5m, a montré que dans les conditions actuelles, la zone de vulnérabilité élevée est localisée à proximité du rivage avec une avancée remarquable d'environ 2 km à l'intérieur de la côte des étendues fortement vulnérables au

niveau des embouchures de l'oued Nekor et Rhis. La surface de vulnérabilité élevée représente environ 11 % de la surface totale de l'aquifère. Dans le scénario d'une élévation du niveau de la mer de 0.5m, l'ampleur de l'intrusion d'eau salée dans l'aquifère de Rhiss-Nekor augmenterait, et la surface à vulnérabilité élevée serait multipliée par deux par rapport aux conditions actuelles. Environ 21% de la superficie de l'aquifère serait située dans une vulnérabilité élevée due au mouvement latéral de l'eau de mer dans le Rhiss et Nekor. Ces documents cartographiques peuvent être d'une grande utilité pour les gestionnaires de l'eau et de l'irrigation de la plaine côtière ainsi que pour tout plan GIZC.

Le cinquième chapitre est consacré à la suite de l'analyse et du diagnostic en appliquant le modèle DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses) au littoral de la baie d'Al Hoceima. Si le cadre AFOM a permis dans un 1er temps de décliner les problématiques et les enjeux de la zone d'étude, il ne permet cependant pas de comprendre les relations de cause à effet qui ont pu mener à la situation actuelle. À travers ce modèle nous avons aussi bien tenté de comprendre certains problèmes environnementaux que leurs répercussions ou prolongements dans le domaine socio-économique.

Trois forces motrices principales ont été dégagées sur la base des données disponibles : i) l'évolution démographique ii) l'urbanisation et la littoralisation et iii) le développement du tourisme. Ces FM ont engendré des changements de l'occupation du sol, d'une augmentation des besoins en eau par conséquent l'état de l'environnement illustré dans notre cas par la pollution et dégradation de l'environnement, la diminution des ressources halieutiques, le Changement de la qualité des eaux de baignade, le changement du trait de côte. Ce volet a permis de d'élaborer une batterie d'indicateurs essentiels au suivi de l'évolution de l'espace étudié, qui constitueront un tableau de bord pour les décideurs.

Nous présentons ci-après la carte de synthèse qui nous donne sur une seule et même représentation les principaux résultats de l'évolution de trait de côte entre 1958-2013, l'estimation des lignes de retrait (setback lines) pour 2050 et les segments de côtes qui sont vulnérables aux éventuelles tempêtes et à l'ENM (Figure VI-1).

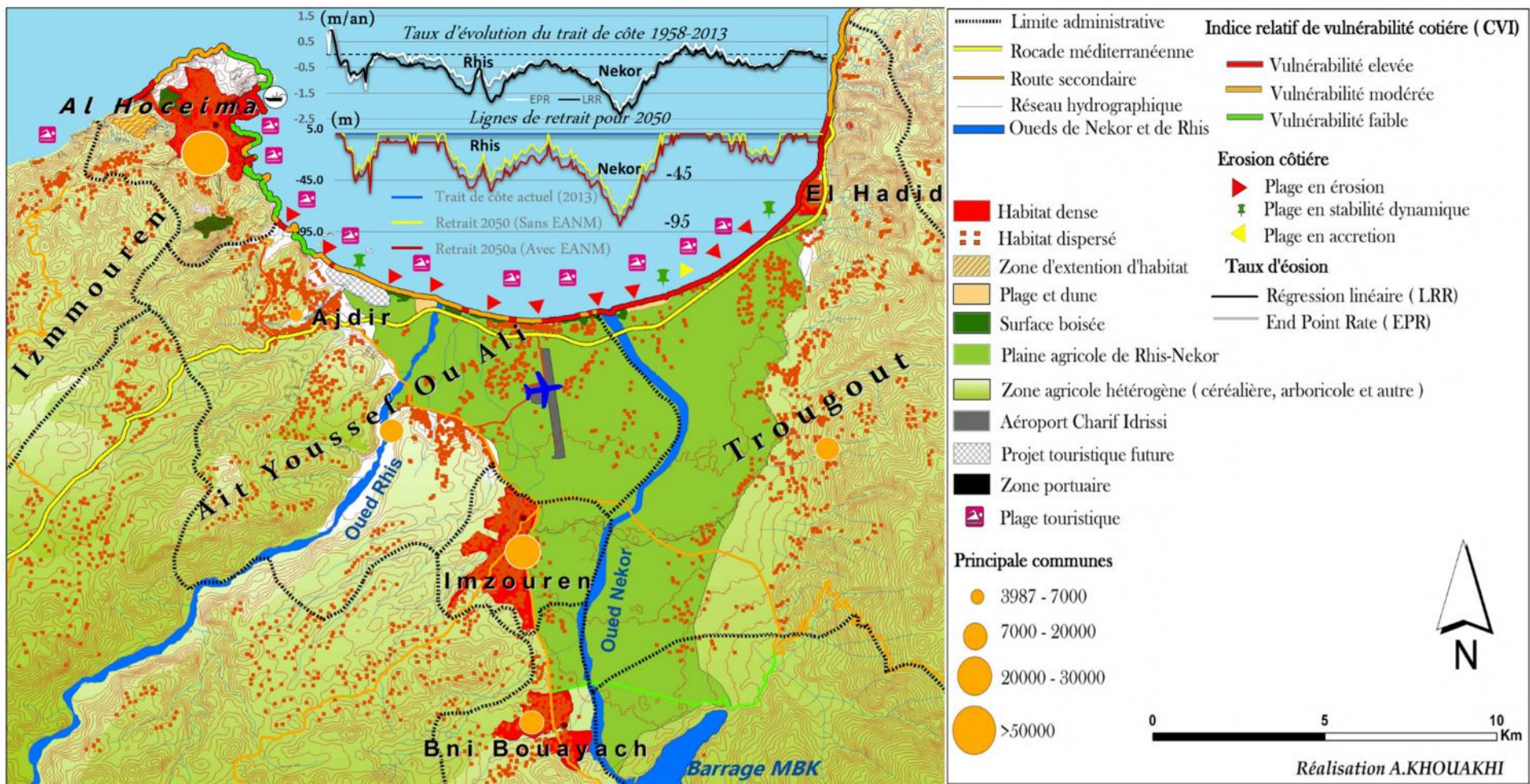


Figure VI-1 : Carte synthétique présentant les principaux résultats de l'évolution de trait de côte entre 1958-2013, des lignes de retrait (setback lines) pour 2050 et de l'évaluation des segments côtiers vulnérables du littoral de la baie aux tempêtes et à l'ENM.

II. Importance du Système d'Information Géographique (SIG)

Le recours aux fonctionnalités analytiques proposées par le SIG a fortement contribué à l'élaboration de ce travail et a aidé à explorer le caractère systémique du fonctionnement de la zone d'étude. Le SIG a été indéniablement présent dans toutes les étapes de ce travail et a été exploité dans plusieurs opérations ;

- D'abord par la construction d'une base de données spatialement référencée de toutes les connaissances à caractère géographique sur la zone d'étude ; ceci a permis une multitude d'opérations, en mode vecteur et raster. Cette étape s'est révélée très importante pour la classification, la compréhension et l'interprétation des informations recueillies, permettant d'extraire plus facilement des synthèses utiles, puis d'élaborer de nouvelles cartes (Chapitres II et V).
- Dans la détermination et la cartographie des lignes retrait (chapitre III), le SIG a constitué un outil très efficace. Dans un premier temps, il a en effet permis la quantification ainsi que l'analyse de la mobilité du trait de côte sur le long terme, puis le calcul et la représentation des lignes de retrait à travers des fonctionnalités d'ordre statistique mais aussi d'analyse spatiale.
- Dans l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité physique de la côte et de l'intrusion saline de Rhis-Nekor à l'EANM (Chapitre IV), l'apport du SIG s'est également traduit dans la combinaison d'analyses spatiales et statistiques qui ont permis le calcul de l'indice de vulnérabilité grâce l'application du modèle "spatial analyst", sa classification et la cartographie de sa variabilité en degrés de vulnérabilité.

Cet outil s'est donc avéré fondamental car l'information joue un rôle capital dans tout processus GIZC, d'abord dans la mise à disposition et le partage des connaissances ayant trait à la qualification et à la vulnérabilité de la zone d'étude, mais surtout pour éclairer les politiques publiques et les aider dans la prise de décision.

III. Limitations et incertitudes

Les analyses présentées dans ce travail sont fondées sur un certain nombre de données et d'informations disponibles dont on ne doit pas dissimuler le caractère fragmentaire et parfois imprécis. Par ailleurs, quelles que soient les méthodes prospectives et les scénarios utilisés, l'avenir d'un système côtier ne peut être prédit de manière certaine. Les limites de la prospective, à cet égard, ne doivent jamais être occultées.

Contraintes liées aux données

Le manque de données est une contrainte récurrente à l'échelle nationale en général et dans la baie d'Al Hoceima en particulier, ce qui nous a posé un problème sérieux tout au long de cette thèse. Étant donné le caractère systémique et rétrospectif de notre travail, il n'a pas été facile de disposer de longues séries de données, indispensables pour détecter les tendances, ni de données de suivi régulier, qui permettent de mesurer l'état actuel de l'environnement.

Une autre contrainte réside dans l'incompatibilité de l'échelle spatiale des données avec d'autres catégories : par exemple entre les données socioéconomiques qui sont généralement disponibles à l'échelle d'unités administratives (provinces, communes) et les données physiographiques qui échappent à ce type de découpage.

Limitations liées aux incertitudes

Ces contraintes relèvent de deux types d'incertitudes : celles liées aux méthodes empiriques utilisées, et celles afférentes aux scénarios futurs. L'étude prospective pour la détermination des lignes de retrait ou l'évaluation de la vulnérabilité physique de la côte de la baie, sont en effet entachées de nombreuses incertitudes liées notamment aux scénarios de l'EANM du GIEC, à l'utilisation du modèle de Bruun, ou encore à notre incapacité à prévoir et à intégrer la cadence de développement socio-économique de la zone, ni le rythme des changements physiques qui pourraient affecter ce littoral. Tout ceci rend toute prévision forcément difficile, et l'évolution future de la côte incertaine.

L'étude diachronique du trait de côte est associée également à des erreurs et à des incertitudes, particulièrement la définition de la ligne de référence, les incertitudes liées aux résolutions des photos aériennes et des cartes, la numérisation... ; nous avons cependant essayé de minimiser ces erreurs autant que possible.

Toutefois, en dépit des données limitées et des incertitudes, il a été possible de présenter les grandes tendances de ce littoral. Les informations sur les risques côtiers, développées pour la première fois dans la baie d'Al Hoceima sont certes perfectibles, mais il n'en demeure pas moins qu'elles constituent un premier apport précieux pour les gestionnaires et les décideurs locaux en quête d'un développement durable de la zone.

En résumé,

La baie d'Al Hoceima dispose de nombreux atouts et avantages, et elle offre de grandes opportunités pour le développement du littoral, le tourisme tout particulièrement. Longtemps isolée en raison de son relief accidenté et de son accès difficile, elle connaît actuellement un développement effréné suite à son désenclavement et à son articulation territoriale avec le reste du pays. Cette ouverture, qui ne s'accompagne pas toujours de la prise en compte de toutes les composantes de l'environnement, met les autorités locales devant un dilemme de

plus en plus difficile à résoudre, celui d'un compromis entre le développement et la protection de cet environnement et de ses ressources. Le manque de vision intégrée dans le long terme, l'absence ou la non-application des lois peuvent compromettre, voire annihiler ce développement.

Il est essentiel que les gestionnaires du littoral aient à leur disposition des outils fiables qui les aident à prendre les décisions adéquates ; ceci leur permettra d'assurer la sécurité des communautés et des actifs dans la zone côtière à l'horizon de la hausse prévue du niveau des mers, d'éviter la perte d'investissements coûteux et le manque à gagner des possibilités d'exploitation des terres. L'évaluation des risques d'érosion comme de la vulnérabilité, telle que présentée dans ce travail et en dépit de quelques incertitudes reconnues devrait, si elle est étroitement associée à la mise en œuvre d'une planification de l'utilisation des terres ainsi que des outils appropriés, conduire à des modèles de développement plus résilients et plus durables, et sans aucun doute guider les décideurs vers des choix plus sages qui deviendront partie intégrante du développement durable de la baie d'Al Hoceima.

L'imminente adoption de la loi « littoral » et la mise en œuvre du protocole GIZC qui aborde toutes ces questions dans une large part, représentent donc une excellente opportunité pour les gestionnaires du littoral de trouver un moyen terme, un équilibre entre développement et gestion des risques côtiers dans cette baie.

IV. Perspectives de recherche

Cette étude sur le littoral de la baie d'Al Hoceima a certes fourni des résultats importants sur les outils d'aide à la GIZC (diagnostic, évaluation environnementale, détermination des lignes de retrait, évaluation de la vulnérabilité physique à l'élévation du niveau de la mer et aux tempêtes) ; cependant elle n'en demeure pas moins perfectible et nécessite des études plus approfondies afin d'améliorer d'une part les connaissances et d'autre part de lever certaines incertitudes. Ceci pourrait être réalisé avec les 6 propositions suivantes :

- Un suivi régulier des profils de plages, sur une longue période afin d'intégrer les transports « cross-shore » dans les taux d'évolution
- L'utilisation de modèles plus dynamiques pour l'évaluation de l'érosion
- L'évaluation des risques d'inondation due à l'EANM
- L'évaluation de la vulnérabilité socio-économique, essentielle, pour obtenir une meilleure compréhension de la vulnérabilité mais aussi de la résilience du système.
- L'approfondissement de l'analyse conceptuelle des relations de cause à effet par une étude écosystémique du littoral.
- La proposition de stratégies d'adaptation du littoral à l'EANM

Ces propositions ouvrent la voie vers de nombreux axes de recherche pour l'avenir ; elles ont pour but de continuer à accompagner et à orienter les décideurs vers un développement à la fois intégré et durable des zones côtières.

Références bibliographiques

A

- Abd-Elhamid, H. F., & Javadi, A. (2008). An Investigation into control of saltwater intrusion considering the effects of climate change and sea level rise. In *Proceedings of 20th Saltwater Intrusion meeting* pp. 4-7.
- Abuodha P.A.O, (2009). Application and evaluation of shoreline segmentation mapping approaches to assessing response to climate change on the Illawarra Coast, South East Australia, School of Earth and Environmental Sciences, University of Wollongong, *PhD thesis*, 286Pp.
- 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 Coastal Conservation*, 14, 189-205.
- Agence du Bassin Hydraulique de Loukkous -ABHL- (2006). Les ressources en eau au niveau de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique du loukkos : état des lieux et perspectives de leur développement et leur sauvegarde. Rapport du débat national sur l'eau 29p.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H. & Petty, R. J. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, *U.S. EPA Report* 600/2-85/018.
- Ammar A., (1987). Analyse sismique des corps sédimentaires quaternaires de la marge d'Alboran. Thèse Doct. 3ème cycle. Univ. de Perpignan. 145p.
- Andrieux J., Fontboté J.M. & Mattauer M. (1971). Sur un modèle explicatif de l'arc de Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*. 12, 191-198.
- Asebriy, L., Bourgois, J., Cherkaoui, T.-E., Azdimousa, A., (1993). Recent tectonic evolution along the Nekor fault - paleogeographic and structural importance in the External Rif (Morocco). *Journal of African Earth Sciences* 17, 65-74.
- Assier-RzaKiewicz S., Heinrich P., Sabatier C., Savoye B., et Bourillet J.F., (2000). Numerical modeling of a landslide-generated Tsunami: The 1979 Nice event, *pure appl. Geophys.* 157, 1707-1727.
- Azzouz O. (1992). Lithostratigraphie et tectonique hercynienne des terrains paléozoïques Ghomarides du massif de Bokkoya (Rif interne, Maroc). Thèse de 3° cycle. Fac. Sc. Rabat. 208 p.
- Azzouz O. (2007). Les dolomies triasiques de la dorsale externe (Bokoya, Rif interne, Maroc) : Un complexe tectono-sédimentaire du Rift oblique alboran-iberie, Thèse de doctorat, univ.
- Azzouz O., El fellah B., Chalouan A., (2002). Processus de glissement dans le Massif de Bokoya (Rif interne, Maroc) : exemple de Cala Bonita, *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 24, 33-40.

B

- Barlow, P. M., & Reichard, E. G. (2010). Saltwater intrusion in coastal regions of North America. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 247-260.
- Basilico L., Massu N., Martin D., (2011). Changement climatique. Impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion. *Synthèse du séminaire des 18 et 19 octobre 2010*, Fréjus 55p.

- Bear, J., Cheng, A.H.-D., Sorek, S., Ouazar, D. et Kluwer, I., H., (1999).** Seawater Intrusion in Coastal Aquifers Concepts, Methods, and Practices. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht/Boston/London, 625, pp 51-71.
- Benhissoune, S., Boudouresque C.-F. et Verlaque M. (2002a).** A checklist of the seaweeds of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. II. Phaeophyceae. *Bot. Mar.* 45: 217–230.
- Benhissoune, S., C.-F. Boudouresque and M. Verlaque. (2001).** A checklist of marine seaweeds of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. I. Chlorophyceae Wille s. l. *Bot. Mar.* 44: 171–182
- Benhissoune, S., C.-F. Boudouresque, M. PerretBoudouresque and M. Verlaque. (2002b).** A checklist of the seaweeds of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. III. Rhodophyceae (excluding Ceramiales). *Bot. Mar.* 45: 391–412.
- Benhissoune, S., C.-F. Boudouresque, M. PerretBoudouresque and M. Verlaque. (2003).** A Checklist of the Seaweeds of the Mediterranean and Atlantic Coasts of Morocco. IV. Rhodophyceae – Ceramiales. *Bot Mar* 46, 55–68.
- Bianchini, G., Pennisi, M., Cioni, R., Muti, A., Cerbai, N., and Kloppmann, W., (2005).** Hydrochemistry of the high-boron groundwaters of the Cornia aquifer (Tuscany, Italy). *Geothermics* 34, 297-319.
- Boak E. H., Turner I. L. (2005).** Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, vol. 21, n°4, p. 688 - 703.
- Bodmer D., (2011).** Le littoral de la province nord en Nouvelle-Calédonie : quel développement durable ? Thèse de doctorat, université Province Nord Michel de Montaigne Bordeaux 3, 586p.
- Bonnot-Courtois C., Caline B., L'homer A., Le vot M. (éd) (2002).** La baie du Mont- Saint-Michel et l'estuaire de la Rance. Environnements sédimentaires, aménagements et évolution récente. [The bay of Mont-Saint-Michel and the Rance estuary. Recent development and evolution of depositional environments]. *Bull. Cent. Rech. Elf-Explor. Prod., Mémoire 26, Total Fina Elf-CNRS-EPHE*, 256 p.
- Bonnot-Courtois C., Levasseur J.E. (2003).** Recherche d'indicateurs "naturalistes" de la limite supérieure du domaine maritime. *Cahiers Nantais*, n°59, p. 47 - 56. Robin, 2002.
- Boruff, B. J., C. Emrich, and S. L. Cutter (2005).** Hazard vulnerability of U.S. coastal counties, *Journal of Coastal Research* 21 (5): 932-942.
- Bourgois, J., Mauffret, A., Ammar, A., Demnati, A., (1992).** Multichannel seismic data imaging of inversion tectonics of the Alboran Ridge (Western Mediterranean Sea). *GeoMar. Lett.* 12, 117–122.
- Bousquet B. (1990).** Définition et délimitation du littoral contemporain, *Revue Juridique de l'Environnement*, 4, 451-468.
- Breton, F., Le Tellier, J. (2012).** Integrated coastal zone management in the Mediterranean: From Vision to Action. Pegaso project. https://cmsdata.iucn.org/downloads/pegaso_draft_p5.pdf.
- Bruun, P. (1962).** Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion." *Journal of Waterways and Harbors Division (ASCE)* 1:116-130.
- Bruun, P., (1988).** The Bruun Rule of erosion by sea level rise: A discussion on large-scale two and three-dimensional usages, *Journal of Coastal Research* 4, 622-648.
- Bruyelle P., Carre F., Dewailly J.M., Flament E., Marcadon J., Miossec A., Thumerelle P.J., Vigarie A, (1998).** Les littoraux, Espace de vie, *SEDES, coll. Diem*, n°23.

