

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT  
EN SCIENCES DE LA MER

**Spécialité : Environnement marin et littoral**  
**Option : Géosciences marines et littorales**

Indice de vulnérabilité et de risque côtier pour  
l'évaluation du risque d'érosion et de submersion dans  
le littoral centre Algérien (cas de la baie de Bou  
Ismail)

Soutenu par : **CHAIB Walid**

**Le : 20/02/2021**

Devant le jury :

Pr BOULAHIDID MOSTEFA	ENSSMAL	Président de jury
Pr GUERFI Mokhtar	USTHB	Encadreur
Pr HEMDANE Yacine	USTHB	Co-encadreur
Pr BELKESSA Rabah	ENSSMAL	Examinateur
Dr MEZOUAR Khoudir	ENSSMAL	Examinateur
Pr ATROUNE Farid	USTHB	Examinateur

Année universitaire : 2020/2021

## Résumé

L'indice de vulnérabilité Côtière (IVC) est la méthode la plus utilisée pour évaluer la vulnérabilité côtière au changement climatique et/ou non climatique, en particulier quant aux risques d'érosion et/ou inondation, (Gornitz., 1991, Ramieri et *al.*, 2011). Cette méthode permet de classer les sections de côte en termes de changement potentiel. Les résultats de cette évaluation sont présentés sous forme de cartes qui permettent d'identifier le niveau de risque par secteur (Gutierrez et al., 2009).

L'IVC original a subi de nombreuses adaptations selon la zone d'étude et les données disponibles sur les divers paramètres contribuant à la vulnérabilité côtière (Hammar-Klose et al., 2003; McLaughlin et Cooper., 2010).

Les versions récentes de l'IVC intègrent la composante socio-économique (population, infrastructure, patrimoine), un aspect jusque-là négligé (Abuodha and Woodroffe., 2006; Mc Laughlin et Cooper., 2010), d'autres études encore plus récentes considèrent la vulnérabilité comme un facteur du risque et tendent vers le calcul de l'Indice de Risque côtier (IRC) (Satta et al 2017). Dans cette étude, nous adoptons la démarche de calcul de l'IVC et de l'IRC suivant la théorie du risque établie par le GIEC au contexte Algérien en ce qui concerne l'érosion côtière et la submersion (la baie de Bou Ismail pour ce cas d'étude), caractérisées par un manque de données, notamment sur les forçages côtiers. Les résultats montrent que la baie de Bou Ismail est vulnérable et exposée dans sa partie Est. Elle est sujette aux aléas d'érosion et de submersion. Le degré du risque y est donc élevé dans près de 70 % de la baie., ces résultats vont guider à l'élaboration de plans de gestion côtière et de catastrophes adéquats.

## **Abstract**

The Coastal Vulnerability Index (CVI) is the most used method to evaluate coastal vulnerability to climate and / or not climate change, especially about the risks of erosion and / or flooding (Gornitz., 1991, Ramieri *et al.*, 2011). This method classifies the coastal sections in terms of potential change. The results of this evaluation are presented in maps that identify the level of risk by sector (Gutierrez *et al.*, 2009) The original CVI has undergone many adaptations as the study area and available data on the various parameters that contribute to coastal vulnerability (Hammar-Klose *et al.*, 2003;McLaughlin and Cooper 2010).

Recent versions of the CVI integrate socio-economic component (population, infrastructure, heritage), an aspect neglected before (Abuodha and Woodroffe., 2006; Mc Laughlin and Cooper 2010), other more recent studies, use vulnerability as a risk factor and tend towards the calculation of the Coastal Risk Index (CRI) (Satta *et al.* 2017). In this study, we adopt the approach of calculating the CVI and the CRI concerning coastal erosion and submersion according to IPCC's theory of risk in Algerian context( Bou Ismail bay for this study) characterized by a lack of data especially on coastal forcing. The results show that Bou Ismail bay is vulnerable and exposed in its Eastern part. It is subject to the hazards of erosion and submersion. The degree of risk is therefore high in nearly 70% of the bay, these results will guide the development of adequate coastal and disaster management plans.

## ملخص

مؤشر الضعف الساحلي هو طريقة تستعمل لتقدير القابلية للتأثر الساحلي من التغير المناخي و/أو دون التغير المناخي، لا سيما فيما يتعلق بمخاطر الحت الساحلي و/أو الفيضانات (غورنيتز وآخرون، 1991، راميري وآخرون، 2011). يتم عرض نتائج هذا التقييم في الخرائط التي تحدد مستوى الخطر حسب القطاع (غوتيريز وآخرون، 2009). خضع مؤشر الضعف الأصلي إلى العديد من التعديلات تبعا لمجال الدراسة والبيانات المتاحة على مختلف المعايير التي تساهم في الضعف الساحلي (هامر كلوز وآخرون، 2003؛ مكلوغلين وكوبر، 2010).

في الدراسات الأخيرة المتعلقة بمؤشر الضعف تم دمج المكون الاجتماعي والاقتصادي (السكان و البنية التحتية والتراث)، و قد كان هذا المكون غير مدمج سابقا (أبودا و وودروف، 2006؛ مكلوغلين و كوبر، 2010) ، في بعض الدراسات الجديدة تم إدماج نظرية في تقييم الخطر، حيث يعتبر الضعف أحد مكونات الخطر و ذلك بحساب مؤشر الخطر الساحلي (ساتا و آخرون 2017). في هذه الدراسة تم وضع مؤشر للضعف و للخطر الساحلي فيما يخص تأكل الساحل و الفيضانات اعتمادا على نظرية الفريق الدولي المعني بتغير المناخ مؤشر الضعف و الخطر الساحلي في السياق الجزائري خليج بوسماعيل في هذه الدراسة) الذي يتميز بنقص في المعطيات خاصة فيما يخص تأثير الظواهر المناخية الساحلية. وأظهر النتائج أن خليج بوسماعيل يعاني ضعفا في جزئه الشرقي و عرضة لمخاطر الحت والفيضانات. وبالتالي فإن درجة الخطر عالية فيما يقرب من 70٪ من الخليج، وبالتالي ستوجه هذه النتائج عملية تطوير خطط مناسبة لإدارة السواحل والكوارث.

**Mots clés** : vulnérabilité, risque, exposition, aléa, Indice de Risque Côtier (IRC), Analyse Hiérarchique des Procédures (AHP), gestion des risques

**Keywords** : vulnerability, risk, exposure, hazard, Coastal Risk Index (CRI), Analytic Hierarchy Process (AHP), risk management

**كلمات مفتاحية** : الضعف، الخطر، التعرض، حادث عشوائي، مؤشر الخطر الساحلي، عملية التحليل الهرمي، إدارة المخاطر

# Dédicaces

*Je dédie ce travail*

*A mes chers parents, pour leur amour et leur soutien tout au long de mes études ;*

*A Ma sœur ;*

*et A toute ma famille;*

*Un dédicace spécial à mon cousin Nassim pour son soutien*

*Et à tous ceux qui m'aiment...*

## Remerciements

Mes remerciements les plus sincères vont à mon directeur de thèse, Monsieur **GUERFI Mokhtar**, Professeur à l'USTHB qui m'a encadré tout au long de cette thèse. Ils vont aussi à mon co-directeur de thèse, Monsieur **HEMDANE Yacine**, Professeur à l'USTHB pour ses encouragements et sa disponibilité permanente.

Je suis très honoré à remercier de la présence à mon jury de thèse et je tiens à remercier : Monsieur **BOULAHIDID**, professeur à l'ENSSMAL, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury. Monsieur **BELKESSA Rabah**, professeur à l'ENSSMAL, pour l'honneur qu'il m'a fait pour sa participation à mon jury de thèse en qualité d'examineur et pour le temps consacré à la lecture de cette thèse, et pour les suggestions et les remarques judicieuses qu'il m'a indiquées. Monsieur **MEZOUAR Khoudir**, professeur à l'ENSSMAL, pour sa participation à mon jury de thèse en qualité d'examineur et pour toutes les remarques intéressantes qu'il m'a faites. Monsieur **ATROUN**, professeur à l'USTHB, d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Je le remercie pour les conseils scientifiques qu'il a apporté en qualité d'examineur. Je tiens à les assurer de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail, pour le temps consacré à sa lecture ainsi que pour les commentaires pointus qui m'ont permis de l'améliorer.

Je tiens aussi à remercier Monsieur **GONZALEZ**, Professeur et Directeur de l'IHC (el Instituto de HidraulicaAmbiantal de Cantabria -Espagne- ), qui m'a accueilli au sein de son laboratoire de l'IHC. Merci aussi à Monsieur **AGUIRRE**, chercheur à l'IHC, dont les thèmes de recherche ont inspiré cette thèse

Je tiens à remercier l'entreprise **BMT ARGOSS** pour les données climatiques de vents et de houle qui m'ont aidé dans les résultats de la modélisation de la propagation de la houle.

Je tiens également à remercier tous les professeurs et les enseignants, le personnel administratif et technique de l'ENSSMAL ainsi que mes amis et collègues.

## Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>20</b>
1 - Problématique.....	21
2 - Evaluation et identification des risques littoraux en Algérie .....	22
3 - Nécessité d’avoir une cartographie fine des risques littoraux .....	23
4 - Positionnement des hypothèses et les différentes orientations de recherche .....	27
Références.....	29
<b>Chapitre 1</b> .....	<b>33</b>
<b>Etat de l’art sur la vulnérabilité et le risque côtier</b> .....	<b>33</b>
<b>1 - Terminologie et définitions</b> .....	<b>33</b>
1.1 - Aléa.....	33
1.2 - Les aléas potentiels en Algérie.....	34
1.2.1 - L’érosion et le submersion marine.....	34
1.2.2 - Elévation du niveau moyen de la mer.....	34
1.2.3 - Les causes de l’érosion côtière.....	37
1.2.4 - Les séismes et les tsunamis .....	39
1.2.5 - Le réchauffement climatique .....	40
1.3 - La vulnérabilité .....	41
1.4 - L’exposition .....	43
1.5 - Les enjeux .....	43
1.6 - La résilience .....	43
1.7 - Le risque .....	44
<b>2 - Etat des connaissances au niveau international</b> .....	<b>44</b>
2.1 - Evolution des concepts .....	45
2.2 - Approche par type d’aléas .....	45
2.3 - Approche par type de risques .....	46
2.4 - L’approche par la vulnérabilité .....	47
<b>3 - Convergence des concepts et apport des experts intergouvernementaux....</b>	<b>48</b>
<b>4 - Les différentes méthodes d’évaluation de la vulnérabilité côtière</b> .....	<b>49</b>
4.1 - L’approche des cyndiniques .....	50
4.2 - La méthode basée sur les systèmes d’informations géographiques.....	50
4.2.1 - DESYCO.....	50
4.2.2 - DITTY-DSS.....	51
4.3 - La méthode basée sur les modèles dynamiques .....	51
4.3.1 - Projet « RACE ».....	51
4.3.2 - Regis.....	52
4.3.3 - SimCLIM.....	52
4.3.4 - Delft3D.....	53
4.3.5 - L’approche DIVA.....	54
4.4 - L’approche basée sur les indicateurs .....	54
4.4.1 - Le projet EuroSION .....	54
4.4.2 - Le projet GIZ .....	55
4.5 - L’approche d’évaluation de l’IVC (indice de vulnérabilité côtière) .....	56
4.5.1 - Indice de vulnérabilité côtière de Gornitz .....	56
4.5.2 - Indice de vulnérabilité côtière pour l’évaluation du niveau de la mer .....	57

4.5.3-	Indice de vulnérabilité composite.....	57
4.5.4	Indice de vulnérabilité multi échelles .....	57
4.6 -	Evaluation du risque côtier .....	59
<b>5 -</b>	<b>Etat des connaissances en Algérie</b> .....	<b>60</b>
5.1 -	Projet APNC .....	65
5.2 -	Pourquoi une cartographie des vulnérabilités et des risques .....	67
	<b>Conclusion du Chapitre I</b> .....	<b>69</b>
	Références du premier chapitre .....	69
	<b>Chapitre II</b> .....	<b>79</b>
	<b>Méthodologie et développement d'un IVC et de l'IRC</b> .....	<b>79</b>
<b>1 -</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>79</b>
<b>2 -</b>	<b>Apport de la réglementation</b> .....	<b>80</b>
2.1 -	La loi littoral .....	80
2.2 -	La loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable .....	86
2.3 -	Etude critique de la loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable .....	87
2.4 -	Améliorer la prise de conscience vis-à-vis des changements climatiques .....	89
<b>3 -</b>	<b>Evaluation du risque côtier</b> .....	<b>91</b>
3.1	Mise en place de l'indice de vulnérabilité côtière .....	91
3.2	Mise en place de l'indice de risque côtier .....	92
3.2.1 -	Le facteur vulnérabilité .....	93
3.2.2 -	Le facteur exposition .....	93
3.2.3 -	Le facteur Aléa .....	93
3.3 -	Apport des indicateurs .....	94
3.4 -	Fiche Technique des indicateurs .....	96
3.4.1 -	Indicateurs de sensibilité.....	96
3.4.1.1-	Altitude.....	96
3.4.1.2-	Type de côte .....	97
3.4.1.3-	Apport sédimentaire terrigène .....	97
3.4.1.4-	Les herbiers à posidonie .....	97
3.4.2 -	Indicateurs de résilience .....	97
3.4.2.1-	Réglementation .....	97
3.4.2.2-	Conscience citoyenne .....	98
3.4.3 -	Indicateurs d'exposition.....	98
3.4.3.1-	Densité de population .....	98
3.4.3.2-	Routes .....	99
3.4.3.3-	Sites historiques .....	99
3.4.3.4-	Usage des terres .....	100
3.4.4 -	Indicateurs d'aléa .....	100
3.4.3.1-	Hauteur des vagues .....	100
3.4.3.2-	L'élévation moyen du niveau de la mer .....	101
3.4.3.3-	Déplacement moyen du trait de côte .....	102
3.4.3.4-	Fréquence des événements extrêmes.....	102
3.5 -	Apport des experts et mise en place du questionnaire .....	103
3.6 -	Méthode AHP .....	103
3.6.1 -	Vulnérabilité.....	106
3.6.2 -	Critères d'exposition.....	106
3.6.3 -	Critères d'aléa .....	107

<b>Conclusion du chapitre II</b> .....	109
Références du deuxième chapitre.....	110
<b>Chapitre III</b> .....	115
<b>Collecte, tri et traitement des données pour le calcul de l'IVC et de l'IRC</b> .....	115
<b>1 - Zone d'étude</b> .....	115
1.1 - Géomorphologie et sédimentologie .....	116
1.2 - Réseau hydrographique .....	118
1.2.1 - Oued Nador .....	118
1.2.2 - Oued Mazafran .....	118
1.2.3 - Oued Beni Messous .....	118
1.3 Climatologie .....	119
1.3.1 - Les vents .....	119
1.3.2 - Les houles .....	119
1.4 Infrastructures portuaires.....	120
<b>2 - Données</b> .....	122
2.1 - Données climatologiques .....	123
2.2 - Données géomorphologiques .....	123
2.3 - Données Démographiques .....	123
2.4 - Données économiques et sociales .....	124
2.5 - Sources des indicateurs .....	124
2.5.1 - Indicateurs de sensibilité .....	124
2.5.1.1- Type de côte .....	124
2.5.1.2- L'altitude .....	124
2.5.1.3- Herbiers à posidonie .....	125
2.5.1.4- Apport sédimentaire terrigène .....	125
2.5.2 - Indicateurs de résilience .....	125
2.5.2.1- Réglementation .....	125
2.5.2.2- Conscience citoyenne .....	125
2.5.3 - Indicateurs d'exposition .....	125
2.5.3.1- Population .....	125
2.5.3.2- Sites historiques .....	125
2.5.3.3- Routes .....	126
2.5.3.4- Usage des terres .....	126
2.5.4 - Indicateurs d'aléa .....	126
2.5.4.1- Evènements extrêmes .....	126
2.5.4.2- L'évolution du trait de côte .....	127
2.5.4.3- L'élévation moyenne du niveau de la mer .....	128
2.5.4.4- La hauteur des vagues .....	129
2.6 - Cartographie et cotation de la vulnérabilité et du risque .....	131
2.7 - Application de la méthode AHP .....	135
<b>Conclusion du chapitre 3</b> .....	136
Références du troisième chapitre .....	137
<b>Chapitre IV</b> .....	141
<b>Formalisation des équations et cartographie du risque</b> .....	141
<b>1 - Indicateurs de vulnérabilité</b> .....	141
1.1 - Sensibilité .....	141
1.1.1 - Altitude .....	141
1.1.2 - Type de côte .....	141

1.1.3 -	Herbiers à posidonie .....	143
1.1.4 -	Apport sédimentaire terrigène .....	143
<b>2 -</b>	<b>Indicateurs de résilience</b> .....	<b>144</b>
2.1 -	Réglementation.....	144
2.2 -	Conscience citoyenne .....	144
<b>3 -</b>	<b>Indicateurs d'exposition</b> .....	<b>146</b>
3.1 -	Population .....	146
3.2 -	Usage des terres .....	146
3.3 -	Sites historiques .....	147
3.4 -	Routes .....	147
<b>4 -</b>	<b>Indicateurs d'aléa</b> .....	<b>149</b>
4.1 -	Evènements extrêmes .....	149
4.2 -	Elévation moyenne du niveau de la mer .....	149
4.3 -	Evolution du trait de côte .....	150
4.4 -	La propagation des vagues .....	152
<b>5 -</b>	<b>Formalisation de l'équation du risque</b> .....	<b>155</b>
5.1 -	Equation d'aléa.....	155
5.2 -	Equation de sensibilité .....	155
5.3 -	Equation de résilience .....	156
5.4 -	Equation de vulnérabilité .....	156
5.5 -	Equation d'exposition .....	156
5.6 -	Equation du risque .....	157
<b>6 -</b>	<b>Cartographie de la sensibilité</b> .....	<b>157</b>
<b>7 -</b>	<b>Cartographie de la résilience</b> .....	<b>157</b>
<b>8 -</b>	<b>Cartographie de la vulnérabilité</b> .....	<b>159</b>
<b>9 -</b>	<b>Cartographie de l'exposition</b> .....	<b>159</b>
<b>10 -</b>	<b>Cartographie d'Aléa</b> .....	<b>159</b>
<b>11 -</b>	<b>Cartographie du risque</b> .....	<b>161</b>
<b>Conclusion du chapitre 4</b> .....		<b>164</b>
Références du quatrième chapitre.....		165
<b>Chapitre V</b> .....		<b>167</b>
<b>La gestion des risques</b> .....		<b>167</b>
<b>1 -</b>	<b>Gestion des risques de catastrophes</b> .....	<b>167</b>
1.1 -	La réduction et la gestion des risques de catastrophe .....	167
1.2 -	Historique .....	168
1.3 -	Le cadre d'action Hyogo .....	169
1.4 -	Les étapes de la gestion de risque de catastrophe .....	170
1.5 -	Gestion post catastrophe .....	171
1.6 -	Politique Algérienne dans la gestion des risques .....	171
1.6.1 -	Complémentarité entre les différentes lois .....	174
1.6.2	Application du cadre d'action 2015-2030 de Sendai dans le contexte Algérien .....	176
1.7 -	Rôle de l'IVC et de l'IRC dans la gestion du risque de catastrophe .....	179
1.8 -	Planification de la gestion des risques de catastrophe .....	181
<b>2 -</b>	<b>La gestion Intégrée des Zones Côtières</b> .....	<b>187</b>

2.1 -	Définition .....	187
2.2 -	Historique .....	188
2.3 -	Le plan de GIZC .....	189
2.4 -	La gestion intégrée des zones côtières en Algérie .....	189
2.5 -	Rôle di SIG et de l'IRC dans la GIZC .....	191
2.6 -	Urbanisation littorale .....	192
2.7 -	Protection côtière .....	193
2.7.1 -	Solutions alternatives .....	195
2.7.1.1-	Les ganivelles.....	195
2.7.1.2-	Les géotextiles .....	195
2.7.1.3-	Le rechargement artificiel des plages .....	196
2.7.1.4-	Les récifs artificiels .....	196
2.7.2 -	Evolution des méthodes de protection côtière .....	197
2.7.3 -	Cas de la baie de Bou Ismail.....	198
	<b>Conclusion du chapitre 5</b> .....	199
	Références du cinquième chapitre .....	201
	<b>Conclusion Générale</b> .....	208
	Références de la conclusion .....	211
	<b>Perspectives</b> .....	213
	Références du chapitre perspectives .....	217

## *Citations*

*" Celui qui attend que tout danger soit écarté pour mettre les voiles ne prendra jamais la mer"*

*Thomas Fuller*

*" Deviens celui que tu es. Fais ce que toi seul peux faire. Soit le maître et le sculpteur de toi même"*

*Friedrich Nietzsche*

## Liste des abréviations

<b>ADEME</b>	: Agence De l'Environnement et de la Maitrise Ecologique (France)
<b>AHP</b>	: Analyse Hiérarchique des Procédures
<b>ANDT</b>	: Agence Nationale de Développement du Tourisme
<b>APNC</b>	: Appui au Plan National Climat
<b>AR</b>	: AssesementRepport
<b>BRGM</b>	: <i>Bureau de Recherches Géologiques et Minières(France)</i>
<b>CNIG</b>	: Conseil National de l'Information Géographique
<b>CNL</b>	: Commissariat National du Littoral
<b>CRAAG</b>	: Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique
<b>DIVA</b>	: Dynamic Interactive Vulnerability Assesment model
<b>DGPC</b>	: Direction Générale de la Protection Civile
<b>EC</b>	: European communities
<b>EPA</b>	: Etablissement Public Administratif
<b>EPIC</b>	: Etablissement Public Industriel et Commercial
<b>ETC-CCA</b>	: European Topic Centre on Climate Change impacts, vulnerability and Adaptation.
<b>FAO</b>	: <u>Food and Agriculture Organization</u> (ONU)
<b>GIEC</b>	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat ( <b>IPCC</b> en anglais Intergovernmental Panel on Climate Change) (OMM)
<b>GIZ</b>	: Gesellschaftfür Internationale Zusammenarbeit- agence de coopération internationale allemande pour le développement
<b>GIZC</b>	: Gestion Intégrée des Zones Côtières
<b>GISS</b>	: Goddard Institute for Space Studies
<b>ICZM</b>	: IntegratedCoastal Zone Management
<b>INCT</b>	: Institut National de Cartographie et de Télédetection
<b>INDG</b>	: Infrastructure Nationale des Données Géospaciales
<b>IRC</b>	: Indice de Risque Côtier
<b>IVC</b>	: Indice de Vulnérabilité Côtière
<b>MATE</b>	: Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
<b>MNT</b>	: Modèle Numérique du Terrain
<b>MREE</b>	: Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration (USA)
<b>NGA</b>	: Nivellement Général de l'Algérie

<b>PAC</b>	: Plan d'Aménagement Côtier
<b>PAT</b>	: Plan d'Action Territoriale
<b>PNC</b>	: Plan National du Climat
<b>PNUE</b>	: Programme des Nations unies pour l'environnement(ONU)
<b>PGPRM</b>	: Plan Général de Prévention de Risque Majeur
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitation
<b>SIPC</b>	: Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes
<b>SNAT</b>	: Schéma National de l'Aménagement du Territoire
<b>SWAN</b>	: Simulating WAvesNearshore
<b>TU Delft</b>	: Technology University Delft -Pays Bas-
<b>UN</b>	:United Nations
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey (USA)

## Liste des Figures

- Figure 1** : Les facteurs perturbants du littoral (Paskoff.,1992).
- Figure2** : Station marégraphique d'Oran, les composants d'un marégraphe source : inct.mdn.dz.
- Figure3** : Plan de rattachement du marégraphe de du port d'Alger (source : arrêté du 10 mai 2016 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national).
- Figure4** : Causes de l'érosion côtière
- Figure5** : Différents niveaux d'observation du site d'études
- Figure6** : Zones sismiques en Algérie (source :<https://www.craag.dz/>)
- Figure7** : Image : Retrait temporaire de la mer et retour après environ deux minutes (Djeddi., 2003).
- Figure8** : Approche de la vulnérabilité d'après le GIEC entre AR4 et AR5 (GIZ et al., 2015)
- Figure9** : Définition du risque (IPCC 2014)
- Figure 10** : Schéma de la vulnérabilité (Meur-Ferec., 2006)
- Figure 11** : les différentes approches d'évaluation (Ramieri et al., 2011)
- Figure 12** : Structure du programme d'évaluation de la vulnérabilité côtière (MREE et al., 2015)
- Figure13** : Les fonctions éventuelles de la couche littorales de la plate forme INDG source : (CNIG., 2018)
- Figure14** : Les impacts du changement climatique le système national d'Information environnemental (APNC et MREE.,2018)
- Figure 15** : Schéma du cadre de transfert des connaissances pour la réalisation d'analyse suivant le cadre AR5 et la méthode sourcebook de la GIZ (GIZ et al., 2015)
- Figure16** : Arbre des contraintes du risque d'érosion basée sur la théorie du risque (IPCC., 2014) modifié
- Figure17** : Méthodologie de calcul et de gestion du risque (Gonzalez et al.,2014)
- Figure18** : Schéma de la mise en place des couches thématiques du risque côtier dans un SIG
- Figure 19** : Organigramme de l'indice de risque côtier spécifique aux côtes Algériennes
- Figure 20** : Carte de l'élévation du niveau de la mer entre 1992 et 2006 (source: <http://www.legos.obs-mip.fr> )
- Figure 21** : Processus du traitement AHP dans l'évaluation de la vulnérabilité côtière
- Figure 22** : Localisation géographique de la baie de Bou Ismail (Chaib W et al., 2020)
- Figure23** : Brise lames en forme de T de Bou Ismail
- Figure 24**: Bathymétrie de la baie de BouIsmail (GMRT., 2018)

- Figure25** : Port de'El Djamilia Photo prise le 26/04/2019
- Figure26** : Submersion du port d'El Djamilia (Hemdane et Benslama., 2016 )
- Figure27** : Port de Sidi Fredj Photo prise le 26/04/2019
- Figure28** : Port de Bouharoun Photo prise le 26/04/2019
- Figure29** : Port de Khemisti - Photo prise le 26/05/2019
- Figure30** : Port de Tipaza - Photo prise le 26/05/2019
- Figure31** : Procédure modifiée d'obtention de l'indice de risque côtier (Duriyapong et Nakhapakorn., 2011 ; Satta et al., 2017)
- Figure32**: Carte des routes dans la baie de Bou Ismail basée sur les données OpenStreetMap(<https://www.openstreetmap.org>)
- Figure33** : Création de la zone tampon sur ArcGis (Ain Tagourait)
- Figure34** : Base de données SIG pour le calcul de l'évolution du trait de côte
- Figure35** : Découpage de la zone d'étude en cellules de (25x25) mètres carrés
- Figure36** : Zonage selon la loi relative à la protection et à la valorisation du littoral
- Figure37** : Attribution des scores de vulnérabilité côtière
- Figure38** : Mise en place des résultats de Comparaison des indicateurs dans la matrice AHP de l'outil easy AHP
- Figure39** : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Altitude b) Type de côte
- Figure 40** : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie d'El Djamilia  
a) Altitude b) Type de côte
- Figure 41** : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Herbiers à Posidonie b) Apport sédimentaire terrigène
- Figure42** : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie d'El Djamilia  
a) Herbeirs à Posidonie b) Apport sédimentaire terrigène
- Figure43** : Cartographie des indicateurs de résilience au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Reglementation b) Consience citoyenne
- Figure44** : Cartographie des indicateurs de résilience au niveau de la baie d'El Djamilia a)  
Reglementation b) Consience citoyenne
- Figure45** : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Population b) Usage des terres
- Figure46** : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie d'El Djamilia a)  
Population b) Usage des terres
- Figure47** : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie de Bou Ismail a)  
Routes b) Sites historiques
- Figure 48** : Cartographie des indicateurs d'expoition au niveau de la baie d'El Djamilia a)  
Routes b) Sites historiques

- Figure 49** : Cartographie des indicateurs d'aléa au niveau de la baie de Bou Ismail a) Evénements extrêmes b) Elévation moyenne du niveau de la mer
- Figure 50** : Cartographie des indicateurs d'aléa au niveau de la baie d'El Djamila a) Evénements extrêmes b) Elévation moyenne du niveau de la mer
- Figure 51** : Cartographie de l'évolution du trait de côte de 2002 et 2017
- Figure52** : Cartographie de la propagation de la houle du secteur Nord Ouest
- Figure53** : Cartographie de la propagation de la houle de secteur Nord
- Figure 54** : Cartographie des indicateurs d'aléa dans la baie de Bou Ismail a) Evolution du trait de côte b) Hauteur des houles à l'approche du rivage
- Figure55** : Cartographie des indicateurs d'aléa dans la baie d'El Djamila a) Evolution du trait de côte b) Hauteur des houles à l'approche du rivage
- Figure56** : Cartographie des facteurs de vulnérabilité dans la baie de Bou Ismail a) Sensibilité b) Résilience
- Figure57** : Cartographie des facteurs de vulnérabilité dans la baie d'El Djamila a) Sensibilité b) Résilience
- Figure58** : Cartographie des facteurs de risque dans la baie de Bou Ismail a) Vulnérabilité b) Exposition c) Aléa
- Figure 59** : Cartographie des facteurs de risque dans la baie d'El Djamila a) Vulnérabilité b) Exposition c) Aléa
- Figure 60** : Cartographie du risque côtier dans la baie de Bou Ismail
- Figure 61** : Cartographie du risque côtier dans la baie d'El Djamila
- Figure62** : Cartographie des points chauds de la baie de Bou Ismail
- Figure63** : Schéma de gestion des risque de tsunamis au Salvador (Gonzalez-Riancho., et al 2014)
- Figure64** :Intégration du cadre juridique relatif aux risques dans les plans d'urbanisme (SNAT 2015 disponible sur <http://www.interieur.gov.dz/images/brochure-SNAT-FR-compressed.pdf>).
- Figure65** :Logique de Gestion de risque de catastrophes (FAO.,2008)
- Figure66** : Schéma de plan de gestion de risque de catastrophe pour les risques côtiers en Algérie basé sur le calcul du risque côtier
- Figure67** : Schéma hiérarchique du plan de gestion des risques de catastrophes pour les risques côtiers en Algérie
- Figure68** : Démarche intégrée participative de la GIZC (Larid M., 2013)
- Figure 69** : Urbanisation littorale à Fouka à moins de 100 mètres de la ligne de rivage
- Figure 70** : Ouvrages de protection à Bou Ismail
- Figure 71** : Installation de ganivelles(source : B Monginoux, [www.photo-paysage.com](http://www.photo-paysage.com))
- Figure72** : Epi en géotextile (source:<http://www.novintiss.com/fr/geotextile-anti-erosion.html>)
- Figure 73** : Récif de production (Froehlich et Kline., 2015)

**Figure74** : Protection littorale au niveau de la baie de Bou Ismail

**Figure75** : Approche de l'algorithme de l'adaptation aux changements climatiques en 6 étapes (Ching-Pin Tunget al.,2019)

**Figure 76** : Exemple de durabilité de la zone côtière du lac de Réghaia (Larid M., 2008).

**Figure 77** : Répartition des réponses à la question relative aux exercices d'évacuation

## Liste des tableaux

- Tableau 1** : Système de référence altimétrique (source : arrêté du 10 mai 2016 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national).
- Tableau 2** : Les indicateurs utilisés dans le projet PAC d'Alger(MATE et al., 2006)
- Tableau 3** : Questionnaire relatif aux critères de vulnérabilité
- Tableau 4** : Questionnaire relatif aux critères d'exposition
- Tableau 5** : Questionnaire relatif aux critères d'aléa
- Tableau 6** : Infrastructures portuaires dans la baie de Bou Ismail
- Tableau 7** : Coordonnées géographiques des points de la baie de Bou Ismail utilisées dans l'évaluation de la propagation des houles
- Tableau 8** : Attribution des scores de vulnérabilité(Chaib et al., 2020) d'après Gornitz (1991) ; McLaughlin et Cooper (2010 )
- Tableau 9** : Attribution des scores des indicateurs d'exposition (Gornitz.,1991; Mc Laughlin et Cooper., 2010)
- Tableau 10** : Attribution des scores des indicateurs d'aléa (Gornitz.,1991;Thieler et HammarKlose., 1999; Mc Laughlin et Cooper., 2010; Satta et al., 2015)
- Tableau 11** : Les différents sinistres enregistrés depuis 1931
- Tableau 12** : Evolution des populations des Wilayas littorales (ONS., 2011)

## Liste des équations

- (1) L'équation du risque (**IPCC., 2014**)
- (2) Equation de l'approche par type de risque
- (3) Indice de vulnérabilité de **Gornitz(1991)**
- (4) Sous indice de caractérisation (**McLaughlin et Cooper., 2010**)
- (5) Sous Indice de forçage côtier (**McLaughlin et Cooper., 2010**)
- (6) Sous Indice socio-économique (**Mc Laughlin et Cooper., 2010**)
- (7) Equation de l'indice de vulnérabilité multi-échelle (**Mc Laughlin et Cooper., 2010**)
- (8) Equation de sensibilité Equation de conservation de l'énergie de la houle (**Hasselmann et al., 1973**)
- (9) Equation d'aléa
- (10) Equation de sensibilité
- (11) Equation de résilience
- (12) Equation de vulnérabilité
- (13) Equation d'exposition
- (14) Equation du risque côtier

# **INTRODUCTION**

# Introduction

---

## 1 - Problématique

Les zones côtières sont des zones de contact entre la terre et la mer, elles constituent un environnement particulier et un lieu propice aux établissements humains et aux activités économiques (**Costanza., 1999**), elles sont définies selon le protocole relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée 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" (**UNEP, MAP, PAP/RAC., 2008**). Ces zones peuvent être vulnérables aux effets des aléas naturels (**Weissenberger et al., 2016**), voir même destructeurs en ce 21<sup>ème</sup> siècle qui est une ère de changement climatique (**Guo ., 2010 ; Banholzer et al., 2014**).

Les catastrophes naturelles représentent des évènements dont l'humanité fait face depuis son commencement. Cependant, depuis quelques centaines d'années les hommes eurent recours à des directives de prévention et de protection vu l'explosion démographique et les enjeux économique qui doivent être préservés (**Le treut., 2010**). L'une des catastrophes ayant provoqué beaucoup de dommages et ayant fait parlés les médias fut la tempête de Xynthia qui a frappé en 2010 les côtes nord françaises, belges et allemandes et a suscité une réflexion sur la responsabilité des pouvoirs publics sur la gestion des catastrophes naturelles (**Krien., 2014**). D'autres catastrophes ont causé de grandes pertes humaines et matérielles tel que le tsunami de Sumatra -Indonésie- causé par un séisme de magnitude entre 9.1 et 9.3 (**Kanamori et Eeri., 2006**). Les risques côtiers se développent d'une manière effrayante par l'accroissement de l'intervention humaine et surtout l'urbanisation intense et anarchique des territoires littoraux. La population qui a pris ces zones pour implanter des demeures de fortune ne tarde pas à se rendre compte des risques répétitifs (chaque hiver) qui les plongent dans une précarité aggravée par l'érosion et la submersion marine. Cette situation est possible à cartographier. Il suffit d'appliquer l'image récente de la zone d'étude sur les sections cadastrales et en extraire toutes les parties non conformes à la réglementation en vigueur régissant le droit de propriété et le droit d'urbanisme en général. On distingue surtout celles construites sur le domaine public maritime représenté par la partie terrestre du littoral.

Le domaine public maritime est délimité côté terre par la limite du rivage atteinte par les flots à leur plus haut niveau de l'année, dans les conditions météorologiques normales (Article 8 du décret exécutif n°12-427 du 16 décembre 2012 fixant les conditions et modalités d'administration et de gestion des biens du domaine public et du domaine privé de l'Etat).

C'est pour ces raisons que les scientifiques et les pouvoirs publics, chacun en ce qui le concerne, ne cessent de concevoir et de repenser la problématique de gestion des risques qui va au-delà des mesures de protection. En effet, il ne s'agit plus d'arrêter ou de réduire les dégâts en cas de catastrophe mais d'agir sur la vulnérabilité des biens et des personnes face aux aléas éventuels. Cette manière de voir les choses vise à réduire l'exposition de l'ensemble des enjeux économiques et sociétaux en cas de risque

C'est dans cette optique que s'inscrit ce travail de recherche concernant une démarche prospective qui vise à mettre entre les mains des décideurs locaux (présidents d'APC), régionaux (chefs de Daïras, les walis, les directeurs des services déconcentrés), nationaux (ministères), en plus des outils déjà existants, un outil cartographique leur permettant d'avoir une visibilité aussi large que possible sur la problématique de vulnérabilité et des risques côtiers.

Le phénomène comportemental de la population de se concentrer sur le littoral s'explique, en majeure partie, par la méconnaissance du risque, la pauvreté et le rapprochement des grandes agglomérations côtière à la recherche d'opportunités de travail.

## **2 - Evaluation et identification des risques littoraux en Algérie**

Faire une projection locale raisonnable sur les cinquante ans à venir mérite un inventaire le plus proche de la réalité du terrain de tous les phénomènes enregistrés conformément à un référentiel temporel représentatif qui permettra d'avoir une visibilité et d'en assurer des estimations statistiques crédibles. Les agglomérations littorales très denses sont essentiellement vulnérables à divers aléas tels que l'érosion, les glissements de terrain, les inondations provoquées par les submersions marines et les effondrements de falaises (Voir Tableau Annexe I).

Le GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) (**IPCC., 2007**) prévoit une montée du niveau de la mer et un dérèglement climatique qui se traduit par des phénomènes météorologiques extrêmes dus à l'augmentation des gaz à effet de serre. En

Algérie, aucune étude n'a confirmé la tendance de ces changements malgré la montée spectaculaire des températures et les pluies ravageuses observées.

### 3 - Nécessité d'avoir une cartographie fine des risques littoraux

L'évaluation de la vulnérabilité et du risque passe inexorablement par une étude des aléas encourus qu'il faut absolument identifier et procéder en suite à un classement hiérarchisé selon le degré de son influence sur l'estimation de la vulnérabilité. La mise en place de l'étude des risques d'érosion et de submersion comme outil d'aide à la décision est très importante dans ce contexte de changements climatiques dans la planification spatiale maritime (**Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/ PAM., 2015**).

Dans un premier temps, on procède à étude historique sur les différents risques littoraux qui ont vraiment marqués la population. Dans ce genre d'approche souvent approximative nécessite un confortement scientifique généralement lié aux œuvres d'historiens ou même parfois d'écrivains. L'histoire d'événements classés catastrophes naturelles restent liés aux :

- Séismes avec des périodes de retour importantes (200 à 400 ans)
- inondations avec une connotation anthropique ;
- événements climatiques extrêmes.

Le risque de Tsunami pour ne citer que ce risque est envisageable dans le littoral algérien en cas de séisme (**Hemdane et Benslama., 2016**) sachant que le littoral Algérien est classé fortement sismique dans sa partie centre (selon les normes parasismiques de 1999) (**Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, 2003**), le dernier tsunami observé fut celui de Zemmouri (Boumerdès) généré par le séisme de Mai 2003 (**Alasset et al., 2006**). En plus de l'enjeu de la population, certains hôtels sont proches du rivage (Hôtel Riadh Sidi Fredj Alger, complexes touristique de Tipaza) de plus, les sites historiques se trouvent eux aussi exposés à ce risque en effet des sites tel que le Bastion 23 (Casbah Alger) qui a été classé site UNESCO depuis 1992, les ruines romaines de Tipaza classées aussi site UNESCO depuis 1982 en plus du château la vigie (Rais Hamidou Alger) et le fort Tamentfoust (El Marsa Alger) qui risquent d'être détruits en cas de fortes tempêtes ou de tsunami, et ce à cause de leur proximité de la mer.

Ces sites constituent un héritage historique et culturel qui se doit d'être protégé. La résilience a toujours existé en tant qu'action individuelle ou collective. Mais, la population gagnerait en efficacité si, l'opération s'inscrit dans un cadre organisationnel en s'appuyant sur la connaissance et la maîtrise des équilibres entre les divers enjeux dans l'espace littoral. Ceci conduira à l'élaboration de plans de gestion de risques de catastrophes et de

## Introduction

---

Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) adaptés et cohérents par rapport aux risques littoraux et la préservation des enjeux socio-économique de la zone côtière.

Les hommes politiques et la communauté scientifique algérienne, à travers les différentes conférences de l'ONU sur les changements climatiques, prennent conscience, à l'instar de la majorité des pays du monde, de l'influence, de plus en plus perceptible, du changement climatique qui se traduit en ce qui nous concerne par des perturbations et un dérèglement hydrique et météorologique sur les zones à risques.

Cette prise de conscience des vulnérabilités s'est traduite par la mise en place de projets structurants débouchant à terme sur des politiques et des schémas de protection adaptés. En Algérie, cette problématique a été débattue lors du séminaire qui s'est tenu à Alger en juin 2016 portant sur la recherche de solution contre les glissements de terrain et l'érosion, qui font parties des risques littoraux dans la mesure où, ils affectent les biens et les personnes. L'ampleur du phénomène et l'intensification de l'urbanisation interpelle les pouvoirs publics pour y remédier.

Le GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) a introduit des prévisions sur le climat. Il s'intéresse aussi à la vision théorique de la vulnérabilité face aux changements climatiques (**IPCC, 2014**), afin de connaître l'impact et le risque pouvant se produire suite au réchauffement climatique ainsi que les dispositions qui doivent être prises afin de diminuer et lutter contre les risques encourus (élévation du niveau de la mer, submersion marine...etc.).

Par ailleurs, les aménagistes sont amenés à concevoir des projets tout en intégrant la nécessité d'assurer des écoulements et un drainage adéquat et d'interdire la construction des grandes infrastructures et des établissements publics sur des sols non appropriés. Les infiltrations des eaux, les terrassements anarchiques et la qualité des sols sont parmi les causes qui sont à l'origine des glissements de terrain. Les moyens d'intervention et de réparation sont complexes et coûteux. D'où, la nécessité d'entreprendre d'ores et déjà des études pour en cartographier les zones en question.

L'Algérie est le plus grand pays de la méditerranée en terme de superficie avec un littoral qui s'étend sur un linéaire côtier de près de 1600 Km. Il se distingue par des paysages très diversifiés et très riches (plages, falaise, massifs forestiers, parcs naturels...etc.). Néanmoins, de Marsat-Ben-M'hidi à l'ouest jusqu'au cap roux à l'est, l'environnement côtier de l'Algérie a subi de grandes perturbations telles que l'intensification de la

pollution, l'érosion côtière, la dégradation des sites, l'extension du bâti au détriment du foncier agricole et l'étouffement du rivage marin (ONS, 2011).

Aussi, La croissance démographique en Algérie ne cesse de croître et particulièrement sur la mince partie terrestre du littoral qui totalise, en termes de superficie, un peu plus de 1300 km<sup>2</sup>, ce qui a entraîné une augmentation de l'urbanisation sur les bandes côtières considérées dans certains endroits, à juste titre d'ailleurs, comme zones à risques.

En effet, les wilayas du littoral sont caractérisées par un très fort indice de concentration de la population. L'existence des terres agricoles, des infrastructures de transport et de communication, ainsi que toutes les commodités nécessaires à l'activité industrielle ne font qu'accroître cette concentration de la population sur la bande littorale.

Les résultats issus des recensements de population ( les RGPH, 1998 et 2008) ainsi que les projections de populations effectuées par l'ONS montrent la tendance à la hausse aussi bien de la population totale du pays que de la population du littoral (ONS, 2011).

De par sa position géographique, hautement importante, le littoral algérien constitue un lieu de concentration des populations et des activités industrielles et agricoles. Cette concentration longeant la zone côtière s'explique par le fait que, le nord de l'Algérie est caractérisé par une bande de 100 km de profondeur hautement fertile limitée par la mer méditerranée au nord et un vaste désert aride au sud.

Le tableau nous renseigne sur la concentration de la population sur la zone littorale qui est source de vulnérabilité avérée, pour laquelle, un effort de redistribution spatiale s'avère nécessaire si, on veut vraiment réduire la vulnérabilité.

En effet, la population des quatorze wilayas du littoral passe de 10,2 Millions en 1987 à 12,6 Millions puis à 14,5 Millions respectivement en 1998 et 2008 (ONS., 2011) (Voir annexe II). En termes de structure, nous constatons un léger rééquilibrage en faveur des wilayas de l'intérieur du pays.

En effet, en 2008 la population des wilayas du littoral ne représente plus que 39,58 % de la population totale, alors qu'elle représentait près de 41,64% en 1987. Les projections de population réalisées par l'ONS montrent qu'en termes de structure cette tendance à la baisse continuera pour atteindre 38,3% en 2020 (ONS, 2011). Celle ci est de nature à réduire la vulnérabilité sociale en zones littorales.

L'indice de vulnérabilité côtière et du risque côtier constitue un outil de grande importance pour l'évaluation du degré du risque d'érosion et de submersion dans les zones littorales en raison de la simplicité de leur interprétation par les décideurs (la représentation des résultats se fait sous forme de cartes des zones les plus à risques). La réalisation de cet

indice s'effectue grâce à des indicateurs relatifs aux vulnérabilités physiques et naturelles (**Gornitz., 1991 ; Cogswell et al., 2018; Koroglu et al., 2019**) ainsi qu'aux vulnérabilités socio-économiques (**Mc Laughlin et Cooper., 2010; Balica et al., 2012; Mussi et al., 2018**).

Le modèle d'indice à mettre en place peut différer selon le contexte et le type de risque que subit la zone littorale. Cependant, ce qui est admis, depuis presque une décennie, est la considération du facteur humain et socio-économique dans le calcul du risque côtier que l'on soit dans une logique de calcul de vulnérabilité côtière ou de risque côtier (**Mc Laughlin et Cooper., 2010; Satta et al., 2015; Djouder et Boutiba., 2017; Rabehi et al., 2018**).

Ces deux notions ont souvent été superposées vu l'utilisation de l'indice de vulnérabilité côtière depuis les années 90. Par ailleurs, il est important de souligner l'effort du GIEC pour la standardisation des concepts dans le cinquième rapport paru en 2014 (**IPCC., 2014**). Ceci a donné naissance à des approches d'évaluation de risque côtier en considérant la vulnérabilité en sa définition de susceptibilité de subir les dommages comme un des facteurs du risque côtier au même titre que l'exposition et l'aléa (**IPCC, 2014; Satta et al., 2017; Calil et al., 2017**). Et c'est suivant cette approche que l'indice de risque côtier, appliqué à ce travail, sera établi dans le contexte Algérien et spécialement pour la baie de Bou Ismail.

Les études sur la vulnérabilité et le risque côtier en Algérie sont encore insuffisantes. On cite à titre d'exemple, l'étude sur la vulnérabilité côtière par rapport à l'élévation du niveau de la mer sur le golfe de Béjaia (**Djouder et Boutiba., 2017**) montre que la baie de Béjaia est vulnérable sur certaines zones notamment au côté Ouest aux environs de Oued Soummam ainsi qu'a Aokas et Tichy au centre de la baie (**Djouder et Boutiba., 2017**), elle a été réalisée suivant l'indice de vulnérabilité côtière établi par **McLaughlin et Cooper (2010)** incluant les facteurs socio-économiques (**McLaughlin et Cooper., 2010**).

Par ailleurs, l'étude sur la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger (**Rabehi et al., 2018**) a été réalisée suivant la même théorie mais à une échelle communale, cette étude a montré que les communes d'Hussein Dey, El mohammadia, Bordj el Kiffane sont les plus vulnérables (**Rabehi et al., 2018**).

Ces deux études présentent des résultats intéressants qui méritent d'être confortés par d'autres études actualisées suivant les théories et méthodes récentes intégrant d'autres indicateurs de risque relatifs au contexte Algérien, débouchant à court terme, à la mise en place d'une cartographie globale de la vulnérabilité et de risque côtier à l'échelle nationale.

La baie de Bou Ismail est la zone d'étude dans cette thèse. on a réalisé cet indice de vulnérabilité et de risque côtier spécifique pour cette zone , cette zone du littoral centre est

connu pour sa forte densité de population et ses activités socio-économiques notamment dans sa partie Est qui fait partie de la capitale, ce qui fait que cette zone pourra subir des conséquences désastreuses en cas d'aléa d'érosion et de submersion.

L'Indice réalisé regroupe plusieurs indicateurs de risque et ont été liés dans une équation de risque par l'apport de la méthode statistique AHP (Analyse Hiérarchique des Procédures) (Saaty., 1980), le résultat final a été généré sous forme de carte des indicateurs et une carte globale du risque côtier.

### **4 - Positionnement des hypothèses et les différentes orientations de recherche**

Pour la suite la problématique d'évaluation des degrés de vulnérabilités ainsi que l'impact des risques d'érosion et de submersion marine pour une meilleure gestion des risques et des zones côtières Algériennes, on sera conduit dans cette recherche avec l'hypothèse qui touche les risques côtiers hors changements climatiques. Dans cette hypothèse on suppose que l'évaluation de la vulnérabilité est la résultante de phénomènes météorologiques extrêmes sur des sites à typologie favorable aux risques d'érosion et de submersion marine et qui connaissent une présence humaine importante.

La pertinence de notre travail de thèse réside dans les aspects liés aux facteurs aggravants provoqués par l'homme sous forme de construction hors normes et d'atteinte aux espaces littoraux et à l'environnement en général. De plus, l'interaction entre les événements d'ordre physiques et sociétaux est de nature à démultiplier l'impact économique des risques littoraux, qui peut même paralyser la société avec un effet dominos si, les pouvoirs publics ne se sont pas préparés et la population n'arrive pas à s'adapter aux nouvelles circonstances événementielles.

Ce travail n'a pas la prétention de prouver l'influence des changements climatiques sur les littoraux. Mais de prendre cette hypothèse comme une projection établie tout en s'inspirant des scénarios et des simulations proposées par le GIEC (IPCC, 2014). Le principal objectif recherché à travers ce travail de recherche est de proposer un indice de vulnérabilité et de risque côtier propre à la zone littorale Algérienne et plus particulièrement la baie de Bou Ismail.

Pour ce faire, le travail de thèse a été structuré en cinq chapitres. Le premier chapitre traite de l'état de l'art au niveau mondial en matière de vulnérabilité et de risques littoraux en abordant les différentes expériences ayant trait à cette problématique ainsi que les différents concepts adoptés tout en faisant un éclairage sur l'expérience algérienne.

Le deuxième chapitre porte sur le socle juridique portant sur la protection des côtes et des risques majeurs ainsi que l'introduction de l'indice de vulnérabilité et de risque côtier. Aussi, il aborde les différents indicateurs utilisés pour confectionner cet indice spécifique aux côtes de la baie de Bou Ismail susceptible d'apporter un plus à notre problématique, notamment en termes de données :

1. géologiques et géomorphologiques
2. sur l'occupation du sol
3. sur le climat
4. topographiques
5. socio- économiques

Dans le troisième chapitre, on confectionne un zonage de la frange littorale en la structurant en fonction des résultats géologiques et géomorphologique et/ou en fonction des accidents topographiques et bathymétriques. Ceci va nous permettre de dégager des axes de réflexion autour de la problématique de la vulnérabilité et du risque. Pour ce faire, on est amené à calculer un indice de risque le plus proche de la réalité locale et de collecter les différentes données relatives au calcul de l'indice de vulnérabilité perçu comme concept indispensable au calcul du risque (IPCC., 2014; Satta et al., 2015; Satta et al., 2017) qui sera développé par la suite.

Le quatrième chapitre porte essentiellement sur la présentation cartographique des différents indicateurs de vulnérabilité et de risque côtier ainsi qu'une cartographie globale du risque d'érosion et de submersion avec un traitement statistique par le biais de la méthode AHP. Cette dernière rend possible le recours à une déclinaison pondérale permettant d'inclure des coefficients aux indicateurs dégageant l'influence du degré de risque côtier.

Le dernier chapitre porte sur la gestion des risques côtiers. En effet, en fonction des résultats obtenus, on aura à dégager des schémas de prévention et des scénarios d'intervention conformément à la réglementation en vigueur et d'adapter cette réglementation aux avancés des recherches récentes. De plus la gestion intégrée des zones côtière algérienne y est décrite ainsi que les propositions de méthodes de protection, de préservation et de durabilité qui feront l'objet d'une approche adaptée.

### Références

1. Abuodha P, Woodroffe CD (2006) Assessing vulnerability of coasts to climate change: a review of approaches and their application to the Australian coast. University of Wollongong, Australia. <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1189&context=cipapers>.
2. Alasset JP, Hébert H, Maouche S, Calbini V, Meghraoui M (2006) The tsunami induced by the 2003 Zemmouri earthquake (MW = 6.9, Algeria): modelling and results. *Geophysical Journal International* 166 (1): pp 213-226.
3. Balica SF, Wright NG, Van der Meulen F (2012) A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards* 64:73–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>.
4. Banholzer S, Kossin J, Donner S (2014) The Impact of Climate Change on Natural Disasters. Chapter 2.Z. Zommers and A. Singh (eds.), *Reducing Disaster: Early Warning Systems 21 for Climate Change*, DOI 10.1007/978-94-017-8598-3\_2.
5. Calil J, Reguero BG, Zamora AR, Losada IJ, Méndez FJ (2017) Comparative Coastal Risk Index (CCRI): A multidisciplinary risk index for Latin America and the Caribbean. *PLoS ONE* 12(11): e0187011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187011>
6. Cogswell A, Greenan BJW, Greyson P (2018) Evaluation of two common vulnerability index calculation methods. *Ocean and Coastal Management* 160: 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.041>.
7. Costanza R (1999) The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecol. Econ* 31, pp 199–213.
8. Djouder F et Boutiba M (2017) Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences* 10 (299). DOI 10.1007/s12517-017-3062-5.
9. Gornitz V (1991) Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)* 89:379–398. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O).
10. Guo H (2010) Understanding global natural disasters and the role of earth observation. *International Journal of Digital Earth*. Volume 3 .Issue 3 Early warning and disaster management: the importance of geographic information (Part A). <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.499662>.
11. Gutierrez BT, Williams SJ et Thieler ER (2009) Basic approach for shoreline change projections In .G. Titus JG, Anderson KE, Cahoon DR, Gesch DB, Gill SK, Gutierrez

- BT, Thieler ER et Williams SJ (2009) 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.
12. Hammar-Klose ES, Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ (2003) Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. U.S. Geological Survey. [https://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/images/pdf/CapeCod\\_CVI.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/images/pdf/CapeCod_CVI.pdf).
  13. Hemdane Y et Benslama L (2016) Etude des oscillations marines de basse fréquence pouvant induire une potentielle submersion marine sur un littoral microtidal. Cas du littoral Algérois (port d'Alger)
  14. IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
  15. IPCC (2014) Climate change Synthesis report. [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf). Accessed on 02 December 2017.
  16. Kanamori H (2006) Seismological Aspects of the December 2004 Great Sumatra-Andaman Earthquake. *Earthquake Spectra* 22(S3): pp 1–12.
  17. Krien N (2014) Place des risques côtiers dans la représentation du cadre de vie d'individus possédant des enjeux sur des communes « à risque ». thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale. France.
  18. Koroglu A, Ranasinghe R, Jiménez JA, Dastgheib A (2019) Comparaison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province. *Ocean and Coastal Management* 178 (104799) , <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.001>.
  19. Le Treut H (2010) Les changements climatiques futurs: de l'alerte globale aux changements locaux In Chaumillone E, Garnier E, Sauzeau T (Colloque International, "Les littoraux à l'heure du changement climatique").
  20. McLaughlin S et Cooper JAG (2010) a multi scale vulnerability index: a tool for coastal managers? . *Environmental Hazards Human and Policy Dimensions*: pp 234-248.
  21. Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/ PAM (2015) Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie.
  22. Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique (2003) Règles Parasismiques Algériennes RPA99/Version 2003.

23. Mussi CS, Bonetti J, Sperb RM (2018) Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise : a case study on Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 22: pp 1117-1128. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0619-8>.
24. ONS (2011) Recensement Général de la Population et de l'Habitat–2008–. [http://www.ons.dz/IMG/pdf/armature\\_urbaine\\_2008.pdf](http://www.ons.dz/IMG/pdf/armature_urbaine_2008.pdf). Accessed 29 April 2018
25. Rabehi W, Guerfi M, Mahi H (2018) Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. *Méditerranée*. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>.
26. Ramieri E, Hartley A, Barbanti A, Duarte Santos F, Gomes A, Hilden M, Laihonon P, Marinova N et Santini M (2011) Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. European Topic Center on Climate Change impacts vulnerability and Adaptation. [https://cca.eionet.europa.eu/docs/TP\\_1-2011](https://cca.eionet.europa.eu/docs/TP_1-2011). consulté le 02 June 2019.
27. Saaty TL (1980) “The Analytic Hierarchy Process.” McGraw-Hill, New York.
28. Satta A, Venturini S, Puddu M, Firth J, Lafitte A (2015) Application of a multi-scale coastal risk index at regional and local scale in the Mediterranean. Plan Bleu. [https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multi-scale\\_coastal\\_risk\\_index.pdf](https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multi-scale_coastal_risk_index.pdf). Accessed 15 December 2017
29. Satta A, Puddu M, Venturini S, Giupponi C (2017) Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: the case of the Mediterranean region. *Int J Disast Risk Reduct* 24:284–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.06.018>
30. Weissenberger S, Noblet M, Plante S, Chouinard O, Guillemot J, Aubé M, Meur-Ferec C, Michel- Guillou E, Gaye N, Kane A, Kane C, Niang A, Seck A (2016) Changements climatiques, changements du littoral et évolution de la vulnérabilité côtière au fil du temps : comparaison de territoires français, canadien et sénégalais. *Vertigo : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement*. Vol. 16 n°3 0 (n°3). <http://vertigo.revues.org/1805.10.4000/vertigo.18050.hal-01521622>.

# **Chapitre 1**

**Etat de l'art sur la vulnérabilité et le risque  
côtier**

# Chapitre 1 :

## Etat de la l'art sur la vulnérabilité et le risque côtier

---

### 1 - Terminologie et définitions

On ne peut pas s'étaler sur la thématique de la vulnérabilité côtière sans définir au préalable les notions et les mots clés que l'on retrouve fréquemment dans les différents processus en question, à savoir : l'aléa, la vulnérabilité, le risque, l'exposition, les enjeux, la mitigation et la résilience.

Les dangers sont des propriétés intrinsèques de nature à causer un ou des dommages sur des éléments vulnérables. L'aléa dans notre contexte d'étude de la vulnérabilité côtière doit répondre à une triple préoccupation, à savoir : où (dans l'espace), quand (dans le temps) et comment (dans sa fréquence et son intensité). L'exposition à un danger va nous permettre de connaître sa probabilité et sa gravité ainsi que les pertes occasionnées. Les enjeux englobent tous les aspects sociétaux, territoriaux et financiers. Pour atteindre un niveau de connaissance fin et répondre à la question : quelles sont les conséquences et comment réduire les pertes et converger vers l'état initial, constitue l'approche de la vulnérabilité (**Pablo., 2007**).

#### 1.1 - Aléa :

Tout phénomène, manifestations physiques ou activités humaines susceptibles d'engendrer des conséquences tragiques (blessures, pertes de vies humaines, dégâts matériels ou une dégradation de l'environnement) caractérisé par une périodicité connue, une amplitude donnée, une localisation spatiale, une durée d'impact et un potentiel destructif (**Morin., 2008**). L'Aléa est aussi reconnu par sa manifestation imprévue et son impact. Il est ainsi différencié d'un événement sans conséquences sur l'être humain et l'économie (**Bokwa., 2013**).

La compréhension des aléas nécessite une maîtrise parfaite du phénomène à travers le temps et l'espace, de manière à constituer une base de connaissance élargie permettant de quantifier l'aléa en termes d'intensité, de vitesse, de localisation et de fréquence d'occurrence. Lorsque l'aléa cause un fort dysfonctionnement de la société provoquant un grand nombre de décès, de blessés et de pertes matérielles et que le milieu n'est pas en mesure de résister à la manifestation et aux conséquences de l'aléa, là, on est confronté à ce que l'on appelle Sinistre (**Morin., 2008**).

### 1.2 - Les aléas potentiels en Algérie

Les aléas peuvent être d'origine technologique ou associé à des événements naturels extrêmes (comme les tempêtes et les tsunamis), certains d'entre eux spécifiquement influencés par les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer, ce qui conduit à des menaces et des dommages à la population, l'environnement et / ou les biens matériels (**Schmidt-Thomé et Kallio., 2006**).

#### 1.2.1 - L'érosion et la submersion marine

Parmi les risques potentiels qui peuvent se produire en mer, on a l'érosion et la submersion marine qui font partie des risques côtiers entraînant un recul significatif du trait de côte. Dans notre cas d'étude; on est amené à évaluer la vulnérabilité côtière qui va nous permettre d'élaborer les deux risques en question.

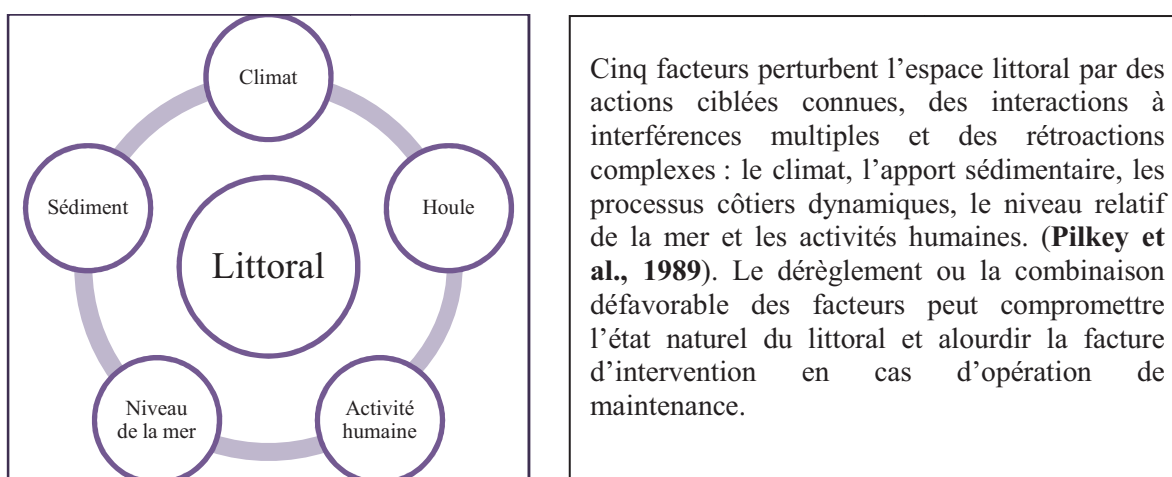
La submersion marine est l'inondation temporaire des côtes, elle correspond à un recouvrement des terres par avancée de la mer. La submersion peut être causée soit par un phénomène lent lié à la montée du niveau marin, soit par un phénomène brutal lié aux tempêtes lors de grandes marées ou d'un phénomène de subsidence continentale.

L'érosion littorale, par contre, est la perte d'une partie de la terre au profit de la mer due, essentiellement à l'effondrement des falaises ou à l'appauvrissement des dunes et plages en sable. Le phénomène d'érosion entraîne une fragilisation du bord de côte et un recul des terres au profit de la mer (**Krien., 2014**), cette érosion touche 24% des côtes sableuses dans le monde (**Luijendijk et al., 2018**).

Les côtes algériennes subissent les risques de l'érosion et de la submersion marine qui augmente avec l'occupation du sol qui est très importantes dans les villes côtières. A titre d'exemple, Béjaia connaît une forte érosion qui atteint 30 mètres entre 2009 et 2012 (**Hemdane et Benslama., 2016**).