- Calafat F.M. et D. Gomis (2009).** Reconstruction of Mediterranean Sea level fields for the period 1945- 2000. *Global Planetary Change*, 66(3-4), 225-234.
- Calvert, A., Gomez, F., Seber, D., Barazangi, M., Jabour, N., Ibenbrahim, A., Demnati, A., (1997).** An integrated geophysical investigation of recent seismicity in the Al Hoceima Region of North Morocco. *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 637–651.
- Carter, R. W. G. (1988).** *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines.* Academic Press: London. 617p.
- Castany G. (1979).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris
- Cazes-Duvat V. (dir.), Delmas-Ferré M., Troadec R., (2002).** *Manuel de suivi et de traitement de l'érosion côtière. Pays de la Commission de l'océan Indien.* Programme Régional Environnement de la Commission de l'océan Indien/7ème FED, Quatre Bornes, Ile Maurice, Éditions Le Printemps, 45 p.
- Chachadi A.G., Lobo-Ferreira, J.P Ligia N., and Choudri, B.S., (2002).** Assessing the impact of sea-level rise on salt-water intrusion in coastal aquifers using GALDIT model. *COASTIN newsletter*, n° 7, 27-32p
- Chachadi G. and Lobo-Ferreira, J.P., (2001).** Seawater intrusion vulnerability mapping of aquifers using the GALDIT method. . *COASTIN newsletter*, n° 4, 7-9p.
- Chachadi, A. G., & Lobo-Ferreira, J. P. (2005).** Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 2–GALDIT Indicator Descriptions. IAHS and LNEC. In Proc. *The Fourth Inter Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources.* Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Chatenoux, B., Velegakis, A.F., Peduzzi, P., (2012).** Quantifying the role of marine and coastal ecosystems in mitigating beach erosion Risk and Vulnerability Assessment Methodology Development Project (RiVAMP), UNEP-GRID, Genève, 83 p.
- Cherkaoui T.E., (2012).** Carte des répliques du séisme d'Al Hoceima du 24 février <http://www.everyoneweb.com/mtcherkaoui>.
- Cherkaoui T.E., et Harnafi, M., (2004).** Le séisme d'Al Hoceima du 24 février 2004, Rapport préliminaire de mission du 3 au 7 mars 2004, Université Mohammed V – Agdal Institut Scientifique, département de physique du globe, 14 p. <http://ashabarter.free.fr/Basedocuments/SeismeAlHoceima.pdf>
- Choquet, A., (1995).** Recherche d'une méthodologie adaptée à l'élaboration de cartes multirisques, *Mémoire de DEA* « Analyse géographique du milieu physique, ressources et risques naturels», Université des Sciences et technologies de Lille, Lille, 69 p.
- Chotin P. et Ait Brahim L. (1988).** Transpression et magmatisme au Néogène-Quaternaire dans le Maroc oriental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t.306, 1479-1485.
- Church J.A., N.J. White, J.R. Hunter, K. McInnes, et Mitchell W., (2009).** Sea level. In *A Marine Climate Change Impacts and Adaptation Report Card for Australia 2009* (Eds. E.S. Poloczanska, A.J. Hobday and A.J. Richardson), *NCCARF Publication* 05/09, ISBN 978-1-921609-03-9.
- Commission européenne (1999).** Vers une stratégie européenne d'aménagement intégré des zones côtières : principes généraux et options politiques. Le programme de démonstration de l'UE

pour l'aménagement intégré des zones côtières 1997-1999. Luxembourg : Office des publications officielles des communautés européennes.
http://ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/vol1_fr.pdf

- Corlay J.P., (1995).** Géographie sociale, géographie du littoral, *Norois*, tome 42, n° 165, p. 247-265.
- Crowell, M.; Leatherman, S.P. and Buckley, M.K., (1991).** Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*. 7(3).839-852.
- Custodio, E. (2010).** Coastal aquifers of Europe: an overview. *Hydrogeology Journal*. 18. pp. 269-280.
- Custodio, E., (1985).** Saline Intrusion, Hydrogeology in the service of Man, *18th congress of the International Association of Hydrogeologists*, Cambridge.
- Custodio, E., (1997).** Seawater Intrusion in Coastal Aquifers. Guidelines for Study, Monitoring and Control, Water report n°11. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Italie, 152 pp.
- Custodio, E., (2002).** Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures. In: Bocanegra, Martines and Massone (Editors), *Groundwater and human development*, pp. 1905-1918.

D

- Dai, A. (2011).** Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.
- Daki M., (2004).** Programme d'Aménagement Côtier En Méditerranée Marocaine : Étude de Faisabilité. 113p. <http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/PAC_Maroc_Rapport_Final.pdf>.
- De Marsily G. (1981).** Hydrogéologie quantitative. Masson
- Dean, R.G., (1991).** Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of Coastal Research*, 7(1), 53-84.
- Dillon, W. P., Robin, J. M., Green, H. G., Lucena, J. C., (1980).** Evolution of the Continental Margin in southern Spain and the Alboran Sea. *Marine Geology* 36, 205–226.
- Dolan R., Fenster M. and Holme, S.J., (1991).** Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*. 3(1).723-744.
- Dolan, R.; Hayden, B.P., May, P., and May, S., (1980).** The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48, 22-29.
- Douglas B.C. (2001).** *Sea level change in the era of the recording tide gauge. Sea Level Rise, History and Consequences*, ed. BC Douglas, MS Kearney, SP Leatherman, pp. 37–64. San Diego, CA: Academic Press
- Doukakis, E. (2005).** Coastal Vulnerability and Risk Parameters. *European Water*, 11/12, 3-7.
- Driouech F., Déqué M., Mokssit A., (2009).** Numerical simulation of the probability distribution function of precipitation over Morocco, *Clim. Dyn.*, 32, 1055-1063.
- Driouech F., (2010).** Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes, Thèse doc. Univ. Toulouse, INP Toulouse, 164p.
- Driouech F., (2010).** Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes, Thèse doc. Univ. Toulouse, INP Toulouse, 164p.

- Driouech, F., Déqué, M., & Sánchez-Gómez, E. (2010).** Weather regimes—Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation. *Global and Planetary Change*, 72(1), 1-10.
- Driouech, F., Mahé, G., Deque, M., Dieulin, C., Tarik, E. H., Milano, M., ... & Rouché, N. (2010).** Évaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. *IAHS-AISH publication*, 561-567.
- Durand P. (2000).** Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photointerprétation. *Photo-Interprétation*, n°2000/1-2, p. 3 - 18. Dolan et al, 1980,
- Durand-Delga M., Hottinger L., Marçais J., Mattauer M., Milliard Y. & Suter G. (1962).** Données actuelles sur la structure du Rif. *Serv. Soc. Géol. Fr.*, N° 1 : 399-1057.

E

- Edelman, T., (1972).** Dune erosion during storm conditions, in: Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering ASCE, 1305-1312.
- Edmunds, W.M. et Milne, C.J.e., (2001).** Palaeowaters in coastal Europe: Evolution of groundwater since the late Pleistocene. *Geological society, Special Publications*, London, 189 pp.
- Edmunds, W.M., Hinsby, K., Marlin, C., de Melo Condesso, M.T., Manzano, M., Vaikmae, R. et Travi, Y., (2001).** Evolution of groundwater systems at the European coastline. In: Edmunds, W.M. & Milne, C.J. (eds) Palaeowaters in Coastal Europe: Evolution of groundwater since the Late Pleistocene, *Geological Society, London, Special Publication*, pp. 289-311.
- El Khattabi, J. (2001).** Démarche méthodologique pluridisciplinaire intégrant une approche transversale pour l'étude des instabilités de versants : application aux versants du Rif Central (Maroc). Thèse de Doctorat, Université d'Artois. 258 p.
- El Moumni B. (1994).** Contribution à l'étude des environnements sédimentaires au Quaternaire terminal en mer d'Alboran. Cas de la marge méridionale (marge marocaine). Thèse Doct. Etat ès-Sci., Univ. Moulay Ismail, Meknès.
- El Moumni B., El Hmaid A., Hassouni F.Z., Gensous B. et Monaco A., (1999).** Sédimentologie et géochimie des dépôts superficiels de la marge méditerranéenne marocaine (partie occidentale). *Afr. Geosci. Rev.*, 6, 2, 141-148.
- El Mrabet, A-T. (1991).** Histoire sismologique du Maroc. Thèse 3ème cycle, Faculté des Lettres, Université Mohammed V, Rabat, 375p. (En arabe).
- El Mrabet, T., (2005).** The Great Earthquakes in the Maghreb Region and their Consequences on Man and Environment, Edit. Centre National de Recherche Scientifique et Technique, Rabat, Morocco.
- El Yaouti F., El Mandour A., Khattach D., Benavente J., Kaufmann O., (2009).** Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study. *Applied Geochemistry*, 24; 1, pp. 16–31.
- ETC/ACC, (2010b).** Methods for assessing current and future coastal vulnerability to climate change. ETC/ACC Technical Paper 2010/8, November 2010. *European Topic Centre on Air and Climate Change*. http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP_2010_8_Coastal_vuln_methods
- European Environment Agency (EEA), (2006a).** EEA Glossary. <http://glossary.eea.eu.int/EEAGlossary/D/DPSIR>. Last checked in June 2007.

- Faye I. (2010).** La Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux d’Afrique de l’Ouest. Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d’images et analyse de cartes anciennes. Plouzané : Université de Bretagne Occidentale, thèse de doctorat de géographie, 393 p.
- Fenster, M. S., Dolan, R. and Elder, J. F. (1993).** A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9(1), 147-171.
- Fenster, M.S. (2005).** Setbacks in Schwartz, M.L. (ed.). *Encyclopedia of Coastal Science*. The Netherlands: Springer, 863-866.
- Ferguson, G. & Gleeson, T. (2012).** Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nature Climate Change*, 1413: 1758-1798.
- Ferreira O., Garcia T., Matias A., Taborda R., Dias J.A., (2006).** An integrated method for the determination of setback lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Coastal Engineering*, 26, p. 1 030-1 044.
- Forum Européen sur climat, (2011).** DIVA Model. <http://www.diva-model.net/>
- Foster S. (1987).** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. *TNO Committee on Hydrological Research Proceedings and Information*. 38: 69-86.
- Foster, S. S. D., Chilton, P. J., Moench, M., Cardy, W. F. & Schiffler, M. (2000).** Groundwater in rural development: facing the challenges of supply and resource sustainability. World Bank Technical Paper 463.
- Frissant N., René-Corail C., Coll. Bonnier J. et De La Torre Y. (2005).** Le phénomène d’intrusion saline à la Réunion : état des connaissances et synthèse des données disponibles. Rapport BRGM/RP-54330-FR, 64p.
- Frizon de Lamotte, D., Andrieux, J., Guezou, J. C., (1991).** Cinématique des chevauchements néogènes dans l’Arc bético-rifain : discussion sur les modèles géodynamiques. *Bull. Soc. Géol. France* 162, 611–626.

G

- Gabrielsen, P., Bosch, P., (2003).** Internal Working Paper Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. *European Environment Agency*, Copenhagen. 20p.
- Gascard, J.C. et Richez C., (1985).** Water masses and circulation in the western Alboran Sea and in the Strait of Gibraltar. *Progr. Oceanogr.*, 15: 157-216.
- Gensous B. et Tesson M., (1979).** Morphologie et sédiments de la baie d’Al Hoceima. *Mines, Géologie et Énergie*, Rabat, 46,127-134.
- Ghyben, B.W., (1889).** Nota in verband met de voorgenomen put boring nabij Amsterdam, The Hague. *K. Inst. Ing. Tydschrift*: 8-22.
- GIEC/IPCC, (2001).** *Climate Change 2001: The scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- GIEC/IPCC, (2007).** Groupe de travail I du GIEC. Quatrième Rapport d’évaluation, Bilan 2007 des changements climatiques les bases scientifiques physiques, Résumé à l’intention des décideurs 25p.
- Gomis D., S. Ruiz, M.G. Sotillo, E. Álvarez-Fanjul et Terradas J., (2008).** Low frequency Mediterranean sea level variability: the contribution of atmospheric pressure and wind. *Global and Planetary Change*, 63 (2-3), 215-229.

- Gornitz, V. (1991).** Development of a global coastal hazards database: Annual technical report. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Gornitz, V. and Kanciruk, P. (1989).** Assessment of global coastal hazards from sea-level rise. Coastal Zone '89. pp. 1345-59. In *Proceedings of Sixth Symposium on Coastal and Ocean Management*. ASCE, Charleston, South Carolina, pp. 1345-1359.
- Gornitz, V., White, T. W. and Cushman, R. M. (1991).** Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise. Coastal Zone 91. pp. 2354-68. In *Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management*. ASCE.
- Gourmelon F. & Le Berre I., (2003).** Towards an institutional GIS for Iroise Sea (France). In Bartlett : GIS for Coastal Zone Management, Taylor & Francis.
- Graillot D., Londiche H., Dechomets R., Batton-Hubert M., (2001).** Analyse multicritère spatiale pour l'identification de la vulnérabilité aux inondations, *Actes du Colloque SIRNAT 2001*, Sophia-Antipolis, 6-7 Décembre.
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2009).** Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*, 1-12.
- Grosset S., et Satta A., (2009).** Impacts potentiels du projet Souani sur la plage de Sfiha et propositions d'aménagements, rapport PAP, EID Méditerranée, 12p.
- Gualdi, S., Somot, S., May, W., Castellari, S., Déqué, M., Adani, M., ... & Xoplaki, E. (2013).** Future climate projections. In *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (pp. 53-118). Springer Netherlands.
- Gutierrez B.T., Williams S.J. and Thieler E.R., (2009).** Basic approach for shoreline change projections. In Titus J.G. (coordinating lead author), Anderson K.E., Cahoon D.R., Gesch D.B., Gill S.K., Gutierrez B.T., Thieler E.R. and Williams S.J. (lead authors). Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the MidAtlantic Region. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, pp. 239-242.

H

- Hammar Klose, E.S., Pendleton, E.A., Thieler, E.R. and Williams, S.J. (2003).** Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to sea-level rise. *United States Geological Survey*. Open-File Report 02-233.
- Hammer-Klose E.S. and Thieler E.R., (2001).** Coastal vulnerability to sea-level rise, a preliminary database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico coasts. *U.S. Geological Survey, Digital Data Series DDS-68, 1 CD*. <http://pubs.usgs.gov/dds/dds68/>.
- Hapke, C.J., and Reid, D., (2007).** The National assessment of shoreline change: Part 4: Historical coastal cliff retreat along the California coast: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1133, 57 p., <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1133/>.
- Hatzfeld, D., Caillot, V., Cherkaoui, T.-E., Jebli, H., Medina, F., (1993).** Microearthquake seismicity and fault plane solutions around the Nekor strike-slip fault, Morocco. *Earth Plan. Sci. Lett.* 120, 31–34.
- HCP (2010).** Littoral marocain : un poids économique et démographique important, Haut-Commissariat au Plan. 23pp. http://www.ires.ma/IMG/pdf_txt-HCP.pdf.
- Heburn G.W et La Violette, P. E. (1990).** Variations in the Structure of the Anticyclonic Gyres Found in the Alboran Sea,” *Journal of Geophysical Research*, 95, 1599-1613.

- Henocque, Y., & Denis, J. (2001).** Methodological guide: steps and tools towards Integrated Coastal Area Management.
- Henry, J.B (2004).** Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine, *thèse de doctorat*, université de Strasbourg I, 267p.
- Herzberg, A., (1901).** Die wasserversorgung einiger nordseebäder. *Jour. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 44: 815–819, 842–844.
- Hinkel J. and Klein J. T., (2010).** Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea-level rise: the development of the DIVA tool. *Global Environmental Change* 19, 384-395.
- Hinkel J. and Klein R., (2007).** Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change. In McFadden I., Nicholls R.J. and Penning-Rowsell E.C. (eds.), 2006. *Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach*, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- Hinkel J. and Klein R., (2009).** The DINAS-COAST project: developing a tool for the dynamic and interactive assessment of coastal vulnerability. *Global Environmental Change*, 19 (3), 384 - 395.
- Hinkel J., Nicholls R., Vafeidis A., Tol R. and Avagianou T.; (2010).** Assessing risk of and adaptation to sealevel rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1–17.
- Hinkel, (2005).** DIVA: an interactive method for building modular integrated models. *Advances in Geosciences*, 4, 45–50, 2005.
- Horton, R., Herweijer, C., Rosenzweig, C., Liu, J., Gornitz, V., & Ruane, A. C. (2008).** Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method. *Geophysical Research Letters*, 35(2).
- Hughes, P. and Brundrit, G. B. (1992).** An index to assess South Africa's vulnerability to sea-level rise. *South African Journal of Science*, 88, 308-311.
- Idrissi H., (1991).** Impact de la pollution accidentelle par les hydrocarbures sur le littoral marocain ; *Symposium International sur la Pollution des Eaux Marines (SIPEM)* ; Casablanca du 20 au 22 Novembre.

I

- Iouzzi N., (2008).** Hydrogéologie et modélisation de la nappe de Rhis-Nekor, thèse DESS, Université Med V, École Mohammadia d'Ingénieurs, 122p.

K

- Jevrejeva, S., Moore, J. C., & Grinsted, A. (2010).** How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcings by 2100? *Geophysical Research Letters*, 37(7).
- Jones, B.F., Vengosh, A., Rosenthal, E. and Yechieli, Y. (1999).** Geochemical investigations. In *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices*, Bear, J., Cheng, A.H.D., Sorek, S., Ouazar, D. and Herrera, I. (eds), Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Boston, London, pp. 51 – 71.
- Kaabouben F., Baptista M. A., Iben Brahim A., A. El Mouraouah and Toto A. (2009).** On the Moroccan tsunami catalogue, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1227–1236.
- Kay, R. (1990).** Development controls on eroding coastlines: Reducing the future impact of greenhouse-induced sea level rise. *Land Use Policy*, 7 (4), 169-172.

- Kay, R.C. and J.E. Hay. (1993).** A decision support approach to coastal vulnerability and resilience assessment: A tool for integrated coastal zone management. In *Vulnerability Assessment to Sea Level Rise and Coastal Zone Management*, R.F. McLean and N. Mimura (eds). *Proceedings of the IPCC/WCC93 Eastern Hemisphere workshop, Tsukuba*, 3-6 August. Department of Environment, Sport and Territories, Canberra, pp. 213-225.
- Khouakhi A., Snoussi M. Niazi S. & O.Raji (2011).** Le Système d'Information Géographique (SIG) : un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée aux changements climatiques : Cas du littoral de Mohammedia. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série Géologie & Géographie physique*, n°23, p. 1-8.
- Khouakhi A., Snoussi M., Niazi S., Raji O., (2013).** Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast): a coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65*, pp. 968-973, ISSN 0749-0208.
- Klein, R.J.T. and Nicholls R J. (1999).** Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28(2), 182-187.
- Klein, R.J.T. and Nicholls R J. (1999).** Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28(2), 182-187.
- Kraus, N.C., and Rosati, J. D. (1997).** Interpretation of shoreline-position data for coastal engineering analysis, CETN-II-39, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Kriebel, D.L., et Dean, R.G., (1983).** Numerical simulation of time-dependent beach and dune erosion, Elsevier Science Publishers, *Coastal Engineering*, Amsterdam, 221-247.
- Kusky, T. (2008).** *The Coast: Hazardous Interactions within the Coastal Environment*, Infobase Publishing, New York. 155p.

L

- Labeyrie, J., Lalou, C., Monaco, A. et Thommeret, J., (1976).** Chronologie des niveaux eustatiques sur la côte du Roussillon de -33 000 ans BP à nos jours. *C.R. Académie des Sciences*, 282(4): 349-352.
- Labreche F. (2012).** Modélisation et évaluation des impacts de l'érosion côtière dans la Baie d'Al-Hoceima (Maroc) pour la gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Mémoire de Maîtrise Universitaire en Sciences de l'Environnement. Université de Genève. 74p.
- Lacombe, H., and C. Richez (1982).** The regime of the Strait of Gibraltar, in *Hydrodynamics of Semi-Enclosed Seas*, edited by J. C. J. Nihoul, pp. 13 – 74, Elsevier, Amsterdam.
- Lanoix F., (1974).** Project Alboran: étude hydrologique et dynamique de la mer d'alboran, d'après les travaux effectués dans le cadre du project Alboran, tech.report 66,39p.
- Larson, M. and Kraus, N.C., (1989).** SBEACH: Numerical Model to Simulate Storm Induced Beach Change, Technical Report U. S. Army Corps of Engineers, CERC.
- Le Tixerant M. (2002).** Dynamique des activités humaines en mer côtière. *Revue Internationale de Géomatique* 12, 311-325.