#### 1.2.2 - Elévation du niveau moyen de la mer

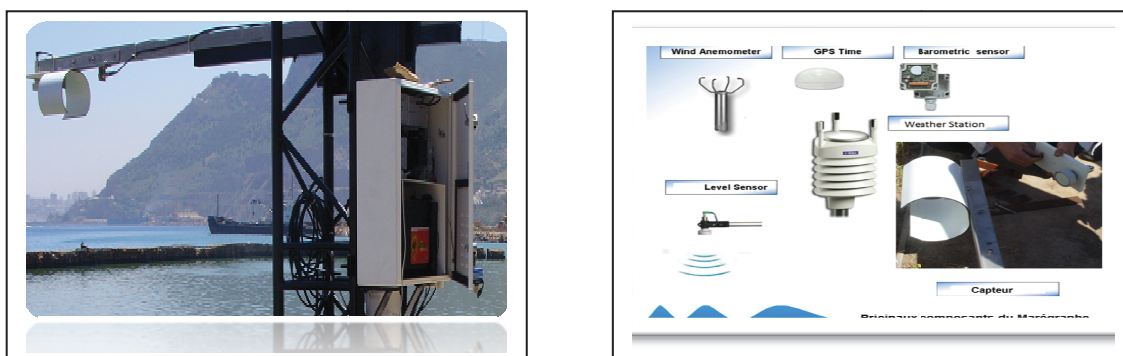
Le niveau moyen de la mer constitue la référence altimétrique en matière de travaux géodésiques. Cette information est mesurée par des marégraphes répartis le long de la côte. On dénombre trois stations électroniques installées par l'INCT aux ports d'Alger, de Jijel et d'Oran.



**Figure 1** : Les facteurs perturbants du littoral (Paskoff., 1992)

Cette manière de voir les choses sous-entend que le niveau de la mer dans, un espace temporel réduit, est fixe. Or, dans la réalité et sous l'action de la houle, des tsunamis, des diverses ondes et vagues de différentes périodes et les glissements de terrain, le niveau de la mer n'est pas aussi stable qu'on le pense avec une tendance à l'élévation (Paskoff., 1992).

Ce niveau sert de base aux différents travaux de nivellement de précision qui prend le point de départ de calcul des altitudes « NGA », matérialisé par un repère fixe, correspond à la surface physique dite géoïde où, le champ de pesanteur est constant «surface équipotentielle».

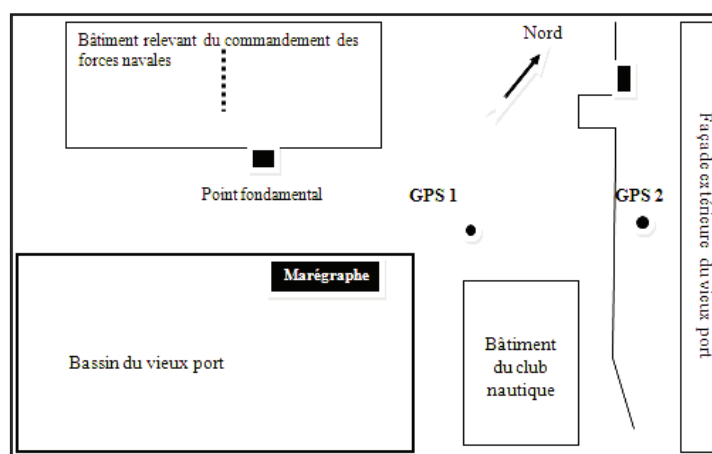


**Figure 2** : Station marégraphique d'Oran, les composants d'un marégraphe (source :inct.mdn.dz)

Le niveau de la mer est donc, influencé par les saisons, la latitude, la pression atmosphérique, des vents et des tempêtes, les courants, l'évaporation, la température et la salinité et l'instabilité des continents qui produisent des séismes. Le point fondamental du nivellement général de l'Algérie (NGA) : c'est le point rattaché au marégraphe situé au port d'Alger auquel sont associés les repères auxiliaires, et dont les coordonnées géographiques sont définies dans le tableau annexé à l'arrêté du 10 mai 2016 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national.

**Tableau 1** : Système de référence altimétrique (source : arrêté du 10 mai 2016 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national).

Altitude NGA (m)	Coordonnées WGS 84		Coordonnées «Nord Sahara-1959»		Altitude NGA (m)
	Latitude $\Phi$ (° ‘ ‘‘)	Longitude $\lambda$ (° ‘ ‘‘)	Latitude $\Phi$ (° ‘ ‘‘)	Longitude $\lambda$ (° ‘ ‘‘)	
Point fondamental	36°47’4,2038’’	3°4’4,5991’’	36°47’ 3,3121’’	3°4’7,9429’’	1.1168
GPS 1	36°47’4,1189’’	3°4’4,8895’’	36°47’ 3,2272’’	3°4’8,2333’’	2.233
GPS 2	36°47’4,0062’’	3°4’5,7525’’	36°47’ 3,1145’’	3°4’9,0962’’	7.147



**Figure 3** : Plan de rattachement du marégraphe de du port d'Alger (source : arrêté du 10 mai 2016 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national).

Il est admis, par les récents rapports de la GIEC notamment le AR5, que l'élévation du niveau de la mer varie entre 40 centimètres (scénario optimiste) et 63 centimètres (scénario pessimiste) d'ici 2100 (IPCC., 2014a).

Pour atteindre un niveau de submersion littorale inquiétant, il faut réunir à la fois, une fonte des glaces continentales et une dilatation thermique des eaux océaniques. Auxquels, il faut ajouter les effets extrêmes des houles et des tempêtes et une morphologie côtière favorable à la submersion (Pirazzoli.,1993;Chaumillon et al., 2011; Beltrando., 2012).

### 1.2.3 - Les causes de l'érosion côtière

Par contre, bien que l'érosion côtière soit un phénomène naturel dépendant, entre autres, des facteurs géologiques, géomorphologies et hydro-sédimentaires, elle est souvent accentuée voire provoquée par l'occupation anthropique (urbanisation et construction d'ouvrages maritimes) qui fragilisent davantage ces espaces côtiers déjà naturellement sensibles.

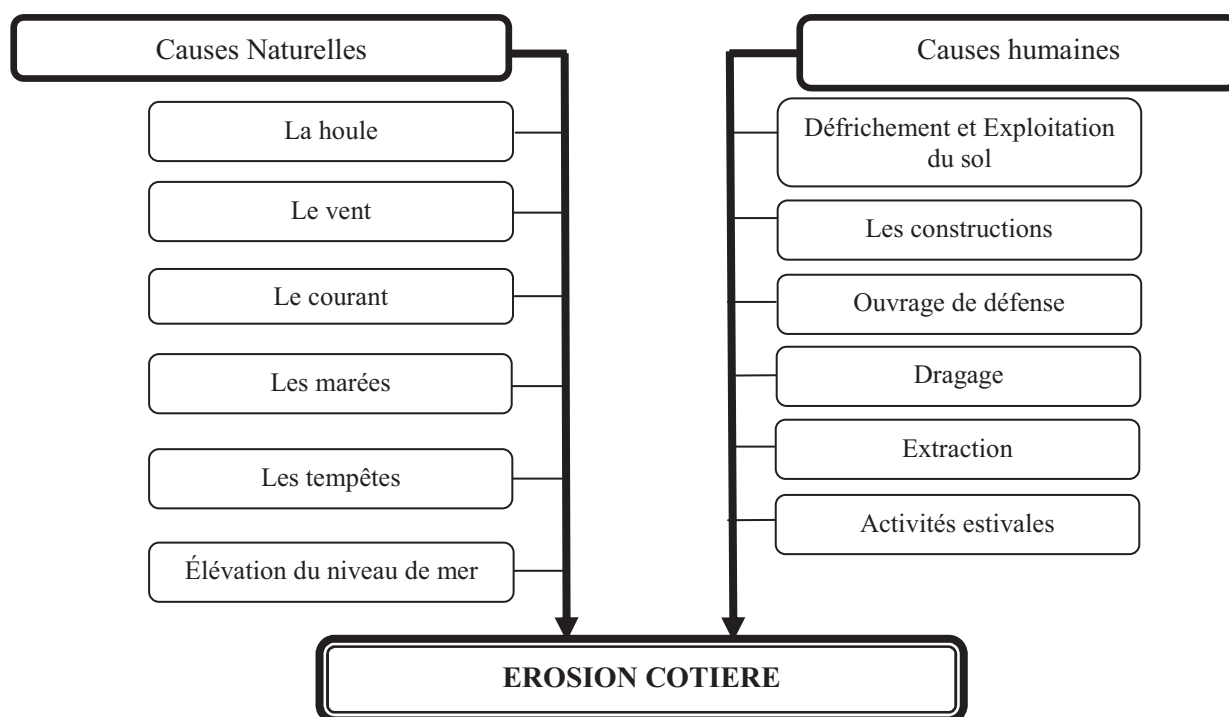
Les causes auront pour effet à terme, la détérioration voir même la disparition des habitations proches du littoral, un recul significatif du trait de côte avec amaigrissement des plages, des éboulements et la chute des pierres des falaises et des dégâts sur les différentes infrastructures proches du rivage.

L'érosion et la submersion marine peuvent être causées par l'effet de la nature ou par l'intervention de l'homme (causes anthropiques). Des deux effets, découlent les indicateurs susceptibles de faire partie de l'équation finale de l'indice de la vulnérabilité, dont on a schématisé l'arbre de cause à effet de manière à montrer les causes et les conséquences des deux aléas en question.

Le schéma ci dessous montre un arbre des contraintes de l'érosion et de la submersion marine et les indicateurs sélectionnés vont être utilisés dans la conception de l'indice de risque côtier tel que :

- Le type de côte
- La hauteur de la houle
- Le recul du trait de côte

Ces indicateurs sont des paramètres qui contribuent à l'érosion des côtes et que l'on peut trouver partout dans le monde.



**Figure 4** : Causes de l'érosion côtière

Il s'agit bien entendu d'élargir le raisonnement multi échelle à l'aspect géographique de l'espace littoral en prenant en considération les différents niveaux d'objets sans pour autant être prisonnier de la définition cartographique de l'objet qui reflète plus une déclinaison de représentation définissant le rapport entre la réalité du terrain et sa projection sur un support d'interprétation. C'est une manière d'analyse qui prend l'objet géographique comme élément de base ou une partie de cet élément ayant la même typologie mais avec des caractéristiques différentes voir même des spécificités propres.

Cette manière de voir les choses est de nature à dire que le littoral d'une commune vu sous une entité territoriale particulière est un espace géographique sous forme, de plage sableuse (avec ou non de cordon de protection, des afflux permanents ou périodiques, pente, granulométrie, présence ou absence de végétation), une plage rocheuse ou une falaise avec des caractéristiques qu'il ne faut absolument pas négliger.

De plus, l'espace littoral lui-même vulnérable, compte tenu de sa localisation qui prend une fine partie de part et d'autre du trait de côte, mérite une attention particulière, de manière à l'appréhender en toutes connaissances de causes aussi bien pour sa partie marine que continentale qui interagissent entre elles. Cet espace est perçue dans le cadre de cette thèse en tant que système objet incluse dans le système local lui-même intégré dans le système régional qui constitue la partie sud ouest de la méditerranée.

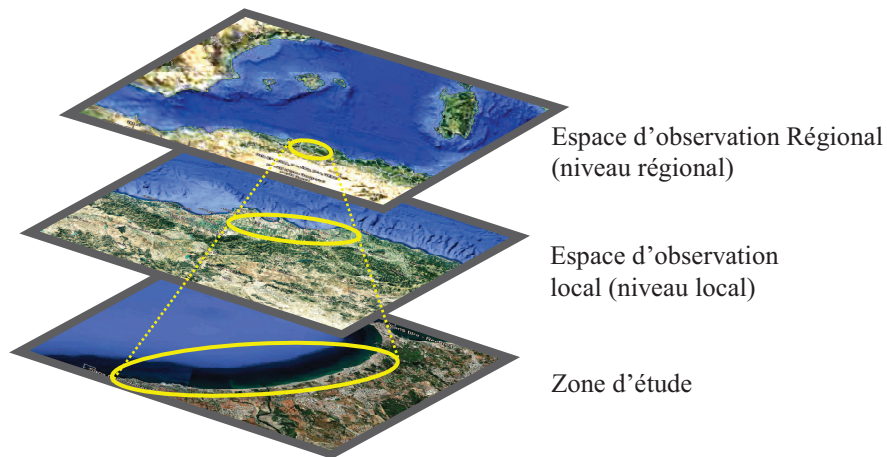


Figure 5 : Différents niveaux d'observation du site d'étude

### 1.2.4 - Les séismes et les tsunamis

Le séisme est une manifestation de la tectonique des plaques caractérisée par la libération d'énergie dans les zones de failles de l'écorce terrestre du foyer. Cette énergie dégagée est résultante des frictions et des déplacements entre les plaques tectoniques (**Commissariat de l'Energie Atomique., 2008**). Cette énergie est dégagée sous forme d'ondes sismiques qui seront très ressenties au niveau de l'épicentre et plus on s'éloigne de l'épicentre plus les secousses générées seront moins ressenties (**Department of Natural Resources South Carolina Geological Survey., 2005**).

Les séismes peuvent provoquer des tsunamis en mer, le tsunami qui est un déplacement de grandes masses d'eau suivant une onde dont la fréquence est de l'ordre de minutes, cette onde est très dangereuse et peut détruire une ville côtière et s'étendre à des kilomètres du rivage, à titre d'exemple le tsunami de Sumatra a causé la mort de plus de 220000 individus.

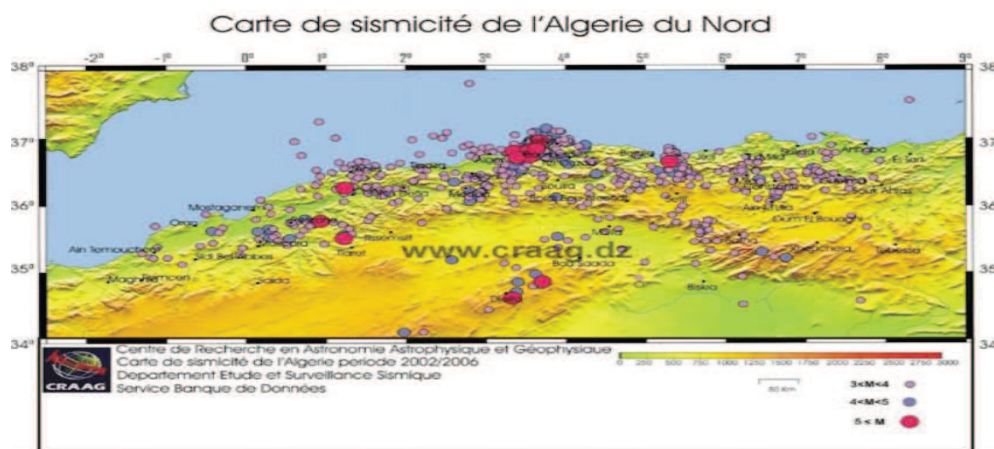


Figure 6: Carte de la sismicité du Nord de l'Algérie dans la période 2002-2006 (source :<https://www.craag.dz/>)

L'Algérie est classée zone sismique dans sa partie nord et peut être exposée à un tsunami. Ce qui fut le cas à Alger en 1365 et à Jijel en 1856. Aussi, 4 tsunamis ont eu lieu sur le littoral de Tipaza depuis le 16ème siècle (**Maouche et al., 2009**) , Le dernier séisme qui a été destructeur fut le séisme de Zemmouri (Wilaya de Boumerdès) en Mai 2003 qui a fait plus de 2000 morts et a généré des vagues tsunami atteignant les côtes des Baléares avec une hauteur de 2 mètres (**Alasset et al., 2006**). C'est un séisme superficiel d'environ 10 km de profondeur qui a engendré un soulèvement de plus de 50 cm dans certains endroits (**Meghraoui et al., 2004**) avec un retrait temporaire et un retour après deux minutes provoquant des submersions significatives localement (Figure 7)



**Figure 7:** Retrait temporaire de la mer et retour après environ deux minutes (**Djeddi., 2003**)

### 1.2.5 - Le réchauffement climatique

La notion de vulnérabilité n'est pas récente cependant en raison du réchauffement climatique les risques sont de plus en plus fréquents.

Le réchauffement climatique correspond à une variation des propriétés du climat de la terre (ex : température moyenne) sur une grande période en raison de facteurs naturels ou anthropiques (**IPCC., 2014a**).

Pour comprendre le fonctionnement du réchauffement climatique il faut connaître les raisons des fluctuations climatiques de notre planète. Le climat de la terre dépend de plusieurs facteurs naturels ou anthropiques (**Niazi., 2007**):

1. L'activité solaire
2. Les paramètres astronomiques
3. Le volcanisme

4. La circulation océanique
5. L'effet de serre naturel

En plus de ces facteurs s'ajoute aussi l'effet anthropique qu'a l'être humain sur la planète terre avec l'augmentation des gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CFC... etc.) dans l'atmosphère (IPCC., 1990).

Le réchauffement climatique est le sujet d'actualité de ces dernières années en raison des prévisions des scientifiques qui prévoient une élévation de la température du globe terrestre d'un peu moins de 2°C à un peu plus de 6°C d'ici 2100 (IPCC., 2007), ce qui a des conséquences néfastes sur la planète terre et les écosystèmes ainsi que sur l'être humain, affectant ainsi les conditions météorologique (changement de régime des vents et perturbations des précipitations) entraînant des désastres sur le plan écologique et humains (réfugiés climatiques, disparition d'espèces animales et végétales....etc)(IPCC., 2007).

Les milieux littoraux sont affectés indirectement par le réchauffement climatique qui provoque une élévation du niveau de la mer qui provoquera une érosion des côtes en raison de la dilatation de l'eau de mer due à l'augmentation de sa température ainsi qu'à l'élévation du niveau de la mer due à la fonte des glaces (Pirazzoli., 1993).

### 1.3 - La vulnérabilité :

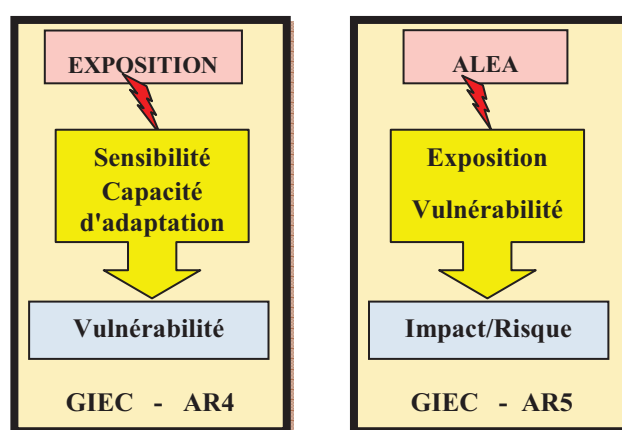
La vulnérabilité est définie comme étant la condition de faiblesse des éléments exposés à un aléa, ce qui les met en état de subir des dommages (Morin., 2008). On peut parler alors de plusieurs types de vulnérabilité (environnementale, économique, sociale, culturelle, institutionnelle et sanitaire) (ADEME., 2012).

Le concept de vulnérabilité permet de mieux cerner les relations de cause à effet à l'origine du changement climatique et son impact sur les personnes, les secteurs économiques et les systèmes socio-écologiques (Quenault et al., 2011).

Cette définition est tirée de l'approche la plus répandue telle que rapportée par le cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC qui définit la vulnérabilité de la façon suivante : « *Vulnerability is the degree to which a system is susceptible to, and unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate change and variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity* » (IPCC., 2014a).

Le GIEC introduit dans le chapitre «Le changement climatique en 2014 : impact, adaptation et vulnérabilité» du cinquième rapport publié le 31 mars 2014 une nouvelle approche et une nouvelle terminologie qui se rapproche plus de la définition de la réduction des risques, et de ce fait divergent de la compréhension de la vulnérabilité telle que publiée dans le quatrième rapport de 2007.

En effet, dans le cadre de la démarche préconisée par le GIEC, le point de départ est l'exposition pour le (AR4) de 2007 et l'aléa pour le (AR5) de 2014. Ce stress (l'exposition ou l'aléa selon la démarche) engendre un préjudice potentiel pour le système dans l'AR4 qui est la vulnérabilité et dans l'AR5 un impact/risque(IPCC., 2014a). Le préjudice peut être atténué par les caractéristiques propres du système, qui peuvent être des caractéristiques physiques ou socio-économiques.



**Figure 8:** Approche de la vulnérabilité d'après le GIEC entre AR4 et AR5(GIZ et al., 2015)

Dans le quatrième rapport AR4, les concepts de sensibilité et de capacité d'adaptation permettent d'atténuer la vulnérabilité et l'impact du changement climatique sur un système (la vulnérabilité). Par contre, dans le cinquième rapport AR5 les concepts d'exposition (existence d'un système dans des lieux qui pourraient être affectés) et de vulnérabilité (prédisposition à être potentiellement affecté)qui peuvent impacter le système et engendrer un risque(IPCC.,2007; IPCC., 2014).

Dans la suite de notre travail on va retenir pour la vulnérabilité la définition suivante : «*Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation* » (IPCC, 2007).

L'étude de la vulnérabilité d'un site côtier vise la recherche des fragilités territoriales et sociétales suite à un phénomène d'érosion ou de submersion marine.

### 1.4 - L'exposition :

L'exposition correspond à la présence des enjeux (humains, infrastructures et économiques) dans une zone ou dans un contexte susceptible de subir des dommages (IPCC., 2014a).

L'exposition est un élément important dans le risque côtier vu que la présence humaine ainsi que des activités socio-économiques va augmenter la probabilité de subir les conséquences engendrées par les aléas côtiers. Si une zone non peuplée est frappée par un phénomène naturel, ceci n'aura pas d'impacts et ne peut engendrer un risque, contrairement à une zone peuplée et siège de différentes activités (pêche, tourisme, industrie, agriculture etc.) où le risque de pertes économiques mais aussi de dommages humains (blessures et morts) est probable.

La gestion adéquate des espaces littoraux face aux risques côtiers est une nécessité majeure pour la protection de la population littorale mais aussi pour préserver et pérenniser les activités socio-économiques de la zone côtière.

### 1.5 - Les enjeux :

Les enjeux constituent l'ensemble des personnes et des biens ayant une valeur, monétaire ou non, pouvant être affectés par un phénomène naturel ou des activités humaine (Ministère de l'environnement de l'écologie et du développement durable., 2004).

### 1.6 - La résilience :

La résilience est définie comme étant l'aptitude à faire face à un aléa et de s'adapter en procédant à un changement ou en résistant à l'aléa par la préservation ou la reconstitution à l'état initial tout en gardant les fonctions essentielles du milieu (GIEC., 2014). On parle ici de résilience des côtes vis à vis de l'érosion et de la submersion marine.

La résilience peut être aussi décrite comme étant la quantité de perturbation qu'un système peut absorber tout en restant dans le même état ou le maintien de ses fonctions. En d'autres termes, il est le degré auquel un système est capable de réorganisation et de renouvellement ou de la mesure dans laquelle un système peut construire et d'augmenter sa capacité d'adaptation (ETC/ACC, 2008).

### 1.7 - Le risque:

Le risque est la possibilité qu'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société en d'autres termes c'est la combinaison d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné selon leur exposition (IPCC., 2014a) (Figure 9). On peut donc établir l'équation du risque à partir de cette définition comme suit (IPCC., 2014b) :

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} * \text{Exposition} * \text{Aléa} \dots (1)$$

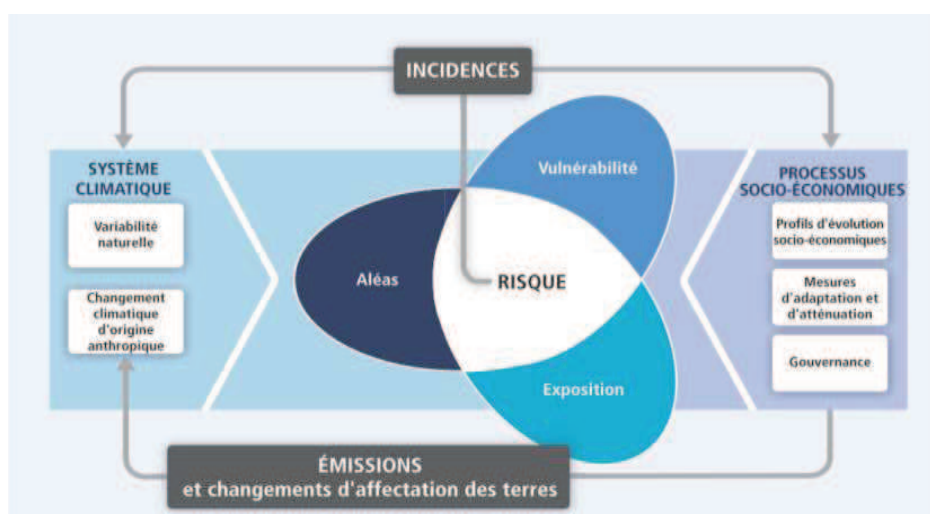


Figure 9 : Définition du risque (IPCC., 2014b)

## 2 - Etat des connaissances au niveau international

Pour dégager une démarche aussi proche que possible de la réalité du terrain, l'abondance de données fiables, qui interagissent directement ou indirectement sur le phénomène de l'érosion côtière ou de la submersion marine, est fondamentale. Aussi, le phénomène en lui-même est la résultante de plusieurs événements d'origine naturel, anthropique ou combiné. C'est pour cette raison qu'il est plus que nécessaire de définir les faits événementiels dans le contexte spécifique de leur naissance. De plus, Il faut surtout accorder l'attention qu'il faut à l'aléa, au risque et à la vulnérabilité, chacun d'entre eux fait l'objet d'un formalisme particulier et d'un processus spécifique partant des données d'entrée en passant par l'interaction jusqu'à sa survenance. C'est d'ailleurs dans cette direction plus au moins restrictive que la formule qui lie l'aléa, la vulnérabilité et le risque a été développé.

Les concepts de vulnérabilité ont beaucoup évolué au cours du 20ème siècle et continuent de s'améliorer au 21ème siècle dans le but de mieux gérer les risques côtiers.

### 2.1- Evolution des concepts

Dans la majorité des disciplines techniques, les scientifiques considèrent la vulnérabilité, élément incontournable du risque, comme un concept global dans son appréhension et évolutif dans la démarche adoptée.

En effet, le concept prévoit le volet suivi et évaluation dans le processus de mise en œuvre en proposant des passerelles entre la vision traditionnelle axée sur les aléas et la nouvelle approche ouverte sur le modèle processus en incluant les variations de la vulnérabilité.

On se pose souvent la question de savoir si un tel territoire est «à risque» parce qu'il est vulnérable, ou bien est-il vulnérable parce qu'il subit des catastrophes ? La mise en place d'outils facilitant l'analyse des facteurs qui influent sur la vulnérabilité d'un territoire nous paraît indispensable (**Magnan., 2009**). Six familles de facteurs ont été identifiées par Alexandre magnan qui ont trait à la contraintes de développement imposées par la configuration spatiale, au degré de cohésion de la société, à la sensibilité des écosystèmes présents sur le territoire, à sa structure économique, à sa structuration politico-institutionnelle en matière de gestion et de prévention du risque, et enfin aux conditions de vie de la société.

Le concept de vulnérabilité est généralement utilisé pour définir le risque naturel comme la combinaison de l'aléa ou danger et de la vulnérabilité des enjeux (**Léone., 1996**).

La vulnérabilité mesure les conséquences potentielles résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel majeur (érosion, inondations, mouvement de terrain...) sur les enjeux : victimes, coût des dégâts matériels, impacts sur l'environnement (**Quenault., 2015**). Les études de vulnérabilité sont tributaires de la capacité à caractériser l'aléa et sont donc forcément liées aux études d'aléa. (**Griot., 2007**).

### 2.2 - L'approche par type d'aléas :

Avant les années 70, les approches développées dans le cadre des études scientifiques à caractère quantitatives se focalisent autour des aléas (séismes, sécheresses, inondations etc.) de manière à représenter et caractériser un aléa naturel. Elle nécessite la connaissance de la puissance de l'aléa en définissant une échelle de classement « magnitude par exemple », la localisation (frange littorale concernée) et la durée du phénomène. Le rôle du sociologue en revanche était restreint à l'identification des comportements des individus subissant les effets de l'aléa (analyse à posteriori). Ce type d'approche est nommé paradigme physique (**Magnan., 2009**).

### 2.3 - L'approche par types de risques :

Avant l'introduction du volet changement climatique dans les projets scientifiques et opérationnels, la vulnérabilité ne fait pas partie du processus de gestion des risques côtiers. Les travaux des géologues, des écologistes et des ingénieurs se faisaient indépendamment les uns des autres (**Klein., 2002**).

Le défi du changement climatique a rendu la collaboration entre eux nécessaire, c'est dans cette optique que le concept de la vulnérabilité s'est imposé comme objectif d'intégration dans cette collaboration en l'élargissant aux aspects statistiques et économiques.

L'approche par type de risque est l'approche la plus répandue dans laquelle la historisation des aléas, en termes de concentration et de périodicité constitue l'élément essentiel dans les politiques de gestion des risques et de mise en place des plans prévisionnels. Elle permet notamment l'aide à la décision en proposant des simulations (prospectives) pour arrêter les modèles d'aménagements à mettre en place (**Veyret et Reghezza., 2006; Reghezza., 2006; Mathis et al 2016**). Dans cette approche le risque est intimement lié à l'aléa (**Veyret et Reghezza., 2006**). De plus, la gestion du risque et les différents plans qui en découlent visent à répondre à l'aléa en termes d'intensité et de fréquence (**Léone et al 1996; Veyret et Reghezza., 2006; Reghezza., 2006; Mathis et al 2016**).

La population est considérée en tant que victime passive. (**Veyret et Reghezza., 2006**). Le travail peut se faire indépendamment sur les aléas et sur les enjeux et par croisement de données soigneusement collectées, il est possible d'identifier le risque et de le cartographier.

L'approche du risque est donc considérée suivant l'équation suivante :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{vulnérabilité} \dots (2)$$

Depuis sa création en 1988, le (GIEC) commence à publier ses rapports relatifs à la gestion des risques et l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques (**Guivarch et Cassen., 2015**). La méthode utilisée adopte un processus qui permet, l'identification exhaustive de la population et des ressources naturelles et physiques à risque ainsi que les coûts des dégâts occasionnés et les capacités d'adaptations aux aléas. La méthode préconisée par la GIEC a été utilisée à une échelle globale avec des déclinaisons régionales ciblées et prioritaires. Cette approche vise à collecter le maximum de données de bases susceptibles, d'identifier les zones prioritaires de manière à analyser les dommages prévisibles et proposer des mesures de protection d'urgence. Cette manière de voir les choses a amené la communauté scientifique à prendre conscience de l'ampleur des changements climatiques sur les zones côtières.

### 2.4 - L'approche par la vulnérabilité :

La définition de la vulnérabilité elle-même a passé de l'interprétation classique qui consiste à connaître et d'identifier la capacité d'endommagement des biens et des personnes, à une vision plus globale allant vers la capacité de réponse de la société à des crises potentielles (adaptation, résilience), liée à des facteurs conjoncturels (l'aléa) et structurels (contexte socio-économique, culturel, fonctionnel, institutionnel) (**D'Ercole., 1994**).

C'est une approche récente, elle a commencé à intéresser les scientifiques depuis le début des années 2000. L'idée initiale s'est développée autour de la problématique d'extension et d'aménagement urbaine en zones inondables (**Barroca et al., 2013**).

Les sciences sociales ont largement contribué à faire émerger la nécessité d'introduire la tendance et l'interaction de la pauvreté, les ressources naturels et la sécurité alimentaire dans l'évaluation de la vulnérabilité, par groupe communautaire, pour mieux cerner les conséquences en termes de préjudices potentiels et de capacité à en faire face (**Klein et al., 2005**). La démarche est donc focalisée sur un groupe cible préalablement étudié vivant dans un espace géographique particulier largement influencé par des facteurs socioculturels (**Klein., 2002**). On parle dans ce cas de deux concepts importants qui constituent la vulnérabilité qui sont la résilience (expliqué précédemment) et la sensibilité qui est définie comme la fragilité du système ou de la zone pouvant potentiellement être touchée par un aléa (**IPCC., 2014**).

Les approches multidimensionnelles du risque côtier sont apparus depuis le début du 21ème siècle parmi lesquels on cite le projet COCORISCO (**C**onnaissance **C**ompréhension et gestion des **R**isques **C**ôtiers -France-) par lequel la vulnérabilité est évaluée à partir des composantes aléa et enjeux (définies précédemment) ainsi que la gestion (politique, outil de prévention, mesures de protection et de réparation) et la perception (représentations, vision des habitants usagers, élus, gestionnaires, conscience du risque, attachement au territoire, capacité d'adaptation)(**Meur-Ferec., 2006**) (Figure 10).

En effet, ces deux composantes la perception et la gestion s'avère importantes une fois introduites dans le schéma systémique de la vulnérabilité dans le sens où, les gestionnaires et les citoyens imprégnés du risque encouru savent quels sont les actions à entreprendre pour limiter les dégâts occasionnés. (**Hénaff et al., 2013**).

La vulnérabilité est considérée donc comme la combinaison de deux facteurs qui sont la sensibilité et la résilience selon le 5ème rapport du GIEC (**IPCC., 2014**). La sensibilité correspond à la faiblesse du système pouvant être frappé par un aléa, tandis que la résilience correspond à la capacité du système à se protéger suite au passage d'un aléa(**IPCC., 2014**).



Les démarches adoptées ayant fait l'objet de tests sur des sites littoraux régionaux et locaux ont révélés la complexité du suivi et de l'évaluation en phase du projet et surtout en post projet, faute d'indicateurs mesurables et quantifiables. C'est la raison pour laquelle, il est indispensable de schématiser au cas par cas les différentes causes à effet et la mise en place stricte des liens fonctionnelles entre entités.

Ce qui conduit d'ailleurs à un éventail de concepts et de méthodologie dans le domaine de la vulnérabilité. De plus, cette diversité d'approche est de nature à faire avancer la recherche en proposant des schémas de communication facilitant le passage de la vision passive à une démarche dynamique de la vulnérabilité (**Fussell et Klein., 2006**). Cette diversité d'approches est perçue comme une richesse qui, Malgré l'absence de définitions et de théories commune, sont en effet, en mesure de dégager une entité plurielle de la vulnérabilité qui va permettre aux scientifiques et aux décideurs d'anticiper et d'agir sur les conséquences néfastes des changements actuels et futurs, y compris celles provenant de l'élévation du niveau de la mer et d'autres effets du changement climatique.

L'exhaustivité de la démarche réside d'ailleurs dans la capacité de faire des études comparatives de manière à permettre aux décideurs d'opérer des similitudes nécessaires à une gestion efficace des risques côtiers.

Il y a lieu de souligner le travail gigantesque du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui a publié le cinquième rapport (AR5) sur l'évolution du climat. Le rapport fait un éclairage sur la problématique de la vulnérabilité et les risques liés aux changements climatiques (**IPCC., 2014**).

La vulnérabilité à la variabilité actuelle du climat et aux changements climatiques futurs menace particulièrement le développement des populations pauvres et marginalisées. Les conclusions du rapport soulignent qu'il sera nécessaire de reconnaître l'adaptation de manière adéquate de l'accord sur le changement climatique, pour en faire face à la vulnérabilité climatique de façon efficace (**IPCC., 2014**).

#### **4 - Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière**

Dans la majorité des cas le choix de la méthode à utiliser se fait de telle sorte que les procédés de traitement et de présentation des résultats peuvent être utilisés sous forme de logiciel, de manière à sortir du cadre académique et mettre entre les mains des décideurs des outils adaptés à la problématique de gestion des risques littoraux.

Plusieurs méthodes ont été élaborées dans plusieurs pays dans le but d'évaluer la vulnérabilité côtière (Ramieri et al., 2011) (Figure 11). On distingue, d'après la littérature en notre possession cinq méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :

1. L'approche cindynique
2. La méthode basée sur les outils SIG ;
3. La méthode des modèles dynamiques ;
4. La méthode d'approche par les indicateurs ;
5. La méthode CVI (indice de vulnérabilité côtière).

Les deux dernières méthodes ont recours à des indicateurs qui sont des données sélectionnées d'un ensemble statistique ayant une signification et une représentativité particulière qui ont été retenus par rapport à un objectif ciblé de manière à se rapprocher au mieux de la problématique étudiée (ADEME., 2012).

Ces méthodes peuvent être utilisées avec des concepts tels que l'AHP, DIVA et autres.

### 4.1 - L'approches des cyndiniques

Cette approche associée au modèle d'hyperespace de danger a été développée par Kerven en 1995 (Kerven., 1995). C'est un concept conçu à l'origine pour les installations industrielles mais qui peut être extrapolée à d'autres systèmes cibles selon la démarche qui vise à identifier l'origine de l'aléa par une analyse exhaustive du risque (Nicollet., 2011) suivant la possibilité d'occurrence et les coûts nécessaires pour y remédier.

La méthode est conçue sur la notion de danger basée sur les dimensions des faits de mémoire, des représentations, des objectifs, des normes et des systèmes de valeurs (Kerven., 1995).

### 4.2 - La méthode basée sur les systèmes d'informations géographiques

Certaines méthodes d'évaluation de vulnérabilité sont basées sur les systèmes d'information géographiques par le biais de modèles multicritères tel que DSS (Decision Support Systems). Dans cette approche deux méthodes sont très utilisées il s'agit de DESYCO et DITTY DSS (Ramieiri et al., 2011)

#### 4.2.1 - DESYCO

DESYCO est un outil open source d'aide à la décision basé sur un moteur SIG facilitant l'évaluation et la gestion des multiples impacts des changements climatiques sur les zones côtières et des écosystèmes associés tel que les plages, les zones humides, les forêts, les zones protégées, les eaux souterraines, les zones urbaines et agricoles. Il met en œuvre approche éco systémique et une méthodologie d'évaluation des risques régionaux permettant de classer les zones exposées aux changements climatiques de manière à définir une stratégie d'adaptation et de gestion (Toressan et al., 2010; Ramieri et al., 2011).

DESYCO a été développé à l'origine pour l'analyse des impacts du changement climatique à l'échelle régionale, mais il est en principe applicable à différents domaines spatiaux. Il a été testé dans la zone côtière du nord de la mer Adriatique (Italie) et du golfe de Gabès (Tunisie)(**Toressan et al;Rizzi et al 2015**).

De plus, il a été extrapolé à l'analyse des multiples dangers et la gestion intégrées de différents types de risques et impacts liés au changement climatique et aux dangers naturels dans une perspective d'offre de service climatique. (**source : cmcc.it/models/desyco**)(**Ramieiri et al 2011**).

### 4.2.2 - DITTY-DSS

Le DITTY – DSS est un outil d'évaluation de vulnérabilité développé par l'Union Européenne et utilisé pour les côtes de Sacca di Goro(Italie)(**Mocenni et al., 2009**). L'accent a été mis sur le développement d'outils conviviaux et flexibles capables de soutenir l'élaboration de politiques de gouvernance adaptées en s'appuyant sur un avantage informationnel évident sous forme de base de données et de moteur SIG facilement accessibles au personnel scientifique et administratif et utilisant des méthodes d'analyse multicritère pour la prise de décision (**Mocenni et al., 2009**).

Les rapports DITTY produits pour le site test ont été mis à la disposition du personnel de la municipalité de Gera. Plusieurs axes de recherches ont été initiés dans le cadre du projet DITTY dans les domaines de la gestion côtière intégrée, de la qualité de l'eau ou de l'écologie grâce aux données collectées qui peuvent être transférées d'un site à l'autre en fonction des principales priorités des utilisateurs finaux et des possibilités de développement. (**source : cordis.europa.eu/project**).

## 4.3 - La méthode basée sur les modèles dynamiques

Ce sont des outils susceptibles d'être utilisés pour l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité des systèmes côtiers au changement climatique. La méthode est basée sur des modèles numériques pouvant donner une quantification de la vulnérabilité côtière(**Ramieri et al., 2011**).

### 4.3.1 - Projet «RACE»

L'objectif du "projet évaluation des risques de l'érosion côtière (RACE) était de développer et de diffuser une évaluation probabiliste robuste et cohérente des dangers et des risques d'érosion côtière au Royaume-Uni. L'approche méthodologique du projet visait(**Ramieriet al., 2011**) :

1. L'évaluation du risque de défaillance des ouvrages de défenses côtières existantes et l'érosion naturelle incontrôlée du relief côtier ;
2. l'évaluation du risque causé par l'influence des ouvrages de défenses sur la probabilité d'érosion côtière ;
3. l'évaluation du risque par la combinaison spatiale avec les données de vulnérabilité socio-économique.

Cette méthode a conduit à la création d'un "Plan National Coastal Erosion des risques" pour l'Angleterre (**Ramieri et al., 2011**). L'importance de la compréhension et de la gestion des risques a été traduite par des mesures concrètes en obligeant les autorités locales à évaluer les risques d'érosion côtière et à en tenir compte dans leurs plans de développement avec la collecte des données nécessaires à la mise à jour de la base de données historique utile pour la mise en place d'une approche probabiliste d'évaluation des risques d'érosion côtière. (**Halcrowgroup Ltd., 2007**).

### 4.3.2 - RegIS

(Regional Climate Change Impact and Response Studies in East Anglia and North West England) était une première tentative de modéliser quantitativement les impacts intersectoriels des changements climatiques et socio-économiques dans un cadre intégré à l'échelle régionale au Royaume-Uni. Le projet fait continuellement l'objet de suivi et d'évaluation des impacts des inondations, des activités agricoles et des ressources en eau sur la biodiversité des zones côtières, (**Holman et al., 2002**).

Ce projet a abouti à la conception d'un progiciel (the Regional Impact Simulator; RegIS Tools). C'est un outil qui permet également à l'utilisateur de générer une évaluation intégrée des effets de différentes stratégies d'adaptation. Il contient aussi une série de modèles informatiques au sein d'une interface utilisateur qui permet (**Ramieri et al., 2011**):

1. d'identifier rapidement la sensibilité d'un indicateur aux changements climatiques et / ou changement socio-économique,
2. d'étudier les effets de l'incertitude dans le scénario futur,
3. d'étudier les réponses adaptatives régionales au changement futur

### 4.3.3 - SimCLIM

SimCLIM est un outil logiciel conçu conformément aux recommandations du GIEC contenues dans l'AR5. Il vise à faciliter l'évaluation des risques liés au changement climatique pour les différents utilisateurs. Le module complémentaire pour Arc Gis Marine est conçu spécialement pour explorer les changements climatiques sur les cycles biogéochimiques marins et la fluctuation du niveau et de la température de la mer.

Le module en question renferme, entre autres, une multitude d'informations et de simulations possibles touchant(source : <https://www.climsystems.com/simclimarcgis/marine>):

- Élévation du niveau de la mer (cm) avec mouvement vertical
- Production primaire nette de carbone par phytoplancton
- Concentration de nitrates dissous à la surface
- Concentration d'oxygène dissous à la surface
- Concentration de phosphate dissous à la surface
- Concentration de fer dissous à la surface
- Concentration de silicate dissous à la surface
- pH en surface
- Alcalinité totale à la surface (mol / m<sup>3</sup>)
- Température de la surface de la mer (° C).

SimCLIM est le nom générique du système développé et construit à l'origine pour la Nouvelle-Zélande (**Warrick et al., 2001, Kenny et al., 1999; 2000**). C'est un système de modélisation susceptible de simuler temporellement et spatialement les impacts biophysiques et les effets socio-économiques aux changements climatiques, y compris les événements climatiques extrêmes.

### 4.3.4 - Delft3D

C'est une modélisation 2D et 3D des phénomènes hydrodynamique, de transport des sédiments, de dynamique morphologique et de qualité de l'eau fluviale, estuarienne et côtière sur une échelle locale et régionale.

Le logiciel étant libre pour certains composants, est largement utilisé par la communauté scientifique avec de nombreuses applications dans le monde entier tel que les Pays-Bas, les Etats-Unis, Hong Kong, Singapour, l'Australie, et l'Italie. Le logiciel est constamment amélioré et actualisé avec des techniques avancées de modélisation. C'est un modèle open-source composée d'un certain nombre de modules, il est plus axé sur la partie hydrodynamisme que sur les autres paramètres de la vulnérabilité. Chaque module est destiné à un domaine spécifique notamment, la qualité de l'eau, la propagation et la génération d'ondes, la morphologie et le transport sédimentaire(**Tung et al., 2009; Van der Welf et al., 2011; Ramieiri et al., 2011**).

### 4.3.5 - L'approche DIVA

L'approche DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment model) a été adoptée dans le projet intitulé Consortium DINAS-COAST a été initié en Europe par **Hinkel et Klein (2009)**. Cette méthode a fait l'objet de mises à jour (**Richards et Nicholls., 2009**).

C'est un modèle mondial intégré qui évalue les conséquences de l'élévation du niveau de la mer et le développement socio-économique sur les systèmes côtiers (**Hinkel., 2005**), en tenant compte des impacts de l'érosion, des inondations et du dérèglement climatiques. Le système est constitué d'une base de données relationnelle et d'un moteur SIG représentant les différentes activités et phénomènes littoraux.

Actuellement le système après quelques ajustements est utilisé dans différentes applications avec comme cible la vulnérabilité. (**Ramieri et al., 2011**).

### 4.4 - L'approche basée sur les indicateurs

Ce sont des méthodes qui utilisent des indicateurs pour évaluer la vulnérabilité. Les indicateurs sont des données sélectionnées d'un ensemble statistique ayant une signification et une représentativité particulière par rapport à une problématique donnée. Les indicateurs donnent une pesance au thème étudié (**ADEME., 2012**). L'approche basée sur les indicateurs a été utilisée dans divers projets dont les plus importants sont le projet EuroSION et les différents projets GIZ (**GIZ et al., 2015**).

#### 4.4.1 - Le projet EuroSION

Ce type d'approche a été utilisé dans le projet EuroSION en adoptant treize indicateurs pour étayer l'évaluation du risque d'érosion côtière dans toute l'Europe qui sont (**EuroSION., 2004**) :

1. Le niveau relatif de l'élévation du niveau de la mer (estimation pour les 100 prochaines années);
2. Les tendances d'évolution du trait de cote ;
3. Changements de la stabilité à l'érosion ou l'accrétion ;
4. Le plus haut niveau de l'eau à marée haute;
5. L'urbanisation du littoral (dans la bande de terre de 10 km);
6. Réduction des sédiments de la rivière;
7. Géologie de la côte;
8. Elévation;
9. façade d'ingénierie (y compris la structure de protection) ;

10. Population vivant dans le rayon d'influence de l'érosion côtière et les inondations;
11. L'urbanisation du littoral (dans la bande de terre de 10 km);
12. les zones urbanisées et industrielles ;
13. les zones de grande valeur écologique dans le rayon d'influence de l'érosion côtière et les inondations.

Un score est attribué à chaque indicateur (élevé, moyen, faible) puis une cartographie de chaque indicateur a été éditée, à noter que les indicateurs relatifs à la sensibilité et aux impacts ont été agrégés pour évaluer le score de ces deux facteurs (**Ramieri et al.,2011**).

### 4.4.2 - Le projet GIZ

Le projet GIZ initié par les allemands a été appliqué dans différents pays du monde et lancé en Algérie mars 2016. il avait pour objectif de connaître le degré de la vulnérabilité d'un territoire aux effets des changements climatiques et de savoir quel méthodes de protection est la mieux adaptée pour diminuer le risque(**GIZ et al., 2015**).

Ce projet comprend plusieurs lignes directrices pour l'évaluation de la vulnérabilité qui visent à (**GIZ et al., 2015**):

- préparer l'analyse de vulnérabilité : il s'agit de connaître le contexte de l'analyse de la vulnérabilité et de préciser le périmètre de l'analyse de la vulnérabilité ;
- développer les chaînes d'impact : cette étape comprend l'identification des impacts et de les regrouper en cause à effet pour aboutir à la connaissance du degré d'exposition, de la sensibilité et des mesures d'adaptation ;
- identifier et sélectionner les indicateurs : Il s'agit de choisir une série d'indicateurs pertinents de la vulnérabilité. Il s'agit des indicateurs de sensibilité, d'exposition et de capacité d'adaptation ;
- recueillir et traiter les données : cette étape porte sur la collecte des données en vérifiant leur qualité (données exploitables, temporalité, exhaustivité, projection géographique...etc.), les données sont ensuite stockées dans une base de données ;
- normaliser les données des indicateurs : cette étape consiste à attribuer un score aux indicateurs préalablement choisis ;
- pondérer et agréger les indicateurs : il s'agit de donner un poids aux indicateurs sélectionnés l'indicateur le plus influent aura un poids plus important, une agrégation est aussi étudiée s'il y'a lieu de combiner différents indicateurs en un seul indicateur composite pertinent ;
- agréger les composantes de la vulnérabilité : les deux composantes de la vulnérabilité exposition et sensibilité sont agrégées en impact potentiel puis ce dernier est agrégé avec la capacité d'adaptation en indicateur de vulnérabilité composite ;

- présenter les résultats d'analyse de vulnérabilité : dans cette étape finale le but est de sortir avec un rapport détaillé de la vulnérabilité et des résultats illustrés.

### 4.5 - L'approche d'évaluation de l'IVC (indice de Vulnérabilité côtière)

L'indice de la vulnérabilité IVC est un outil utilisé pour quantifier la vulnérabilité côtière du au changement climatique et/ou non climatique (Gornitz., 1991) sous forme d'équation mathématique reliant plusieurs indicateurs aussi bien d'ordre physique ou socio-économique (Balica et al., 2012 ; Bagdanavičiūtė., et al 2015).

La représentation cartographique de cet indice est de nature à faciliter la lecture pour une prise de décision efficiente.

#### 4.5.1- Indice de vulnérabilité côtière de Gornitz

L'indice de vulnérabilité des zones côtières est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour évaluer la vulnérabilité des côtes à l'élévation du niveau de la mer, notamment en raison de l'érosion et /ou de l'inondation (Gornitz., 1991).

Cet indice fournit une base numérique simple pour le classement des sections de côtes en fonction de leur potentiel de changement qui peuvent être utilisés par les gestionnaires pour identifier, sur une carte, les régions où les risques peuvent être relativement élevés.

Il est très intéressant pour l'évaluation de la vulnérabilité physique de la côte mais ne prend pas en considération le facteur socio-économique, qui est important dans la prise de décision par rapport à la gestion des risques (McLaughlin et Cooper., 2010), cet indice a été repris et modifié dans un grand nombre d'études réalisées à travers le monde (Thieler et Hammar-Klose., 1999; Hammar-Klose et al., 2003; Abuodha et Woodroffe., 2006; Pantusa et al., 2018; Hoque et al., 2019). L'indice de Gornitz à titre d'exemple utilise les indicateurs : Géologie, Géomorphologie, élévation moyenne, tendance à l'affaissement, déplacement moyen du littoral, hauteur maximale des vagues et l'amplitude moyenne des marées.

L'équation de l'indice de Gornitz (1991) est calculée comme suit :

$$IVC = \sqrt{(a * b * c * d * e * f) / 6 \dots (3)}$$

Avec :

- a : géomorphologie
- b : déplacement moyen du littoral
- c : taux d'affaissement
- d : élévation du niveau de la mer

- e : hauteur moyenne significative des vagues
- f : marnage moyen

### 4.5.2- Indice de vulnérabilité côtière pour l'élévation du niveau de la mer

Özyurt a développé en (2007) un indice de vulnérabilité pour évaluer spécifiquement les impacts induits par l'élévation du niveau de la mer. L'indice est déterminé par l'intégration de 5 sous-indices, chacun correspond à un impact spécifique de l'élévation du niveau de la mer. Cette méthodologie a été appliquée au Delta Göksu en Turquie. Les cinq impacts représentent (Özyurt et al., 2009) :

- L'érosion côtière ;
- les inondations dues aux ondes de tempête ;
- inondation permanente ;
- l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines ;
- l'intrusion d'eau salée dans les rivières et estuaires.

### 4.5.3 - Indice de vulnérabilité composite

Szlafsztein et Sterr ont élaboré en (2007) un indice combinant un certain nombre de variables distinctes qui reflètent les caractéristiques naturelles et socio-économiques qui contribuent à la vulnérabilité côtière due aux risques naturels (Szlafsztein et Sterr., 2007).

Certains indicateurs peuvent différer en nombre, en typologie et en échelle d'évaluation. Une fois sélectionnés, les indicateurs sont agrégés selon un ensemble approprié de poids pour en extraire un indice composite de vulnérabilité côtière basé sur un Système d'Information Géographique.

Les résultats sont présentés sur trois cartes appelées vulnérabilité naturelle, socio-économique et vulnérabilité totale.

### 4.5.4 - Indice de vulnérabilité multi échelles

McLaughlin et Cooper (2010) ont développé un indice multi-échelle, intégrant spécifiquement les impacts de l'érosion, qui peuvent être appliqués à d'autres impacts des changements climatiques. L'indice intègre trois sous-indices : un sous-indice caractéristique côtière, décrivant la résilience et la vulnérabilité du littoral à l'érosion, un sous-indice caractérisant les variables de forçage contribuant à la vague induite, et un sous-indice socio-économique, décrivant des cibles potentiellement à risque.

Le calcul de chaque sous-indice est déterminé sur la base de diverses variables, dont l'identification spécifique (nombre et typologie) dépend de l'échelle de l'application considérée (McLaughlin et Cooper., 2010; Ramieri et al., 2011).

Les sous indices sont calculés par les formules suivantes :

$$SIC = \left[ \frac{SSIC - 7}{28} \right] * 100 \dots (4)$$

SIC : Sous Indice de Caractérisation

SSIC : Somme des scores des indicateurs de Caractérisation

$$SIF = \left[ \frac{SSIF - 6}{24} \right] * 100 \dots (5)$$

SIF : Sous Indice de Forçage côtier

SSIF : Somme des scores des indicateurs de Forçage côtier

$$SISE = \left[ \frac{SSISE - 4}{28} \right] * 100 \dots (6)$$

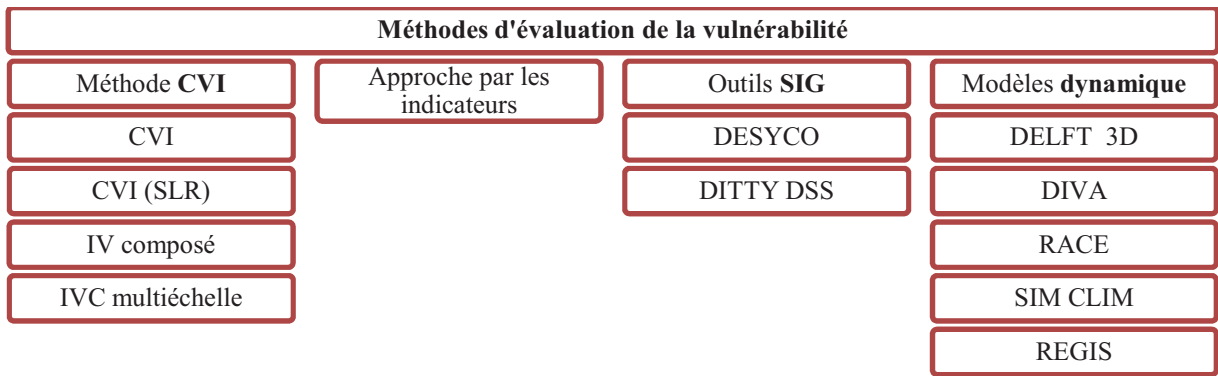
SISE : Sous Indice Socio-économique

SSISE : Somme des Scores des Indicateurs Socio-économique

L'indice multi-échelle sera calculé en divisant par 3 la somme des sous indicateurs

$$IVC = \left[ \frac{SIC + SIF + SISE}{3} \right] \dots (7)$$

Ce type d'indice est très intéressant car il prend en considération le facteur socio-économique qui permet d'évaluer de façon plus précise les zones vulnérables aux aléas (**McLaughlin et al., 2002**). Et, il va former l'une des composantes clés dans l'outil à développer dans le cadre de ce travail dans le but d'évaluer la vulnérabilité côtière de la baie de Bou Ismail (Ouest d'Alger), en ajoutant quelques indices propres au contexte locale en termes de facteurs naturels, administratifs et réglementaires et aux recommandations du GIEC (**Balica et al., 2012**).



**Figure 11:** les différentes approches d'évaluation d'après (Ramieri et al., 2011)

### 4.6 - Evaluation du risque côtier

Les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité côtière ont évolué vers l'évaluation du risque côtier dont le concept a été largement documenté par la nouvelle vision du GIEC de la vulnérabilité et du risque. Le passage vers l'approche risque et impact a fait que la vulnérabilité est devenue une partie intégrante du système impact et risque incluant l'exposition et la vulnérabilité du milieu face à l'aléa. Ce nouveau concept a été étudié par **Satta(2014)** en développant un indice de risque côtier en accord avec la nouvelle vision du GIEC de la vulnérabilité et du risque en adoptant le risque comme facteur de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa. L'indice développé a été divisé en 3 sous indices qui sont :

1. Le sous indice de forçage côtier : il concerne les indicateurs d'effet des caractéristiques climatiques et non climatiques sur la zone côtière ;
2. Le sous indice de vulnérabilité côtière : il concerne les fragilités littorales ainsi que les variables de résilience ;
3. Le sous indice d'exposition : concerne les éléments potentiellement en risque (l'usage des terres).

Cet indice a été appliqué pour les côtes sud de la méditerranée ce qui a permis de détecter d'une manière globale les zones à haut risques (hotspots) dans les côtes algériennes qui méritent d'être réétudiées localement (**Satta et al., 2015**).

L'Institut Hydraulique de Cantabrie (IHC) d'Espagne a réalisé une étude de l'évaluation du risque de tsunamis dans les côtes du Salvador cette étude a inclut des indicateurs de vulnérabilité, de résilience et d'exposition pour calculer le risque (**Gonzalez-Riancho et al., 2014**).

La tendance actuelle est le passage du calcul de la vulnérabilité vers le calcul du risque cependant ce passage nécessite toutefois l'évaluation de la vulnérabilité qui est l'un des facteurs du risque avec l'aléa et l'exposition. Dans le cadre de ce travail, nous allons mettre en place un indice de vulnérabilité côtière renforcé par des indicateurs d'exposition et d'aléa pour calculer le risque côtier.

### 5 – Etat des connaissances en Algérie

Sur le plan de la recherche scientifique l'Indice de Vulnérabilité Cotière (IVC) ou l'Indice de Risque Côtier (IRC) ne sont pas encore très utilisés, il serait très intéressant de réaliser plus d'études sur l'effet du réchauffement climatique le long de la côte en utilisant ces méthodes, les études publiées relatives à l'évaluation de la vulnérabilité côtière en Algérie portent sur les communes de la baie d'Alger qui a montré une forte vulnérabilité des communes d'Hussein Dey, El Mohammadia et Bordj El Kiffane (Rabehi et al., 2018). La vulnérabilité du Golfe de Béjaia qui a dévoilé une forte vulnérabilité dans la zone Ouest vers Oued Soummam ainsi qu'au centre de la baie ( Djouder et Boutiba M., 2017), et la vulnérabilité socio-économique de la zone côtière de Skikda qui a permis de mettre en place un indice de vulnérabilité côtière en prenant en considération des indicateurs d'aléas, d'enjeux, de perception (relatifs au degré de connaissance, sensibilisation, à l'engagement de la population dans la résilience de la zone côtière) et de gestion (Gestion des risques, plans de gestions, initiatives locales et archivage des risques) (Hadeb et Labii., 2017). Cette dernière étude s'inspire essentiellement de la méthode d'évaluation des vulnérabilités côtières suivant le système de vulnérabilité établi par Pr MeurFérec selon la méthode d'évaluation basée sur les 4 critères principaux qui sont, l'enjeu, l'aléa, la perception et la gestion (MeurFérec., 2006).

Les aménagements urbains, parfois négligents, sur le littoral algérois sont révélateurs, et y sont pour beaucoup dans les dommages observés, ce qui fragilise davantage les différentes infrastructures publiques et privées.

La courbe de la vulnérabilité du vieux bâti du littoral au niveau des grandes villes du pays est de plus en plus croissante compte tenu des interventions locales inadaptées.

Sur le plan organisationnel la méthode n'est que la résultante d'un concept général, valable et applicable à toutes les thématiques dans lesquelles elles nécessitent en plus de la rigueur scientifique, une démarche pragmatique et palpable qui définit, dans le cadre de notre travail, le cadre conceptuel et le modèle mathématique y afférent et en deuxième lieu, le processus propre à la thématique de la vulnérabilité côtière tout en développant les indices spécifiques au contexte du littoral Algérien.

Compte tenu de la diversité des types de systèmes naturels et des configurations sociales existants le long du littoral algérien, une classification et un zonage spécifique s'avère

indispensable tout en focalisant sur des éléments qui sont absolument nécessaires pour éviter toute ambiguïté.

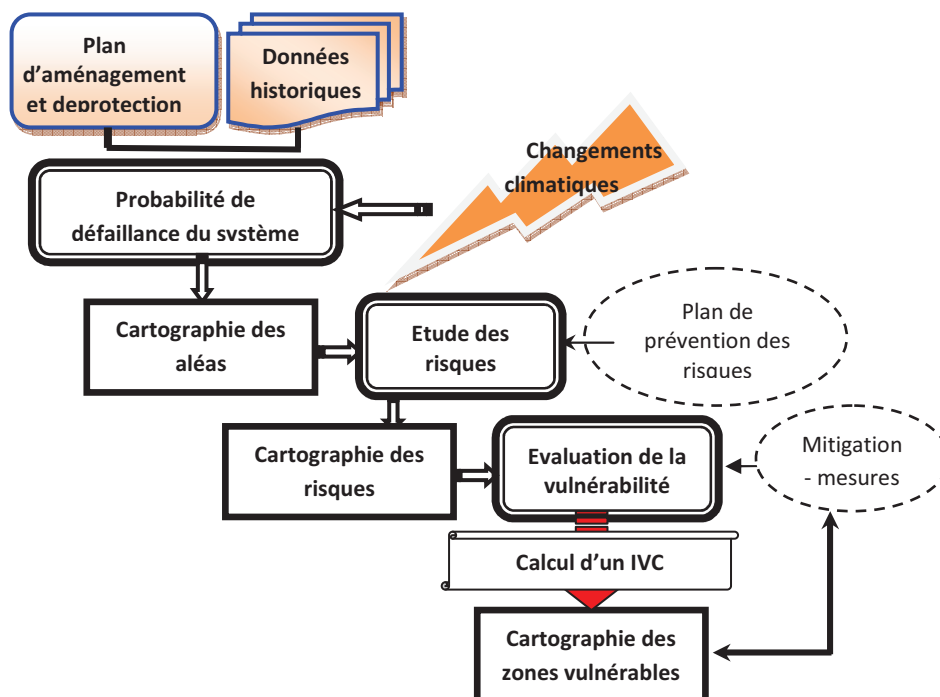
La population de la partie nord de l'Algérie a été, depuis l'antiquité, concentrée loin du rivage et à un niveau supérieur par rapport au niveau de la mer (**Kacemi., 2006**). Aujourd'hui les choses ont changé pour plusieurs considérations d'ordre social, démographique, économique et culturel. C'est la raison pour laquelle, le concept général doit être adapté au cas par cas et clarifié sur le plan opérationnel selon la classification adoptée au préalable.

Pour y faire face, l'amélioration des connaissances constitue une phase importante dans la mesure où, le niveau de sensibilisation des citoyens reste un facteur clés dans la mitigation en général en menant des actions concrètes visant la consolidation de la connaissance des risques, la généralisation de la surveillance et la prise en charge efficiente et intégrée des risques d'origine naturelle ou technologique y compris ceux propres aux zones côtières.