- Leblanc, D., Olivier, P., (1984).** Role of strike-slip faults in the Betic-Rifian orogeny. *Tectonophysics* 101, 345–355.
- Leont'yev, I.O., (1996).** Numerical modelling of beach erosion during storm events. *Coastal Engineering*, 29, 187-200.
- Linham M. and Nicholls R. J., (2010).** Technologies for Climate Change Adaptation: Coastal Erosion and Flooding. TNA Guidebook Series, UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development, Roskilde, Denmark, 150pp. http://tech-action.org/Guidebooks/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf
- Lobo Ferreira J.P., Cabral, M. (1991).** Proposal for an operational definition of vulnerability for the European Community's Atlas of groundwater resources, in the framework of the meeting of the "European Institute for water, Groundwater Work Group Brussels"
- Lozachmeur O. (2004).** Le concept de gestion intégrée des zones côtières : le point de vue du juriste, *Océanis*, 30-1, 51-70

M

- Maate A. (1996).** Estratigrafía y Evolución Paleogeográfica alpina del Dominio Gomáride (Rif Interno, Marruecos). Tesis Universidad de Granada.
- Malouli (2004).** *Rapport d'étude de l'environnement socio-économique de la zone côtière du parc national d'Al Hoceima*, activité MP1 : élaboration du plan de gestion de la partie marine du parc national d'Al Hoceima, projet régional pour le développement d'aires protégées marines et côtières dans la région méditerranéenne (projet PedMpa), 64p.
- Manche, Y. (1996).** Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels, *Mémoire de DEA « Modélisation des processus d'organisation spatiale et aide à la décision »*, Université Joseph Fourier, Cemagref, Grenoble, 35 p.
- Marcos, M., & Tsimplis, M. N. (2008).** Comparison of results of AOGCMs in the Mediterranean Sea during the 21st century. *Journal of Geophysical Research*, 113(C12), C12028.
- Margaa K., (1994).** Essai de cartographie des risques naturels : application de l'aménagement de la région d'Al-Hoceima (Rif, Nord-Maroc), Thèse. Univ. Sci. Tech. Franche Comté, 174p.
- Mather, A.A., Stretch, D.D. and Garland, G.G., (2010).** Wave runup on natural beaches. *International Conference on Coastal Engineering* (Shanghai, China).
- Maxim, L., Spangenberg, J.H. & O'Connor, M., (2009).** An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, 69(1), pp.12–23.
- McBride R.A. and Byrnes MR. (1997).** Resigned variations in shore response along barrier island systems of the Mississippi River delta: historical change and future prediction. *Journal of Coastal Research* 13 : 628-655.
- McGraw-Hill (2003).** *Dictionary of Scientific & Technical Terms*, McGraw-Hill, Minnesota
- McLaughlin, S. and Cooper, J A G. (2011).** A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9 (3), 233-248.
- Mcleod E., Poulter B., Hinkel J., Reyes E. and Slam R., (2010).** Sea-level rise impact models and environmental conservation: a review of models and their application. *Ocean & Coastal Management* 53, 507-517.
- Medina, F., (1995).** Present-day state of stress in northern Morocco from focal mechanism analysis. *J. Struct. Geol.* 17, 1035–1046.

- MedMPA (2004).** Plan de Gestion de la composante marine du Parc National d'Al Hoceïma. Projet régional pour le développement d'Aires Protégées Marines et Côtières dans la Région Méditerranéenne (Projet MedMPA), 109 p.
- Mégard F., (1969).** Carte Géologique de La Partie Orientale Des Massifs Des Bokkoya, Notes et mémoires du Service géologique du Maroc, Rabat, no. 194.
- Melloul, A., & Collin, M. (2006).** Hydrogeological changes in coastal aquifers due to sea level rise. *Ocean & coastal management*, 49(5), 281-297.
- Meniou M., (2007).** Projet SMAP III «Sensibilisation et création d'un cadre politique favorisant l'intégration de l'environnement et du développement avec l'accent sur la gestion intégrée des zones côtières, thème : pollution côtière et développement durable.
- METAP/Plan Bleu – SECA, (1993).** Propositions pour le Plan directeur d'aménagement et de gestion du Parc National d'AlHoceïma.
- Meysignac, B., Calafat, F. M., Somot, S., Rupolo, V., Stocchi, P., Llovel, W., & Cazenave, A. (2011).** Two-dimensional reconstruction of the Mediterranean sea level over 1970–2006 from tide gage data and regional ocean circulation model outputs. *Global and Planetary Change*, 77(1), 49-61.
- Michard A. (1976).** Éléments de géologie du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n° 252. 410 p.
- Millot C., (1987).** Circulation in western Mediterranean Sea, *Oceanologica acta*, 10, 2,143-149.
- Mokssit A., (2007).** Un gros risque de sécheresses plus sévères, La température moyenne au Maroc augmentera d'ici la fin du siècle entre 2 et 5C. Direction la météorologie et du Centre national de recherche météorologique. Source : MAP RABAT (MAP).
- Monachesi A., (2001).** Un territoire pertinent pour la gestion de l'eau. Les risques d'inondation et de sécheresse dans un bassin versant endoréique argentin, *Actes du Colloque International Risques et Territoires, Atelier 2: La gestion des risques territorialisés*, Lyon 16-18 mai 2001, 31-48.
- Montety, V., (2008).** Salinisation d'un aquifère captif côtier en contexte deltaïque - cas de la Camargue (delta du Rhône, France), thèse doctorat, Univ. Avignon et des Pays de Vaucluse (France) 280p.
- Moore, L.J., (2000).** Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, v. 16 n. 1, pp. 111-124.
- Morton R.A., Speed M.F. (1998).** Evaluation of shorelines and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, vol. 14, n°4, p. 1373 - 1384.
- Mourier T., (1982).** Étude géologique et structurale du massif des Bokoya (Rif Oriental, Maroc), Thèse d'Université, Orsay, Paris, 270 p, 1982. Mohamed 1er, Fac Des Sciences, Oujda.

N

- NageswaraRao, K., Subraelu, P., VenkateswaraRao, T., HemaMalini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., Rajawat, A S. and Ajai (2008).** Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS, *Journal of Coastal Conservation*, 12, 195-207.
- Nakhli, S., & Ghazi, A. (2008).** Quels outils pour un développement durable des zones côtières marocaines. *Actes Coll. Intern. Pluridiscipl.* "Le littoral : subir, dire, agir".
- Ness, B., Anderberg, S., & Olsson, L. (2010).** Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework. *Geoforum*, 41(3), 479-488.

- Newton, A., Carruthers, T. J., & Icely, J. (2012).** The coastal syndromes and hotspots on the coast. Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 96, 39-47.
- Niazi S., (2007).** Évaluation 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 .Med V, Faculté des sciences, Rabat. 296p.
- Nicholls, R J. Wong, P P. Burkett, V., Woodroffe, C D. and Hay, J. (2008).** Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment, *Sustainability Science*, 3, 89–102.
- Nicholls, R J. Wong, P P. Burkett, V., Woodroffe, C D. and Hay, J. (2008).** Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment, *Sustainability Science*, 3, 89–102
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe (2007).** Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.

O

- Olivier, P., (1982).** L'accident de Jebha-Chrafate (Rif, Maroc). Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys. 23, 97–106.

P

- PAC Maroc (2011).** Rapport final intégral (PNUE, PAM, Programme d'Actions Prioritaires) 118p. <http://www.papthecoastcentre.org/pdfs/WEB%20Rapport%20Final%20Integre.pdf>
- PAC Rif central (2010).** Programme d'Aménagement Côtier du Rif central (PAC-Maroc), Activité thématique « GIZC ». Rapport final de l'action 1 : « Diagnostic ». 236p. <http://www.papthecoastcentre.org/pdfs/WEB%20Rapport%20Diagnostic.pdf>.
- Palmer, B J., Van der Elst, R., Mackay, F., Mather, A A., Smith, A M., Bundy, S C., Thackeray, Z., Leuci, R. and Parak, O. (2011).** Preliminary coastal vulnerability assessment for KwaZulu-Natal, South Africa, *Journal for Coastal Research*, 64, 1390-1395.
- Papadopoulou, M.P., G.P. Karatzas, M.A. Koukadaki and Y. Trichakis, (2005).** Modelling the saltwater intrusion phenomenon in coastal aquifers-A case study in the industrial zone of Herakleio in Crete. *Global NEST J.*, 7: 197-203.
- Pendleton, E A., Thieler, E R. Williams, S J. (2005).** Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hatteras National Seashore (CAHA) to Sea-Level Rise: *Open-File Report 20041064, U.S Geological Survey.*
- Perrings, C., (2005).** Mitigation and adaptation strategies for the control of biological invasions. *Ecological Economics* 52 (3), 315–325.
- Phillips, M R. and Crisp, S. (2010).** Sea level trends and NAO influences: The Bristol Channel/Severn Estuary, *Global and Planetary Change*, 73, 211–218.
- Piqué A. & Bouabdelli M. (2000).** Histoire géologique du Maroc ; Découverte et itinéraires. Notes et Mém.Serv. Géol. Maroc, Rabat, n° 409. 113 p.

- Plan Bleu (2008).** Changement climatique et énergie en Méditerranée. Sophia Antipolis. 578p.http://planbleu.org/sites/default/files/publications/changement_clim_energie_med_fr.pdf
- Post, V.E.A., (2004).** Groundwater salinization processes in the coastal area of the Netherlands due to transgressions during the Holocene. *Ph.D. thesis*, Vrije University, Amsterdam, 138 pp.
- Prieur M., (2011).** Le Protocole de Madrid à la Convention de Barcelone relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée, *Vertigo, Hors-série* url : <http://vertigo.revues.org/10933>.
- Prieur, L., Sournia, A., (1994).** Almofront-1 (April-May 1991). An interdisciplinary study of the Almeria-Oran geostrophic front, SW Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 5, 187-203,
- Purvis M J., Bates, P D. and Hayes, C M. (2008).** A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise, *Coastal Engineering*, 55 (12) 1062-1073.

R

- Rahmstorf S., Cazenave, A. Church, J.A. Hansen, J.E. Keeling, R.F. Parker D.E. et Somerville R.C.J. (2007).** Recent climate observations compared to projections. *Science*, 316, 709.
- Raji, O., (2008).** Vulnérabilité de la lagune de Nador à l'élévation accélérée du niveau de la mer : impacts physiques et socio-économiques. Mémoire du Master. Univ. Mohamed V, Fac.Sci. Rabat, 85p.
- Raji, O., Niazi, S., Snoussi M., Dezileau L., and Khouakhi A., (2013).** Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco), *Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue* 65, 802-807, ISSN 0749-0208.
- Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Santos, F D., Gomes, A., Hilden, M. Laihonon, P., Marinova, N and Santini, M. (2011).** Methods for assessing coastal vulnerability to climate change, ETC CCA Technical Paper 1/2011, Retrieved from: <http://cca.eionet.europa.eu/reports/1>
- Rastogi, AK, Choi, GW, Ukarande SK, (2004).** Diffused interface model to prevent ingress of seawater in multilayer coastal aquifers. *J. special hydrology*, 4(2): 1-31.
- Revelle, R. (1941).** Criteria for recognition of the sea water in ground-waters. Transactions, *American Geophysical Union* 22: doi: 10.1029/TR022i003p00593. ISSN: 0002-8606.
- Rey-Valette H., Carbonnel P., Roussel S., Richard A. (2006).** L'apport de la Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC) à la gestion de l'érosion côtière : intérêt et exemple en Méditerranée française, *Vertigo*, la revue électronique en sciences de l'environnement, 7(3), Décembre 2006. <http://www.vertigo.uqam.ca/vol7no3/framerevue.html>
- RGPH, (2004).** Recensement général de la population et de l'habitat de 2004.
- Robin M. (2002).** Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. In (Baron-Yelles N., Goeldner-Gionell A L., Velut S., Ed.) *Le littoral, regards, pratiques et savoirs. Études offertes à Fernand Verger.* Edition Rue d'Ulm / Presses universitaires de l'Ecole Normale Supérieure, Paris, p. 95 - 115.
- Rochette J., Magnan A., Billé R., (2010).** Gestion intégrée des zones côtières et adaptation au changement climatique en Méditerranée (Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) In Lazzeri Y., Moustier E. (Eds), *Le développement durable dans l'espace méditerranéen : enjeux et propositions*, L'Harmattan. pp.99-120,

Rochette, J., Puy-Montbrun, G., Wemaère, M., Billé, R. (2010). Coastal setback zones in the Mediterranean: a study on Article 8-2 of the Mediterranean ICZM Protocol. (Analyses N°05. IDDRI), p. 26.

Ru, Y, Jinno, K, Hosokawa, T, Nakagawa, K, (2001). Study on effect of subsurface dam in coastal seawater intrusion, in 1st Int. Conf. Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers, Monitoring, Modelling, and Management (Morocco).

S

Sale, P.F., Butler M.J., Hooten A.J., Kritzer J.P., Lindeman K.C., Sadovy Y.J., de Mitcheson, Y. J., Steneck, R.S. and van Lavieren, H., (2008). Stemming Decline of the Coastal Ocean: Rethinking Environmental Management. *United Nations, New York*, 43p.

Salhi A., (2008). Géophysique, hydrogéologie et cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution de l'aquifère de Ghis-Nekor (Al Hoceima, maroc), Thèse de doctorat, université Abdelmalek Essaadi, fac. des sciences, Tétouan. 310p.

Salhi A., Stitou El Messari J., Benabdelouahab S., El Gettafi M., Díaz Y., Himi M. & Casas A. (2008). Cartografía comparativa de la vulnerabilidad del acuífero costero de Ghis-Nekor (Marruecos), revue *Geogactea*, 44, 167-170.

Sanò, M., Marchand M., Medina R. (2010). Coastal setbacks for the Mediterranean: a challenge for ICZM, *Journal of Coastal Conservation*, 14, N°1.

Scholz, F.G., Bucci, S.J. Goldstein, G. Meinzer F.C. et Franco. A.C., (2002). Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. *Tree Physiol.* 22:660–612.

Sharples, C., (2006). Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report (Second Edition); *Consultant Report to Department of Primary Industries & Water*, Tasmania, 173p.

Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H., and Solomon, S., (1998). Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise, *Geological Survey of Canada Bulletin* 505, 114 p.

Sherif, M. M., & Al-Rashed, M. F. (2001). Vertical and horizontal simulation of seawater intrusion in the Nile Delta Aquifer. In *1st Int. Conf. Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers, Monitoring, Modelling, and Management (Morocco)*.

Sherif, M. M., & Hamza, K. I. (2001). Mitigation of seawater intrusion by pumping brackish water. *Transport in porous media*, 43(1), 29-44.

Shoshany M, Golik A, Degani A, Lavee H, Gvirtzman G. (1996). New evidence for sand transport direction along the coastline of Israel. *Journal of Coastal Research* 12(1): 311–325.

Smeets, E., Weterings, R., (1999). Environmental indicators: typology and overview. *Technical report No. 25. European Environment Agency*, Copenhagen. 19p.

Snoussi, M., Ouchani, T., Khouakhi, A., & Niang-Diop, I. (2009). Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay. *Geomorphology*, 107(1), 32-40.

Snoussi, M., Ouchani, T., Khouakhi, A., & Niang-Diop, I. (2009). Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay. *Geomorphology*, 107(1), 32-40.

- Stich, D., Serpelloni, E., Mancilla, F. L., Morales, J., (2006).** Kinematics of the Iberia Maghreb plate contact from seismic moment tensors and GPS observations. *Tectonophysics* 426, 295–317.
- Stitou El Messari JE. (2002).** Étude de la salinité des eaux souterraines des aquifères côtiers Martil-Alila et Smir: Intégration des méthodes B-21 hydrogéochimiques, géophysiques et isotopiques. Thèse de doct. d'état. Université Abdelmalek Essadi ; Faculté des Sciences Tetouan, 281p.
- Suanez S. and Provansal M., (1998).** Large-scale evolution of the littoral of the Rhone delta (Southeast France). *Journal of coastal research*, 14: 493-501
- Suanez S., Simon B., (1997).** Utilisation de l'analyse diachronique dans l'étude de l'évolution du littoral du delta du Rhône (France, Sud-Est), *PhotoInterprétation*, Vol.35, 3(4), 147-158.
- Suanez, S., Prosper-Laget, V. and Provansal, M., (1997).** Variation relative du niveau marin dans le delta du Rhône, implications tectoniques et/ou climatiques." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 324IIa: 639-646
- Suter G. (1980).** Carte structurale de la chaîne rifaine au 1/500.000. Notes et mém. Serv. Géol. Rabat, Maroc 245p.
- Swaney, D. P., Humborg, C., Emeis, K., Kannen, A., Silvert, W., Tett, P., & Nicholls, R. (2012).** Five critical questions of scale for the coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 9-21.
- Szlafsztein C. and Sterr H., (2007).** A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, State of Para, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 11(1), pp. 53–66.

T

- Tahayt, A., (2008).** Apport des mesures de la géodésie spatiale dans l'étude des déformations tectoniques actuelles dans la Méditerranée occidentale. Thèse de l'Université de Toulouse III (Paul Sabatier), 231p.
- Tahayt, A., Feigl, K. L., Mourabit, T., Rigo, A., Reilinger, R., McClusky, S., ... & Ben Sari, D. (2009).** The Al Hoceima (Morocco) earthquake of 24 February 2004, analysis and interpretation of data from ENVISAT ASAR and SPOT5 validated by ground-based observations. *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 306-316.
- Terrier M., Pedreros R., Poisson B. (2007).** Tsunamis : étude de cas au niveau de la côte méditerranéenne française - Rapport de synthèse. Rapport BRGM-RP-55765-Fr, 98p. http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Rapport_BRGM_Tsunami_Mediterranee_Synthese.pdf
- Tesson M. & Genssous B. (1979).** Les sédiments superficiels du plateau continental du Rif Oriental. *Mines, Géol. Energ.*, 46, 117-125.
- Tesson M. (1977).** Régime hydrologique et hydrodynamique de la sebkha Bou Areg (lagune Nador – Maroc). Travaux et documents n°1. Institut scientifique des pêches maritimes.
- Thieler E.R. and Hammar-Klose E., (2000).** National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise. Preliminary results for U.S. Atlantic Coast. Open-file report 99-593. *U.S. Geological Survey, Reston, VA, 1, sheet.* <http://purl.usgs.gov/of/1999/of99-593/>.
- Thieler, E.R., and Hammar-Klose, E.S., (2000a).** National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Pacific Coast: *U.S. Geological Survey Open-File Report* 00-178, 1 sheet.

Thieler, E.R., and Hammar-Klose, E.S., (2000b). National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Gulf of Mexico Coast: *U.S. Geological Survey Open-File Report* 00-179, 1 sheet.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan, (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0— An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Torresan S., Critto A., Dalla Valle M., Harvey N. and Marcomini A., (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainable Science* (3):45-65.

Tsimplis M.N., A.G.P. Shaw, A. Pascual, M. Marcos, M. Pasaric et L. Fenoglio-Marc (2008). *Can we reconstruct the 20th Century sea level variability in the Mediterranean Sea on the basis of recent altimetric measurements?* In, Barale, V. and Gade, M. (eds.) Remote Sensing of the European Seas. Berlin, Germany, Springer, 307-318.

Tsimplis M.N., E. Alvarez-Fanjul, D. Gomis, L. Fenoglio-Marc et B.Perez (2005). Mediterranean Sea level trends: atmospheric pressure and wind contribution. *Geophysical Research Letters*, 32, 20, L20602.

V

Van Stempvoort D., Evert L. & Wassenaar L. (1993). Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*. Vol. 18, N°1: 25-37.

Varelas, H. (1984). Una relacion Alemana sobre et terremoto de Andalucia, Marruecos y Azores del ano 1522.

Velegrakis, A.F., Lehmann, A., Monioundi, I., Guiliani, G., Herold, C., Allenbach, K., Debono, A., et Radchenko, I., (2009). Beach erosion prediction for the Black sea coast due to sea level rise, Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 09, E. Özhan, Sochi, Russia, 12p.

Vermeer, M., & Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(51), 21527-21532.

W

Walraevens, K., Cardenal-Escarcena, J. and Van Camp, M. (2007). Reaction transport modelling of a freshening aquifer (Tertiary Ledo-Paniselian Aquifer, Flanders-Belgium). *Applied Geochemistry*, 22, 289-305.

Wang, L. and Verger, F., (1985). Classification des paysages et cinématique de la pointe d'Arcay par traitement automatique d'images aériennes et spatiales. *Photo-Interprétation* (85-4): 1-9.

Werner, A. D. (2010). A review of seawater intrusion and its management in Australia. *Hydrology journal*, 18(1), 281-285.

White, I., & Falkland, T. (2010). Management of freshwater lenses on small Pacific islands. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 227-246.

Yamada, K., Nunn, P.D. Mimura, N. Machida, S. and Yamamoto. M. (1995). Methodology for the assessment of vulnerability of South Pacific island countries to sea-level rise and climate change. *Journal of Global Environment Engineering* 1: 101-125.