Tous les décideurs au niveau ministériel, de la wilaya, de la commune rêvent d'obtenir, sur simple accès, des données abondantes, fiables, complètes et continuellement actualisées sur le littoral qui comprend une épaisseur terrestre et une profondeur marine. Pour les wilayas littorales qui s'informatisent rapidement à l'instar de l'état civil et de la délivrance des documents d'identités biométriques (carte nationale, passeport, permis de conduire et la carte d'immatriculation automobile), les données relatives aux thématiques environnementales ne tardent pas à venir ; à travers un réseau reliant les fournisseurs et les utilisateurs de données géographiques à tous les échelons de la vie administrative, technique et scientifiques y compris les thématiques littorales.

Un projet structurant mérite d'être cité, initié par l'ancien Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement (MREE) et les institutions sous tutelle. La dimension transversale de l'environnement et l'approche intégrée du programme a fait que d'autres secteurs ont été impliqués(**MREE et al., 2015**).

Le projet vise le renforcement du commissariat National du Littoral (CNL) pour assurer la mission de gestion intégrée de la zone côtière, de préservation de l'espace littoral et le renforcement des capacités de surveillance environnementale en Algérie à travers le soutien au développement du Commissariat National du Littoral, principal outil de la politique de conservation et de valorisation des ressources naturelles et du patrimoine du littoral algérien(**MREE et al., 2015**).



**Figure 12** : Structure du programme d'évaluation de la vulnérabilité côtière (MREE et al., 2015 modifié)

La production de cartographie thématique est une activité indispensable pour la représentation de l'état de l'environnement. Le traitement des données géographiques et la télédétection sont perçus comme un préalable incontournable pour assurer la mise en œuvre d'outils pour lutter contre la pollution environnementale, la maîtrise et l'exploitation rationnelle des ressources naturelles et la gestion des risques littoraux en vue d'assurer un développement durable et de contenir l'impact des aléas sur les zones côtières par des approches d'adaptation et de protection. L'utilisation des fonctionnalités du système d'information à référence spatiale adopté permet aussi de donner toute leur dimension à l'analyse des différents aspects liés aux risques et la vulnérabilité littorale de manière à tirer profit des différents investissements même si l'objectif initial du projet vise la représentation des résultats ayant trait à la surveillance, le suivi et l'évaluation de l'état de l'environnement en général.

Il ressort clairement que l'approche environnementale trouve toute sa dimension dans les missions principales du CNL qui, à terme, peut s'adapter et s'orienter vers la gestion des risques en se focalisant sur le contexte de la vulnérabilité compte tenu du potentiel informationnel dont elle dispose.

En 2016 le système national d'Information environnemental (SIE), initié par le Ministère chargé de l'environnement, né du projet de jumelage, a été mis en place pour renforcer les capacités opérationnelles de l'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD).

Pour assurer la mission d'aide à la prise de décision et de diffusion de l'information environnementale, des démarches et les outils ci-dessous ont été introduits, ces démarches et outils consistent en l'utilisation d'images satellitaires, l'élaboration de cartes d'aide à la décision, la description de l'état des lieux et la réalisation de simulations et inconvénients et avantages de projet (**source : P3A Programme d'Appui à la mise en place de l'Accord d'Association., 2016**) :

Bien que le projet ne mentionne pas clairement le concept de la vulnérabilité dans les objectifs opérationnels, mais les actions projetées surtout en ce qui concerne l'édition des cartes d'aide à la décision tel que l'état de l'infrastructure et la superposition de cartographie laissent penser que l'outil vise, à terme, la gestion des risques. D'ailleurs l'objectif spécifique de ce programme est de « *Renforcer la mise en œuvre du Programme d'Aménagement Côtier de la Zone Côtière Algéroise (PAC-ZCA) et les capacités sectorielles de l'environnement* »

(**source :[https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/sites/near/files/aap\\_algerie\\_part\\_1\\_2012\\_ad.pdf](https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/sites/near/files/aap_algerie_part_1_2012_ad.pdf)**)

L'étude intitulée « Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels » a été réalisée en octobre 2013 avec la collaboration de l'Institut de l'Aménagement et de l'Urbanisme (IAU) (Paris-France), le Centre pour l'Intégration en Méditerranée (CMI) (Marseille- France) et le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) (France).

En effet, la wilaya d'Alger consciente des enjeux économiques et sociales que peuvent engendrer les aléas naturels comme les séismes, les inondations, les tempêtes, les sécheresses et les vagues de chaleur, a pris les mesures administratives et techniques pour comprendre les différents phénomènes de manière à agir vite et bien (**MATE et al., 2013**).

Le projet a fait un diagnostic sur le l'effet du changement climatique touchant à la fois :

- La forte variabilité climatique
- Le relief prononcé dans certains endroits
- La forte sismicité
- L'érosion et la submersion marine

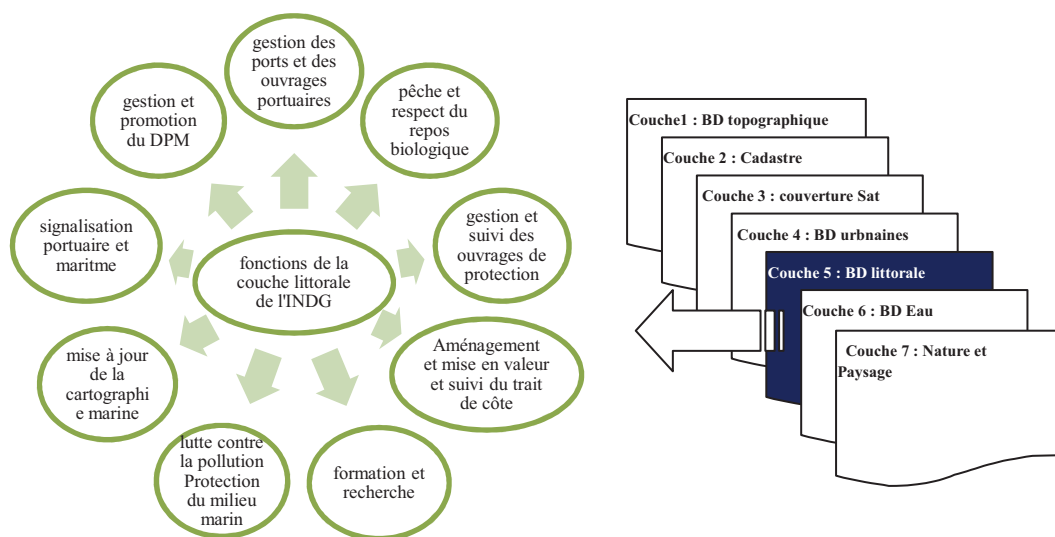
Le projet a mis l'accent sur le risque d'érosion et de submersion marine des zones côtière qu'elles soient falaise, plages rocheuses ou sableuses. L'étude montre qu'en situation actuelle, 24 % du linéaire côtier de la Wilaya d'Alger est considéré en risque fort d'érosion, et 2,2 % en risque fort de submersion (**MATE et al., 2013**). L'érosion et la submersion côtières sont fortement, selon les résultats de l'étude, influencée par l'élévation du niveau de la mer indirectement provoquée par le réchauffement climatique, due essentiellement à la dilatation des masses d'eau et la fonte des calottes polaires. Dans le cadre du projet en question, 20 centimètres à l'horizon 2030 a été retenue comme limite maximum, faute de données marégraphique sur la wilaya d'Alger (**MATE et al., 2013**).

La cartographie mis à la disposition des décideurs est de nature à faire une identification précise des aléas et des risques encourus avec une estimation des dommages entre le scénario de référence et celui d'adaptation pour en tirer les bénéfices du projet en termes de gain matériels et de préservation de vie humaines afférents à la mise en place des mesures d'adaptation y compris institutionnelles. Le projet prendra en efficacité si l'IVC a été retenue dans l'approche préconisée.

Le travail accomplis est une référence sur le plan scientifique et technique dans la mesure où, l'approche projet a donné des résultats concluants qui méritent d'être d'une part, consolidés par des opérations pointues en s'appuyant sur des données historiques et des observations in situ et d'autre part en la généralisant dans d'autres grandes villes côtière de l'Algérie.

Aussi, le comité national de haut niveau crée par le conseil national de l'information géographique (CNIG) a cerné la démarche à adopter pour la prise en charge sur le plan technique du projet de mise en place de l'infrastructure nationale de données géo spatiales (INDG) considérée comme un ensemble de technologies, des standards, des ressources humaines, nécessaires pour acquérir, traiter, distribuer, utiliser et préserver les données géo spatiales d'un état(CNIG., 2018).

En Algérie, la donnée se compose pour l'essentiel de données géographiques métriques sous format vecteur ou raster avec la définition de sept composantes qui constituent la première version de l'INDG dont la composante littorale en fait partie décrite en tant que base de données géographique littorale (géo littoral) qui va recevoir, une fois le projet concrétisé, l'ensemble des données liées au littoral Algérien.



**Figure 13** : Les fonctions éventuelles de la couche littorale de la plate forme INDG source : (CNIG., 2018)

Cette base de données mettra à la disposition des utilisateurs des données multi-échelles sur le littoral, utilisables par lien interopérable tels que les données d'occupation du sol, les plans des ports, les zones de pêche, le trait de côte, les données de sondage des fonds marins, données bathymétriques, données marégraphiques et les données environnementales.

Les données en question nécessitent une harmonisation et une démarche de validation dans la perspective de les croiser pour que leurs valeurs soient démultipliées. En cette phase préalable la difficulté majeure réside dans la définition de la précision et de l'exhaustivité de l'observation et donc de la fiabilité de la description des phénomènes observés et à observer. En effet, les institutions nationales disposent d'une information de plus en plus abondante et variée qui change notre perception du monde réel en termes d'évolution des outils et de mutation des concepts et des méthodes tout en exigeant des métadonnées détaillées.

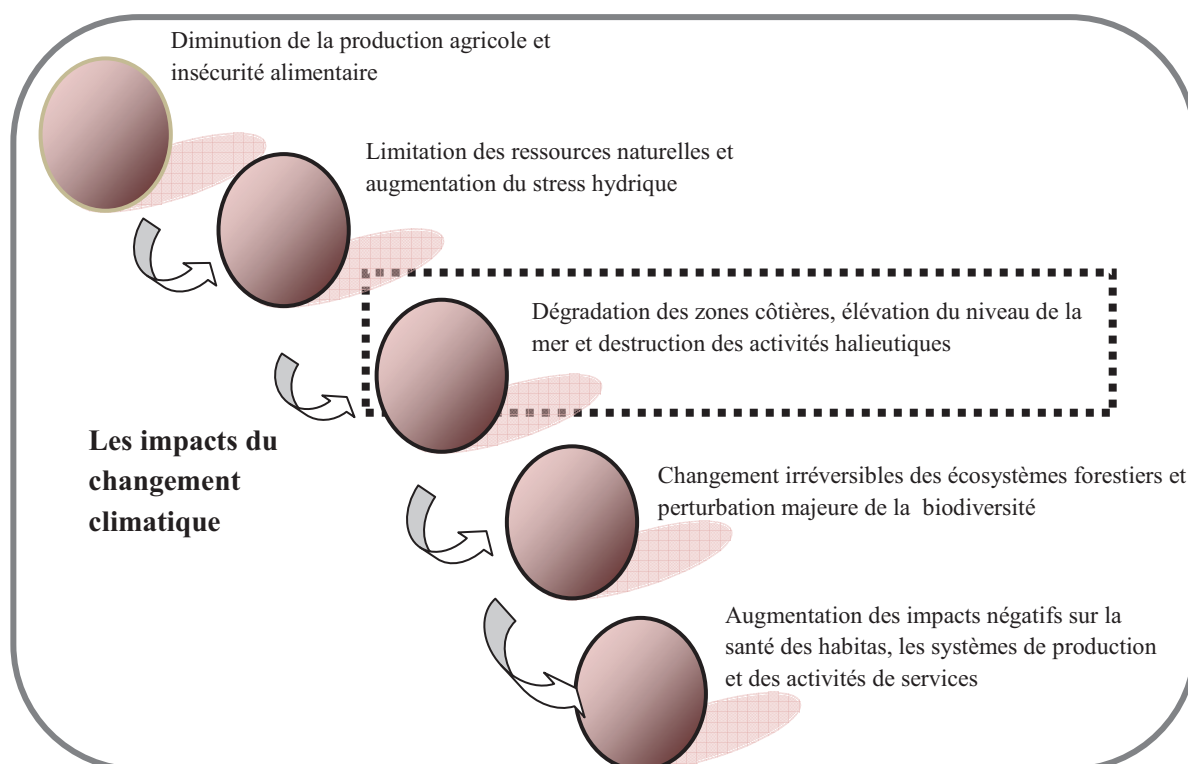
Le souci est justifié dans la mesure où, l'information est élaborée à la base pour un objectif précis et pour une vision schématique du monde réel dictée par les conditions de sa collecte, de son traitement et de son exploitation.

### **5.1 - Projet APNC :**

Il est important à ce niveau de recherche de citer un ambitieux projet intitulé "Projet d'analyse cartographie de la vulnérabilité face aux changements climatiques", initié par le Ministère des ressources en Eau et de l'Environnement en collaboration avec l'agence de coopération allemande (GIZ)(source : <https://www.giz.de/en/worldwide/29345.html>).

Le projet s'insère dans le cadre de la mise en œuvre du projet d'Appui au Plan National Climat (APNC) lui-même inscrit dans le programme de coopération algéro-allemande.

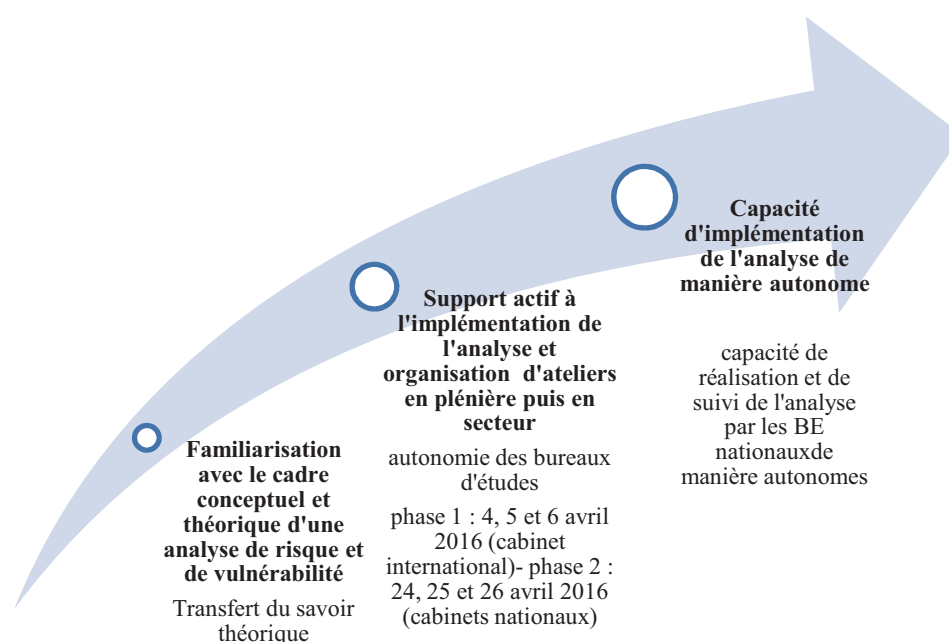
Les effets du changement climatique en Algérie issus des perturbations climatiques dus essentiellement à une hausse des températures, une diminution et une instabilité des précipitations et surtout l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes sont susceptibles de dégrader les zones côtières.



**Figure 14** : Les impacts du changement climatique dans le système national d'Information environnemental (MREE et GIZ.,2015)

A la lumière des résultats satisfaisants obtenus, il a été conclu d'élargir la discussion sur les limites de la méthode adoptée. L'approche adoptée dans le cadre du projet intitulé «Analyse de risque et de vulnérabilité (ARV)», initié par l'administration chargée de l'environnement, s'est basé sur la méthodologie qui a fait l'objet d'une publication par la GIZ Allemande sous forme de guide méthodologique de référence déclinée en 8 modules opérationnels clarifiant les directives, sous formes d'étapes élémentaires, à mettre en place pour la bonne conduite du projet d'analyse de risque et de vulnérabilité (GIZ et al.,2015). La méthode préconisée par le ministère chargé de l'environnement s'insère parfaitement dans la stratégie AR5 adoptée par le GIEC en 2014.

L'implémentation du cadre conceptuel dans la procédure d'analyse vise indirectement la sensibilisation et l'initiation des bureaux d'études nationaux à la méthode dans la mesure où, le consortium est constitué de 5 cabinets privés qui activent dans le domaine de l'environnement en général. Cette manière de voir les choses est de nature à valoriser l'approche systémique du risque utilisée dans la réalisation du projet et elle encourage à acquérir des connaissances pointues dans le domaine de la gestion des risques et la réalisation d'analyse similaires.



**Figure 15** : Schéma du cadre de transfert des connaissances pour la réalisation d'analyse suivant le cadre AR5 et la méthode source book de la GIZ (GIZ et al., 2015)

### 5.2- Pourquoi une cartographie des vulnérabilités et des risques

La cartographie en tant que support de narration visuelle reste un outil indispensable pour choisir le tracé ou la position théorique à un niveau macro pour arrêter la variante optimale d'un avant-projet en tant que composante indispensable et complètement intégré à l'environnement. L'absence de thématiques spécifiques aux aléas et aux risques (sismiques, inondations, érosion et submersion marine) complique plus le travail de l'aménagiste avec des surcoûts dus aux études d'impact.

Sur le plan administratif, en sus du visa des services de l'urbanisme, tout dossier de permis de construire doit être visé par la protection civile, les ressources en eau et l'environnement pour les besoins de protection et de sécurité des biens et des personnes. N'empêche que la procédure est de nature à rallonger les délais de réponse que de répondre à un besoin de nature sécuritaire faute d'outils cartographiques adaptés.

On parle de vulnérabilité en tant que concept novateur qui vise à identifier les territoires fragiles et la population précaire pour les besoins de conception d'approches d'adaptation. Cartographier la vulnérabilité va donc dans le sens de la prévention des risques avec la détermination des pertes et des dommages en cas de sinistre.

D'un point de vue purement cartographie classique, la représentation sur une carte d'un phénomène aussi abstrait soit il reste possible si les outils technologiques permettent la collecte et le traitement de l'information. Ceci est d'autant vrai que l'information recherchée est d'ordre topographique ou thématique.

La représentation d'un phénomène, qui repose sur l'interconnexion de plusieurs critères eux-mêmes influencés par la fluctuation des paramètres intrinsèques au phénomène observé et surtout aux facteurs exogènes comme le changement climatique par exemple (**Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (France), BRGM., 2012**), rend la représentation de la thématique encore plus compliquée avec la difficulté d'évaluation des risques liés à l'érosion et à la submersion marine.

Donc la cartographie de la vulnérabilité est pertinente si, l'objectif recherché est de connaître les pertes éventuelles en vie humaines et en biens matériels et de mettre en place des procédures adéquates pour surmonter le sinistre et proposer les textes juridiques appropriés ou de combler les vides juridiques observés dans la législation nationale.

La différence est donc de taille. En effet, il ne s'agit plus de faire des études pour connaître les aléas dans des régions où, la vulnérabilité est nulle. Mais d'investir sur la vulnérabilité qui prend l'élément humain au centre de notre préoccupation. Le produit ne doit pas être une fin en soi.

En effet, la visualisation recherchée, peu importe le support cartographique qui va véhiculer l'information, doit servir d'aide à la prise de décision au niveau national et local pour les différents plans d'interventions et scénarios de post sinistre. Et surtout, pour favoriser une politique territoriale intégrée et durable par la mise en place de schémas nationaux et régionaux respectant le milieu naturel et la biodiversité.

L'outil cartographique en question peut être soit une carte thématique classique en choisissant la vulnérabilité territoriale et sociétale ou un système d'information évolutif à référence spatiale avec la possibilité de revoir les paramètres en termes de critères ou de pondération. Ceci nous paraît intéressant dans la mesure où, le décideur a toute la latitude de réintroduire les attributs descriptifs dans la base de données. Le développement informatique a rendu beaucoup de services à la géographie et la cartographie en termes de nouvelles méthodes de collecte, de traitement et de diffusion de l'information cartographique tout en automatisant différents aspects de la cartographie (**Waniez., 2010**) avec désormais, la possibilité d'interroger et d'analyser, pour des besoins de synthèses et de gestion intégrée des zones côtières. Une cartographie des vulnérabilités et des risques côtiers de la baie de Bou Ismail fera l'objet d'un travail détaillé dans les chapitres 2, 3 et 4.

### Conclusion du chapitre I

Les aléas naturels ont causé des morts, des dégâts matériels et des pertes économiques dans l'histoire de l'humanité et peuvent être encore plus dévastateurs avec les effets du changement climatique.

Les concepts sur la vulnérabilité et du risque ont évolué depuis les années 1950, ils sont passés de la focalisation sur l'aléa puis à la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité pour connaître le degré du risque et enfin maîtriser le rôle de la résilience dans l'atténuation du risque en question. Ces concepts ont permis d'établir des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité côtière, donnant naissances à des projets dans le monde entier avec des approches différentes ces approches peuvent être basées sur les systèmes d'informations géographiques, sur les méthodes dynamiques, sur des indicateurs de vulnérabilité ou sur les indices de vulnérabilité.

Des chercheurs ont tenté de développer des indices de vulnérabilité en se basant sur des méthodes d'analyse multicritères, ils ont ainsi pu établir des indices différents spécifiques au contexte de leur étude et en intégrant des indicateurs qui étaient négligés avant comme c'est le cas pour les indicateurs socio-économiques.

Un indice de vulnérabilité et de risque côtier multi échelle sera développé pour les côtes algériennes afin de connaître le degré de fragilité et d'impact potentiel des aléas (érosion et submersion) sur la baie de BouIsmaïl. Le prochain chapitre discutera de la mise en place de cet indice.

### Références du premier chapitre

1. ADEME (2012) Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/indicateurs-vulnerabilite-territoire-changement-climatique-7406.pdf>. consulté le 01/06/2020.
2. Abuodha P, Woodroffe CD (2006) Assessing vulnerability of coasts to climate change: a review of approaches and their application to the Australian coast. University of Wollongong, Australia  
<https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1189&context=scipapers>.
3. Alasset JP, Hébert H, Maouche S, Calbini V, Meghraoui M (2006) The tsunami induced by the 2003 Zemmouri earthquake (MW = 6.9, Algeria): modelling and results. *Geophysical Journal International* 166 (1): pp 213-226.

4. APNC, MREE (2018) Projet d'analyse cartographie de la vulnérabilité face aux changements climatiques
5. Bagdanavičiūtė I, Kelpšaitė L, Soomere T (2015) Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas, *Ocean & Coastal Management*, 104, pp 124-135.
6. Barroca B, DiNardo M, Mboumoua I (2013) De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ?. *Echogéo*. <http://echogeo.revues.org/13439> ; DOI : 10.4000/echogeo.13439.
7. Beltrando G (2012) Élévation du niveau marin dans les îles intertropicales des océans Pacifique et Indien. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement* [Online]. <http://journals.openedition.org/tem/1783> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/tem.1783>.
8. Bokwa A (2013) Natural Hazard. In: Bobrowsky P.T. (eds) *Encyclopedia of Natural Hazards. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4\\_248](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_248)
9. BRGM (2013) Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels.
10. Chaumillon E, Wöppelmann G, Karpytchev M, Bertin X (2011) Mesures et modélisations des évolutions du niveau marin, des vagues, des tempêtes et des évolutions des littoraux pour une gestion durable des littoraux. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online]. <http://journals.openedition.org/vertigo/10947> . DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.10947>.
11. CNIG (2018) Rapport du CNIG.
12. Commissariat de l'Energie Atomique (2008) Les séismes. <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/livrets-thematiques/LPseisme.pdf>.
13. D'Ercole R, Thouret JC, Dollfus O, Asté JP (1994) Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de géographie alpine*. Volume 82. Numéro 4 : pp. 87-96.
14. Department of Natural Resources South Carolina Geological Survey (2005) Earthquake and seismic waves. <https://www.dnr.sc.gov/geology/pdfs/Earthquakes.pdf>
15. Djeddi M (2013) Sismicité de la Région d'Alger: Analyse et synthèse des connaissances actuelles. 35pp, 20 figures, 4 tableaux. Laboratoire de Physique de la Terre, Université M'Hamed BougaraBoumerdes -Algérie.

16. Djouder F et Boutiba M (2017) Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences* 10 (299). DOI 10.1007/s12517-017-3062-5.
17. ETC/ACC (2008) Climate change vulnerability and adaptation indicators. ETC/ACC Technical Paper 2008/9, [https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cca/products/etc-cca-reports/etcacc\\_tp\\_2008\\_9\\_ccvuln\\_adapt\\_indicators-1](https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cca/products/etc-cca-reports/etcacc_tp_2008_9_ccvuln_adapt_indicators-1), consulté le 28/06/2020
18. EuroSION (2004) Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability. PART III – Methodology for assessing regional indicators. <http://www.euroSION.org/reportsonline/part3.pdf>. consulté le 09/07/2020.
19. Fussell HM et Klein RJT (2006) Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic change* 75: 301-329. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>.
20. GIEC (2013) Changements climatiques 2013, Les éléments scientifiques. [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_fr.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf). consulté le 05/07/2020.
21. GIEC (2014) Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
22. GIZ, Adelphi, EURAC research (2015) The Vulnerability Sourcebook Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.
23. González-Riancho P, Aguirre-Ayerbe I, García-Aguilar O, Medina R, González M, Aniel Quiroga I, Gutiérrez OQ, Álvarez-Gómez JA, Larreynaga J, Gavidia F (2014) Integrated tsunami vulnerability and risk assessment: application to the coastal area of El Salvador, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, pp 1223–1244, doi:10.5194/nhess-14-1223-2014.
24. Griot C (2007) Des territoires vulnérables face à un risque majeur : le transport de matières dangereuses. *Géocarrefour* [Online], vol. 82/1-2 | 2007, Online since 01 June 2010, connection on 26 June 2019. URL : <http://journals.openedition.org/geocarrefour/1459>. DOI : 10.4000/geocarrefour.1459.
25. Guivarch C et Cassen C (2015) L'atténuation du changement climatique : retour sur le 5ème rapport du GIEC. *La météorologie* 88.

26. Halcrow Group Ltd, 2007. Risk Assessment of Coastal Erosion: Part One. Department for Environment Farming and Rural Affairs and Environment Agency. R&D Technical Report FD2324/TR1. Available at: [http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=FD2324\\_7453\\_TRP.pdf](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=FD2324_7453_TRP.pdf)
27. HadeffR et Labii B (2017) Evaluation de la vulnérabilité socio-économique de la zone côtière de Skikda. *Sciences & Technologie*45: pp 119-130.
28. Hammar-Klose ES, Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ (2003) Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. U.S. Geological Survey. [https://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/images/pdf/CapeCod\\_CVI.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/images/pdf/CapeCod_CVI.pdf).
29. Hemdane Y et Benslama L (2016) Etude des oscillations marines de basse fréquence pouvant induire une potentielle submersion marine sur un littoral microtidal. Cas du littoral Algérois (port d'Alger)
30. Hénaff. A et al (2013) Risques côtiers d'érosion et de submersion.
31. Hinkel J (2005) DIVA: an iterative method for building modular integrated models. *Advances in Geosciences*4: 45–50.
32. Hinkel J, 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.
33. Holman, I.P., Loveland, P.J., Nicholls, R.J., Shackley, S., Berry, P.M., Rounsevell, M.D.A., Audsley, E., Harrison, P.A. and Wood, R. (2002) *REGIS: Regional climate change impact and response studies in East Anglia and north west England*. Environment Agency & English Nature :20pp.
34. Hoque MA, Ahmed N, Pradhan B, Roy S (2019) Assessment of coastal vulnerability to multi-hazardous events using geospatial techniques along the eastern coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management* 181. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104898>.
35. IPCC (1990) Climate Change. The IPCC scientific assesment.
36. IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
37. IPCC (2014a) Climate change Synthesis report. [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf). Accessed on 02 December 2017.

38. IPCC (2014b) Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
39. Kacemi M (2006) Protection du littoral en Algérie entre politiques et pouvoirs locaux : Le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran- Algérie). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* 7(3). <http://journals.openedition.org/vertigo/8815> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.8815>.
40. Kerven GY (1995) Eléments fondamentaux des cindyniques. Economica.
41. Klein RJT (2002) Coastal vulnerability, resilience and adaptation to climate change An interdisciplinary perspective, dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät of the Christian-Albrechts-Universität.
42. Klein RJT, Schipper ELF, Dessai S (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental Science & Policy*, 8(6), 579–588. doi:10.1016/j.envsci.2005.06.010.
43. Léone F, Asté JP, Leroi E (2006) . L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque/ The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslides risks. *Revue de géographie alpine* 84(1) :pp. 35-46. doi : <https://doi.org/10.3406/rga.1996.3846>. [https://www.persee.fr/doc/rga\\_0035-1121\\_1996\\_num\\_84\\_1\\_3846](https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1996_num_84_1_3846).
44. Léone F (1996) Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Environnement et Société. Thèse de doctorat. Université de Grenoble. tel-00721876.
45. Luijendijk A, Hagenaars G, Ranasinghe R, Baart F, Donchyts G, Aarninkhof S (2018) The state of the world's beaches. *Sci Rep* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
46. Magnan A (2009) La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : Mise au point conceptuelle et facteurs d'influence. *Idrri* 01. [https://www.idrri.org/sites/default/files/import/publications/an\\_0901\\_a.magnan\\_vulnerabilite.pdf](https://www.idrri.org/sites/default/files/import/publications/an_0901_a.magnan_vulnerabilite.pdf).

47. Maouche S, Morhange C, Meghraoui M (2009) Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean, *Marine Geology* 262:96-104. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.03.013>.
48. MATE, EGIS Eau, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Île-De-France, Bureau de Recherches Géologique et Minière (2013). Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 – Évaluation et représentation des sources de vulnérabilité. [http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC\\_Alger\\_Phase%201\\_FINAL\\_Part1\\_0.pdf](http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC_Alger_Phase%201_FINAL_Part1_0.pdf). Consulté le 05 Novembre 2017.
49. Mathis CF, Frioux S, Dagenais M et Walter F (2016) Vulnérabilités environnementales : perspectives historiques , *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* 16 (3)| décembre 2016. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/17993> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.17993>.
50. Meur-Férec C (2006). De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral :un itinéraire de géographe. Géographie. Université de Nantes. tel-00167784.
51. McLaughlin S et Cooper JAG (2010) a multi scale vulnerability index: a tool for coastal managers? .*Environmental Hazards Human and Policy Dimensions*: pp 234-248.
52. Meghraoui M., Maouche S., Chemaï B., Cakir Z., Aoudia A., Harbi A., Alasset P.- J., Ayadi A., Bouhadad Y., and Benhamouda F., Coastal uplift and thrust faulting associated with the Mw=6.8 Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 may 2003. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L19605, doi:10.1029/2004GL020466, 2004.
53. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville (2013)Appui à l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD) pour l'amélioration de ses capacités opérationnelles et la mise en œuvre du Système national d'Information Environnementale (SIE).
54. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, de l'Energie, BRGM (2012)Dynamique des systèmes littoraux et des milieux marins côtiers Synthèse.
55. MREE, PAP/RAC, PAM (2015) Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie. (Appui PAM-MedPartnership, UNESCO).
56. MREE et GIZ (2015) Elaboration d'une analyse et d'une cartographie au niveau national de la vulnérabilité face au changement climatique. Draft TDR. Version 15.10.2015
57. Mocenni C, Casini M, Paoletti S, Giordani G, Viarli P, ZaldivarComengas J (2009) A decision support system for the management of the Sacca di Goro (Italy) In Marcomini A.,

Suter G.W. II and Critto A.(eds.), 2009. Decision Support Systems for Risk-Based Management of Contaminated Sites: pp 399-422.

**58.** Morin M (2008) Concepts de base en sécurité civile, 4. [https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite\\_civile/publications/concepts\\_base/concepts\\_base.pdf](https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/concepts_base/concepts_base.pdf). Consulté le 06 Avril 2018.

**59.** Niazi S (2007) Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation. THESE DE DOCTORAT D'ETAT UNIVERSITÉ MOHAMMED V –AGDAL Rabat.

**60.** Nicolet JL (2011) Contribution de la cindynique au traitement judiciaire des accidents collectifs. Thèse de doctorat. Université Angers.France.