Liste des figures

FIGURE -I- : ILLUSTRATION DES SYNDROMES CÔTIERS (NEWTON ET AL., 2012).....	3
FIGURE -II- : DIFFÉRENTS PROTAGONISTES CONCERNÉS DE LA GIZC (DENIS ET HENOCQUE, 2001)	4
FIGURE -III- : A) ÉVOLUTION DE LA POPULATION LITTORALE AU MAROC DEPUIS 1971 B) POIDS (%) DU LITTORAL DANS LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLE, TOURISTIQUE ET BANCAIRE (HCP, 2010)	5

Chapitre I

FIGURE I-1. POURTOUR MÉDITERRANÉEN.....	11
FIGURE I-2. ENCHAÎNEMENT ET INTER-RELATIONS DES ÉTAPES DE PLANIFICATION GIZC (DENIS, 2006)	14
FIGURE I-3. OUTILS TECHNIQUES D'AIDE À LA GIZC (PROGRAMME D'ACTION PRIORITAIRE PAP, ET PLAN BLEU)	16
FIGURE I-4. PROJETS GIZC SUR LA CÔTE MÉDITERRANÉENNE MAROCAINE	18
FIGURE I-5. MOYENNE MULTI-MODÈLES DE LA TEMPÉRATURE À 2 MÈTRES DU SOL OBTENUE PAR LES SIMULATIONS DU PROJET CIRCE POUR LES PÉRIODES DE 1951-2000 ET 2001-2050.	19
FIGURE I-6. ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE RÉGIONALE DE 1750-2012, AU MAROC. HTTP://BERKELEYEARTH.LBL.GOV/REGIONS/MOROCCO	20
FIGURE I-7. VARIATION DU NIVEAU DE LA MER DE 1993 À 2013 (CREDITS CLS/CNES/LEGOS, 2013) HTTP://WWW.AVISO.OCEANOBS.COM/FR/ACTUALITES/INDICATEURS-DES-OCEANS/NIVEAU-MOYEN-DES-MERS.HTML	21
FIGURE I-8. VARIATION DU NIVEAU DE LA MER EN MÉDITERRANÉE D'OCTOBRE 1992 À DÉCEMBRE 2010 (CREDITS CNES/LEGOS/CLS ; 2011).....	23
FIGURE I-9. PROJECTIONS DE L'ÉLEVATION DU NIVEAU MOYEN GLOBAL DE LA MER AU XXIÈ SIÈCLE.	24
FIGURE I-10. ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER OBSERVÉE PAR DES MARÉGRAPHES ET DES ALTIMÈTRES SATELLITAIRES, COMPARÉE AUX PROJECTIONS DU TROISIÈME RAPPORT D'ÉVALUATION. LES DONNÉES VIENNENT PRINCIPALEMENT DE MARÉGRAPHES (ANNUELLES, EN ROUGE) ET D'ALTIMÈTRES SATELLITAIRES (TRIMESTRIELLES, EN BLEU, JUSQU'À LA MI- 2006). (RAHMSTORF ET AL. 2007).	25

Chapitre II

FIGURE II-1. LOCALISATION DE LA BAIE D'AL HOCEIMA	32
FIGURE II-2. CARTE GÉOLOGIQUE DU RIF (SUTER 1980).....	33
FIGURE II-3. LES UNITÉS STRUCTURALES DE LA ZONE D'ÉTUDE. (EXTRAITES DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE RIF DE CHOUBERT ET FAURE MURET, SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC N° 302, PUBLIÉE EN 1984)	34
FIGURE II-4. A) CARTE GÉOLOGIQUE SCHÉMATIQUE DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA CHAÎNE CALCAIRE DES BOKOYA (D'APRÈS MEGARD 1963) B) COUPE GÉOLOGIQUE N-SE MONTRANT LA RELATION ENTRE DIFFÉRENTES NAPPES (D'APRÈS LA CARTE GÉOLOGIQUE D'AL HOCEIMA).....	36
FIGURE II-5. CARTE GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉE DE LA ZONE D'ÉTUDE (EXTRAITÉ DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE RIF, CHOUBERT ET FAURE MURET, SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC N° 302, PUBLIÉE EN 1984)	37
FIGURE II-6. COUPES DE FORAGES EFFECTUÉES AU NIVEAU DE LA PLAINE DE RHIS-NEKOR (IOUZI 2008).....	38

FIGURE II-7. CARTE NÉOTECTONIQUE DE LA RÉGION D'AL HOCEIMA (CARTE DES MOUVEMENTS RÉCENTE DU RIF, SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC, RABAT, 1992) (D'APRÈS TAHAYT 2008)	40
FIGURE II-8. PRINCIPAUX TRAIT GÉOMORPHOLOGIQUES DE L'AIRE D'ÉTUDE	41
FIGURE II-9. SITUATION DES DIFFÉRENTES PLAGES DE LA BAIE D'AL HOCEIMA. A) QUEMADO, B) CALA BONITA, C) SFIHA ET TAYT, D) SOUANI, E) SALINA, F) R'HACH	42
FIGURE II-10. MORPHOLOGIE SOUS-MARINE DE LA MER D'ALBORAN (AMMAR 1987 MODIFIÉ)	44
FIGURE II-11. CARTE BATHYMÉTRIQUE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA RÉALISÉE À PARTIR DES DONNÉES SHOM (CARTE N° 5464, CORRECTION 1989).....	44
FIGURE II-12. CARTE DE LA MER D'ALBORAN, AVEC LES DEUX GYRES ANTICYCLONIQUES (AU SUD). (PRIEUR & SOURNIA, 1994). LE JET GÉOSTROPHIQUE ET LE FRONT ASSOCIÉ (LIGNE CONTINUE ÉPAISSE). DANS LA PARTIE EST, PLUSIEURS POSITIONS DU FRONT (1, 2, 3, LIGNES EN POINTILLÉS) ONT ÉTÉ OBSERVÉES SELON LES PÉRIODES ET LES ANNÉES.	46
FIGURE II-13. TEMPÉRATURES, SALINITÉ, OXYGÈNE DISSOUS ET PRODUCTIVITÉ DES EAUX SUPERFICIELLES DES EAUX MÉDITERRANÉENNES MAROCAINES (PAC RIF CENTRAL 2010)	46
FIGURE II-14. ENREGISTREMENT MARÉGRAPHIQUE À AL HOCEIMA (MARGAA 1994)	48
FIGURE II-15. RÉPARTITION DES FACIÈS SÉDIMENTAIRES AU NIVEAU DE LA BAIE D'AL HOCEIMA (D'APRÈS TESSON ET GENSOUS 1979).	49
FIGURE II-16. CARTE VARIATION PLUVIOMÉTRIQUE DE LA ZONE MÉDITERRANÉENNE MAROCAINE (ABHL 2006)	50
FIGURE II-17. DIFFÉRENTES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES DE LA ZONE D'AL HOCEIMA	51
FIGURE II-18. PRÉCIPITATIONS ANNUELLES ET MOYENNES MENSUELLES (1964-2006).	51
FIGURE II-19. A) VITESSE MAXIMALE MENSUELLE DU VENT (M/S) (DMN 1982-1986) B) ROSE DES DIRECTIONS DU VENT DOMINANT (PÉRIODE 2001 ET 2011) WWW.WINDFINDER.COM.....	53
FIGURE II-20. BASSINS HYDROLOGIQUES DU MAROC NORD ET LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE RHIS-NEKOR – TRAIT ROUGE).....	54
FIGURE II-21. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE AU NIVEAU DU BASSIN DE RHIS-NEKOR	55
FIGURE II-22. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE NORD (ABHL, 2006) A) ZONE DU LOUKKOS ; B) ZONE DU TANGÉROIS ET C- BASSINS CÔTIERS MÉDITERRANÉENS.....	57
FIGURE II-23. LIMITE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE RHIS.	58
FIGURE II-24. PARC NATIONAL ET LA BAIE D'AL HOCEIMA	59
FIGURE II-25. CADRE TECTONIQUE DE LA ZONE D'AL HOCEIMA (TAHAYT ET AL. 2009).....	62
FIGURE II-26. LOCALISATION DES RÉPLIQUES DU SÉISME D'AL HOCEIMA DU 24 FÉVRIER (CHERKAOUI 2012)	63
FIGURE II-27. EXEMPLE DE CAS DE DOMMAGES DES CONSTRUCTIONS EN MILIEU RURAL (A- AÏT KAMRA) ET URBAIN (B- : IMZOUREN) DANS LA RÉGION D'AL HOCEIMA - SÉISME DU 24 FÉVRIER 2004.	63
FIGURE II-28. GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA ZONE D'AL HOCEIMA OBSERVÉS SUR IMAGERIE GOOGLE EARTH.....	65
FIGURE II-29. CARTE DES ZONES EXPOSÉES AUX RISQUES LIÉS AUX MOUVEMENTS DES SOLS ET SOUS-SOL (MARGÂA, 1994 ; MODIFIÉE)	66
FIGURE II-30. EXEMPLES DES DÉGÂTS DES ZONES SINISTRÉES PAR LES INONDATIONS DANS LA RÉGION D'AL HOCEIMA EN 2003 (A) ET 2010 (B-PLAINE DE RHIS-NEKOR)	67
FIGURE II-31. ÉVOLUTION DE LA POPULATION DANS LES PROVINCES D'AL HOCEIMA (A) ET DRIOUCH (B) ENTRE 1994 ET 2004 D'APRÈS LE RGPH.	69
FIGURE II-32. ÉVOLUTION DE LA POPULATION DES COMMUNES CÔTIÈRES DE LA BAIE D'AL HOCEIMA DE 1994 ET 2004	70
FIGURE II-33. PROJECTION DE LA POPULATION ET DE TAUX D'ACCROISSEMENT DANS LES 3 PRINCIPAUX CENTRES URBAINS DE LA ZONE D'ÉTUDE- D'AL HOCEIMA, BENI BOUAYACH ET IMZOUREN- 1994-2004 ET 2004 À 2014.	71

FIGURE II-34. TAUX D'ANALPHABÉTISME DANS LA ZONE D'ÉTUDE.	71
FIGURE II-35. NATURE DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES DANS LA PROVINCE D'AL HOCEIMA.....	72
FIGURE II-36. PRINCIPALES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES DANS LA ZONE D'ÉTUDE.....	73
FIGURE II-37. CARTE MONTRANT LES TYPES DE RESSOURCES MARINES AU LARGE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA (INRH 2002)	75
FIGURE II-38. ÉVOLUTION DES NUITÉES ET ARRIVÉES DANS LA VILLE D'AL HOCEIMA (SOURCE : OBSERVATOIRE DE TOURISME).....	76
FIGURE II-39. EXEMPLE DE PROJETS DE DÉVELOPPEMENT TOURISTIQUE DANS LA RÉGION D'AL HOCEIMA :A) NOUVELLE ZONE TOURISTIQUE DE CALA IRIS B) PROJET DE « SOUANI MÉDITERRANÉE » C,D) PROJET DE QUEMADO RESORT	77
FIGURE II-40. CARTE SYNTHÉTIQUE DES INFRASTRUCTURES PRINCIPALES DE LA ZONE LITTORALE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA.	80
FIGURE II-41. LES STRUCTURES INSTITUTIONNELLES CONCERNÉES PAR LA GESTION CÔTIÈRE.....	83

Chapitre 3

FIGURE III-1. LIGNE DE RETRAIT ADOPTÉE PAR LA LOI LITTORALE ESPAGNOLE DE 1988 ET QUI DÉFINIT UNE ZONE PROTÉGÉE DE 101 M DERRIÈRE LA LIGNE DE CÔTE OÙ LES NOUVELLES CONSTRUCTIONS NE SONT PAS AUTORISÉES (SANO ET AL., 2010).....	106
FIGURE III-2. TYPES DE ZONE DE RETRAIT (LINHAM AND NICHOLLS, 2010)	106
FIGURE III-3. SCHÉMA EXPLICATIF DE LA MÉTHODE DE PRÉDICTION DE LA POSITION FUTURE DU LITTORAL POUR 2050.	109
FIGURE III-4. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA POSITION DE LA LIGNE DE RETRAIT DANS LE CAS D'UNE EXTRAPOLATION DU TRAIT DE CÔTE ACTUEL JUSQU'À 2050, BASÉE SUR LES TAUX D'ÉROSION.....	110
FIGURE III-5. PROFIL DU RECU DE LA CÔTE SELON LA RÈGLE DE BRUUN (BRUUN, 1962).....	112
FIGURE III-6. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA POSITION DE LA LIGNE DE RETRAIT DANS LE CAS D'UNE EXTRAPOLATION DU TRAIT DE CÔTE ACTUEL BASÉ SUR LE TAUX D'ÉROSION AJUSTÉ PAR L'ÉANM.	113
FIGURE III-7. TRACÉ DE LA LIGNE D'HUMECTATION (TRAIT JAUNE) COMME LIGNE DE RÉFÉRENCE	116
FIGURE III-8. TRANSECTS PERPENDICULAIRES DE 50 M D'ÉCART QUI COUPENT LES DIFFÉRENTS TRAIT DE CÔTES ET LA TABLE ATTRIBUTAIRE DES RÉSULTATS DE CALCUL, SELON LE MODÈLE DSAS.	118
FIGURE III-9. ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE POUR L'ENSEMBLE DE LA PÉRIODE D'ÉTUDE DE LA BAIE (1958 - 2013).....	121
FIGURE III-10. ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE SUR L'ENSEMBLE DE LA BAIE ENTRE 1958 ET 1966.....	122
FIGURE III-11. PRÉCIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (STATION D'AL HOCEIMA).....	123
FIGURE III-12. APPORTS ANNUELS LIQUIDES DE L'OUED DE NEKOR (MM3), STATION DU BARRAGE EL KHATTABI.....	123
FIGURE III-13. ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE SUR L'ENSEMBLE DE LA BAIE ENTRE 1958 ET 2003.....	124
FIGURE III-14. ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE SUR L'ENSEMBLE DE LA BAIE ENTRE 2003-2013	125
FIGURE III-15. PHOTOS ILLUSTRANT L'ÉROSION DE LA PARTIE EST DE LA PLAGE ACTUELLE DE SFIHA (À QUELQUES MÈTRES À L'OUEST DU PROJET SOUANI).....	126
FIGURE III-16. CARTE MONTRANT LE RECU AU NIVEAU DE L'EMBOUCHURE DE RHIS.....	127
FIGURE III-17. CARTE MONTRANT L'ÉVOLUTION DE TRAIT DE CÔTE DE SOUANI	128
FIGURE III-18. IMAGE SATELLITAIRE MONTRANT DES INSTALLATIONS EN FRONT DE MER AU NIVEAU DE LA PLAGE BATHOU.....	128
FIGURE III-19. PLAGE R'HACH CARACTÉRISÉE PAR L'ACCUMULATION DES GALETS.	129
FIGURE III-20. PRINCIPAUX FACTEURS RESPONSABLES DE L'ÉVOLUTION DU RIVAGE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA.....	130
FIGURE III-21. (A) CHENAL SEC DE L'OUED NEKOR AU NIVEAU DE LA PLAINE (B) CONGLOMÉRATS GRAVELEUX DU LIT DE L'OUED NEKOR (PHOTOS A.SLAHI 2008).	132
FIGURE III-22. PHOTOS ILLUSTRANT LES CARRIÈRES D'EXTRACTION DU SABLE (PHOTOS A.KHOUAKHI 2011)	133
FIGURE III-23. LIGNE DE RETRAIT POUR 2050 (CONDITIONS SANS ACCÉLÉRATION D'ENM).....	134
FIGURE III-24. SITUATION DE LA LIGNE DE RETRAIT 2050 AU NIVEAU DE LA PLAGE DE SOUANI	135
FIGURE III-25. DISTANCE ENTRE LE PIED DE LA DUNE ET LA PROFONDEUR SUPPOSÉE DE FERMETURE DE PLAGE	136

FIGURE III-26. HAUTEURS DES DUNES DE LA BAIE D'AL HOCEIMA.....	137
FIGURE III-27. REPRÉSENTATION FINALE DES LIGNES DE RETRAIT POUR LA BAIE D'AL HOCEIMA A) REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE B) POSITIONS (EN M) VERS LA TERRE DU RIVAGE PAR RAPPORT À SO D'ICI 2050 CALCULÉES POUR TOUS LES TRANSECTS.....	139
FIGURE III-28. CARTES PRÉSENTANT LES LIGNES DE RETRAIT DE LA BAIE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA	142

Chapitre IV

FIGURE IV-1. SCHÉMA CONCEPTUEL SOULIGNANT LES LIENS ENTRE LES DIFFÉRENTS TERMES LIÉS À LA VULNÉRABILITÉ	149
FIGURE IV-2. CADRE DÉCRIVANT LA VULNÉRABILITÉ LITTORALE (KLEIN ET NICHOLLS 1999).....	151
FIGURE IV-3. MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE POUR L'ÉLABORATION DE CVI DU LITTORAL DE LA BAIE D'AL HOCEIMA	157
FIGURE IV-4. SUBDIVISION DE LA CÔTE ÉTUDIÉE EN CELLULES DE 100 M X 100 M, ET DES TRANSECTS PERPENDICULAIRES AU TRAIT DE CÔTE, D'UN PAS DE 50M.	158
FIGURE IV-5. SCHÉMA MONTRANT LA MÉTHODE DE CALCUL DES PARAMÈTRES DE VULNÉRABILITÉ ADOPTÉE DANS CETTE ÉTUDE..	159
FIGURE IV-6. QUELQUES PHOTOGRAPHIES ILLUSTRANT LES DIFFÉRENTS PAYSAGES GÉOMORPHOLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES DU LITTORAL DE LA BAIE D'AL HOCEIMA.	160
FIGURE IV-7. A) EXEMPLE DE MESURES SUR LE TERRAIN DES PROFILS DE CERTAINES PLAGES LE LONG DE LA BAIE D'AL HOCEIMA B) EXEMPLE DE TRANSECTS PERPENDICULAIRES À LA LINÉAIRE DE RÉFÉRENCE SUPÉRIEURE.....	163
FIGURE IV-8 DISTRIBUTION STATISTIQUE DES LARGEURS DES PLAGES	164
FIGURE IV-9. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON LA LARGEUR DES PLAGES...	165
FIGURE IV-10. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON L'ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE.....	166
FIGURE IV-11. A)MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN ISSU DES DONNÉES SPOT 5 MONTRANT LES 10M D'ALTITUDE B)TRANSECTS PERPENDICULAIRES AU TRAIT DE CÔTE DE 50M D'ÉCART UTILISÉ POUR CALCULER LA PENTE MOYENNE PAR RAPPORT À 10M D'ALTITUDE.	167
FIGURE IV-12. (A) DISTRIBUTION STATISTIQUE DES PENTES INFÉRIEURES À 2° (B) PENTES MOYENNES DU LITTORAL DE LA BAIE D'AL HOCEIMA PAR RAPPORT À 10M D'ALTITUDE.	168
FIGURE IV-13. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON LA TOPOGRAPHIE.	169
FIGURE IV-14. DISTANCES DE LA CÔTE PAR RAPPORT À L'ISOBATHE -20 M LE LONG DE LA CÔTE DE LA BAIE D'AL HOCEIMA	170
FIGURE IV-15. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON DISTANCE DE LA CÔTE PAR RAPPORT À L'ISOBATHE -20 M.	171
FIGURE IV-16. DISTANCE DE LA VÉGÉTATION EN ARRIÉRÉ PLAGE /AU TRAIT DE CÔTE DANS	172
FIGURE IV-17. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON LA DISTANCE DE LA VÉGÉTATION EN ARRIÉRÉ PLAGE.....	172
FIGURE IV-18. A) DIRECTION DU VENT DOMINANT SUR UN PÉRIODE 11 ANS (2001 -2012) AU NIVEAU DE LA STATION D'AL HOCEIMA AÉROPORT (SOURCE : WINDFINDER.COM) B) DIRECTION DES HOULES DOMINANTES AU NIVEAU DE LA STATION AVOISINANTE DU CAP DES TROIS FOURCHES (À L'EST DE LA BAIE) SUR UNE PÉRIODE DE 16 ANS (1996-2012). (SOURCE :WWW.PUERTOS.ES).....	173
FIGURE IV-19. ROSE DES HOULES MENSUELLES SIGNIFICATIVES MAXIMALES (Hs) SUR UNE PÉRIODE DE 16 ANS (1996-2012) EXTRAITES DES DONNES DE PUERTOS.ES (WANA POINT 2048066)	174
FIGURE IV-20. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE EN DEGRÉ DE CÔTES EXPOSÉES.....	174

FIGURE IV-21. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON LE DEGRÉ D'EXPOSITION AUX HOULES D'AMPLITUDES MAXIMALES.	175
FIGURE IV-22. COURBE DE DISTRIBUTION CUMULATIVE DU POURCENTAGE DES INDICES CVI CALCULÉS POUR LA BAIE D'AL HOCEIMA.	177
FIGURE IV-23. INDICE DE LA VULNÉRABILITÉ CÔTIÈRE (CVI) DE LA BAIE D'AL HOCEIMA.	178
FIGURE IV-24. CARTE D'OCCUPATION DES SOLS ET LOCALISATION DES ZONES À DIFFÉRENTS DEGRÉS DE VULNÉRABILITÉ DE DU LITTORAL DE BAIE D'AL HOCEIMA.	179
FIGURE IV-25. : A) UNITÉS RÉSIDENNELLES SITUÉES DANS LA ZONE DES 100 M ET À VULNÉRABILITÉ ÉLEVÉE B) PROFIL TRANSVERSAL DE LA BANDE DES 100M INDIQUANT SA FAIBLE TOPOGRAPHIE DANS LA BAIE D'AL HOCEIMA.....	180
FIGURE IV-26. A) EXEMPLE DE PROJETS TOURISTIQUES DÉJÀ EXISTANT B) PROJET PRÉVU SUR LA PLAGE DE SOUANI.....	181
FIGURE IV-27. PHOTOS ILLUSTRANT LES QUELQUES DÉGÂTS SUITES À DES HOULES FORTES COMBINÉES AUX CRUES FLUVIATILES A,B) DÉGÂTS DÛS À L'ÉROSION AU NIVEAU DE LA ZONE SABADILLA ET TALA YOUSSEF. C,D) INONDATIONS DES CONSTRUCTIONS SITUÉES AU PIED DE LA DUNE AU NIVEAU DE LA CÔTE DE BATHOU, DUES À LA CONJONCTION DE LA HOULE ET LES CRUES.	181
FIGURE IV-28. ILLUSTRATION DES SCÉNARIOS CONDUISANT À L'INTRUSION SALINE DANS UN AQUIFÈRE CÔTIER (MELLOUL ET COLLIN, 2006).	184
FIGURE IV-29. POSITION DE L'INTERFACE EAU DOUCE-EAU SALÉE SELON LA LOI DE GHYBEN-HERZBERG (D'APRÈS FRISSANT ET AL., 2005).	186
FIGURE IV-30. POSITION DE L'INTERFACE SELON LE MODÈLE DE GHYBEN-HERZBERG (CUSTODIO, 2002), MODIFIÉ PAR MONTETY (2008)- ÉCHELLE VERTICALE EXAGÉRÉE PAR RAPPORT À L'ÉCHELLE HORIZONTALE.	187
FIGURE IV-31. CAUSES ET CONSÉQUENCES DES DIFFÉRENTES PRESSIONS S'EXERÇANT SUR UN AQUIFÈRE CÔTIER.	188
FIGURE IV-32. MODÈLE CONCEPTUEL UTILISÉ POUR SIMULER L'IMPACT D'UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN SUR L'ÉTENDUE D'UN RÉSERVOIR AQUIFÈRE (FERGUSON & GLEESON, 2012). ÉPAISSEUR DE L'AQUIFÈRE (B) ; DISTANCE BASALE AU BISEAU SALÉ (XT).....	188
FIGURE IV-33. VUE SCHEMATIQUE D'UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET D'UNE MODIFICATION DU TRAIT DE CÔTE SUR L'ÉTENDUE D'UN AQUIFÈRE CÔTIER (MODIFIÉ FERGUSON & GLEESON, 2012).	189
FIGURE IV-34. BASSIN HYDROLOGIQUE, BASSIN HYDROGÉOLOGIQUE ET AQUIFÈRE (CASTANY 1979 ; MARGAT 1981).	189
FIGURE IV-35. MODÈLE CONCEPTUEL SIMULANT L'IMPACT DE L'EXTRACTION DE L'EAU SOUTERRAINE DANS UN AQUIFÈRE CÔTIER (FERGUSON & GLEESON, 2012).	190
FIGURE IV-36. LIMITE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE RHIS-NEKOR ET SECTION HYDROGÉOLOGIQUE TRANSVERSALE DE L'AQUIFÈRE RHIS-NEKOR (D'APRÈS SALHI 2008).	191
FIGURE IV-37. MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DE L'INDICE GALDIT TOTAL.	194
FIGURE IV-38. REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE DE L'AQUIFÈRE RHIS-NEKOR.....	196
FIGURE IV-39. REPRÉSENTATION DU PARAMÈTRE L DANS LES CONDITIONS ACTUELLES A : CARTE PIÉZOMÉTRIQUE ANNÉE SÈCHE 2005 B : CLASSIFICATION DU PARAMÈTRE « HAUTEUR DU NIVEAU DES EAUX SOUTERRAINES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER ».....	198
FIGURE IV-40. REPRÉSENTATION DU PARAMÈTRE L EN CAS D'UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN DE 0,5M.....	198
FIGURE IV-41. DISTANCE PAR RAPPORT A : À LA LIGNE DU RIVAGE CÔTIER (SITUATION ACTUELLE) B : À LA LIGNE DU RIVAGE CÔTIER ET FLUVIATILE POUR UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN DE + 0.5M.....	199
FIGURE IV-42. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU RAPPORT (Cl- / HCO3- + CO3-).....	200
FIGURE IV-43. CARTE REPRÉSENTANT LA CLASSIFICATION DE L'ÉPAISSEUR DE L'AQUIFÈRE RHIS-NEKOR.	201
FIGURE IV-44. VULNÉRABILITÉ DE LA NAPPE DE RHIS-NEKOR À UNE INTRUSION SALINE A : POUR DES CONDITIONS ACTUELLES B : EN CAS D'ÉLÉVATION NIVEAU MARIN DE 0.5M.....	202

FIGURE IV-45. POURCENTAGE DES SURFACES POUR CHAQUE DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ À L'INTRUSION SALINE DANS L'AQUIFÈRE RHIS-NEKOR.	203
---	-----

Chapitre V

FIGURE V-1. : CADRE DPSIR (D'APRÈS SMEETS ET WETERINGS, 1999).....	210
FIGURE V-2. CADRE GÉNÉRAL DU MODÈLE DPSIR QUI PEUT ÊTRE APPLIQUÉ À LA BAIE D'AL HOCEIMA	211
FIGURE V-3. SCHÉMA GÉNÉRAL DES INTERACTIONS ET DES RELATIONS DE CAUSE À EFFET ENTRE LES PRINCIPALES FORCES MOTRICES	213
FIGURE V-4. ÉVOLUTION DÉMOGRAPHIQUE DANS LA ZONE D'ÉTUDE	214
FIGURE V-6. ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ D'ACCUEIL TOURISTIQUE DE LA VILLE D'AL HOCEIMA (SOURCE : OBSERVATOIRE DU TOURISME, 2012).....	218
FIGURE V-7. SCHÉMA DES INTERACTIONS ET DES RELATIONS DE CAUSE À EFFET GÉNÉRÉES PAR LES ACTIVITÉS TOURISTIQUES	219
FIGURE V-8. DÉVELOPPEMENT DE L'ESPACE URBAIN DE LA VILLE D'AL HOCEIMA ENTRE 1966 ET 2012.	220
FIGURE V-9. DÉVELOPPEMENT DE L'ESPACE URBAIN DE LA VILLE D'AL HOCEIMA ENTRE 1943 ET 2012.	221
FIGURE V-10. BESOINS EN EAU POTABLE DE LA PROVINCE D'AL HOCEIMA (PROJECTIONS DE L'ONEP)	222
FIGURE V-11. DÉCHETS SOLIDES TRANSPORTÉ PAR LES RIVIÈRES ET DÉRIVÉS VERS LES PLAGES	223
FIGURE V-12. INVENTAIRE DES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTIONS DANS LA PLAINE DE RHIS-NEKOR (SALHI, 2008).....	224
FIGURE V-13. QUANTITÉ DES DÉBARQUEMENTS DE POISSONS ENTRE 1983 À 2011(OFFICE NATIONAL DES PÊCHES).	225
FIGURE V-14. INTERACTIONS DE CAUSES À EFFETS GÉNÉRÉES PAR L'ACTIVITÉ PÊCHE.....	226
FIGURE V-16. CARTE DE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT ET DE LA NOUVELLE STATION D'ÉPURATION (HTTP://WWW.ONEP.MA)	229

Chapitre VI

FIGURE VI-1 : CARTE SYNTHÉTIQUE PRÉSENTANT LES PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVOLUTION DE TRAIT DE CÔTE ENTRE 1958-2013, DES LIGNES DE RETRAIT (SETBACK LINES) POUR 2050 ET DE L'ÉVALUATION DES SEGMENTS CÔTIERS VULNÉRABLES DU LITTORAL DE LA BAIE AUX TEMPÊTES ET À L'ENM.	245
---	-----

Liste des tableaux

Chapitre II

TABEAU II-1. CARACTÉRISTIQUES DES MASSES D'EAUX DE LA MER D'ALBORAN (GASCARD & RICHEZ, 1985).	46
TABEAU II-2. HAUTEUR DES HOULES EN FONCTION DE LA PÉRIODE DE RETOUR AU NIVEAU DE LA BAIE D'AL HOCEIMA (LPEE, 1976, 1977, 1991).....	48
TABEAU II-3. MOYENNE MENSUELLES DES TEMPÉRATURES (°C)	53
TABEAU : HUMIDITÉ RELATIVE À LA STATION D'AL HOCEIMA-VILLE (MARGAA 1994)	53

TABLEAU II-5. APPORTS GLOBAUX DE LA ZONE HYDROLOGIQUES DU MAROC NORD (1945- 2002) - CYCLES DE SÉCHERESSES- (ABHL 2006).....	55
TABLEAU II-6. APPORTS GLOBAUX ANNUELS DES OUEDS RHIS ET NEKOR (ABHL, 2006).....	57
TABLEAU II-7. BILAN INDICATIF DE LA NAPPE DE GHIS-NEKOR.....	59
TABLEAU II-8. LE MODÈLE AFOM ET DÉFINITION DE CES CONCEPTS (PAC RIF CENTRAL 2011).....	97
TABLEAU II-8. SYNTHÈSE SWOT DE LA COMPOSANTE ENVIRONNEMENTALE.....	98
TABLEAU II-9. SYNTHÈSE SWOT SOCIOÉCONOMIQUE.....	99
TABLEAU II-10. SYNTHÈSE SWOT EN MATIÈRE DE GOUVERNANCE.....	100

Chapitre III

TABLEAU III.1. RÉSUMÉ DES PRINCIPALES LIGNES DE RETRAIT À DÉTERMINER.....	114
TABLEAU III.2. PHOTOS AÉRIENNES, IMAGERIES ET RESSOURCES CARTOGRAPHIQUES UTILISÉES DANS CE TRAVAIL.....	115
TABLEAU III.3. VALEURS DE LA VITESSE D'ÉLÉVATION LOCALE DU NIVEAU DE LA MER ET LA VALEUR DE LA REMONTÉE ACCÉLÉRÉE DU NIVEAU MARIN POUR 2050.....	135
TABLEAU III.4. PLAGES EN ENGRAISSEMENT ET VALEURS DE PROGRADATION EXTRAPOLÉES POUR 2050 COMPARÉES AVEC LES VALEURS D'AJUSTEMENT À L'ÉANM (RA).....	138
TABLEAU III.5. RÉSULTATS D'ESTIMATIONS DU RETRAIT DU TRAIT DE CÔTE DES PLAGES SABLEUSES DE LA BAIE D'AL HOCEIMA....	141

Chapitre IV

TABLEAU IV-1. : INFLUENCE DES PRINCIPAUX EFFETS CLIMATIQUES SUR LES SYSTÈMES CÔTIERS.....	147
TABLEAU IV-2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE DES PRINCIPALES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ CÔTIÈRE.....	153
TABLEAU IV-3. DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ DES SEGMENTS CÔTIERS DU LITTORAL D'AL HOCEIMA SELON LA VARIABLE GÉOMORPHOLOGIE /GÉOLOGIE.....	161
TABLEAU IV-4. RÉSUMÉ DES INDICES UTILISÉS ET LEURS CLASSIFICATIONS.....	176
TABLEAU IV-5. SCORES ET PONDÉRATION DE DE CHAQUE INDICATEUR DE VULNÉRABILITÉ (MODIFIÉ ; CHACHADI ET LOBO-FERREIRA, 2005).....	193
TABLEAU IV-6. CALCUL DE L'INDICE GALDIT TOTAL.....	194
TABLEAU IV-7. LES RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT G (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	195
TABLEAU IV-8. LES RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT A (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	195
TABLEAU IV-9. RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT "L" (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	197
TABLEAU IV-10. RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT "D" (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	199
TABLEAU IV-11. RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT "I" (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	200
TABLEAU IV-12. RANGÉES ADOPTÉES POUR LE PARAMÈTRE DE GALDIT "T" (CHACHADI ET LOBO- FERREIRA, 2005).....	201

Chapitre V

TABLEAU V-1 : DENSITÉ DE LA POPULATION DANS LES COMMUNES DE LA ZONE D'ÉTUDE	215
TABLEAU V-2. ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE BAINADE AU NIVEAU DES PRINCIPALES PLAGES DE LA BAIE D'AL HOCEIMA (SOURCE : RAPPORT ANALYTIQUE 2010-2011 SUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE BAINADES)	226
TABLEAU V-3. ACTIONS ET MESURES MENÉES DANS LA ZONE D'AL HOCEIMA	230
TABLEAU V-3. SYNTHÈSE DES INDICATEURS RENSEIGNÉS DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE	234

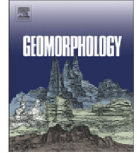
Annexe A

Résumés des articles publiés



Contents lists available at ScienceDirect

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph

Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay

Maria Snoussi^{a,*}, Tachfine Ouchani^a, Abdou Khouakhi^a, Isabelle Niang-Diop^b

^a University Mohamed V, Faculty of Sciences, Department of Earth Sciences, Avenue Ibn Battouta, B.P. 1014, Rabat, Morocco

^b University Cheikh Anta Diop, Dakar Fann, Senegal

ARTICLE INFO

Article history:
Received 23 February 2006
Received in revised form 1 June 2006
Accepted 17 July 2006
Available online xxxx

Keywords:
Moroccan coastal zone
Sea-level rise
Impact assessment
Inundation
Erosion
Adaptation

ABSTRACT

As part of a broad assessment of climate change impacts in Morocco, an assessment of vulnerability and adaptation of coastal zones to sea-level rise was conducted. Tangier Bay which is the most important socio-economic pole in Northern Morocco represents one of the cases studies. Using a GIS-based inundation analysis and an erosion modelling approach, the potential physical vulnerability to accelerated sea-level rise was investigated, and the most vulnerable socio-economic sectors were assessed. Results indicate that 10% and 24% of the area will be at risk of flooding respectively for minimum (4 m) and maximum (11 m) inundation levels. The most severely impacted sectors are expected to be the coastal defences and the port, the urban area, tourist coastal infrastructures, the railway, and the industrial area. Shoreline erosion would affect nearly 20% and 45% of the total beach areas respectively in 2050 and 2100. Potential response strategies and adaptation options identified include: sand dune fixation, beach nourishment and building of seawalls to protect the urban and industrial areas of high value. It was also recommended that an Integrated Coastal Zone Management Plan for the region, including upgrading awareness, building regulation and urban growth planning should be the most appropriate tool to ensure a long-term sustainable development, while addressing the vulnerability of the coast to future sea-level rise.

© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The coastal zone of Morocco, which is nearly 3500 km long, bordering the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean, forms one of the main socio-economic centres of the country. More than 60% of the population lives in coastal cities which also host about 90% of the industries. Beaches and coastal resorts constitute a large percentage of the Gross Domestic Product (GDP). However, due to diverse human pressures, many coastal areas already experience acute environmental problems such as coastal erosion, pollution, degradation of dunes and saline intrusion in coastal aquifers and rivers. Accelerated sea-level rise will intensify the stress on these areas causing flooding of coastal lowlands, erosion of sandy beaches and destruction of coastal wetlands. Sea-level rise (SLR) is therefore one of the key problems that should be taken into consideration in climate change impact assessments for Morocco.

The overall objective of this work is to assess quantitatively the vulnerability to sea-level rise of the Tangier coast, located on the Strait of Gibraltar and one of the most important socio-economic poles of

Northern Morocco. The specific objectives of this paper are: (1) to determine areas at risk of flooding and erosion, (2) to assess the most vulnerable socioeconomic sectors at risk, and (3) to identify the most appropriate response options for the areas at risk.

2. Description of the study area

Tangier bay is located at the entrance of the Mediterranean Sea on the African side of the Strait of Gibraltar (Fig. 1). It has a concave coast, limited to the West by the port area and to the South by gentle hills dissected by small rivers. The city of Tangier is developed on the south-western part of the bay.

2.1. Physical setting

Morphologically, the study area can be divided in three units: a relatively low area, corresponding to the lower reaches of the rivers and to the coastal strip, surrounded by two high areas, which belong to the Rif Mountains. The dominant shore types of the area are sandy and shingle beaches; however in the eastern part of the bay, the coastline is limited by high rocky cliffs. The inner shelf is covered by calcareous sand, followed by fine sand and gravels (Fig. 2). One of the main features of the shelf is rocky outcrops in many places in the bay.

* Corresponding author. Tel.: +212 61401532; fax: +212 37771957.
E-mail addresses: snoussi@fsr.ac.ma (M. Snoussi), Tachfineouchani@yahoo.fr (T. Ouchani), isabelleniang@yahoo.fr (I. Niang-Diop).

Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast): a coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges



Abdou Khouakhi†, Maria Snoussi†, Saida Niazi† and Otmame Raji†

† University of Mohammed V-Agdal,
Earth Science Department,
4 Avenue Ibn Battouta
Rabat, B.P. 1014 RP, Morocco
Abdou2005@gmail.com

www.cerf-jcr.org



ABSTRACT

Khouakhi A., Snoussi M., Niazi S., Raji O., 2013. Vulnerability assessment of Al Hoceima bay (Moroccan Mediterranean coast): a coastal management tool to reduce potential impacts of sea-level rise and storm surges *Proceedings 12th International Coastal Symposium* (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 968-973, ISSN 0749-0208.

www.JCRonline.org

Projected increases in sea level rise (SLR) and in the magnitude and frequency of extreme weather events pose a major challenge for the management of low-lying coastal ecosystems and human settlements in the context of climate change. The bay of Al Hoceima is one of the least studied and largest low-lying coastal areas of the Moroccan Mediterranean coast, and is highly exposed to the effects of SLR and storms. The coast is also a touristic area and one of the most important economic assets in the region of Al Hoceima. Physical coastal vulnerability assessments are one of the principal tools for developing coastal management plans. Here we assess the vulnerability of the coastline to sea level rise and extreme weather events through a standard index methodology based on physical indices, before carrying out a socio-economic evaluation of potential impacts in the area. Using a combination of high resolution maps and remotely-sensed data, we selected the five most relevant physical parameters for local-scale vulnerability analysis, based on 50m/50m cells along the coastline. A total of 822 cells were identified and evaluated, with individual parameter scores ranging from 1 to 4 and calculated total scores from 10 to 20. We found that 41% of the studied coastline is highly vulnerable to the effects of SLR and extreme weather events. These findings will have direct repercussions for coastal development programs over both the short and long terms.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Coastal management, vulnerability, sea level rise, extreme events, Al Hoceima bay, Morocco.*

INTRODUCTION

The acceleration of sea level rise, coupled with an increase in the likelihood of extreme weather events and storm surges during the 21st Century, is expected to increase the risks of coastal erosion and inundation in different parts of the world (Nicholls *et al.*, 2008). It has been assessed that the Mediterranean basin will be one of the most strongly impacted regions; and that the Moroccan coastline is one of its most vulnerable coasts (IPCC, 2007). Mediterranean sea level has risen on average between 1 and 1.5 mm per year since 1943, and now appears to be accelerating, with an increase of already 20 cm in some areas since the start of the century (Vargas-Yáñez, *et al.* 2010). In the Alboran Sea, south-east of Spain and north-east of Morocco, tidal gauge data at Malaga and Alicante have indicated that sea level is increasing by 5 to 10 mm per year (Cazenave, *et al.*, 2001).

In the Moroccan Mediterranean provinces, such changes in sea level are significant in the context of development and population growth. The projected increase of 1.9 million people between 2000 and 2025 (Attané and Courbage, 2001), combined with the rapid intensification of developmental pressures is putting Moroccan Mediterranean environments under stress. Yet the Moroccan coastline is not actually protected by any specific

legislation: the much-awaited coastal act (*Loi littorale*) has still not been adopted by the government, and this lack of regulation is one of the factors contributing to the deterioration of Moroccan coasts today. Each of these actual and potential threats call for immediate coastal management plans that assess the possible consequences of sea-level rise and extreme storm events on coastal areas from the regional to local scales.