**61.** Nicholls RJ (1995) Synthesis of Vulnerability Analysis Studies. University of Maryland

**62.** Nicholls RJ (2002) Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. Volume 27, Issues 32–34, [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00090-6](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00090-6), Pages 1455-1466.

**63.** Nicholls RJ (2004) Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global environmental change*. Volume 14, Issue 1, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.007>, Pages 69-86.

**64.** Özyurt G (2007) Vulnerability of coastal areas to sea level rise: a case of study on Goksu Delta. Thèse de doctorat. Graduate School of Natural and Applied Sciences of middle-East Technical University.

**65.** Özyurt G et ErginA (2009) *Journal of Coastal Research* Special Issue No. 56. Proceedings of the 10th International Coastal Symposium ICS 2009, Vol. I: pp. 248-251

**66.** Pablo GS (2007) Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los serviciostécnicosurbanosfrente a los riesgosnaturales. Universitat Politècnica De Catalunya.

**67.** Pantusa D, D'alessandro F, Riefolo L, Principato F, Tomasicchio GR (2018) Application of a Coastal Vulnerability Index. A Case Study along the Apulian Coastline, Italy. *Water* 10 (9).<https://doi.org/10.3390/w10091218>.

**68.** Paskoff R (1992) côtes en danger. Harmattan.

**69.** Pilkey OH, Neal WJ, Monteiro JH, Dias JMA (1989) Algarve barrier islands : A noncoastal-plain system in Portugal. *Journal of coastalresearch* 5 (2): pp 239-261.

**70.** Pirazzoli PA (1993) Les littoraux leur évolution. Nathan Université.

71. Quenault B, Pigeon P, Bertrand F, Nadège B (2011) Vulnérabilité et résilience aux changements climatiques en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ?. Rapport de recherche: pp 57-125.
72. Quenault B (2015) La vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique. In: Les Annales de la recherche urbaine, N°110. Ville et vulnérabilités: pp. 138-151. doi : 10.3406/aru.2015.3175 . [http://www.persee.fr/doc/aru\\_0180-930x\\_2015\\_num\\_110\\_1\\_3175](http://www.persee.fr/doc/aru_0180-930x_2015_num_110_1_3175).
73. Rabehi W, Guerfi M, Mahi H (2018) Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. *Méditerranée*. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>.
74. Ramieri E, Hartley A, Barbanti A, Duarte Santos F, Gomes A, Hilden M, Laihonon P, Marinova N et Santini M (2011) Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. European Topic Center on Climate Change impacts vulnerability and Adaptation. [https://cca.eionet.europa.eu/docs/TP\\_1-2011](https://cca.eionet.europa.eu/docs/TP_1-2011). consulté le 02 Juin 2019.
75. Reghezza M (2006) Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale. Thèse de doctorat. Géographie. Université de Nanterre - Paris X, 2006. Français. tel-00123255
76. Richards J et Nicholls RJ (2009) Impacts of climate change in coastal systems in Europe. PESETACoastalSystemsstudy. JRC Scientific and Technical Reports.
77. Rizzi J., Gallina V., Torresan S., Critto A., Gana S., Marcomini A. (2015). Regional Risk Assessment addressing the impacts of climate change in the coastal area of the Gulf of Gabes (Tunisia). *Sustainability Science 11(3)*:455–476. doi:10.1007/s11625-015-0344-2.
78. Satta (2014) An Index-based method to assess vulnerabilities and risks of Mediterranean coastal zones to multiple hazards. Doctoral dissertation , Department of Economics Ca'Foscari University of Venice,Italy.
79. Satta A, Venturini S, Puddu M, Firth J, Lafitte A (2015) Application of a Multi-Scale Coastal Risk Index at regional and local scale in the Mediterranean .[https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multiscale\\_coastal\\_risk\\_index.pdf](https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multiscale_coastal_risk_index.pdf). Accessed on 14 December 2017.
80. SattaA ,Puddu M , Venturini S , Giupponi C (2017) Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: The case of the Mediterranean region International. *Journal of Disaster Risk Reduction*24 :pp 284–296.
81. Schmidt-Thomé P etKallio H (2006) Natural and technological hazard maps of Europe. *Geological Survey of Finland*, specialpaper 42.

- 82.** Szlafszteinet Sterr (2007) A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. *J Coast Conserv* 11: 53. <https://doi.org/10.1007/s11852-007-0003-6>.
- 83.** Thieler ER, Hammar-Klose ES (1999) National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/dds/dds68/reports/eastrep.pdf>. consulté le 16 Février 2020.
- 84.** Torresan S, Gallina V, Giannini V, Rizzi J, Zabeo A, Critto A, Marcomini A (2012) DESYCO: a decision support system to provide climate services for coastal stakeholders dealing with climate change impacts. *Geophys Res Abstr* 14:EGU2012–EG10138.
- 85.** Tung TT, Walstra DJR, Van de Graaff J, Stive MJF (2009) Morphological modelling of tidal inlet migration and closure. *Journal of Coastal Research*, SI 56, (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), 1080-1084. Lisbon, Portugal, ISSN 0749-0258.
- 86.** Van der Werf J, Giardino A, Mulder J, Stolk A (2011) A first investigation into the impact of very large scale offshore sand mining along the Dutch Coast. *Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*, No 32(2010), Shanghai, China.
- 87.** Veyret Y et Reghezza M (2006) Vulnérabilité et risques L'approche récente de la vulnérabilité. *RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT* 43: pp 9-14.
- 88.** Waniez P (2010) « Philcarto : histoire de vie d'un logiciel de cartographie », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 497, consulté le 01 juillet 2020. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/23076> ;DOI :<https://doi.org/10.4000/cybergeo.23076>.
- 89.** Warrick RA (2009) Using SimCLIM for modelling the impacts of climate extremes in a changing climate: a preliminary case study of household water harvesting in Southeast Queensland. 18th World IMACS /MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- 90.** Wisner B (2018) Social science contribution to disaster risk reduction : possible lessons for Algeria. In : Conférence Nationale sur la gestion des risques de catastrophe pour plus de résilience 22-23 Octobre 2018.

# **Chapitre 2**

**Méthodologie et développement d'un IVC  
et de l'IRC**

## Chapitre II :

### Méthodologie et développement d'un IVC et de l'IRC

---

#### 1 – Introduction

Pour pouvoir mettre en place un indice de vulnérabilité côtière multi échelles spécifique aux côtes algériennes, il faut d'abord comprendre le phénomène objet de notre étude de manière à identifier les causes susceptibles de les déclencher ainsi que les facteurs qui aggravent la vulnérabilité côtière face aux risques d'érosion et de submersion marines.

Pour atteindre le résultat escompté en termes cartographique, le calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (IVC) aura, selon la classification à retenir, à traduire la sensibilité et la résilience en tant que variables dans la formule finale. Pour ce qui est de l'indice du risque côtier (IRC), et compte tenu des inputs, l'équation finale nécessite le calcul de trois sous indices (IPCC., 2014) à savoir:

- Le sous indice de vulnérabilité côtière
- Le sous indice de l'exposition
- Le sous indice de l'aléa

Cette configuration est similaire à l'approche adoptée par **Satta(2015)** dans le cadre du projet plan Bleu qui a mis au point un indice de risque côtier pour les côtes méditerranéennes (**Satta et al., 2015**) qui diffère par les sous critères (indicateurs) qui doivent être spécifiques au littoral Algérien. Notre étude entre dans un cadre local contrairement à l'étude menée dans le cadre du plan Bleu qui vise l'échelle régionale.

Grâce à la hiérarchisation du problème de l'érosion et de la submersion on peut appréhender le phénomène par l'analyse hiérarchique des procédures (AHP). Mais d'abord, on doit définir les sous critères qui seront pris en considération ; c'est-à-dire, trouver les indicateurs de la vulnérabilité qu'on doit classer selon leurs caractéristiques spécifiques en impact naturel ou en impact humain sans omettre le contexte Algérien en termes socio-économiques. Pour ce faire, l'exploitation des supports sur lesquels va s'appuyer notre investigation s'avère nécessaire. On est amené dans ce contexte à décortiquer les lois et réglementations qui ont un lien avec le littoral et l'aménagement du territoire (SNAT, loi littorale) ainsi que sur les études effectuées auparavant dans le cadre de la GIZC tels que le PAC (Plan d'Aménagement Côtier) et l'expérience internationale en la matière.

L'érosion et la submersion marine peuvent être causées par l'effet de la nature ou par l'intervention de l'homme (causes anthropiques). Des deux effets, découlent les indicateurs susceptibles de faire partie de l'équation finale de l'indice de la vulnérabilité et de risque, dont on a schématisé l'arbre de cause à effet de manière à montrer les causes et les conséquences des deux aléas en question.

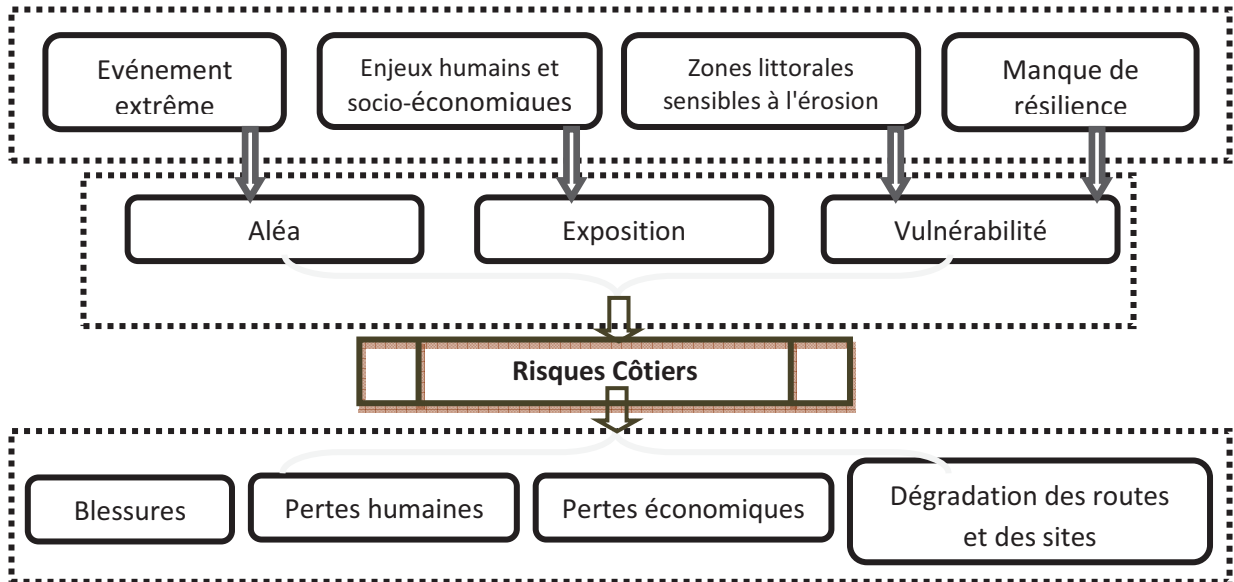


Figure 16 : Arbre des contraintes du risque d'érosion basée sur la théorie du risque (IPCC., 2014) modifié.

## 2 - Apport de la réglementation

### 2.1 – la loi littoral

La loi n° 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral prévoit des mesures pour la protection et la durabilité du littoral algérien sur tous les angles environnementaux, touristique et économique. De ce fait, elle fait office, une fois les plans de prévention et d'activités adoptés, de guide de référence pour l'évaluation de la vulnérabilité et du risque. Elle trace, de ce fait, les grandes lignes directrices en matière d'urbanisme, de prévention et de valorisation du littoral Algérien.

La loi 02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral constitue le dispositif législatif de base actuellement en vigueur. Cette loi s'articule sur trois grands volets qui vise à définir les différents concepts ayant trait au littoral, d'introduire les instruments de gestion et d'intervention et enfin, d'asseoir les dispositions pénales de dissuasion en clarifiant les infractions en la matière. Plus de dix huit (18) ans après la promulgation de la loi dite littoral, le temps est au bilan pour en tirer profit des avantages pour les consolider et analyser les difficultés et les contraintes opérationnelles et d'introduire, le cas échéant, des correctifs nécessaires au plan technique et réglementaire de manière à proposer des adaptations nécessaires selon les avancées scientifiques.

La loi littoral stipule en son article 5 «État naturel du littoral doit être protégé. Toute mise en valeur du littoral doit être effectuée dans le respect des vocations des zones concernées». C'est le principe fondamental de cette loi qui vise à réglementer l'exploitation durable des ressources littorales. En effet, la volonté des aménagistes d'agir dans un cadre concerté, pour les communes littorales ayant une façade maritime se heurte à un handicap qui réside dans la gestion financière des communes littorales qui ne dispose pas d'une nomenclature de dépense détaillée et dédiée à la sauvegarde du littoral. Des adaptations budgétaires s'avèrent nécessaires pour une efficacité accrue.

En matière de gestion des risques, les responsables des communes à façade littorale qu'elle soit urbaine rurale ou mixte, peinent à trouver des solutions pratiques aux différents problèmes existants sur leurs côtes. La manière d'appréhender le phénomène suit la configuration et la typologie du littoral. En effet, une commune entièrement urbaine sous entend que l'anthropisation est poussée au maximum jusqu'à la limite du domaine public littoral.

On a vraisemblablement différente typologie selon le classement qu'on va faire, ce qui implique une réorganisation des services techniques de la commune. C'est-à-dire qu'en sus des activités communes à toutes les assemblées populaires communales, une réflexion s'est imposée d'elle-même en ce qui concerne les spécificités des communes littorales de manière à introduire les thématiques ayant traits aux risques côtiers dans la gestion et l'aménagement des communes littorales. Actuellement, les services déconcentrés de l'Etat assure cette mission avec des établissements publics administratifs (EPA) et spécialisés (EPS) et quelques établissements à caractère industriel et commercial (EPIC) pour l'application de la loi littoral, la gestion du domaine public maritime et le suivi environnemental. Le passage à un niveau communal pour la gestion des risques côtiers et l'évaluation et l'analyse de la vulnérabilité nous paraît indispensable de manière à assurer l'équilibre entre les contraintes de protection avec les objectifs d'aménagements.

La première critique qu'on peut faire à ce texte réside dans la complexité à réunir des données fiables et d'appliquer des méthodes scientifiques rigoureuses pour atteindre un niveau de précision et d'exhaustivité acceptable. De plus, depuis la promulgation du texte aucun classement n'a été effectué conformément à l'article 3 ci-dessus. La raison réside probablement dans l'approche qui à notre sens est budgétivore d'où, la nécessité d'appréhender la problématique sous un angle IVC qui peut être affiné au fur et à mesure d'introduction des critères pertinents et représentatifs.

Le projet PAC a permis l'étude de l'aménagement de la zone côtière algéroise de manière intégrée en prenant en considération un nombre considérable de contraintes tel que l'érosion côtière, les inondations, la pollution, la détérioration de la biodiversité littorale, les indicateurs choisis dans le projet PAC sont **(MATE et al., 2006)** :

**Tableau 2** : les indicateurs utilisés dans le projet PAC d'Alger(MATE et al., 2006)

<b>Numéro de l'indicateur</b>	<b>Intitulé de l'indicateur</b>
01	Extraction de sable
02	Conservation des dunes littorales
03	Linéaire côtier sableux interdit à la baignade
04	Couverture végétale
05	Réhabilitation et conservation des sites culturels et monuments historiques
06	Exploitation rationnelle des ressources hydriques souterraines
07	Tarifcation de l'eau
08	Alimentation en eau potable
09	Collecte de déchets solides
10	Traitement des déchets solides
11	Dépollution industrielle
12	Epuration des eaux usées
13	Réseau d'assainissement
14	Biodiversité marine
15	Part du carburant automobile propre
16	Qualité de l'air
17	Croissance de la population urbaine
18	Taux d'urbanisation
19	Taux de chômage
20	Linéaire côtier artificialisé
21	Espaces verts urbains
22	Nombre de personnes par logements
23	Pression du tourisme balnéaire
24	Teneur en nitrates des eaux souterraines
25	Utilisation des fertilisants
26	Perte de foncier agricole due à l'urbanisation
27	Aires côtières protégés et marines
28	Production halieutique
29	Erosion des cotes sableuses
30	Indicateur de sismicité

Le premier projet a été lancé en application de l'article 26 du décret n° 09-114 du 7 avril 2009 fixant les conditions d'élaboration du plan d'aménagement côtier, son contenu et les modalités de sa mise en œuvre pris en application de la loi n° 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral. Les méthodologies appliquées sur le pourtour méditerranéen ont été étudiées, compte tenu des similitudes à une échelle géographique régionale, avec les spécificités du littoral algérien. Le PAC de la zone côtière algéroise a été lancé dans la perspective d'atteindre à terme l'identification des secteurs à risques classés critiques conformément au décret n° 09-88 du 17 février 2009 relatif au classement des zones critiques du littoral là où, des interventions curatives s'avèrent nécessaires. De plus l'introduction d'une véritable politique préventive qui définit l'arsenal juridique et les différentes stratégies organisationnelles et structurelles, en sus de la vision administrative souvent inefficace, aptes à assurer la sauvegarde du littoral dans une perspective de développement durable. Le processus de développement durable a pris en considération :

- le développement social et le bien-être de la population;
- la poursuite du développement des activités économiques dans l'utilisation rationnelle des ressources naturelles de la zone;
- l'arrêt de la dégradation des écosystèmes naturels;
- la prévention de processus à impacts négatifs sur l'environnement.

Le projet a identifié cinq axes prioritaires qui portent sur :

- la maîtrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols,
- la lutte contre la pollution liée à l'assainissement et aux déchets solides,
- la protection des sites sensibles naturels et culturels,
- la gestion intégrée des ressources en eau et
- la gestion intégrée des zones côtières.

En termes cartographiques comme support privilégié par le décret n° 09-114 du 7 avril 2009 fixant les conditions d'élaboration du plan d'aménagement côtier, son contenu et les modalités de sa mise en œuvre prévoit des dispositions pour l'élaboration des plans suivants :

- une carte de la géomorphologie et géologie du sol ;
- une carte de la situation écologique ;
- une carte de sensibilité à l'érosion ;
- une carte du cadre bâti (échelle 1/10 000) ;
- une carte de la densité de population ;
- une carte des sources de pollution ;
- une carte des voiries et des réseaux d'assainissement ;
- une carte océanographique ;
- une carte de la géomorphologie marine.

L'article en question ne mentionne pas le renvoi à un arrêté ministériel pour en préciser l'approche technique à adopter. Le travail d'étude est confié conformément à un cahier de charges avec des risques d'utiliser des approches globales à des échelles mondiales inefficaces pour le contexte Algérien.

La contrainte administrative ayant force de loi et qui peut contribuer à la sauvegarde de l'état naturel réside dans le durcissement des dispositions adoptées limitant l'exploitation du littoral. Néanmoins, un travail important devrait être finalisé, faute de quoi, la protection projetée perdrait de son efficacité. En effet, l'arrêté interministériel prévu par l'article 9 du décret 07-206 du 30 juin 2007 fixant les conditions et les modalités de construction et d'occupation du sol sur la bande littorale, de l'occupation des parties naturelles bordant les plages et de l'extension de la zone objet de non-*œdificandi*, stipule «Sur la base de l'étude instituée par les dispositions de l'article 2 ci-dessus, et après examen par la commission prévue par les dispositions de l'article 6 du présent décret, sont déclarés frappés de servitude, par arrêté conjoint pris par le ministre de l'intérieur et les ministres chargés de l'aménagement du territoire et de l'environnement, de l'habitat et du tourisme :

- les milieux côtiers sensibles situés dans la bande des trois cents mètres (300 m) ;
- les occupations permises au niveau des parties naturelles bordant les plages et participant au maintien de leur dynamique et de leur équilibre sédimentaire des dunes bordières et des cordons sableux des parties hautes plages ;
- le type de construction et le taux d'occupation du sol liés aux activités économiques autorisées sur une bande de trois kilomètres (3 km) à partir des plus hautes eaux maritimes ;
- ainsi que, dans chacun des cas, les activités et les services pour lesquels la proximité immédiate de la mer est une nécessité».

Et l'article 11 précise en outre : «Outre les prescriptions fixées par la loi n° 02-02 du 5 février 2002 susvisée, un arrêté conjoint pris par le ministre de l'intérieur et les ministres chargés de l'aménagement du territoire et de l'environnement, de l'habitat et du tourisme détermine, autant que de besoin, les règles particulières applicables :

- aux parties naturelles bordant les plages et participant au maintien de leur dynamique et de leur équilibre sédimentaire ;
- aux dunes bordières et aux cordons sableux ;
- aux constructions et aux occupations du sol sur la bande littorale de trois (3) kilomètres à partir des plus hautes eaux maritimes.».

La réglementation actuellement en vigueur ne permet aux APC à façade littorales d'exproprier les biens jugés vulnérables dans le contexte de politique sociale avec possibilité de les reloger dans des appartements. Le vide juridique nécessite des amendements au niveau de la loi avec un renvoi à un décret d'application pour en préciser les modalités de mise en œuvre. Aussi, l'erreur commise dans le cadre du découpage territoriale du pays du pays institué en 1984, de créer des wilayas littorales avec chef lieu très proche du rivage comme ce fut le cas de Boumerdès, Tipaza, El Taref, Ain Témouchent. Une approche d'aménagement territoriale avec une vision prospective visant à revoir l'organisation territoriale du pays, s'avère nécessaire. La réalisation de ce gigantesque projet (soit environ 1600 km) nécessite une approche intégrée et le passage par une définition d'un IVC et d'un IRC paraît plus plausible compte tenu des moyens et des montages financiers difficiles à négocier si on adopte d'autres méthodologies de travail.

Ceci est de nature à définir l'IRC avec un ancrage au sol et une résolution spatiale de vingt cinq (25) mètres avec un linéaire côtier de (50) kilomètres regroupant selon la déclinaison territoriale retenue soit, deux (04) communes dans la wilaya Alger (Ain Benian, Cheraga, Staouali et Zeralda) et sept (07) communes dans la wilaya de Tipaza (Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Khemisti, Bouharoun, Ain Tagourait et Tipaza). La focalisation s'est faite en fonction des résultats de la première étude de manière à toucher dans un premier temps que les zones jugées à risque.

Dans le cadre de ce travail on retient les parties terrestres de moins de trois kilomètres de la ligne du rivage comme zones d'études. C'est cette mince partie du territoire qui peut être vulnérable à l'érosion et la submersion marine et c'est la limite qui sera retenue pour la cartographie de la vulnérabilité et du risque côtier.

Cette étude apportera une contribution à cette classification par l'établissement d'un indice de vulnérabilité côtière (étude de la vulnérabilité évoquée par le décret 09-88). Néanmoins ce décret ne précise pas de façon claire sur quoi se base cette étude de vulnérabilité mais donne en revanche l'instruction de mettre en place quelques études qui contribuent à l'évaluation de la vulnérabilité côtière.

La protection des dunes et des herbiers de posidonie a une importance très particulière en Algérie car en plus du rôle écologique que joue l'herbier à Posidonie (zone de nurserie et écosystème remarquable). Celle ci contribue à l'atténuation de l'énergie de la houle en faisant office de barrage aussi bien en mer que sur la plage par l'effet de protection de la mate (les rhizomes morts de l'herbier) qui forme une pente près du rivage empêchant ainsi les vagues de prendre une grande quantité de sédiments de la plage (Taibi., 2011; Leredde et al., 2016).

En outre, les dunes littorales forment un obstacle aux houles de tempête et garantissent la pérennité et la stabilité de la plage face à l'attaque des vagues. Ces deux critères font partie de notre conception de l'indice de vulnérabilité et du risque côtier tout en indiquant l'effet de la végétation sur la roche en ce qui concerne les falaises; est-elle protectrice ou elle a un effet aggravant du risque.

Une meilleure distribution de la population est de nature à protéger le littoral, c'est la raison pour laquelle cette distribution fait partie intégrante de notre étude qu'on a insérée conformément aux projections des différents schémas et plans d'aménagement. Le schéma national d'aménagement touristique (SNAT) prévoit une meilleure distribution de la population algérienne qui ne cesse d'augmenter sur la frange littorale du pays.

### **2.2 – la loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.**

Le risque a été défini par l'article 2 de la loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, qui stipule : «Est qualifié, au sens de la présente loi, de risque majeur toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines». La loi en question concerne tous les risques majeurs qu'ils soient naturels, industriels et/ou anthropiques, tout en précisant les différents instruments nécessaires pour l'élaboration de plans de prévention et d'intervention. Elle comporte 74 articles qui portent sur la définition des objectifs, l'accès à l'information et la prévention des risques majeurs.

L'article 3 quant à lui, précise la portée de la prévention des risques majeurs par la définition et la mise en œuvre de procédures et de règles visant à réduire la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels et technologiques. Aussi, l'article 4 de cette loi qualifié de système de gestion des catastrophes, lors de la survenance d'un aléa naturel ou technologique entraînant des dommages au plan humain, social, économique et/ou environnemental, l'ensemble des dispositifs et mesures de droit mis en œuvre pour assurer les meilleures conditions d'information, de secours, d'aide, de sécurité, d'assistance et d'intervention de moyens complémentaires et/ou spécialisés. L'ensemble des démarches initiées dans le cadre de la prévention des risques majeurs et de la gestion des catastrophes sont des actes d'intérêt public qui peuvent déroger à la législation en vigueur. Pour ce faire, le cadre légal arrêté nous fixe les objectifs recherchés à travers cet arsenal juridique qui vise :

- «l'amélioration de la connaissance des risques, le renforcement de leur surveillance et de leur prévision ainsi que le développement de l'information préventive sur ces risques ;

- la prise en compte des risques dans l'utilisation des sols et dans la construction ainsi que la réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens aux aléas ;
- la mise en place de dispositifs ayant pour objectif la prise en charge cohérente, intégrée et adaptée de toute catastrophe d'origine naturelle ou technologique» (article 7 de la loi 04-20).

### **2.3 Etude critique de la loi 04 – 24 du 25 décembre, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.**

#### **L'article 11 :**

« L'Etat assure aux citoyens un accès égal et permanent à toute information relative aux risques majeurs. Ce droit d'accès à l'information couvre :

- la connaissance des aléas et des vulnérabilités de son lieu de résidence et d'activité,
- l'information sur les dispositifs de prévention des risques majeurs applicables à son lieu de résidence ou d'activité ;
- l'information sur les dispositifs de prise en charge des catastrophes.

Les modalités d'élaboration, de diffusion et d'accès à ces informations sont fixées par **voie réglementaire**».

Le texte d'application n'a pas été promulgué. Cette disposition mérite d'être clarifiée pour la rendre opposable aux différents intervenants, en termes de connaissance des aléas, des dispositifs de prévention et de prise en charge des risques.

Hormis le plan rudimentaire existant au niveau de la commune sans possibilité d'accès à l'information qui à notre sens est inexistant. Le manque est nettement perceptible en ce qui concerne les risques dus aux changements climatiques. Pour ce qui est des risques sismiques et industriels les textes sont mieux documentés.

#### **L'article 13 :**

Il est institué en vertu de la présente loi un enseignement des risques majeurs dans tous les cycles d'enseignement.

Les programmes d'enseignement des risques majeurs ont pour objectifs de :

- fournir une information générale sur les risques majeurs
- inculquer une formation sur la connaissance des aléas, des vulnérabilités, et des moyens de prévention modernes ;
- informer et préparer l'ensemble des dispositifs devant être mis en œuvre lors de la survenance de catastrophes.

Les modalités d'application du présent article sont précisées par **voie réglementaire**.

On parle clairement de programmes aux niveaux primaire, moyen et secondaire qui font défaut. Au niveau universitaire, on remarque des initiatives forts encourageantes à l'instar des programmes de géo risques côtiers au niveau de l'ENSSMAL qui méritent d'être packagés sous forme de module ou spécialité des risques majeurs à l'université de Mostaganem qui méritent d'être confortés par la mise en place de mécanismes facilitant le financement des laboratoires de manière à assurer l'équilibre entre la recherche scientifique et le coté opérationnel en termes de partenariat privé public.

### **L'article 25 :**

Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, dans les zones déclarées inondables par le plan général de prévention des inondations et situées au dessus de la hauteur de référence, les autorisations d'occupation, de lotissement ou de construction doivent, sous peine de nullité, préciser l'ensemble des travaux, aménagements, canalisations ou ouvrages de correction destinés à réduire le risque des eaux pour la sécurité des personnes et des biens.

Les modalités d'application des dispositions du présent article sont fixées par **voie réglementaire**. C'est typiquement le manque de cartographie fine au niveau communal et surtout la fragmentation d'information cartographique à travers les différentes structures de l'Etat rend difficile la prise de décision. A ce niveau de réflexion, la mise en place de l'infrastructure nationale de l'information géospatiales (INDG) avec la couche dédiée à la mer et au littoral s'avère indispensable.

### **L'article 66 :**

Les réserves stratégiques sont constituées aux niveaux :

- national,
- inter-wilayas,
- wilaya.

La nomenclature et les modalités de mise en place, de gestion et d'utilisation de ces réserves stratégiques sont fixées par **voie réglementaire**. Décret d'application non encore promulgué.

L'article 10 énumère les dix risques qui peuvent constituer des risques majeurs au sens de la loi 04-20 du 25 décembre 2004 :

1. les séismes et les risques géologiques ;
2. les inondations ;
3. les risques climatiques ;
4. les feux de forêts ;
5. les risques industriels et énergétiques ;
6. les risques radiologiques et nucléaires ;
7. les risques portant sur la santé humaine ;
8. les risques portant sur la santé animale et végétale ;
9. les pollutions atmosphériques, telluriques, marines ou hydriques ;
10. les catastrophes dues à des regroupements humains importants.

Dans notre étude et conformément à la classification préconisée en matière d'érosion et de submersion marine, on remarque qu'hormis les feux de forêts, les risques portant sur la santé humaine, animale et végétale et les risques nucléaires et industrielles, le reste des risques ont été agrégés sous forme d'indicateurs. Cette loi prévoit une panoplie de mesures visant à réglementer avant, pendant et après le sinistre.

On cite, notamment :

Le plan général de prévention de risque majeur (PGPRM) adopté par décret qui précise :

- le système national de veille permettant une meilleure connaissance de l'aléa ou du risque ;
- le système national d'alerte permettant une meilleure maîtrise de la probabilité survenance de ;
- les programmes de simulation permettant de vérifier et améliorer les dispositifs de prévention.

Le plan en question est adopté pour chaque risque majeur. C'est-à-dire qu'on aura 10 PGPRM et chaque plan comportera (art. 18 de la 04-24) :

- 1) le système retenu pour évaluer l'importance de l'aléa concerné, le cas échéant.
- 2) la détermination des régions, wilayas, communes et zones présentant des vulnérabilités particulières selon l'importance de l'aléa concerné, lors de sa survenance ;
- 3) les mesures de mise en œuvre en matière de prévention et d'atténuation de la vulnérabilité vis-à-vis du risque majeur concerné, en précisant la gradation des mesures en matière d'établissements humains et d'occupation de l'espace, selon l'importance de l'aléa lors de sa survenance et de la vulnérabilité de la région, wilaya, commune ou zone concernée.

Le plan comportera une méthode non encore arrêtée, un zonage ou une cartographie des risques et les mesures à entreprendre qu'on verra en détail dans le quatrième et cinquième chapitre.

### **2.4- Améliorer la prise de conscience vis à vis des changements climatiques**

La prise de conscience au niveau des décideurs est la première condition pour mettre en œuvre le plan d'adaptation côtier face aux risques. Un effort soutenu de sensibilisation et de communication doit être mené en direction des collectivités locales, des opérateurs économiques, des associations socioprofessionnelles de tous les secteurs concernés par les effets des changements climatiques ou non climatiques au niveau de la zone côtière (pêche portuaire, tourisme, industrie, agriculture, ressources en eau, infrastructures, énergie et surtout l'habitat).