One of the most important steps in facilitating coastal management has been the development of coastal vulnerability assessments, which are necessary in order to develop robust adaptation strategies and measures as stated in the Mediterranean Integrated Coastal Zone Management (ICZM) protocol (article 22), which Morocco has ratified. Such assessments involve the mapping of specific areas of coastline that are particularly vulnerable to the impacts of SLR, erosion, flooding and extreme weather events (Palmer *et al.*, 2011). Different vulnerability assessment tools are used around the world (e.g. Gornitz and Kanciruk, 1989; Thieler and Hammar-Klose, 1999; Szlafsztein and Sterr, 2007; Nageswara Rao, *et al.* 2008; Warrick, 2009; Hinkel and Klein 2010; Aboudha and Woodroffe, 2010; Palmer, *et al.* 2011; Mclauphlin and Cooper, 2011) The majority of these assessments take the form of an index that quantifies the relative vulnerability along a coastline.

DOI: 10.2112/SI65-164.1 received 07 December 2012; accepted 06 March 2013.

© Coastal Education & Research Foundation 2013

Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, 2013

Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco).



Otmane Raji †, Saida Niazi †, Maria Snoussi†, Laurent Dezileau‡ and Abdou Khouakhi†

† University of Mohammed V-Agdal, Earth Science Department, 4 Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 RP (Rabat), Morocco.
otmaneraji@gmail.com, saida.niazi@gmail.com

‡ Université Montpellier 2, Geosciences Montpellier, CNRS, UMR 5243, France
dezileau@gm.univ-montp2.fr

www.cerf-jcr.org



www.JCRonline.org

ABSTRACT

Raji, O., Niazi, S., Snoussi M., Dezileau L., and Khouakhi A., 2013. Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco), *Proceedings 12th International Coastal Symposium* (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 802-807, ISSN 0749-0208.

Sea level rise is now a reality supported by scientific evidence, and coastal areas are already beginning to experience the consequences. The purpose of this work is to assess the vulnerability to accelerated sea level rise (SLR) and storm events in the barrier island of Nador lagoon, the largest lagoon (115 km²) of Morocco located along the Mediterranean coast. The vulnerability assessment was based on the combination of both a physical coastal vulnerability index and a socio-economic component, using a Geographic information system (GIS). The key results of this study are presented in vulnerability maps, and show that the Northwest sector of the barrier island is the most vulnerable area. Only the middle sector seems to be immune to the negative impacts of SLR and storm events. Human occupation of the area is mainly in the form of residential units, which represents only 3% of the total area. 20% of these units are located in highly vulnerable areas. Significant investments for future development projects are planned in an area identified as very vulnerable. This approach thus highlights the areas of the Nador lagoon where the effects of future SLR and storm events might be the greatest. Taking advantage of the currently low level of human occupation in the study zone, this information may have direct applications in coastal development programs and can assist decision-makers in the implementation of preventive management strategies in the most sensitive areas.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Vulnerability, Sea level rise, Storms, Barrier island, Nador lagoon, Morocco.*

INTRODUCTION

Consequences of sea level rise (SLR) and storm events on the Mediterranean coastal areas have become an issue of major concern to population and governments. Flooding and erosion are the primary threats posed by storms surges in these areas; their impacts may increase with the rise of sea level (Jiménez and Sánchez-Arcilla, 1997). In this perspective, the literature confirms that evaluating the vulnerability of coastal ecosystems is a required, strategic and urgent task.

Lagoon systems appear as potentially high risk environments because of their unconsolidated soft sediments, low relief and wide inland exposure. The Nador lagoon, also called Mar Chica or Sebkhia Bou Areg, is the largest lagoon in Morocco (115 km²), and is situated in the Northeastern Mediterranean coast of Morocco between the towns of Bni Ensar and Kariat Arkmane (Figure 1). The lagoon has a volume of about 5.4 10⁸ m³ and a surface of about 115 km², an elliptical shape with an average depth of 4.8 m and a maximum depth of 8 m. The lagoon is fed by several watercourses, most of which are only functional during episodic flood periods (Mahjoubi et al., 2003). The adjacent areas are non-uniform and of globally low topography with the plain of the Bou Areg, with the exception of the Northwestern corner because of the presence of the Gourougou stratovolcano (887 m), and the Southwestern border, where the Kebbana Mountains begin (932 m) (Mahjoubi, 2001).

The Nador lagoon is located at the heart of a dense population of

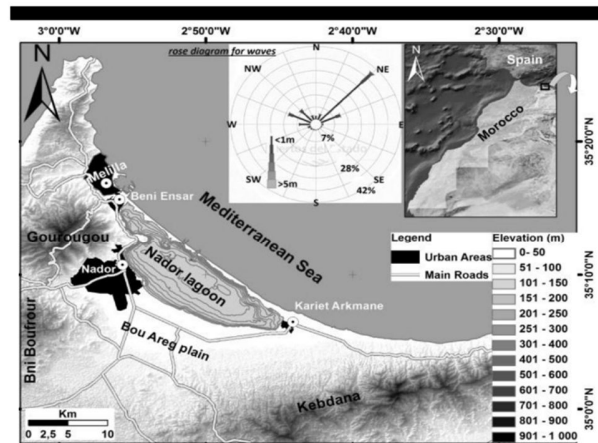


Figure 1. Location of the study area.

approx. 450 000 inhabitants, with 57% in the urban area (RGPH, 2004). The actual development is significant and mainly related to the project of MarchicaMed, which covers an area of over 20 km² and aims to develop seven distinct cities, each providing a base for residential complexes, hotels, sport, leisure and entertainment infrastructures as well as space for economic and social activities. A seaside resort will also be constructed sequentially between 2009 and 2025.

DOI: 10.2112/SI65-136.1 received 07 December 2012; accepted 06 March 2013.

© Coastal Education & Research Foundation 2013

Le Système d'Information Géographique (SIG) : un outil pour l'évaluation des terres à risque d'inondation côtière liée aux changements climatiques. Cas du littoral de Mohammedia.

Abdou KHOUAKHI, Maria SNOUSSI, Saïda NIAZI & Otmane RAJI

*Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre
Groupe de Recherche en Environnements Côtiers et Changements Climatiques
Avenue Ibn Battouta, B.P. 1014, Rabat. Email: abdou2005@gmail.com*

Résumé. Afin d'illustrer les impacts potentiels de l'élévation du niveau de la mer conjuguée avec l'occurrence de houles de tempête, la zone littorale de Mohammedia, une des zones les plus urbanisées et les plus industrialisées de la côte atlantique marocaine a été choisie dans le cadre de cette étude; en effet, la hausse du niveau des mers pourrait mettre en péril de nombreux secteurs socio-économiques vitaux de la région et compromettre son développement futur. L'évaluation des impacts des inondations et la cartographie des terres à risque de submersion de ce littoral, sont basées sur les scénarios du GIEC, sur des données hydrodynamiques locales et sur l'approche de la modélisation par le système d'information géographique (SIG). Les résultats montrent que le littoral de Mohammedia est vulnérable à l'élévation du niveau de la mer. Pour des niveaux d'inondation de 1 m et de 7 m en cas d'une conjonction avec des événements météorologiques extrêmes, 11% et 27% de la surface du littoral seraient respectivement inondés. Les impacts socio-économiques seraient considérables particulièrement pour les zones industrielles (complexe pétrochimique SAMIR et la centrale électrique), touristiques et urbanisées. Le port et les infrastructures de communications ainsi que les écosystèmes côtiers (zone humide d'Oued Maleh et plages) seraient aussi affectés. Quelques mesures de protection sont proposées mais des mesures d'adaptation devraient être prises dès à présent pour faire face aux risques encourus et pour mettre en place une politique de gestion intégrée de la zone.

Mots clés : Changement climatique, élévation du niveau de la mer, littoral de Mohammedia, SIG, risque d'inondation, impacts socio-économiques.

Geographic Information Systems (GIS): a tool for a coastal flood risk assessment due to climate change. The case of the coast of Mohammedia.

Abstract. In order to illustrate the potential impacts of sea level rise combined with the occurrence of storm surges, the coastal area of Mohammedia, one of the most urbanized and industrialized regions of the Moroccan Atlantic coast, was chosen in this study. An increase in sea level could threaten many vital socio-economic sectors within the region and compromise its future development. The coastline impact assessment and the cartography of land at risk of flooding were based on IPCC scenarios, local hydrodynamic data and a modeling approach using geographical information system (GIS). Results show that the coastline of Mohammedia is vulnerable to sea level rise. For flood levels of 1 m and 7 m (in the case of extreme weather events), 11% and 27% of the coastal area respectively would be flooded. In such a case, the socio-economic impacts would be significant in industrial zones particularly (petrochemical complex SAMIR and power plant), as well as in touristic and urban areas. The port and communication infrastructure, as well as coastal ecosystems (Wetland of the Maleh River and beaches) would also be affected. Several protective measures are suggested; however adaptation measures should now be taken to address the risks and to implement a policy of Integrated Coastal Zone Management (ICZM).

Key words: climate change, sea level rise, Mohammedia coast- GIS – Inundation risk – socio-economic impacts.

INTRODUCTION

Le consensus scientifique quant au rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique est maintenant solidement établi (GIEC 2007). Les conséquences de ce réchauffement global en terme de hausse du niveau de la mer sont potentiellement inquiétantes pour de nombreuses populations vivant sur les côtes, particulièrement celles qui ont été modifiées et aménagées de façon intensive au cours des dernières décennies. Sur le plan physiographique, une élévation rapide du niveau de la mer aurait principalement pour effet d'accélérer les changements littoraux qui se produisent actuellement. Les plus prévisibles sont : une extension des submersions temporaires ou permanentes sur les espaces côtiers bas, une accélération de l'érosion des plages et des falaises ainsi qu'une accentuation de la

salinisation des aquifères et des eaux de surface (Nicholls & Leatherman 1994, Clus-Auby *et al.* 2004).

Le Maroc, de par ses deux façades maritimes atlantique et méditerranéenne qui s'étendent sur près de 3500 km, reste exposé aux risques d'une remontée du niveau marin conséquence inhérente au réchauffement climatique (Niazi, 2007, Snoussi *et al.* 2007 et 2009, Khouakhi, 2008). Le littoral marocain joue par ailleurs un rôle de pôle structurant de l'économie nationale compte tenu de son poids démographique, économique et de sa fonction dans l'organisation de l'espace national (Sakrouhi 1994). Il constitue un pôle d'attraction et un enjeu économique de première importance. Il concentre en effet les principales agglomérations du pays, les densités démographiques les plus élevées, les réseaux d'infra-

Chapter 12

CLIMATE CHANGE AND SEA-LEVEL RISE: A GIS-BASED VULNERABILITY AND IMPACT ASSESSMENT, THE CASE OF THE MOROCCAN COAST

Maria Snoussi, Saïda Niazi, Abdou Khouakhi and Otmane Raji

University Mohammed V-Agdal, Faculty of Sciences,
“Coastal Environments and Climate Change” Research Group
Rabat, Morocco

ABSTRACT

Scientific evidence suggests that climate change and sea-level rise will potentially have significant impacts on the coastal environment and human society. The most valuable set of tools that can be used to understand the processes associated with these changes and to assess their environmental and socioeconomic impacts is Geographic Information Systems (GIS).

Studies carried out in Morocco reveal that in many locations, the low-lying coastal areas are very sensitive to accelerated sea-level rise, not only due to their low topography, but also to their high ecological, economic and tourist values. Assessment of the potential land loss by inundation and erosion, based on a modeling approach and GIS, has enabled to identify both locations and the socioeconomic sectors that are most at risk to accelerated sea-level rise and extreme events. The case studies of Saidia and Tetouan littorals (sandy beaches with important RAMSAR sites and high touristic value) on the Mediterranean coast, and Mohamedia littoral (very populated with many economic activities) on the Atlantic coast, show that the most severely impacted sectors, are expected to be the settlements, the recreational and industrial areas, agricultural land, and the coastal ecosystems. Indeed, the conversion of natural coastal habitats such as coastal dunes and wetlands for urban or agricultural uses reduced the ability of such ecosystems to provide a natural barrier or buffer against wave action and storm surges. This should be exacerbated with the expected rise in sea level.

Assessment of the physical and socioeconomic vulnerability, using a Coastal Vulnerability Index, allowed highlighting those areas where the effects of future sea-level rise might be the greatest. This information may have direct application in coastal development programs in both the short and long term, and can assist the decision-

Annexe B

**Indicateurs proposés dans le cadre des projets
PAC et PEGASO**

Indicateurs proposés dans le cadre du Projet PAC

	THEMES	INDICATEURS	INDICES	
PRESSIONS	CONTRAINTES ET RISQUES NATURELS	Enclavement physique	Relief	
			Pentes	
		Risques sismiques	Carte de zonage	
		Érosion et glissements de terrain	Carte d'instabilité des terrains	
	PRESSIONS ANTHROPIQUES	Risques liés à la variabilité climatique	Risque d'inondations	
			Démographie	Population
				Densité de la population
		Taux d'accroissement		
		Activités et Occupation du sol	Poids de la population non agricole	
			Poids de l'habitat urbain	
Poids de la Surface agricole utile				
Pollution	Volume des rejets liquides			
	Volume des rejets solides			
ETAT	ETAT DE L'ENVIRONNEMENT ET DES CONDITIONS SOCIO ECONOMIQUES	État environnemental	Qualité des eaux de baignade	
			Qualité des eaux douces	
			État du trait de côte	
			Qualité des plages	
			Qualité des ressources en eau	
			État global	
	Patrimoine historique et culturel	État de conservation des monuments		
		État socioéconomique	Indice de développement humain	
	Indice de sévérité de la pauvreté			
	Taux de vulnérabilité des ménages			
	Taux d'analphabétisme			
	Taux d'accès à l'eau potable (AEP)			
	Taux d'électrification			
	Distance moyenne à la route goudronnée			
REPOSES	Infrastructurelles	Désenclavement/ planification	Rocade, ports, aéroports	
			Programme Routes rurales	
			Programme National d'Assainissement liquide	
			Documents d'aménagement du littoral (SDAULMC, PA)	
		ABHL - Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos et des bassins côtiers méditerranéens		

Institutionnelles/ Réglementaires	Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV).
	Cadre réglementaire et technique dans le domaine de la construction parasismique.
	Plan national de lutte contre les inondations.
	Plan d'Urgence National de Lutte contre les Pollutions Marines Accidentelles (PUN).
	Programme d'action national en matière de Lutte contre la Pollution Marine Accidentelle par les Hydrocarbures.
	Mise en place d'une procédure réglementaire de prise en compte des risques naturels (Inondations, glissements de terrain, etc..) dans les nouveaux plans d'aménagement à l'échelle provinciale avec le projet du Code de l'Urbanisme.
	Projet d'élaboration de la stratégie nationale de prévention et de gestion de risques de catastrophes.
	Projet de Loi Littoral
	Programme de l'ONU DC pour la mise en place de systèmes d'enquêtes pour la collecte et l'analyse de données fiables sur les cultures illicites de cannabis pour mieux les contrôler.
	Programme d'action et de développement et de mise à niveau du secteur de la pêche dans les provinces du Nord.

Indicateurs proposés dans le cadre du projet PEGASO

Policy objective	Proposed set of Indicators
1) Preserve the wealth of natural capital in coastal zone	Distribution, range and patterns of certain coastal and marine habitats listed under international agreements (SPA protocol)
	Number and potential impact levels including on ecosystems of invasive non-endemic marine and coastal species
	State of the main commercial fish stocks by species and sea area
	Effective management of protected areas: share of coastal and marine habitats and species listed under international agreements (SPA protocol) that are in good condition (favourable, unfavourable etc.)
2) To ensure appropriate governance allowing adequate and timely participation in a transparent decision-making process of all relevant social actors	% of relevant parties concerned in the ICZM decision-making process identified and involved.
	% Of joint activities between municipality and local groups and NGOs from total number of projects implemented by the municipality
	Number of properly staffed and properly funded partnerships of coastal and marine stakeholders set up.
	End users have access to as much information of sufficient quality as they need to make timely, coherent and well-crafted decisions (qualitative)
	There is a formal mechanism whereby stakeholders meet regularly to discuss a range of coastal and marine issues.
3) To ensure cross-sectorial coordination among competent authorities	Decisions about planning and managing the coast are governed by general legal instruments (Yes / No)
	Each administrative level has at least one member of staff whose sole responsibility is ICZM
	Existence of mechanism for cross-sectorial institutional coordination at various competent administrative levels
	Level of activity of organisations supporting ICZM
	Existence of mechanisms for the routine control, assessment and adjustment of ICZM initiatives
4) To formulate land-use strategies, plans, and programmes covering all coastal and marine uses	A governance system and legal instrument in support of Marine Spatial Planning is in place. (Yes / No)
	Area of land and sea of international, national, and regional statutory protected areas for nature and culture conservation
	Strategic Environmental Assessments are used commonly to examine policies, strategies and plans for the coastal zone.
	There are spatial development plans which include the coastal zone but do not treat it as a distinct and separate entity.
5) To give priority to public services and activities requiring the proximity to the sea, and to take into account the specific characteristics of	Economic production per sector (turnover)
	Employment structure
	Number of enterprises
	Value added per sector
	Public and private expenses for coastal and marine research and development in % of GDP (ref article 25)

the coastal zones when deciding about coastal uses	Renewable energy from coastal resources
	Total landing by species
	Exploitation index of water renewable resources
	Energy use (of marine and maritime sectors)
	% of high quality tourism establishments
	International tourism receipts
	Number of tourist arrivals and nights, and average length of stay
	Ratio of number of overnight stays to number of residents
	Seasonality of tourism in the coastal zones
	Share of 'seaside resort beds' vs total number of beds
	Intensity of shipping and maritime transport in coastal zones and port infrastructures
	Total volume of goods handled per port, by type of good
	Number of incoming and outgoing passengers per port
6) To have a balanced use of coastal zone, and avoid urban sprawl	Land use flows: The area of new developments and its share on previously developed and undeveloped land in the coastal zone
	Area of built-up space in the coastal zone (both the emerged and submerged area of the coastal zone)
	Water efficiency index (special reference to article 9.1c)
	Land use flows: trends in area of land use class 'transport network' in the coastal zone
	Changes in size, density, and proportion of the population living on the coast
	Poverty index/index of social exclusion of population living in coastal zones versus inland population
	Aging index: the proportion of people aged 65+ from total population; proportion of people age less than 20 from total population
7) To perform Environmental Impact Assessment for human activities and infrastructures	Bathing water quality
	Concentration of nutrients
	Number of hypoxia events or extent of hypoxic areas
	Number, location and volume of observed oil slicks from aerial surveillance
	Greenhouse gas emissions from the maritime sector (shipping, energy, port activities,...)
	Solid waste production/collection and recycling schemes
	Pollution by hazardous substances in biota, sediment and water columns
	Percentage of ports with facilities for waste oil
	Trends in the amount of litter washed ashore and/or deposited on coastline
	Waste water treatment (Proportion of wastewater that is treated)
	Location and extent of the habitat impacted directly by the alteration and / or the circulation induced by them footprint of impacting structure.
	Impacts on the circulation caused by the presence of structure
8) To prevent damage to coastal environment, and appropriate restoration if damage already occurred	National/local plans for prevention, mitigation and adaptation in case of natural coastal hazards are in place
	Trends in sediment delivery especially in major deltaic systems
	Extent of area affected by coastal erosion due to sediment supply alteration

	Areal extent of coastal erosion and coastal instability
	Changes in sediment dynamics along the coastline
	Areal extent of sandy areas subject to physical disturbance (beach cleaning by mechanical means, sand mining and beach sand nourishment)
	Risk assessment: economic assets at risk of storm surges and coastal flooding (considering sea level rise scenario's and return periods of storm surges)
	Risk assessment: biological diversity (habitats/species) at risk of storm surges and coastal flooding (considering sea level rise scenario's and return periods of storm surges)
	Risk assessment: Population living in the at risk area of storm surges and coastal flooding (considering sea level rise scenario's and return periods of storm surges)
	Productive and protected areas lost due to siltation, saltwater intrusion
	Sea surface temperature
	Sea Level rise (including SLR relative to land cfr land subsidence)

Annexe C

Statistiques de l'évolution du trait de côte (1958-2013) par transect

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
1	56.0	648320.1	515110.2	648076.7	515167.1	283.2	56	-0.2	-10.0	-0.2
2	57.0	648313.0	515081.4	648066.1	515120.4	279.0	57	-0.2	-8.4	-0.1
3	58.0	648293.8	515036.4	648075.1	515157.6	299.0	58	-0.2	-8.3	-0.2
4	59.0	648274.9	514990.5	648039.6	515075.0	289.8	59	-0.2	-10.4	-0.2
5	60.0	648262.2	514942.5	648020.3	515005.7	284.6	60	-0.1	-5.3	-0.1
6	61.0	648251.8	514894.2	648001.9	514899.8	271.3	61	-0.1	-7.7	-0.1
7	62.0	648251.8	514844.5	648003.5	514873.5	276.7	62	-0.1	-3.2	-0.1
8	63.0	648246.9	514795.1	647997.0	514803.5	271.9	63	-0.1	-3.5	-0.1
9	64.0	648243.8	514745.3	647993.9	514752.2	271.6	64	-0.1	-3.1	0.0
10	65.0	648242.3	514695.4	647994.4	514727.5	277.4	65	0.1	7.0	0.1
11	66.0	648229.2	514647.3	647994.0	514732.2	289.9	66	0.2	13.0	0.1
12	67.0	648209.8	514601.8	648010.4	514752.7	307.1	67	0.2	10.4	0.1
13	68.0	648173.3	514567.7	647988.7	514736.3	312.4	68	0.1	5.7	0.1
14	69.0	648142.1	514528.7	647948.6	514687.0	309.3	69	0.1	5.6	0.1
15	70.0	648107.6	514492.6	647931.9	514670.4	315.3	70	0.1	5.2	0.1
16	71.0	648076.1	514454.1	647877.2	514605.6	307.3	71	0.1	4.8	0.1
17	72.0	648044.2	514415.6	647846.0	514568.0	307.5	72	0.2	8.2	0.1
18	73.0	648009.0	514381.8	647868.9	514588.9	325.9	73	0.1	6.8	0.1
19	74.0	647972.5	514348.6	647780.4	514508.5	309.8	74	0.1	7.8	0.1
20	75.0	647940.6	514310.2	647755.5	514478.2	312.2	75	0.2	8.4	0.1
21	76.0	647905.8	514274.2	647725.9	514447.7	314.0	76	0.1	8.0	0.1
22	77.0	647871.1	514238.2	647691.2	514411.7	314.0	77	0.2	10.9	0.2
23	78.0	647836.4	514202.2	647656.5	514375.7	314.0	78	0.2	11.1	0.2
24	79.0	647801.7	514166.2	647621.8	514339.7	314.0	79	0.1	5.2	0.1
25	80.0	647767.0	514130.2	647587.1	514303.7	314.0	80	0.0	0.7	0.0
26	81.0	647732.3	514094.3	647553.6	514269.1	314.4	81	-0.1	-5.4	-0.1
27	82.0	647697.1	514058.7	647519.1	514234.2	314.6	82	-0.2	-9.4	-0.2
28	83.0	647662.0	514023.1	647484.0	514198.6	314.6	83	-0.3	-14.6	-0.3
29	84.0	647626.9	513987.5	647462.7	514175.9	318.9	84	-0.3	-18.1	-0.4
30	85.0	647586.6	513957.9	647440.8	514161.0	324.3	85	-0.4	-22.6	-0.4
31	86.0	647545.0	513930.5	647392.8	514128.8	322.5	86	-0.5	-26.4	-0.4
32	87.0	647511.1	513894.3	647325.7	514061.9	312.1	87	-0.6	-30.7	-0.5
33	88.0	647475.1	513859.8	647319.6	514055.6	321.5	88	-0.5	-29.1	-0.5
34	89.0	647434.3	513830.8	647289.4	514034.6	324.6	89	-0.5	-29.2	-0.5
35	90.0	647395.0	513800.1	647229.6	513987.6	318.6	90	-0.4	-23.7	-0.4
36	91.0	647357.9	513766.5	647190.1	513951.8	317.8	91	-0.3	-18.1	-0.4
37	92.0	647320.2	513733.7	647164.6	513929.3	321.5	92	-0.3	-18.8	-0.4
38	93.0	647280.4	513703.5	647123.9	513898.5	321.2	93	-0.4	-23.9	-0.4
39	94.0	647244.0	513669.4	647064.1	513842.9	314.0	94	-0.5	-28.6	-0.5

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
40	95.0	647209.5	513633.2	647034.4	513811.6	315.5	95	-0.5	-26.5	-0.5
41	96.0	647170.7	513602.2	647017.9	513800.1	322.3	96	-0.4	-22.8	-0.5
42	97.0	647131.1	513571.9	646976.9	513768.7	321.9	97	-0.4	-23.3	-0.5
43	98.0	647091.6	513542.7	646961.5	513756.2	328.6	98	-0.5	-24.9	-0.5
44	99.0	647050.6	513514.4	646889.5	513705.6	319.9	99	-0.5	-29.3	-0.5
45	100.0	647013.2	513481.2	646853.8	513673.7	320.4	100	-0.5	-26.1	-0.5
46	101.0	646973.1	513451.6	646825.1	513653.0	323.7	101	-0.4	-23.4	-0.5
47	102.0	646936.0	513418.6	646773.9	513608.9	319.6	102	-0.4	-22.3	-0.5
48	103.0	646897.8	513389.3	646750.6	513591.4	323.9	103	-0.4	-19.3	-0.5
49	104.0	646856.4	513361.2	646694.4	513551.6	319.6	104	-0.2	-8.5	-0.4
50	105.0	646823.0	513324.3	646635.2	513489.3	311.3	105	-0.2	-8.6	-0.3
51	106.0	646786.6	513290.6	646645.2	513496.8	325.5	106	-0.2	-10.6	-0.4
52	107.0	646745.1	513263.0	646592.9	513461.3	322.5	107	-0.3	-14.8	-0.4
53	108.0	646704.3	513234.3	646572.2	513446.5	328.1	108	-0.2	-9.1	-0.3
54	109.0	646661.9	513207.7	646528.4	513419.1	327.7	109	-0.1	-3.6	-0.2
55	110.0	646619.6	513181.0	646484.6	513391.4	327.3	110	-0.1	-5.3	-0.3
56	111.0	646578.0	513153.3	646437.4	513360.0	325.8	111	-0.2	-12.3	-0.4
57	112.0	646536.7	513125.2	646396.1	513331.8	325.8	112	-0.3	-13.9	-0.4
58	113.0	646495.4	513097.0	646354.7	513303.7	325.8	113	-0.3	-13.6	-0.4
59	114.0	646454.0	513068.9	646313.4	513275.6	325.8	114	-0.2	-9.2	-0.3
60	115.0	646412.7	513040.8	646272.0	513247.4	325.8	115	-0.2	-10.0	-0.4
61	116.0	646369.9	513015.6	646262.4	513241.3	334.5	116	-0.2	-10.3	-0.3
62	117.0	646326.1	512991.9	646209.1	513212.8	332.1	117	-0.1	-6.3	-0.3
63	118.0	646280.9	512971.1	646154.6	513186.8	329.6	118	0.1	7.4	-0.1
64	119.0	646239.8	512942.7	646102.5	513151.7	326.7	119	0.2	12.7	0.0
65	120.0	646196.4	512918.1	646082.0	513140.4	332.8	120	0.2	9.3	-0.1
66	121.0	646151.9	512895.2	646037.6	513117.5	332.8	121	0.2	8.6	-0.1
67	122.0	646107.7	512871.9	645986.1	513090.3	330.9	122	0.3	17.3	0.1
68	123.0	646064.3	512847.0	645940.0	513063.9	330.2	123	0.4	19.1	0.1
69	124.0	646020.9	512822.2	645896.2	513038.8	330.1	124	0.1	5.5	0.0
70	125.0	645977.8	512796.9	645849.9	513011.7	329.2	125	0.0	2.2	-0.1
71	126.0	645934.7	512771.6	645816.1	512991.6	331.7	126	0.0	1.5	-0.1
72	127.0	645890.0	512749.2	645780.7	512974.0	334.1	127	0.1	5.0	-0.1
73	128.0	645844.6	512728.2	645742.8	512956.6	336.0	128	0.2	12.0	0.0
74	129.0	645798.7	512708.4	645699.1	512937.7	336.5	129	0.2	13.0	0.1
75	130.0	645753.5	512687.1	645641.7	512910.7	333.4	130	0.5	24.8	0.3
76	131.0	645708.8	512664.7	645597.0	512888.3	333.4	131	0.3	18.3	0.2
77	132.0	645664.1	512642.3	645552.3	512866.0	333.4	132	0.3	16.0	0.2
78	133.0	645619.3	512620.0	645507.5	512843.6	333.4	133	0.2	13.0	0.1
79	134.0	645574.4	512598.0	645470.0	512825.2	335.3	134	0.2	12.4	0.1

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
80	135.0	645528.7	512577.8	645427.5	512806.4	336.1	135	0.4	22.4	0.2
81	136.0	645483.0	512557.6	645381.8	512786.2	336.1	136	0.2	10.9	0.0
82	137.0	645437.3	512537.3	645336.1	512765.9	336.1	137	0.2	10.4	0.0
83	138.0	645391.5	512517.1	645291.2	512746.1	336.3	138	0.3	13.5	0.0
84	139.0	645345.6	512497.3	645247.5	512727.3	336.9	139	0.3	14.1	0.1
85	140.0	645299.6	512477.7	645201.5	512707.6	336.9	140	0.4	22.6	0.2
86	141.0	645253.4	512458.7	645165.3	512692.7	339.4	141	0.5	25.3	0.3
87	142.0	645206.3	512441.8	645121.8	512677.1	340.2	142	0.5	25.5	0.3
88	143.0	645159.4	512424.6	645067.4	512657.0	338.4	143	0.3	18.1	0.2
89	144.0	645113.2	512405.4	645017.3	512636.2	337.4	144	0.3	14.4	0.2
90	145.0	645067.1	512386.2	644973.6	512618.1	338.0	145	0.1	6.9	0.1
91	146.0	645020.5	512368.0	644929.2	512600.7	338.6	146	0.2	10.1	0.1
92	147.0	644973.6	512350.7	644896.1	512588.4	341.9	147	0.1	7.4	0.0
93	148.0	644925.8	512335.9	644851.7	512574.7	342.7	148	0.1	7.9	0.0
94	149.0	644878.6	512319.6	644789.6	512553.2	339.2	149	0.0	2.4	-0.2
95	150.0	644831.9	512301.7	644742.4	512535.1	339.0	150	0.0	1.9	-0.3
96	151.0	644785.0	512284.4	644703.3	512520.6	340.9	151	-0.1	-4.8	-0.3
97	152.0	644737.1	512270.4	644676.3	512512.9	345.9	152	-0.2	-9.6	-0.3
98	153.0	644688.7	512257.8	644623.9	512499.3	345.0	153	-0.1	-6.0	-0.3
99	154.0	644640.6	512244.2	644566.2	512482.8	342.7	154	-0.2	-10.8	-0.3
100	155.0	644593.1	512228.6	644513.7	512465.7	341.5	155	-0.3	-15.3	-0.4
101	156.0	644545.7	512212.5	644465.4	512449.3	341.3	156	-0.2	-10.9	-0.3
102	157.0	644497.9	512198.0	644435.0	512439.9	345.4	157	-0.3	-13.8	-0.3
103	158.0	644449.4	512185.9	644388.8	512428.4	346.0	158	-0.4	-20.2	-0.4
104	159.0	644400.9	512173.7	644336.2	512415.2	345.0	159	-0.6	-35.3	-0.7
105	160.0	644353.6	512157.8	644263.2	512390.9	338.8	160	-0.7	-40.3	-0.9
106	161.0	644307.0	512139.8	644237.9	512380.0	344.0	161	-0.7	-38.3	-0.9
107	162.0	644257.9	512130.4	644195.1	512372.4	345.5	162	-0.7	-38.3	-0.9
108	163.0	644210.6	512114.7	644142.4	512355.3	344.2	163	-0.8	-42.2	-0.9
109	164.0	644161.9	512103.1	644101.9	512345.8	346.1	164	-0.9	-47.1	-1.1
110	165.0	644113.7	512090.2	644046.4	512331.0	344.4	165	-1.0	-52.8	-1.2
111	166.0	644065.5	512076.7	643995.4	512316.7	343.7	166	-0.8	-45.1	-1.1
112	167.0	644018.2	512061.1	643966.5	512305.7	348.1	167	-0.8	-43.6	-1.1
113	168.0	643970.8	512048.8	643877.9	512280.9	338.2	168	-1.0	-54.5	-1.3
114	169.0	643923.3	512033.4	643860.3	512275.3	345.4	169	-1.1	-62.4	-1.5
115	170.0	643874.2	512024.6	643839.3	512272.2	352.0	170	-1.3	-69.6	-1.7
116	171.0	643824.7	512017.6	643770.8	512261.7	347.6	171	-1.4	-76.0	-1.9
117	172.0	643776.5	512004.6	643718.7	512247.8	346.6	172	-1.5	-79.6	-1.9
118	173.0	643727.5	511994.7	643682.5	512240.6	349.6	173	-1.6	-89.2	-2.0
119	174.0	643680.7	511978.7	643601.6	512215.9	341.5	174	-1.7	-93.1	-2.1

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
120	175.0	643631.6	511970.6	643569.0	512212.7	345.5	175	-1.6	-88.2	-1.9
121	176.0	643584.1	511955.6	643537.8	512201.2	349.3	176	-1.7	-92.5	-1.9
122	177.0	643534.5	511949.7	643505.1	512198.0	353.3	177	-1.8	####	-2.0
123	178.0	643484.8	511943.8	643449.1	512191.2	351.8	178	-1.9	####	-2.0
124	179.0	643435.7	511934.7	643385.7	512179.6	348.5	179	-1.9	####	-2.0
125	180.0	643387.1	511923.1	643327.1	512165.8	346.1	180	-2.1	####	-2.3
126	181.0	643338.2	511912.9	643302.6	512160.4	351.8	181	-2.2	####	-2.3
127	182.0	643288.8	511906.3	643238.6	512151.2	348.4	182	-2.0	####	-2.2
128	183.0	643240.1	511894.8	643181.3	512137.8	346.4	183	-1.8	-99.9	-2.1
129	184.0	643191.5	511883.7	643162.2	512132.0	353.3	184	-1.8	-99.9	-2.1
130	185.0	643141.5	511882.1	643128.7	512131.8	357.1	185	-1.8	####	-2.1
131	186.0	643092.0	511876.2	643044.4	512121.6	349.0	186	-1.7	-94.2	-1.9
132	187.0	643043.2	511865.2	642986.9	512108.8	347.0	187	-1.6	-89.4	-1.7
133	188.0	642994.7	511853.4	642923.4	512093.0	343.4	188	-1.5	-82.7	-1.6
134	189.0	642947.3	511837.3	642867.2	512074.2	341.3	189	-1.4	-76.7	-1.5
135	190.0	642899.9	511821.3	642821.4	512058.7	341.7	190	-1.4	-76.9	-1.5
136	191.0	642852.4	511805.9	642790.3	512048.1	345.6	191	-1.4	-74.9	-1.4
137	192.0	642803.1	511797.6	642757.6	512043.4	349.5	192	-1.3	-71.7	-1.4
138	193.0	642754.4	511786.6	642696.1	512029.7	346.5	193	-1.1	-58.9	-1.2
139	194.0	642705.8	511774.6	642648.8	512018.0	346.8	194	-1.0	-54.9	-1.1
140	195.0	642657.1	511763.6	642600.0	512007.0	346.8	195	-0.9	-51.8	-1.1
141	196.0	642608.5	511751.6	642548.0	511994.2	346.0	196	-1.0	-55.5	-1.2
142	197.0	642560.0	511739.7	642501.1	511982.7	346.4	197	-1.1	-58.6	-1.2
143	198.0	642510.8	511731.2	642488.0	511980.2	354.8	198	-1.1	-60.8	-1.2
144	199.0	642461.1	511726.4	642419.7	511973.0	350.5	199	-1.1	-61.8	-1.1
145	200.0	642412.4	511715.2	642359.3	511959.5	347.8	200	-0.9	-50.9	-0.9
146	201.0	642363.1	511707.2	642330.4	511955.0	352.5	201	-0.9	-51.6	-1.0
147	202.0	642313.6	511700.3	642274.5	511947.2	351.0	202	-0.9	-49.8	-0.9
148	203.0	642264.6	511690.4	642219.5	511936.3	349.6	203	-0.8	-41.7	-0.9
149	204.0	642215.0	511684.9	642194.3	511934.0	355.3	204	-0.8	-44.1	-0.9
150	205.0	642165.1	511681.4	642148.9	511930.9	356.3	205	-0.7	-39.9	-0.8
151	206.0	642115.2	511678.0	642099.4	511927.5	356.4	206	-0.8	-41.2	-0.8
152	207.0	642065.3	511675.2	642052.1	511924.9	357.0	207	-0.7	-36.2	-0.7
153	208.0	642015.4	511672.4	641994.3	511921.5	355.2	208	-0.6	-30.2	-0.6
154	209.0	641965.7	511667.0	641947.6	511916.3	355.9	209	-0.6	-34.6	-0.6
155	210.0	641915.7	511665.5	641908.3	511915.4	358.3	210	-0.6	-35.2	-0.7
156	211.0	641865.8	511662.8	641847.6	511912.1	355.8	211	-0.4	-21.9	-0.5
157	212.0	641815.9	511659.2	641796.6	511908.4	355.6	212	-0.5	-27.7	-0.6
158	213.0	641766.1	511655.0	641747.7	511904.3	355.8	213	-0.6	-31.6	-0.6
159	214.0	641716.2	511652.0	641706.6	511901.9	357.8	214	-0.6	-32.2	-0.6

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
160	215.0	641666.2	511652.7	641677.9	511902.4	2.7	215	-0.6	-31.6	-0.7
161	216.0	641616.3	511655.0	641626.0	511904.8	2.2	216	-0.6	-32.8	-0.6
162	217.0	641566.3	511655.8	641566.3	511905.8	360.0	217	-0.6	-33.2	-0.5
163	218.0	641516.3	511655.8	641516.3	511905.8	360.0	218	-0.5	-27.6	-0.5
164	219.0	641466.3	511656.0	641471.1	511906.0	1.1	219	-0.4	-19.7	-0.4
165	220.0	641416.3	511657.5	641423.5	511907.4	1.6	220	-0.3	-17.9	-0.4
166	221.0	641366.4	511658.9	641377.7	511908.6	2.6	221	-0.3	-18.7	-0.4
167	222.0	641316.5	511662.0	641332.0	511911.5	3.6	222	-0.4	-22.7	-0.4
168	223.0	641266.6	511665.1	641282.1	511914.6	3.6	223	-0.3	-18.7	-0.4
169	224.0	641216.6	511668.3	641236.1	511917.5	4.5	224	-0.2	-11.6	-0.3
170	225.0	641166.9	511672.9	641189.9	511921.8	5.3	225	-0.2	-10.9	-0.2
171	226.0	641117.0	511676.3	641126.1	511926.1	2.1	226	-0.3	-15.4	-0.2
172	227.0	641067.1	511679.2	641094.8	511927.7	6.4	227	-0.3	-15.9	-0.3
173	228.0	641017.6	511685.9	641050.1	511933.7	7.5	228	-0.4	-21.0	-0.4
174	229.0	640967.9	511691.7	640995.0	511940.3	6.2	229	-0.4	-21.1	-0.4
175	230.0	640918.3	511697.8	640956.9	511944.8	8.9	230	-0.5	-26.8	-0.5
176	231.0	640869.1	511706.5	640913.0	511952.6	10.1	231	-0.5	-26.0	-0.4
177	232.0	640819.9	511715.4	640864.3	511961.4	10.2	232	-0.5	-24.9	-0.5
178	233.0	640770.7	511724.2	640815.6	511970.2	10.4	233	-0.4	-22.2	-0.4
179	234.0	640721.2	511730.8	640759.1	511977.9	8.7	234	-0.3	-17.3	-0.4
180	235.0	640672.6	511739.9	640696.8	511988.7	5.6	235	-0.3	-15.5	-0.4
181	236.0	640622.9	511744.4	640659.3	511991.8	8.4	236	-0.3	-16.4	-0.4
182	237.0	640574.3	511755.5	640638.4	511997.1	14.9	237	-0.4	-19.0	-0.5
183	238.0	640525.3	511765.0	640563.9	512012.0	8.9	238	-0.5	-24.7	-0.6
184	239.0	640476.1	511773.7	640524.1	512019.0	11.1	239	-0.5	-27.6	-0.7
185	240.0	640427.2	511784.2	640484.3	512027.6	13.2	240	-0.5	-26.3	-0.7
186	241.0	640378.6	511796.0	640433.1	512040.0	12.6	241	-0.5	-25.4	-0.7
187	242.0	640329.6	511804.9	640377.3	512050.3	11.0	242	-0.4	-23.8	-0.7
188	243.0	640280.7	511815.8	640338.8	512058.9	13.4	243	-0.5	-28.1	-0.8
189	244.0	640232.5	511828.7	640300.3	512069.4	15.7	244	-0.6	-33.4	-0.8
190	245.0	640184.3	511842.0	640250.5	512083.1	15.4	245	-0.7	-37.1	-0.9
191	246.0	640136.3	511855.9	640200.8	512097.5	15.0	246	-0.5	-28.9	-0.8
192	247.0	640087.4	511866.1	640135.6	512111.4	11.1	247	-0.7	-39.1	-0.9
193	248.0	640038.6	511877.0	640095.8	512120.4	13.2	248	-0.7	-40.9	-0.9
194	249.0	639989.9	511888.5	640047.2	512131.8	13.2	249	-0.8	-46.0	-1.1
195	250.0	639941.2	511900.0	640000.4	512142.9	13.7	250	-0.7	-38.6	-1.0
196	251.0	639892.7	511912.1	639957.1	512153.7	14.9	251	-0.8	-41.0	-1.1
197	252.0	639844.7	511925.9	639914.5	512166.0	16.2	252	-0.6	-34.1	-1.4
198	253.0	639796.7	511939.9	639866.5	512179.9	16.2	253	-0.9	-46.6	-1.5
199	254.0	639748.7	511953.8	639818.5	512193.9	16.2	254	-0.9	-51.6	-1.6