Parmi les mesures de sensibilisation et de formation, il y a lieu de citer (**Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/ PAM., 2015**):

- Le strict respect de la loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral qui passe inévitablement par une sensibilisation accrue des dispositions de cette loi. Pour ce faire, les services concernés prendront ce volet par la réservation d'un budget, à défaut, l'inscrire dans la nomenclature budgétaire conformément aux usages usités ;
- Pérenniser le cadre organisationnel adopté lors de la mise en place du cadastre littoral par la multiplication des sites expérimentales le long du littoral national (panneaux publicitaires visant les différentes catégories sociales et professionnelles) ;
- Conception de thématiques scolaires pour les différents paliers (primaire, secondaire, lycée et universitaire) ;
- Encourager la création de richesses dans le domaine du littoral par l'émergence de métiers spécifiques de la mer autre que la pêche de manière à préserver et promouvoir le littoral.

L'un des objectifs du plan d'action du Schéma National de la GIZC est d'améliorer la conscience vis-à-vis des changements climatiques, en effet des mesures de sensibilisations et de formations sont à mettre en œuvre, il s'agit de (**Ministère chargé de l'environnement - PAP RAC/ PAM., 2015**):

- Mettre en place des systèmes d'alerte et de plans de secours visant à s'sensibiliser et informer les citoyens sur :
  - les différents acteurs impliqués dans le processus,
  - les risques climatiques (inondation, sécheresse, sanitaires, érosions côtières, submersion,...),
- d'identifier et de localiser les risques : zonages et cartes
- d'informer sur les attitudes à adopter en cas de risque et les comportements préventifs susceptibles d'atténuer la vulnérabilité ;
- former le personnel des communes côtières conformément à la réglementation en vigueur ;
- mettre en place des processus de suivi et d'évaluation sous forme d'audits et d'enquêtes de terrain ;
- encourager à la réalisation de plans de substitution afin d'assurer la continuité d'activités vitales ;
- Intégrer les actions préconisées dans les programmes scolaires.

### 3 - Évaluation du risque côtier

L'évaluation du risque côtier est un sujet qui a fait l'objet de beaucoup d'études partout dans le monde (Hammar-Klose and al., 2003; Abudha et Woodroffe., 2006 ; Thatcher and al., 2013; Satta et al., 2017 ) du fait que les zones côtières sont à certains endroits soumises au risque d'érosion et de submersion marine provoquant ainsi parfois une disparition de plages, une érosion de falaises et des pertes humaines et économiques importantes.

Les zones côtières sont des zones susceptibles d'être très sensibles aux phénomènes naturels ou anthropiques. Ces zones peuvent être plus ou moins vulnérables selon l'exposition et la résilience face aux aléas. En effet, un phénomène naturel dévastateur a un potentiel destructeur plus important. De plus les dispositions prises pour faire face à ce phénomène permettent de limiter les dégâts engendrés et constituent donc une prévention d'un éventuel sinistre.

#### 3.1 - Mise en place de l'indice de vulnérabilité côtière (IVC)

L'implémentation de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) dans la baie de Bou Ismail nécessite la mise en place des indicateurs de sensibilité et de résilience qui sont les deux facteurs de vulnérabilité côtière. L'Indice de vulnérabilité multi-échelle développé par Mc Laughlin et Cooper (2010) permet l'évaluation de la vulnérabilité en incluant des indicateurs de la vulnérabilité physique et la composante socio-économique (McLaughlin et Cooper., 2010). Pour notre cas d'étude, l'approche du GIEC publiée dans le cinquième rapport (AR5), qui considère la vulnérabilité comme facteur de risque/impact sera retenue (IPCC., 2014).

On est amené donc à calculer le risque encouru tout en passant par une évaluation de la vulnérabilité en tant que composante indispensable dans l'équation finale à retenir.

D'un point de vue pratique, les indicateurs caractéristiques de l'aléa tel que l'élévation du niveau de la mer, le recul du trait de côte et les hauteurs des vagues ne feront pas partie de l'équation propre à la vulnérabilité. Par contre, les indicateurs qui reflètent la fragilité de la zone côtière aussi bien naturelle que socio-économique seront retenus dans le calcul de la vulnérabilité. Les indicateurs seront sélectionnés selon :

- leur importance dans le processus de la vulnérabilité et du risque côtier ;
- le contexte algérien (comme c'est le cas de l'indicateur « herbier à Posidonie ») ;
- les études réalisées auparavant (études d'analyse de durabilité pour les côtes de la zone PAC, Calcul de la vulnérabilité de la zone d'Alger (Rabehi et al., 2018) (application de l'indice Mc Laughlin et Cooper (2010));
- la disponibilité des données.

### 3.2 - Mise en place de l'Indice de Risque Côtier (IRC)

La mise en place d'un IRC nécessite la mise en place d'une structuration hiérarchique des facteurs caractéristiques du risque. Pour ce faire nous allons suivre la vision théorique développée par le GIEC, publiée dans le 5<sup>ème</sup> rapport, qui considère le risque comme fonction à trois variables et chaque variable constitue un facteur complexe qui sont l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition. Le schéma ci-dessous montre le cadre d'étude d'évaluation du risque. Il s'agit donc de collecter les données relatives aux facteurs de l'aléa, de l'exposition (de nature physique, humaine ou socio-économique) et de la vulnérabilité (naturelle, humaine et/ou socio-économique).

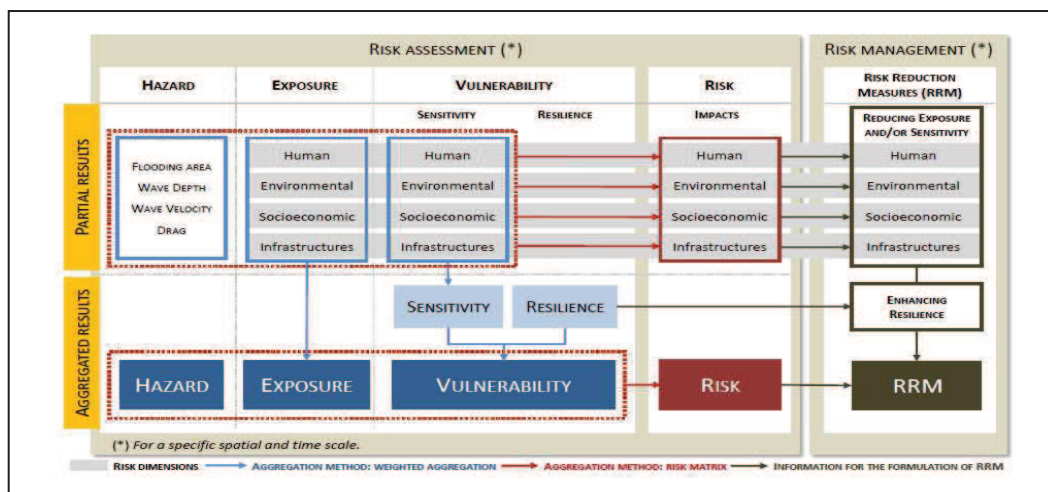


Figure 17 : Méthodologie de calcul et de gestion du risque (Gonzalez et al., 2014) License CC by 3.0

Ces trois facteurs constitueront les 3 sous indices qui seront développés de manière à dégager l'indice de Risque Côtier (IRC) spécifique aux côtes algériennes. Les indicateurs seront sélectionnés de la même manière que l'indice de vulnérabilité côtière à savoir :

- l'importance de l'indicateur dans le processus du risque côtier ;
- le contexte Algérien ;
- Les études réalisées dans la zone PAC ;
- Les études réalisées dans le calcul du risque côtier (Gonzalez et al., 2014; Satta et al., 2015) ;
- la disponibilité des données.

### 3.2.1 - Le facteur vulnérabilité

Le sous indice de vulnérabilité représente les indicateurs caractérisant la fragilité du littoral et des enjeux exposés aux aléas d'érosion et de submersion marine. Les indicateurs de vulnérabilité seront divisés en deux sections, la sensibilité et la résilience.

En effet, la vulnérabilité est définie comme étant le rapport entre la sensibilité (S) et la résilience (R) (IPCC., 2014). Lorsque la résilience augmente la vulnérabilité côtière diminue. Pour décrire les valeurs des facteurs de vulnérabilité en tant que composante de la fonction de risque, il est intéressant d'analyser les sous facteurs de susceptibilité et de résilience (Satta., 2014). Ce qui nous amène à dire que la vulnérabilité est la résultante des caractéristiques de la fragilité des enjeux et des mesures de résilience adoptées.

La sensibilité correspond à tout ce qui peut causer une fragilité à la zone côtière et aux enjeux qui s'y trouvent. Les indicateurs de sensibilité sont :

- le type de côte ;
- l'élévation ;
- les apports sédimentaires terrigènes
- les herbiers de Posidonie.

La résilience correspond à la résistance et à l'adaptation des composantes humaines, économiques et physiques du site face aux aléas côtiers.

Les indicateurs de résilience sont :

- la réglementation
- la conscience citoyenne

### 3.2.2 - Le facteur exposition

Le sous indice d'exposition caractérise les indicateurs des enjeux qui sont susceptibles de subir des dommages suite à l'aléa d'érosion et de submersion marine, les indicateurs retenus sont :

- l'usage des terres ;
- la population ;
- les routes et voies ferrées ;
- les sites historiques.

### 3.2.3 - Le facteur Aléa

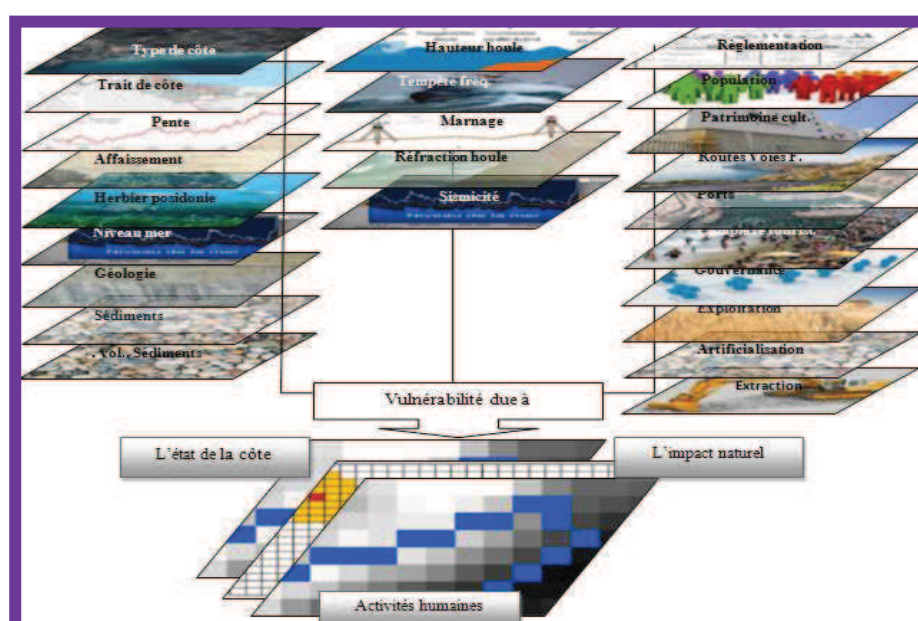
Le facteur Aléa caractérise les effets des phénomènes naturels et anthropiques sur la zone côtière. Dans le cadre de notre travail, l'aléa correspond à l'érosion côtière et la submersion marine.

Ce qui fait que les indicateurs choisis pour ce facteur sont :

- la hauteur des houles ;
- l'évolution du trait de côte ;
- l'élévation moyenne du niveau de la mer.

### 3.3 - Apport des indicateurs

La formule adoptée prend en charge les différents indicateurs ci dessus décrits, il s'agit essentiellement de les introduire dans une étude statistique en utilisant un outil d'analyse spatiale sous un logiciel SIG. Pour ce faire, chaque indicateur correspond à une couche spécifique constituant l'espace géographique à étudier avec une déclinaison ordinale.



**Figure 18** : Schéma de la mise en place des couches thématiques du risque côtier dans un SIG

L'outil indice de vulnérabilité et du risque côtier est un outil d'aide à la décision destiné aux décideurs locaux et nationaux pour la gestion et la protection des zones côtières sensibles. Cet outil permet de connaître les zones les plus vulnérables à l'érosion, d'optimiser les coûts en se focalisant que sur ces secteurs vulnérables et à risque.

C'est un indice simple à la lecture sur une carte sans aucune intervention des spécialistes du métier. De plus, et à terme IRC est de nature à mettre en place une véritable démarche de management des risques côtiers.

Cette partie de la recherche concerne la partie conception de l'indice et sa formulation mathématique, la suite du travail est consacré à l'élaboration de la carte de l'indice du risque

côtier face aux aléas d'érosion côtière. L'indice de risque côtier peut néanmoins être amélioré en introduisant d'autres indicateurs de risque, ceci nécessite encore plus de données dans différents domaines.

La concentration sur l'aspect vulnérabilité est important, et si le facteur aléa est calculé par des indicateurs (indicateurs d'aléa d'érosion côtière) en plus du facteur vulnérabilité, ceci permettra de passer du calcul de la vulnérabilité vers le calcul du risque côtier ce qui nous mènera vers des recherches plus détaillées et poussées concernant la possibilité d'occurrence d'épisodes dramatiques dues aux aléas naturels.

Pour notre étude on a adopté un indice de vulnérabilité et de risque côtier spécifique aux côtes algériennes en intégrant des indicateurs à partir des données réellement disponibles (Figure 19). En effet, le fait d'intégrer des indicateurs peu fiables est de nature à s'éloigner encore plus de la réalité du terrain. L'apport de l'imagerie satellitaire par l'outil logiciel Google Earth est important dans le calcul de l'IVC et de l'IRC pour combler le manque d'information sur des thématiques pointues qui peuvent être carrément extraites de cette dernière y compris de l'imagerie radar qui reste l'outil, qui peut répondre d'une manière exhaustive et rapide à notre préoccupation (Type de côte, l'exploitation et saturation du sol, les routes côtières, la concentration de la population sur le littoral, l'itinéraire et l'apport sédimentaire terrestre et surtout la topographie et la bathymétrie). Ceci nécessite le développement d'outils d'extraction d'information et l'utilisation de logiciels dédiés à la production de données en question.

Les indicateurs formant l'indice de vulnérabilité côtière constitueront les champs de la base de donnée géographique qui sera réalisée sur le logiciel des systèmes d'informations géographiques QGIS 3.4. L'indice de risque côtier sera calculé une fois les composantes relatives à la vulnérabilité, l'exposition et l'aléa déterminés conformément au schéma ci-dessous.

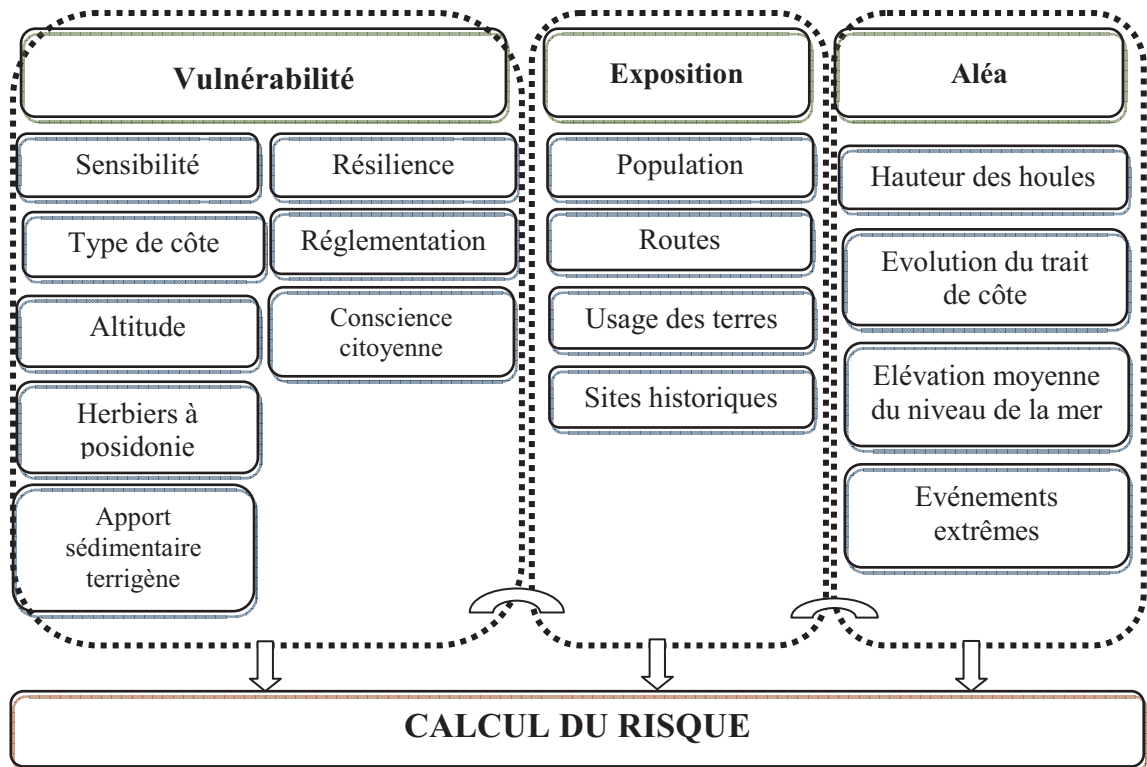


Figure 19: Organigramme de l'indice de risque côtier spécifique aux côtes Algériennes

### 3.4 – Fiche technique des indicateurs

Ici, nous allons nous intéresser à chaque indicateur faisant partie du calcul global du risque de façon individuelle, aussi une fiche descriptive des indicateurs a été réalisée (voir annexe III)

#### 3.4.1- Indicateurs de sensibilité

##### 3.4.1.1 - Altitude

L'altitude est un indicateur important pour l'évaluation de la vulnérabilité et du risque, et c'est l'un des indicateurs utilisés depuis la création du premier indice de la vulnérabilité côtière (IVC) de Gornitz (1991).

L'indicateur altitude correspond à l'élévation des zones côtières par rapport au niveau de la mer. Cet indicateur de sensibilité informe sur la susceptibilité d'une zone d'être submergée par les eaux de mer dans des conditions météorologiques extrêmes; plus une zone est élevée, plus le risque de submersion et d'érosion est moindre, et plus la zone est basse plus le risque de submersion et d'érosion est important.

### 3.4.1.2 - Type de côte

Le type de côte (ou la géomorphologie de la côte) est l'un des indicateurs les plus utilisés dans l'évaluation du risque (McLaughlin et Cooper., 2010; Aman et al., 2016; Djouder et Boutiba., 2017). Cet indicateur correspond à la morphologie côtière. Le littoral peut prendre plusieurs formes telles que les côtes sableuses (plages et dunes), les côtes rocheuses et les falaises. Il est important de noter que les côtes rocheuses sont plus disposées à résister aux effets des aléas côtiers et plus particulièrement l'érosion, d'autre part la géologie du littoral influe également sur la susceptibilité à subir l'érosion côtière, en effet les roches volcaniques et métamorphiques sont moins vulnérables à l'action des vagues que les roches sédimentaires.

### 3.4.1.3 - Apport sédimentaire terrigène

L'apport sédimentaire terrigène contribue à l'enrichissement du patrimoine sédimentaire des côtes par le biais des Oueds et des rivières exoréiques. Les sédiments en provenance de ces cours d'eau peuvent varier selon la taille des grains (gravier, sable ou argile). De plus le débit du cours d'eau favorise l'engraissement des côtes. Cet indicateur a été utilisé dans la première étude publiée sur l'évaluation de la vulnérabilité côtière par l'outil indice de vulnérabilité multi-échelles (McLaughlin et Cooper., 2010).

**Unité de mesure** : absence ou présence

### 3.4.1.4 - Les herbiers à Posidonie

La posidonie est une phanérogame (plante aquatique) appartenant à la famille des posidonaceae. Elle est endémique aux côtes méditerranéennes. Cette plante a un rôle dans l'oxygénation des eaux et constitue un abri pour les espèces marines. Elle a un rôle dans la stabilisation de la côte par l'emprisonnement des sédiments et la formation d'une pente près de la ligne du trait de côte par des banquettes de matte. La présence d'herbiers à posidonie est un signe que la côte est protégée face aux risques côtiers et son absence est un signe de fragilité. Cet indicateur a déjà été introduit dans une étude récente sur la vulnérabilité des côtes Sud Est de l'Italie (Pantusa et al., 2018).

**Unité de mesure** : présence ou absence

## 3.4.2 - Indicateurs de résilience

### 3.4.2.1 - Réglementation

L'existence des textes juridiques est un outil de la résilience côtière qui guide les utilisateurs du littoral à se conformer et à respecter les règles d'usage.

Pour les différents acteurs au niveau de la wilaya et de la commune chargés de faire respecter la réglementation, produire et actualiser les normes et les méthodologies de gestion, il est nécessaire d'avoir une cellule dédiée à ce genre de travaux pour en assurer l'application des procédures de manière à atteindre l'objectif de protection et de développement durables des zones côtières.

En effet, plus le niveau d'applicabilité réglementaire est soutenu en termes de ratification des accords internationaux, de promulgation de textes législatifs et réglementaires au niveau national et la définition des possibilités locales d'intervention, plus la zone côtière est moins vulnérable en raison du degré de protection, d'attention et de dissuasion qui lui a été accordé.

L'indicateur réglementation rentre dans la logique de la gouvernance locale (**Berezowska-azzag et al., 2015**). On entend par gouvernance locale la capacité des pouvoirs publics à réagir en cas de catastrophe naturelle. Ce qui pourrait augmenter la résilience des zones côtières ; ce facteur dépend de la présence de plan d'intervention en cas d'aléa et dont les mesures de sécurité ont été clarifiées.

Cet indicateur a été utilisé par McLaughlen et Cooper dans leur étude de vulnérabilité côtière sur les côtes nord Irlandaises (**McLaughlin et Cooper., 2010**).

**Unité de mesure :** existence de lois et décrets d'application (niveau national) existence de ratification des accords (niveau international).

### 3.4.2.2 - Conscience citoyenne

Le citoyen est un maillon important dans le schéma global de la gestion des risques. la population littorale est très concerné par les risques côtiers compte tenu des dangers que cela représente sur les biens et les personnes. Il s'agit de la sécurité des personnes qui sont proches du littoral et des biens économiques et des activités qui se trouvent a proximité du rivage. Donc, on est amené à dire que plus le citoyen est conscient des procédures à prendre en cas de risque plus les dommages du passage de l'aléa seront atténués.

Autrement dit, la conscience citoyenne est intimement liée à la gouvernance participative, et l'indicateur n'est autre qu'un outil qui teste le degré de conscience des citoyens face à la question de la vulnérabilité des zones côtières et leur capacité à s'organiser, localement, en associations citoyennes assurant la sensibilisation et la prévention des risques côtiers.

### 3.4.3 - Indicateurs d'exposition

#### 3.4.3.1 - Densité de population

D'un point de vue historique, l'être humain n'a jamais occupé densément la frange littorale que depuis le siècle dernier, dans la mesure où, elle servait principalement à la pêche et aux échanges commerciaux avant l'essor de l'industrie et du tourisme littoral (**Grange Bateliere.,1975;Miossec., 2004**).

L'essor démographique et l'évolution sociale a fait naître cette convoitise des zones littorales. Cette concentration constitue une variable clé dans le processus de vulnérabilité et de risque côtier.

La population proche du littoral risque d'être affectée par les aléas naturels qui se produisent dans les zones côtières. Si des mesures de résilience ne sont pas entreprises, des pertes humaines importantes peuvent être enregistrées en cas d'occurrence d'un phénomène naturel ou anthropique. Cette population est donc un indicateur important de la vulnérabilité dans la mesure où, les habitants et les gens qui y travaillent sont des victimes potentielles des aléas qui surviennent dans le littoral. Donc, plus le taux de concentration de la population par km<sup>2</sup> est important plus la vulnérabilité de la zone côtière l'est aussi en raison des dégâts et des pertes humaines envisageables en cas d'aléa, cet indicateur a été utilisé dans des études sur la vulnérabilité et le risque côtier que se soit en tant qu'indicateur socio-économique de la vulnérabilité (**Duriyapong et Nakhapakorn., 2011**) ou d'indicateur d'exposition (**Satta et al., 2017**).

**Unité de mesure :** nombre/km<sup>2</sup>

### 3.4.3.2 - Routes

Le réseau routier est l'une des structures clefs de la ville moderne. Toute perturbation aussi minime soit elle, est de nature à freiner la vie quotidienne des citoyens. Le transport joue un rôle important et la présence de routes à grand trafic proches du littoral augmente le degré de risque. L'indicateur "routes" est souvent utilisé dans les études sur l'évaluation de la vulnérabilité et du risque côtier (**McLaughlin et Cooper., 2010; Rabehi et al., 2018**). **Unité de mesure :** présence ou absence de routes

### 3.4.3.3 - Sites historiques

Les sites historiques sont une partie inséparable de la mémoire collective des peuples, et ces derniers donnent une vision de la vie, de la culture et des traditions de la région et racontent l'histoire de la civilisation.

Les sites historiques les plus remarquables sont sous la protection internationale par l'UNESCO et c'est le cas pour certains sites dans le littoral Algérien tel que la Casbah d'Alger et les ruines romaines de Tipaza (qui se situe dans notre zone d'étude laquelle sera traitée et discutée dans le chapitre 3).

Il est donc clair qu'une zone côtière abritant un patrimoine historique important est pleinement exposée au risque de voir une partie ou la totalité de son histoire qui va disparaître. Cet indicateur est très utilisée dans le calcul de l'indice de vulnérabilité et de risque côtier (**McLaughlin et Cooper., 2010; Djouder et Boutiba., 2017**). **Unité de mesure :** existence ou pas de sites historiques.

### 3.4.3.4 - Usage des terres

L'usage des terres est un indicateur très important dans le calcul de la vulnérabilité et du risque côtier (McLaughlin et Cooper., 2010; Satta et al., 2017). Pour la suite de cette étude, l'indicateur sera une partie intégrante du sous indice d'exposition.

L'usage des terres concerne les terrains naturels exploités pendant la période estivale (plages et zones humides) ainsi que les terrains qui subissent une activité humaine intense (agriculture, industrie, tissu urbain). Les zones dans lesquelles sont concentrées les activités humaines intenses sont les plus exposés au risque côtier par rapport aux zones naturelles.  
**Unité de mesure** : existence ou pas d'activités intenses.

### 3.4.4- Indicateurs d'aléa

#### 3.4.4.1 - Hauteur des vagues

La houle est considérée comme un ensemble d'ondulations sinusoïdales parallèles identiques et qui prend de l'ampleur avec l'augmentation de la vitesse du vent et qui se traduit par un transport d'énergie sans transport de matière (Aristhages et Aristhages., 1985). La vague contrairement à la houle est une ondulation sinusoïdale du mouvement de la mer qui subit l'effet d'un vent local. (<https://www.universalis.fr/encyclopedie/ocean-et-mers-eaux-marines-mouvements/2-houles-et-vagues/>).

La vague est caractérisée par:

- La longueur d'onde  $L$  : la distance horizontale entre deux crêtes ou deux creux successifs ;
- La hauteur  $H$  : Correspond à la hauteur verticale entre une crête et un creux, la demi hauteur de la houle correspond à l'amplitude ;
- La période  $T$  : correspond au temps qui sépare l'arrivée de deux houles successives, les houles ont un spectre de période de 3 à 20 secondes, à noter que la fréquence d'une houle est l'inverse de sa période  $1/T$  ;
- La cambrure  $\gamma$  : correspond au rapport entre la hauteur de la houle et sa longueur d'onde.

La réfraction de la houle est le phénomène qui se produit lorsque, la houle attaque obliquement le fond marin. Les crêtes sont affectées par les faibles profondeurs, elles avancent moins vite et s'alignent avec les isobathes (Thaul., 2010).

Ils auront alors tendance à s'étaler spatialement tout en diminuant en hauteur dans les baies par contre elles ont tendances à s'accroître dans les caps. La hauteur des vagues est un indicateur d'aléa qui correspond à la hauteur de la vague à l'approche du rivage.

Au début de l'application de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) la hauteur des vagues utilisée correspond à celle enregistré vers le large (**Gornitz., 1991; Özyurt et Ergin., 2010**), d'autres indices de vulnérabilité plus récents prennent en considération la hauteur des vagues à l'approche du rivage (**Thieler et Hammar-Klose., 1999; Bagdanavičiūtė et al., 2015**) à noter que cet indicateur a souvent été utilisé dans les études de vulnérabilité côtière, plus la hauteur de la vague est grande plus il y a des probabilités que la côte perd de ses sédiments, c'est donc un facteur qui contribue à l'érosion des côtes.

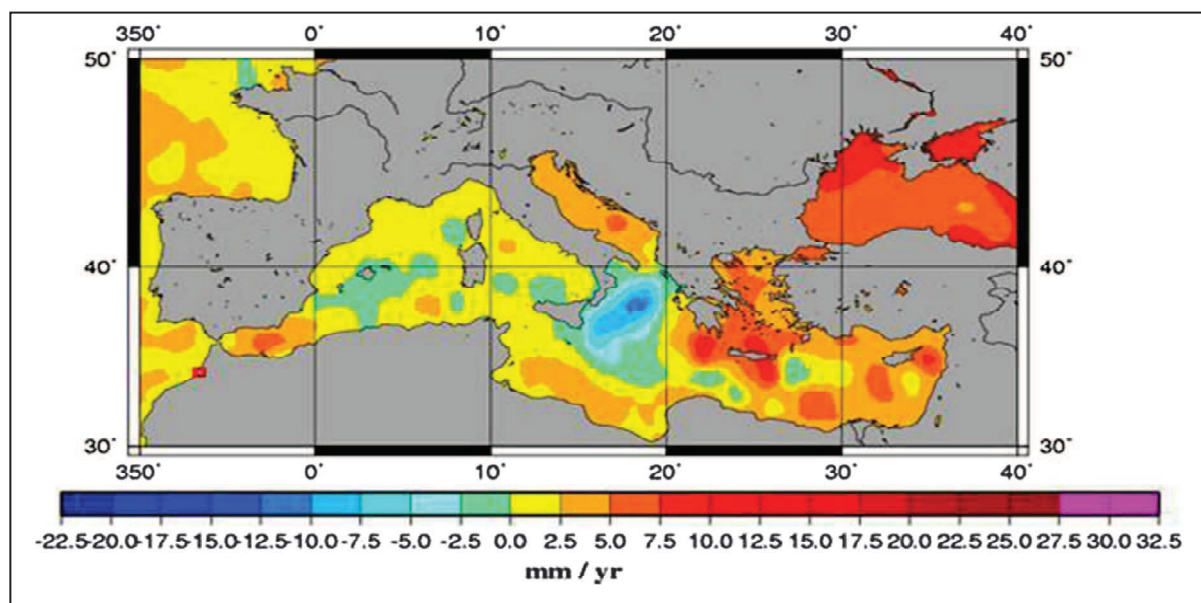
La hauteur de la vague est un indicateur important car il caractérise la force du phénomène météorologique (aléa) qui s'y produit tel que les tempêtes, plus la hauteur de la vague est importante plus le risque est important et plus elle est faible en hauteur plus le risque est faible et cet indicateur est très utilisé dans ce genre d'étude en tant qu'indicateur de forçage côtier (**McLaughlin et Cooper., 2010**) qu'indicateur d'aléa dans le calcul du risque (**Satta et al., 2016; Satta et al., 2017**). **Unité de mesure:** le mètre

### 3.4.4.2 - L'élévation moyenne du niveau de la mer

Le niveau de la mer a beaucoup évolué durant les différentes ères géologiques. Les causes peuvent être d'ordre climatique ou géologique, l'élévation du niveau de la mer au cours du dernier siècle est estimé à 1.5 mm/an (**Miossec., 2004**) tandis que d'autres études estiment cette élévation à 2 mm/an (**Church et White., 2011**) et en Méditerranée cette élévation est variable selon les régions de 0 à  $2 \pm 0.1$  mm/an (**Marcos et Tsimplis., 2008**).

L'évolution du niveau de la mer dans une durée réduite (quelques années à quelques dizaines d'années) est à prendre en considération pour la protection des zones littorales. Cette élévation peut être néfaste pour les zones proches du rivage. Plus l'élévation du niveau de la mer est importante, plus le degré de risque l'est, et c'est pourquoi cet indicateur est très présent dans les études sur l'évaluation du risque côtier (**Özyurt et Ergin., 2010; Aman et al., 2016; Satta et al., 2017**).