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
200	255.0	639701.3	511969.6	639791.9	512202.7	21.2	255	-0.9	-49.9	-1.6
201	256.0	639655.2	511988.8	639756.1	512217.6	23.8	256	-0.9	-49.4	-1.6
202	257.0	639608.1	512003.8	639678.7	512243.6	16.4	257	-0.9	-49.4	-1.7
203	258.0	639560.6	512018.8	639625.0	512260.3	14.9	258	-1.0	-53.6	-1.8
204	259.0	639513.1	512034.1	639594.7	512270.4	19.1	259	-1.1	-60.2	-1.8
205	260.0	639465.8	512050.4	639552.5	512284.8	20.3	260	-1.2	-66.5	-1.8
206	261.0	639419.5	512069.2	639518.3	512298.9	23.3	261	-1.2	-66.9	-1.7
207	262.0	639373.6	512089.1	639471.4	512319.2	23.0	262	-1.0	-56.0	-1.4
208	263.0	639330.3	512113.2	639478.1	512314.9	36.2	263	-0.9	-49.2	-1.3
209	264.0	639292.2	512145.1	639475.4	512315.3	47.1	264	-0.8	-45.3	-1.1
210	265.0	639257.7	512180.8	639413.3	512376.6	38.5	265	-0.5	-28.1	-0.6
211	266.0	639215.5	512207.1	639321.2	512433.6	25.0	266	-0.7	-37.1	-0.5
212	267.0	639168.4	512223.5	639235.8	512464.3	15.6	267	-0.8	-45.9	-0.6
213	268.0	639119.9	512234.6	639146.7	512483.1	6.2	268	-0.8	-44.9	-0.8
214	269.0	639069.9	512236.5	639073.7	512486.5	0.9	269	-0.9	-49.8	-1.0
215	270.0	639019.9	512235.3	639009.9	512485.1	357.7	270	-1.0	-57.1	-1.3
216	271.0	638970.0	512233.3	638959.8	512483.1	357.7	271	-1.1	-59.4	-1.5
217	272.0	638920.0	512231.3	638916.7	512481.2	359.3	272	-1.1	-62.4	-1.5
218	273.0	638870.5	512235.9	638912.9	512482.2	9.8	273	-1.1	-61.4	-1.5
219	274.0	638821.0	512243.1	638862.4	512489.7	9.5	274	-1.1	-62.0	-1.5
220	275.0	638772.7	512255.4	638833.7	512497.8	14.1	275	-1.0	-57.0	-1.5
221	276.0	638723.6	512264.7	638765.6	512511.2	9.7	276	-0.9	-47.1	-1.4
222	277.0	638674.6	512274.5	638733.4	512517.5	13.6	277	-0.9	-46.7	-1.3
223	278.0	638626.2	512286.9	638688.4	512529.1	14.4	278	-0.8	-43.9	-1.3
224	279.0	638577.8	512299.3	638642.3	512540.9	15.0	279	-0.8	-45.2	-1.3
225	280.0	638529.6	512312.8	638597.2	512553.5	15.7	280	-0.9	-46.9	-1.3
226	281.0	638481.4	512326.1	638543.9	512568.2	14.5	281	-0.7	-39.0	-1.1
227	282.0	638432.8	512338.0	638491.3	512581.0	13.5	282	-0.6	-32.6	-1.0
228	283.0	638384.0	512348.9	638435.7	512593.5	11.9	283	-0.7	-37.1	-1.0
229	284.0	638335.1	512359.2	638386.8	512603.8	11.9	284	-0.6	-35.0	-0.9
230	285.0	638286.5	512370.7	638350.5	512612.3	14.8	285	-0.5	-29.3	-0.7
231	286.0	638238.2	512383.8	638303.7	512625.0	15.2	286	-0.5	-25.2	-0.6
232	287.0	638190.0	512396.9	638259.0	512637.2	16.0	287	-0.4	-21.3	-0.5
233	288.0	638142.3	512412.0	638225.9	512647.6	19.5	288	-0.3	-14.8	-0.5
234	289.0	638095.6	512429.5	638166.9	512669.1	16.6	289	-0.2	-8.9	-0.5
235	290.0	638046.9	512440.6	638100.2	512684.9	12.3	290	-0.1	-5.0	-0.5
236	291.0	637997.8	512449.8	638033.6	512697.2	8.2	291	-0.1	-6.3	-0.5
237	292.0	637949.1	512459.6	638028.1	512696.7	18.4	292	-0.1	-7.7	-0.5
238	293.0	637902.2	512477.0	637990.0	512711.1	20.6	293	-0.2	-11.8	-0.6
239	294.0	637856.9	512497.8	637958.5	512726.2	24.0	294	-0.2	-10.7	-0.5

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
240	295.0	637809.5	512513.3	637869.2	512756.1	13.8	295	-0.2	-10.7	-0.5
241	296.0	637761.3	512524.9	637833.5	512764.2	16.8	296	-0.1	-7.8	-0.5
242	297.0	637718.4	512546.7	637853.7	512756.9	32.8	297	-0.2	-9.5	-0.5
243	298.0	637674.2	512569.6	637778.3	512796.9	24.6	298	-0.2	-8.3	-0.5
244	299.0	637631.0	512594.2	637768.8	512802.9	33.4	299	-0.1	-5.0	-0.5
245	300.0	637587.3	512618.1	637688.9	512846.6	24.0	300	0.0	-0.9	-0.3
246	301.0	637541.2	512637.4	637651.0	512861.9	26.1	301	-0.1	-5.4	-0.4
247	302.0	637495.9	512658.0	637579.2	512893.7	19.5	302	-0.1	-3.6	-0.3
248	303.0	637448.6	512674.3	637544.8	512905.1	22.6	303	-0.1	-5.8	-0.3
249	304.0	637404.2	512697.1	637521.8	512917.7	28.1	304	-0.2	-8.7	-0.4
250	305.0	637359.7	512719.9	637467.4	512945.5	25.5	305	-0.1	-6.7	-0.4
251	306.0	637314.3	512740.9	637419.1	512967.9	24.8	306	-0.2	-10.6	-0.4
252	307.0	637270.1	512764.1	637397.7	512979.1	30.7	307	-0.3	-15.2	-0.4
253	308.0	637227.2	512789.8	637359.1	513002.1	31.9	308	-0.1	-3.5	-0.3
254	309.0	637185.1	512816.7	637319.8	513027.3	32.6	309	-0.3	-15.3	-0.5
255	310.0	637143.4	512844.4	637289.8	513047.0	35.8	310	-0.2	-11.9	-0.4
256	311.0	637103.6	512874.5	637255.5	513073.1	37.4	311	-0.1	-4.9	-0.5
257	312.0	637061.8	512901.3	637161.0	513130.8	23.4	312	0.1	4.1	-0.4
258	313.0	637014.4	512917.1	637077.2	513159.1	14.5	313	0.0	-0.2	-0.4
259	314.0	636965.4	512927.1	637017.4	513171.6	12.0	314	0.0	0.5	-0.4
260	315.0	636916.7	512938.3	636974.6	513181.5	13.4	315	0.0	-0.8	-0.3
261	316.0	636868.1	512950.3	636911.6	513196.4	10.0	316	0.0	-1.6	-0.2
262	317.0	636818.6	512954.0	636854.7	513201.4	8.3	317	0.0	-1.3	-0.2
263	318.0	636770.1	512966.2	636839.0	513206.5	16.0	318	0.0	-0.1	-0.2
264	319.0	636723.3	512981.6	636786.2	513223.5	14.6	319	0.0	1.5	-0.2
265	320.0	636676.3	512996.2	636784.8	513221.4	25.7	320	0.0	0.2	-0.2
266	321.0	636632.9	513020.8	636760.8	513235.6	30.8	321	0.0	-0.4	-0.2
267	322.0	636588.5	513043.7	636695.7	513269.5	25.4	322	0.0	-1.6	-0.2
268	323.0	636544.8	513067.7	636679.7	513278.2	32.7	323	0.0	-1.2	-0.1
269	324.0	636503.4	513095.7	636646.7	513300.5	35.0	324	0.1	4.8	-0.1
270	325.0	636463.0	513125.1	636612.2	513325.6	36.7	325	0.0	-1.0	0.0
271	326.0	636422.9	513154.9	636572.9	513354.9	36.9	326	0.0	-1.9	0.0
272	327.0	636381.5	513182.7	636523.0	513388.8	34.5	327	0.0	1.8	0.0
273	328.0	636347.5	513217.7	636525.5	513393.3	45.4	328	-0.1	-3.9	0.0
274	329.0	636306.9	513246.8	636466.5	513439.3	39.7	329	-0.1	-5.8	0.0
275	330.0	636273.9	513284.1	636474.7	513432.9	53.5	330	-0.1	-5.8	0.0
276	331.0	636241.0	513321.0	636410.7	513504.5	42.8	331	-0.4	-21.5	-0.2
277	332.0	636208.6	513358.5	636406.0	513512.0	52.1	332	-0.4	-22.0	-0.3
278	333.0	636168.8	513382.2	636170.6	513632.2	0.4	333	-0.4	-19.9	-0.4
279	334.0	636120.4	513370.7	636054.0	513611.7	344.6	334	-0.5	-26.2	-0.5

Transect	OBJECTI	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	TransectId	EPR	NSM	LRR
280	335.0	636071.6	513360.2	636036.9	513607.8	352.0	335	-1.3	-73.1	-1.1
281	362.0	635457.9	514024.8	635389.1	514265.2	344.0	362	-0.6	-30.5	-0.5
282	363.0	635408.5	514021.7	635447.5	514268.6	9.0	363	-0.7	-35.6	-0.6
283	364.0	635361.3	514036.8	635458.6	514267.1	22.9	364	-0.8	-42.4	-0.7
284	365.0	635315.8	514057.4	635438.8	514275.0	29.5	365	-0.8	-44.9	-0.8
285	366.0	635274.3	514082.0	635427.5	514279.5	37.8	366	-0.9	-49.8	-0.8
286	367.0	635234.0	514128.8	635379.2	514332.3	35.5	367	-0.9	-49.7	-0.8
287	368.0	635209.3	514153.6	635342.5	514365.2	32.2	368	-0.8	-43.5	-0.7
288	369.0	635168.9	514182.8	635311.7	514388.0	34.8	369	-1.0	-52.1	-0.7
289	370.0	635124.9	514206.3	635248.4	514423.7	29.6	370	-1.1	-57.9	-0.8
290	371.0	635083.8	514234.3	635257.9	514413.6	44.2	371	-0.9	-49.4	-0.7
291	418.0	634294.7	515762.6	634539.6	515812.6	78.5	418	-0.4	-22.7	-0.3
292	419.0	634291.3	515812.2	634541.1	515821.3	87.9	419	-0.4	-19.3	-0.2
293	420.0	634283.1	515860.6	634520.0	515940.3	71.4	420	-0.4	-21.1	-0.2
294	454.0	633959.6	516677.7	634182.7	516790.5	63.2	454	-0.4	-19.7	-0.4
295	455.0	633947.1	516725.1	634196.1	516747.8	84.8	455	-0.4	-19.3	-0.4
296	456.0	633943.7	516774.7	634193.7	516779.7	88.9	456	-0.1	-6.4	-0.2
297	457.0	633947.1	516824.2	634193.9	516783.9	99.3	457	0.1	6.2	0.0
298	458.0	633956.5	516873.3	634203.8	516836.1	98.6	458	0.5	26.0	0.4
299	459.0	633964.6	516922.5	634209.6	516872.4	101.6	459	0.7	39.9	0.6
300	460.0	633975.9	516971.2	634216.5	516903.2	105.8	460	1.0	56.6	0.9
301	461.0	633994.6	517016.8	634196.1	516868.8	126.3	461	1.1	58.6	1.0
302	467.0	634139.9	517180.3	634382.4	517241.1	75.9	467	0.1	2.2	
303	512.0	634517.1	518320.0	634763.1	518275.7	100.2	512	0.8	36.4	

Annexe D

**AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE
DU LOUKKOS
LABORATOIRE D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE
ET BACTERIOLOGIQUE**

Identification du point de prélèvement :

N°IRE : 268/5

Nappe : Neckor

X = 641.550

Y = 509.820

Date de Prélèvement	T°air °C	T° eau °C	PH	Cond µs/cm	R.S mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
10/11/2010	20.9	17.9	7.35	6630	5100	0.85	0	0

TA me/l	TAC me/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TH me/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l
0	1.36	82.96	0	300.9	1418	8.4	79.36	53.95

MO mg/l	CF (/100ml)	CT (/100ml)	SF (/100ml)
3.47	3	10	0

N°IRE : 585/5

Nappe : Neckor

Date de Prélèvement	T°air °C	T° eau °C	PH	Cond µs/cm	R.S mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
10/11/2010	19.9	19.6	7.75	2290	1700	7.46	0	0

TA me/l	TAC me/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ Mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TH me/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l
0.24	0.98	59.78	14.64	238.6	340.32	3.04	33.67	16.52

MO mg/l	CF (/100ml)	CT (/100ml)	SF (/100ml)
3.15	1	5	0

N°IRE : 287/5

Nappe : Neckor

Date de Prélèvement	T°air °C	T° eau °C	PH	Cond µs/cm	R.S mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
10/11/2010	20.8	20.3	7.85	1867	2000	4.88	0	0.02

TA me/l	TAC me/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TH me/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l
0	1.46	89.06	0	232.6	173.7	2.72	30.46	14.58

MO mg/l	CF (/100ml)	CT (/100ml)	SF (/100ml)
2.02	0	0	0

N°IRE : R446/5

Nappe : Neckor

X = 641.570

Y = 511.560

Date de Prélèvement	T°air °C	T° eau °C	PH	Cond µs/cm	R.S mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
10/11/2010	20.9	17.2	7.70	4680	1400	1.87	0	0

TA me/l	TAC me/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ Mg/l	TH me/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l
0	1.38	84.18	0	281.4	815.35	6.12	64.93	34.99

MO Mg/l	CF (/100ml)	CT (/100ml)	SF (/100ml)
3.80	7	20	5

N°IRE : 251/5

Nappe : NeckorX = 638.380

Y = 510.220

Date de Prélèvement	T°air °C	T° eau °C	PH	Cond µs/cm	R.S mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
10/11/2010	21.5	17.2	7.85	2880	2100	10.11	0	0

TA me/l	TAC me/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TH me/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l
0.16	1.02	62.22	9.76	250.54	326.15	4.4	44.09	26.73

MO mg/l	CF (/100ml)	CT (/100ml)	SF (/100ml)
7.03	3	5	5

Calcul de conductivité hydraulique

N°IRE5	X	Y	Z	Epaiss_m	T_m2/s	conduc_m/j
251	638380	510220	15.0	72.2	0.046	55.04709141270
253	640750	510000	14.5	326.0	0.011	2.91533742331
254	646000	509250	21.3	150.0	0.010	5.76000000000
256	646650	505400	74.5	205.3	0.003	1.34671212859
257	644200	502000	84.2	44.5	0.003	5.33932584270
284	643550	506050	48.8	336.6	0.030	7.70053475936
285	643350	502200	85.2	55.2	0.031	48.52173913050
286	644800	501850	87.4	35.3	0.001	1.34617563739
287	646900	509050	33.6	146.9	0.004	2.61729067393
288	644500	509000	22.0	96.2	0.064	57.48024948030
310	640700	510780	8.9	305.0	0.013	3.68262295082
311	642520	507100	39.4	294.0	0.018	5.28979591837
573	643400	506520	45.7	354.4	0.024	5.85101580136
574	643025	505810	58.8	320.4	0.038	10.24719101120
575	642925	505070	58.7	282.2	0.040	12.09355067330
576	642780	504500	65.0	337.6	0.031	7.93364928910
577	642475	503905	69.8	157.0	0.037	20.36178343950
578	642800	502190	87.5	43.0	0.051	102.47441860500
582	647050	502800	153.7	97.3	0.004	3.41870503597
583	647100	506900	71.0	190.4	0.001	0.58991596639
584	647200	509800	48.0	126.0	0.004	2.74285714285
586	645950	512500	3.7	130.0	0.003	1.99384615384

Résumé

Le littoral est un éco-socio-système complexe, fragile et convoité, dont le fonctionnement et l'évolution sont conditionnés par de multiples paramètres naturels et anthropiques qui interagissent à diverses échelles spatio-temporelles. Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) est désormais largement admis comme étant le processus qui permet de régir ces interactions et rétroactions au niveau du littoral. Dans le processus GIZC, l'apport scientifique constitue la pierre angulaire de l'aide à la prise de décision. C'est dans ce contexte que ce travail vise à contribuer à la promotion de la GIZC dans la baie d'Al Hoceima par l'élaboration de connaissances, de produits synthétiques et cartographiques qui sont autant d'outils d'accompagnement et de produits d'aide à la décision.

L'approche adoptée a d'abord consisté en un diagnostic territorial qui a permis de décliner les problématiques les plus saillantes de la zone d'étude, notamment l'expansion urbaine, la vulnérabilité et l'exposition aux risques naturels. Sur la base des enjeux identifiés, nous avons ensuite procédé à l'évaluation de la vulnérabilité du littoral de la baie d'Al Hoceima aux tempêtes et à l'élévation de niveau de la mer (ENM). Les résultats révèlent une forte vulnérabilité physique du trait de côte de l'ordre de 43 %. Quant à la vulnérabilité de la nappe côtière de Rhis-Nekor à l'intrusion saline, environ 21% de la superficie de l'aquifère aurait une vulnérabilité élevée dans le scénario d'une ENM de 0.5m. Enfin, l'analyse rétrospective de l'évolution du rivage (1958-2013) a indiqué une tendance globale à l'érosion sur 60% de la côte étudiée, et l'analyse prospective, par la définition de lignes de retrait (Setback lines) a permis d'évaluer un recul qui pourrait atteindre environ -90m d'ici 2050. L'ensemble des résultats nous a permis de dégager et de renseigner des indicateurs clés, catégorisés en utilisant le modèle DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses). Cela a conduit enfin à proposer un tableau de bord, outil incontesté dans toute démarche de GIZC et de développement durable.

Mots clés :

GIZC, Outils, Changement climatique, Vulnérabilité, Érosion côtière, Lignes de retrait, SIG, Littoral d'Al Hoceima.

Abstract

The coastal zone is a complex, fragile and highly sought-after eco-social system, whose functioning and development are influenced by multiple natural and anthropogenic factors that interact at various spatial and temporal scales. The concept of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) is now widely accepted as the best process to manage the numerous interactions and feedbacks that exist between these different parameters. Scientific input plays a key role to define decision making in the ICZM process. Here we contribute to the ICZM of Al Hoceima Bay by developing specific scientific tools to support decision makers.

The approach was first based on a territorial diagnosis, which aimed to highlight the most problematic issues in the study area, including urban expansion, vulnerability and exposure to natural hazards. We then assessed the vulnerability of the coastal area to storms and Sea level Rise (SLR) and identified 43 % of the coastline as highly vulnerable. We assessed the vulnerability of the Rhis-Nekor coastal aquifer to seawater intrusion, and found that approximately 21% of the aquifer's surface area would have a high vulnerability in the case of a 0.5m SLR scenario. Finally, a historical analysis of the shoreline (1958-2013) identified an erosional trend on 60% of the studied coast. We projected this analysis into the future by quantifying lines of withdrawal (setback lines) and estimated a potential total erosion of up to -90m by 2050. These results allowed us to identify and quantify key indicators, using the DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts, and Responses) framework. We finally synthesized these results with a dashboard, which is the critical assessment tool used to implement ICZM and sustainable development of a region.

Keywords

ICZM, Tools, Climate change, Vulnerability, Coastal erosion, Setback lines, GIS, Al Hoceima coastal zone.