La carte de l'élévation moyenne du niveau de la mer a été réalisée par croisement des résultats et elle est fournie par les images satellitaires TopexPoseidon montrant l'élévation moyenne du niveau de la mer dans les mers et les océans (Figure 20).



### 3.4.4.3 - Déplacement moyen du trait de côte

Le trait de côte est une donnée importante pour le calcul de la vulnérabilité et du risque. C'est le résultat du traitement effectué sur des images satellites, de photographie aérienne et d'orthophotoplans, il se traduit par la comparaison en superposition sur un même fond cartographique régulier, des traits de côtes de différentes années dans la même saison pour suivre si la tendance de la côte est vers l'accrétion ou l'érosion.

C'est la raison pour la quelle, le suivi du trait de côte est essentiel pour le recensement des zones à risques cet indicateur a été utilisé depuis la création du premier indice de vulnérabilité côtière (Gornitz 1991) et a continué d'être utilisé dans d'autres études par la suite (Bagdanavičiūtė et al., 2015; Pantusa et al., 2018).

La ligne du rivage est soumise à des changements permanents au fil du temps elle peut soit reculer ou avancer vers le large. Il est important de noter que des changements saisonniers du trait de côte sont plus apparents en raison des tempêtes qui frappent les côtes en hiver favorisant ainsi l'érosion.

### 3.4.4.2 - Fréquence des événements extrêmes

Les tsunamis et les tempêtes exceptionnelles peuvent contribuer à l'érosion et surtout à la submersion marine, ces événements peuvent être imprévisibles comme c'est le cas des tsunamis qui surviennent en conséquence des séismes, cet indicateur nous renseigne sur le risque dû à la périodicité des événements extrêmes qui seront pour notre cas les tempêtes exceptionnelles ainsi que les tsunamis.

Cet indicateur a été utilisé dans certaines études de vulnérabilité et de risque climatique (**Balica et al., 2012; Geetha et al., 2017**) mais n'est encore pas très utilisé, cependant, vu son importance dans le risque de submersion, il est nécessaire de l'ajouter parmi les indicateurs d'aléa.

### 3.5 – Apport des experts et mise en place du questionnaire

L'aide à la prise de décision est une approche scientifique des problèmes du juste choix qui se posent dans toute situation socio-économique. Les décideurs sont censés distinguer, parmi plusieurs alternatives, le processus le mieux adapté au contexte et à l'environnement.

Cette manière de voir les choses est de nature à se remettre, continuellement, en cause compte tenu de la fluctuation des paramètres et de la variation temporelle des données. En effet, le cycle de vie du processus décisionnel passe généralement par trois (03) niveaux. Le premier porte sur la modélisation du phénomène, le deuxième niveau s'intéresse à la conception et l'adaptation de la procédure d'exploitation pour enfin sortir avec des solutions sous forme de prescriptions. Autrement dit, pour prendre une décision en toutes connaissances de causes, il faut se placer dans le temps et dans l'espace par rapport au phénomène avec les différents entrants pour en choisir l'alternative la mieux adaptée.

On a adopté pour la suite de notre travail la méthode mathématique d'analyse multicritère qui a pour but la résolution des problèmes d'aide à la prise de décision.

Un critère est la relation entre différents éléments d'un ensemble, cette relation peut être binaire, d'équivalence, ordinale ou hiérarchique (**Bernard et Besson., 1971**), qui peut être représenté sous la forme d'une fonction qui permet la comparaison entre deux actions (**Philippe et al., 2018**).

Pour notre étude, on a opté pour la méthode AHP qui est l'une des méthodes les plus appropriées pour notre cas d'étude (évaluation du risque côtier).

### 3.6 - Méthode AHP

Les indicateurs de vulnérabilité et d'aléa peuvent être comparés suivant des méthodes statistiques dont la plus pertinente est l'AHP (l'Analyse Hiérarchique des Procédures), cette méthode multicritère développée par le mathématicien **Thomas Saaty (Saaty., 1980)** et qui est très utilisée dans différentes thématiques (**Saaty et Vargas., 1980; Gerdri et Kocaoglu., 2007; Kousalya et al., 2012; Schmidt et al., 2015; Gao et al., 2020**).

Cette méthode permet la structuration des priorités et de faire des comparaisons binaires entre les différents critères (indicateurs dans notre cas d'étude) pour en faire un choix rationnel et structuré dans le but de répondre au problème spécifique du littoral Algérien. Cette méthode est très utilisée dans les études relatives à l'analyse de la vulnérabilité des zones côtières (**Luo et al., 2013; Bagdanavičiūtė et al., 2015; Mani Murali et al., 2018; Mussi et al., 2018; Behera et al., 2019**).

La comparaison entre deux critères se fait selon le degré d'importance des deux critères l'un par rapport à l'autre suite à cela les indicateurs seront pondérés selon leur degré d'importance (**Guedson., 2011**).

L'Analyse hiérarchique des procédures « AHP » a pour base dans le cadre de cette étude le questionnaire qui a été élaboré de telle sorte que l'approche elle-même est subdivisée en quatre parties dans lesquelles les comparaisons sont fonction de l'importance des différents critères et sous critères entre eux, de manière à réaliser :

- Un questionnaire pour la comparaison entre indicateurs du sous critère vulnérabilité qui comprend la comparaison des indicateurs de sensibilité entre eux d'une part et les indicateurs de résilience d'autre part ;
- un questionnaire pour la comparaison entre les indicateurs du sous critère exposition;
- un questionnaire pour la comparaison entre les indicateurs du sous critère aléa.

La comparaison entre les différents critères et sous critères se fera selon la méthode de Saaty qui décrit la comparaison entre différents facteurs selon l'ordre d'importance par des coefficients allant de 1 à 9 (de 1/9 à 1 inversement si un facteur est moins important que l'autre) de tel sorte que si l'on compare un critère A avec un critère B on aura les coefficients suivants(**Saaty.,1987; Saaty., 2003**) :

- 1 : les deux critères ont le même degré d'importance
- 3 : le critère A a un peu plus d'importance que le critère B
- 5 : le critère A a plus d'importance que le critère B
- 7 : le critère A a beaucoup plus d'importance que le critère B
- 9 : le critère A est d'une priorité absolue par rapport au critère B
- 1/3 : le critère A est un peu moins important que le critère B
- 1/5 : le critère A est moins important que le critère B
- 1/7 : le critère A est beaucoup moins important que le critère B
- 1/9 : le critère B est d'une priorité absolue par rapport au critère A

Et de cela on déduit que si un critère A et un critère B auront le même degré d'importance, leur valeur dans le tableau de calcul matriciel de l'AHP est de 1, si un critère A est un peu plus important que le critère B, la valeur de A dans le tableau est de 3 et la valeur de B sera 1/3, si un critère A est plus implorant que B, la valeur de A est de 5 et la valeur de B est de 1/5, si un critère A est beaucoup plus important que le critère B, le critère A se verra attribué la valeur 7 et le critère B 1/7, et enfin si un critère A est d'une priorité absolue par rapport à B, le critère A se verra attribué la valeur 9, et le critère B la valeur 1/9.

Dans ce type de questionnaires, il est courant de tomber dans des incohérences par rapport à l'ordre global des degrés d'importances des critères c'est pourquoi il est nécessaire de calculer l'indice de cohérence de la matrice AHP (voir annexe IV).

Le questionnaire portant sur l'étude du risque côtier dans le littoral de la baie de Bou Ismail, a été conçu en ligne, de la manière suivante :

Le questionnaire ci dessous vise à affiner l'approche déjà préconisée de manière à évaluer l'importance des paramètres de la vulnérabilité côtière et du risque côtier dans les côtes algériennes en se basant sur des indicateurs de risque côtier vis à vis de l'érosion et de la submersion marine, ces indicateurs ont été classés de manière hiérarchique suivant trois grands critères.

- Critères de vulnérabilité ;
- Critères d'exposition ;
- Critères d'aléa.

Le but de ce questionnaire est de comparer les indicateurs de ses trois grands critères selon leur ordre d'importance dans le risque côtier. Les critères à comparer suivront la notation ci-après :

1. Le critère n'est absolument pas important
2. Le critère est beaucoup moins important
3. Le critère est moins important
4. Le critère est un peu moins important
5. Les deux critères ont le même degré d'importance
6. Le critère est un peu plus important
7. Le critère est plus important
8. Le critère est beaucoup plus important
9. Le critère est d'une importance absolue

### 3.6.1 - Vulnérabilité

La vulnérabilité correspond à la capacité d'endommagement des éléments constituant le système côtier, elle peut être due à différents facteurs (naturels ou socio-économiques), pour notre cas on a subdivisé les indicateurs de vulnérabilité en 2 sections :

1. La vulnérabilité naturelle qui est représentée par les indicateurs :
  - Le type de côte ;
  - L'altitude ;
  - La marée ;
  - L'apport sédimentaire terrestre ;
  - Les herbiers à posidonie.
2. La vulnérabilité humaine qui est représenté avec les indicateurs :
  - Réglementation ;
  - Conscience citoyenne ;

**Tableau 3 : Questionnaire relatif aux critères de vulnérabilité**

N°	Intitulé de la question	Notation								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	Le type de côte par rapport à l'Altitude									
02	L'apport sédimentaire terrestre par rapport aux herbiers à posidonie									
03	Le type de côte par rapport aux herbiers à Posidonie									
04	Le type de côte par rapport à l'apport sédimentaire terrestre									
06	Les herbiers à Posidonie par rapport à la marée									
07	L'altitude par rapport aux herbiers à Posidonie									
08	L'apport sédimentaire terrestre par rapport à l'altitude									
09	La réglementation par rapport à la conscience citoyenne									

### 3.6.2 - Critères d'exposition

L'exposition correspond aux éléments se trouvant dans la zone susceptible d'être touché par un phénomène naturel pour notre cas les indicateurs sélectionnés sont :

- La population,
- L'usage des terres,
- Les routes
- Les sites historiques

**Tableau 4 : Questionnaire relatif aux critères d'exposition**

N°	Intitulé de la question	Notation								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	La population par rapport aux routes									
02	L'usage des terres par rapport aux sites historiques									
03	L'usage des terres par rapport à la population									
04	La population par rapport aux sites historiques									
05	Les sites historiques par rapport aux routes									
06	Les routes par rapport à l'usage des terres									

### 3.6.3 - Critères d'aléa

L'aléa correspond au phénomène naturel ou anthropique qui frappe une zone géographique donnée pour notre cas l'aléa c'est l'érosion et la submersion marine et pour évaluer les aléas.

Les indicateurs choisis sont :

- La hauteur des vagues ;
- L'élévation moyenne du niveau de la mer ;
- L'évolution du trait de côte ;
- Evénements extrêmes.

**Tableau 5 : Questionnaire relatif aux critères de d'aléa**

N°	Intitulé de la question	Notation								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	La hauteur des vagues par rapport à l'élévation moyenne du niveau de la mer									
02	L'évolution du trait de côte par rapport à la hauteur des vagues									
03	L'élévation moyenne du niveau de la mer par rapport à l'évolution du trait de côte									
04	Les événements extrêmes par rapport à la hauteur des vagues									
05	Les événements extrêmes par rapport à l'élévation du niveau de la mer									
06	Les événements extrêmes par rapport à l'élévation moyenne du niveau de la mer									

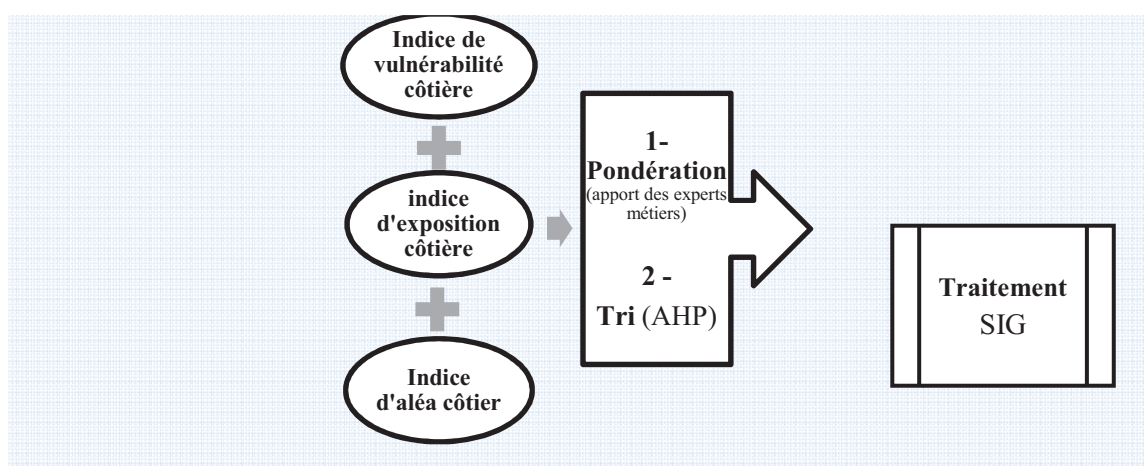
Les résultats de la comparaison entre les critères et les sous critères vont faire l'objet de classement facilitant ainsi les opérations une fois ramenées à un calcul matriciel pour pouvoir affecter des coefficients aux différents critères.

Pour ce faire, le questionnaire établie conformément à la spécificité du littoral centre de l'Algérie (baie de Bou Ismail) a été communiqué aux spécialistes du domaine marin (géologues, géomorphologues, aménagistes, paysagistes...).

Les questions posées ont été faites de telles sorte à éviter les redondances et de comparer que deux critères ou sous critères en même temps ; de manière à restituer la réponse sous forme numérique allant de 1 à 10 tel que :

1. : Le critère A est négligeable par rapport au critère B
2. : Le critère A est beaucoup moins important que le critère B
3. : Le critère A est moins important que le critère B
4. : Le critère A est un peu moins important que le critère B
5. : Les deux critères ont le même degré d'importance
6. : Le critère A est un peu plus important que le critère B
7. : Le critère A est plus important que le critère B
8. : Le critère A est beaucoup plus important que le critère B
9. : Le critère A est d'une importance absolue par rapport au critère B

Les résultats du questionnaire sont détaillés dans l'annexe.



**Figure21** : Processus du traitement AHP dans l'évaluation du risque côtier

### Conclusion du chapitre II

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier est le fondement théorique de l'outil de base qui va être utilisé pour évaluer le degré de vulnérabilité et de risque par rapport aux aléas d'érosion et de submersion pour les côtes de la baie de Bou Ismail. Cette application rentre dans un cadre juridique préexistant dans la loi littorale 02-02 ainsi que la loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes, de plus ces indices permettent de mettre en place une base de données qui permet le suivi du degré d'impact des risques liés aux changements climatiques et en tant qu'instrument favorisant la prise de conscience et la sensibilisation face aux risques en général.

L'indice de risque côtier est divisé en 3 grands facteurs qui sont : la vulnérabilité, l'exposition et l'aléa tel que préconisé dans le 5ème rapport du GIEC, l'indice de vulnérabilité longuement et largement utilisé dans les études relatives à l'évaluation des risques côtiers sera utilisé en tant que partie intégrante de l'indice de risque côtier. Cette manière de voir les choses vise à évaluer l'impact potentiel des aléas d'érosion et de submersion dans un contexte de risque côtier et non pas le degré de fragilité des zones en question.

Les indicateurs sélectionnés pour cette étude ont été choisis selon certains critères (contexte Algérien, études précédentes, disponibilité des données, impact de l'indicateur). Ils touchent aussi bien les facteurs de vulnérabilité naturelle (facteurs de sensibilité et de résilience) que les facteurs de vulnérabilité anthropique (facteurs de résilience et d'exposition).

On est amené à mettre en place la formule mathématique de l'indice de risque côtier en s'appuyant sur l'apport de la méthode statistique servant à attribuer une pondération à chaque indicateur en fonction de son importance dans le risque côtier. Pour ce faire, le questionnaire élaboré a été adressé, pour avis, aux experts nationaux en la matière notamment en matière de géologie, d'aménagement du littoral et de météorologie. La méthode préconisée pour cette étude est la l'approche AHP qui permet de donner un coefficient à chaque indicateur en fonction des préférences des experts, pour notre cas il s'agit de définir son degré d'importance dans l'impact potentiel du risque côtier.

### Références du deuxième chapitre

1. Abuodha P et Woodroffe CD (2006) Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast. University of Wollongong, Australia. <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1189&context=scipapers>. consulted on 12 October 2018.
2. Aman A, Tano RA, Kouadio KY, Toualy E, Ali KE, Assamoi P (2016) Assessment of the Ivorian Coastal Vulnerability. *Journal of Coastal Research* 32(6): 1495-1503.
3. Aristaghes C et Aristaghes P (1985) Théories de la houle - Houle réelle Propagation de la houle : p103-104.
4. Bagdanavičiūtė I, Kelpšaitė L, Soomere T (2015) Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas. *Ocean & Coastal Management* 104 : 124–135. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.12.011.
5. Balica SF, Wright NG, Van der Meulen F (2012) A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards* 64:73–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>.
6. Behera R, Kar A, Das MR, Panda PP (2019) GIS-based vulnerability mapping of the coastal stretch from Puri to Konark in Odisha using analytical hierarchy process. *Natural Hazards* 96:731-751. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-03566-0>.
7. Berezowska-azzag E, Abdelatif I, Akroun N, Bouallag-Azoui O, Srir M (2015) Baromètre des performances urbaines locales Alger et ses communes. *Alternatives urbaines*.
8. Bernard G et Besson ML (1971) Douze méthodes d'analyse multicritère. *Revue Française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 5(3): p 19-64.
9. Church JA, White NJ (2011) Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surv Geophys* 32:585–602. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>.
10. Djouder F et Boutiba M (2017) Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences* 10 (299). DOI 10.1007/s12517-017-3062-5.
11. Duriyapong F, Nakhapakorn K (2011) Coastal vulnerability assessment: a case study of Samut Sakhon coastal zone. *Songklanakarin J Sci Technol* 33(4):pp 469–476.
12. Gao J, He H, An Q, Xie J, Cui Y, Xie X (2020) An improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process for the allocation of water rights to industries in Northeast China. *Water* 12. doi:10.3390/w12061719.
13. Geetha R, Kizhakudan SJ, Divipala I, Salim SS, Zacharia PU (2017) Vulnerability index and climate change: an analysis in Cuddalore District of Tamil Nadu, India. *Indian J Fish* 64(2):96–104. <https://doi.org/10.21077/ijf.2017.64.2.61159-15>.

14. Gerdri N et Kocaoglu DF (2007) Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to build a strategic framework for technology roadmapping. *Mathematical and computer modelling* 46 : pp 1071-1080.
15. Gornitz V (1991) Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section) 89:379–398. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O).
16. Grange Bateliere (1975) Grands dossiers Alpha de la mer. Editions Kister.
17. Guedson G (2011) Évaluation des impacts environnementaux (EIE) 5e. Méthodes et outils Aide multicritère à la décision-Comparaison de Saaty. Faculté des sciences et de génie. Université Laval.
18. Hammar-Klose ES, Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ (2003) Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise, U.S. Geological Survey, Open file Report 02-233. <http://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/>.
19. Kousalya P, Mahender Reddy G, Supraja S, Shyam Prasad V (2012) Analytical Hierarchy Process approach – An application of engineering education. *Mathematica Aeterna* 2(10): pp 861 - 878.
20. Leredde Y, Begny K, Michaud H, Shvartz T, Thorin S, Marsaleix P (2016) L'atténuation des vagues par les herbiers de Posidonies, un service écosystémique contre l'érosion côtière. XIVèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil. DOI:10.5150/jngcgc.2016.063. Editions Paralia CFL.
21. Luo S, Wang H, Cai F (2013) An integrated risk assessment of coastal erosion based on fuzzy set theory along Fujian coast, southeast China. *Ocean & Coastal Management*, 84, 68–76. doi:10.1016/j.ocecoaman.2013.07.007
22. Mani Murali R, Ankita M, Vethamony P (2018) A new insight to vulnerability of central Odisha coast, India using analytical hierarchical process (AHP) based approach. *Journal of Coastal Conservation* 22:799-819. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0610-4>.
23. MATE, PNUE, PAM (2006) Programme d'aménagement cotier (PAC) "zone cotière Algéroise"
24. McLaughlin S et Cooper JAG (2010) a multi scale vulnerability index: a tool for coastal managers? *Environmental Hazards Human and Policy Dimensions*: pp 234-248.
25. Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/ PAM (2015) Stratégie Nationale de la gestion intégrée des zones côtières.
26. Mussi CS, Bonetti J, Sperb RM (2018) Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise : a case study on Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 22:1117-1128. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0619-8>.
27. Miossec A (2004) Les littoraux entre nature et aménagement. Armand Colin. 3<sup>e</sup> édition.

28. Ozyurt G, Ergin A (2010) Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*, 26(2): 265–273. West Palm Beach (Florida), ISSN0749-0208.
29. Pantusa D, D'alessandro F, Riefolo L, Principato F, Tomasicchio GR (2018) Application of a Coastal Vulnerability Index. A Case Study along the Apulian Coastline, Italy. *Water* 10 (9).<https://doi.org/10.3390/w10091218>.
30. Philippe F, Tacnet JM, Gourhand A (2018) Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (AnalytichierarchyProcess) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du grand Buëch à la Faurie. *Sciences Eaux & Territoires* (26).
31. Rabehi W, Guerfi M, Mahi H (2018) Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. *Méditerranée*. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>.
32. Saaty RW (1987) The Analytic Hierarchy Process-What It Is And How It Is Used. *Mat/d Modeling* 9, 3-5:161-176.
33. Saaty TL (1980) “The Analytic Hierarchy Process.” McGraw-Hill, New York.
34. Saaty TL et Vargas LG (1980) Hierarchical analysis of behavior in competition : prediction in chess. *Behavioral science* 25(3): pp 180-191.<https://doi.org/10.1002/bs.3830250303>.
35. Saaty TL (2003) Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research* 145: pp 85–91.
36. Satta (2014) An Index-based method to assess vulnerabilities and risks of Mediterranean coastal zones to multiple hazards. Doctoral dissertation , Department of Economics Ca'Foscari University of Venice,Italy.
37. Satta A, Venturini S, Puddu M, Firth J, Lafitte A (2015) Application of a Multi-Scale Coastal Risk Index at regional and local scale in the Mediterranean .[https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multiscale\\_coastal\\_risk\\_index.pdf](https://planbleu.org/sites/default/files/publications/multiscale_coastal_risk_index.pdf). Accessed on 14 December 2017.
38. Satta A, Snoussi M, Puddu M, Flayou L, Hout R (2016) An index-based method to assess risks of climate-related hazards in coastal zones: the case of Tetouan. *EstuarCoastShelfSci* 175:93–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.021>
39. Satta A, Puddu M, Venturini S, Giupponi C (2017) Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: the case of the Mediterranean region. *Int J Disast Risk Reduct* 24: pp 284-296.<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.018>
40. Schmidt K, Aumann I, Hollander I, Damm K, [Graf von der Schulenburg](#) JM (2015) Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting. *BMC Medical Informatics and Decision Making* 15 (112). <https://doi.org/10.1186/s12911-015-0234-7>.

41. Taibi N (2011) Importance des herbiers de *Posidonia oceanica* dans la conservation des plages de la Méditerranée. Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
42. Thatcher CA, Brock JC, Pendleton EA (2013) Economic Vulnerability to Sea-Level Rise along the Northern U.S. Gulf Coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 63. Understanding and Predicting Change in the Coastal Ecosystems of the Northern Gulf of Mexico (SPRING 2013) : 234-243.
43. Thaul O (2010) Hydrodynamisme de l'environnement. Editions de l'Ecole Polytechnique.
44. Thieler ER, Hammar-Klose ES (1999) National assessment of coastal vulnerability to future sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic Coast. US GeolSurv Open File Rep.

# **Chapitre 3**

**Collecte, Tri et traitement des données pour  
le calcul de l'IVC et de l'IRC**

## Chapitre III :

### Collecte, Tri et traitement des données pour le calcul de l'IVC et de l'IRC

---

Après la mise en place du schéma global du risque côtier et des différents indicateurs pour chaque compartiment du risque côtier : vulnérabilité, exposition et aléa, l'étape qui précède le calcul du risque consiste à réunir des données issues de différentes sources qui vont permettre de cartographier, pour chaque indicateur, le risque côtier suivant la table de notation préconisée, allant de 1 (risque très faible) jusqu'à 5 (risque très élevé).

Ce présent chapitre a pour objet de présenter la zone d'étude qui est la baie de Bou Ismail ainsi que les données collectées et les méthodes arrêtées pour le calcul de l'indice de risque côtier.

#### 1 - Zone d'étude

La baie de Bou Ismail est située au nord centre de l'Algérie elle englobe deux Wilayas, Alger (coté est) et Tipaza (coté Ouest) ces deux wilayas sont séparés par l'oued Mazafran. Elle s'étend du Cap Mont Chenoua coté ouest (wilaya de Tipaza) vers Ras Acrata coté est (wilaya d'Alger), La baie est orientée Nord Est Sud Ouest sur une distance de près de 50 km entre les coordonnées 2°20'E et 2°55'E, cette zone a un potentiel touristique et agricole appréciable, on y retrouve une grande superficie de terre dédiée à l'agriculture sous serre et de cinq (05) zones d'expansion touristiques (ZET).

La baie de Bou Ismail hérite de la même typologie géomorphologique du littoral Algérien avec un plateau continental étroit, une pente raide et des profondeurs marines qui font par endroits quelques kilomètres (**Leclaire., 1972**). La partie orientale de la baie de Bou Ismail est caractérisée par la présence d'une autre baie appelé la baie d'El Djamila, cette baie se trouve à environ 20 kilomètres à l'ouest d'Alger, elle se situe entre 2° 50' 30'' et 2° 54' 00'' Est de Greenwich et entre 36° 45' et 36° 48 Nord de l'équateur. La baie de Bou Ismail est caractérisée par un potentiel agricole et touristique notamment dans sa partie ouest (Tipaza), le tourisme est aussi présent dans la partie Est de la baie avec la présence du complexe touristique de Sidi Fredj et du centre thalassothérapeute, et non loin de ce centre on aperçoit la station océanographique de Sidi Fredj et au centre de la baie et plus précisément dans la commune de BouIsmail se trouve le Centre National de la Recherche en Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA).

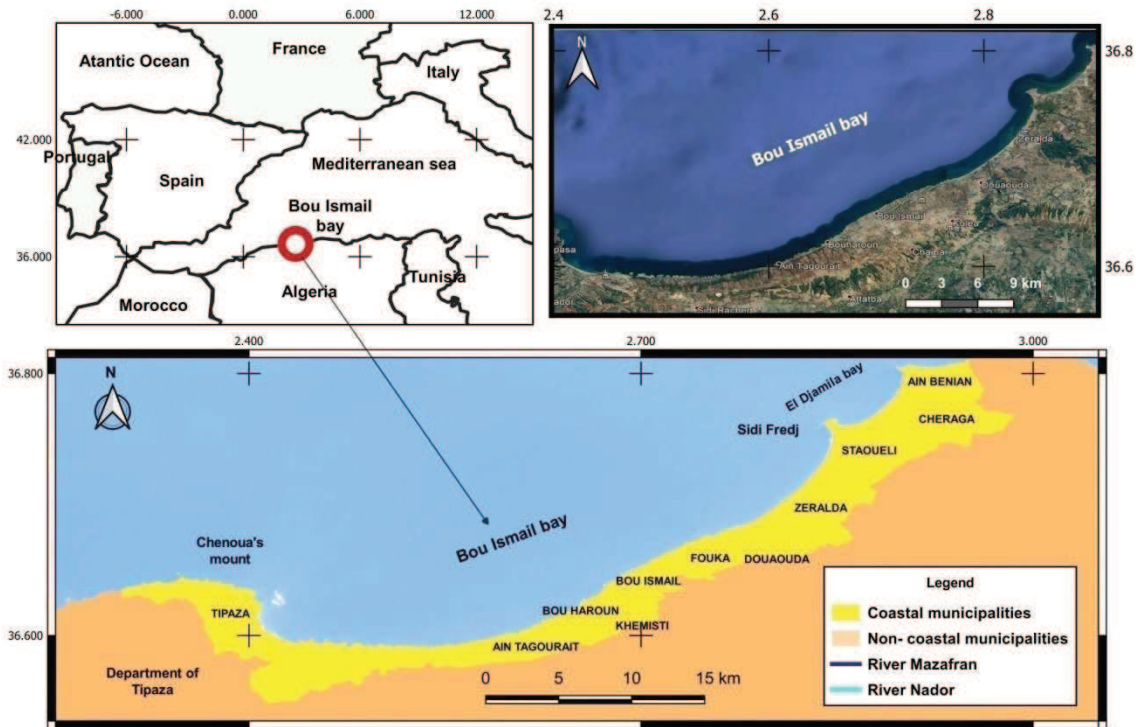


Figure 22 : Localisation géographique de la baie de Bou Ismail  
(Chaib et al., 2020) modifiée

## 1.1 - Géomorphologie et sédimentologie

La baie de Bou Ismail connaît une diversité géomorphologique. En effet, on y retrouve des côtes rocheuses comme l'Anse de Kouali située dans la commune d'Ain Tagourait, des falaises au niveau du Mont Chenoua sise dans la commune de Tipaza et une variété de plages allant de sable fins aux galets. On cite sans être exhaustif la plage colonel Abbas dans la commune de Douaouda et la plage Kheloufi dans la commune de Zeralda. (Grimes., 2010)

Il existe une grande diversité sédimentaire dans la baie de Bou Ismail, on retrouve des sables fins, des sables fins envasés, des vases sableuses, des graviers envasés, des sables graveleux, des sables grossiers et des graviers fins, de la vase pure ainsi qu'un faciès rocheux, on retrouve une abondance d'Herbiers à Posidonie (*Posidonia Oceanica*) (Leclaire., 1972).

Le plateau continental entre Tipaza et Bouharoun est peu différencié, il se prolonge insensiblement vers les fonds de 1000 mètres après une légère rupture de pente vers 120 mètres, en arrivant vers l'embouchure du Mazafran on remarque un plateau continental d'une extension de 11 km, par ailleurs on remarque un glacis qui se développe dans le Nord Est du massif Chenoua (Leclaire., 1972).

La baie de Bou Ismail est caractérisée par une grande diversité sédimentaire, 9 faciès sont identifiées (graviers, vase, roche etc.), la distribution de ce faciès n'est pas identique on remarque une différence entre la partie Est plutôt sableuse par rapport à la partie Ouest plutôt rocheuse (**Moulfi et al., 2012**). Deux types de sédiments arénitiques dans la baie de Bou Ismail ont été observés, il s'agit du sable et des graviers côtiers, au large les sable sont plus ou moins argileux et sont très peu différents des vases calcaires qui les entourent (**Leclaire., 1972**).

Au niveau de la baie de Bou Ismail, les sables et sablons siliceux forment une succession de belles plages a partir de Douaouda jusqu'à l'extrémité est de la baie, il existe aussi des sablons plus mince de Douaouda jusqu'a Tipaza, et des boues argilo-siliceuse vers le large (**Leclaire., 1972**). La dominance de plages au niveau de la baie de Bou Ismail et son intérêt touristique ont fait que des ouvrages de protection ont été implantés dans cette zone dans le but de préserver son patrimoine sédimentaire et protéger les plages face à l'érosion. En effet, des épis en forme de T ont été réalisés jouant aussi bien le rôle d'épis (arrêt du transport sédimentaire horizontal) que de brise lames (arrêt du transport sédimentaire vertical induit par la houle).

Les images suivantes montrent les ouvrages de protection en question au niveau de la commune de Bou Ismail (Tipaza) (Figure 23).



**Figure 23** : Epi en forme de T à Bou Ismail

La bathymétrie de la côte de la Baie de BouIsmail est typique du littoral Algérien en général avec un plateau continental étroit avec des profondeurs importantes dépassant les 2000 mètres à quelques kilomètres du rivage, la pente est raide vers le large et elle l'est moins près de la côte.

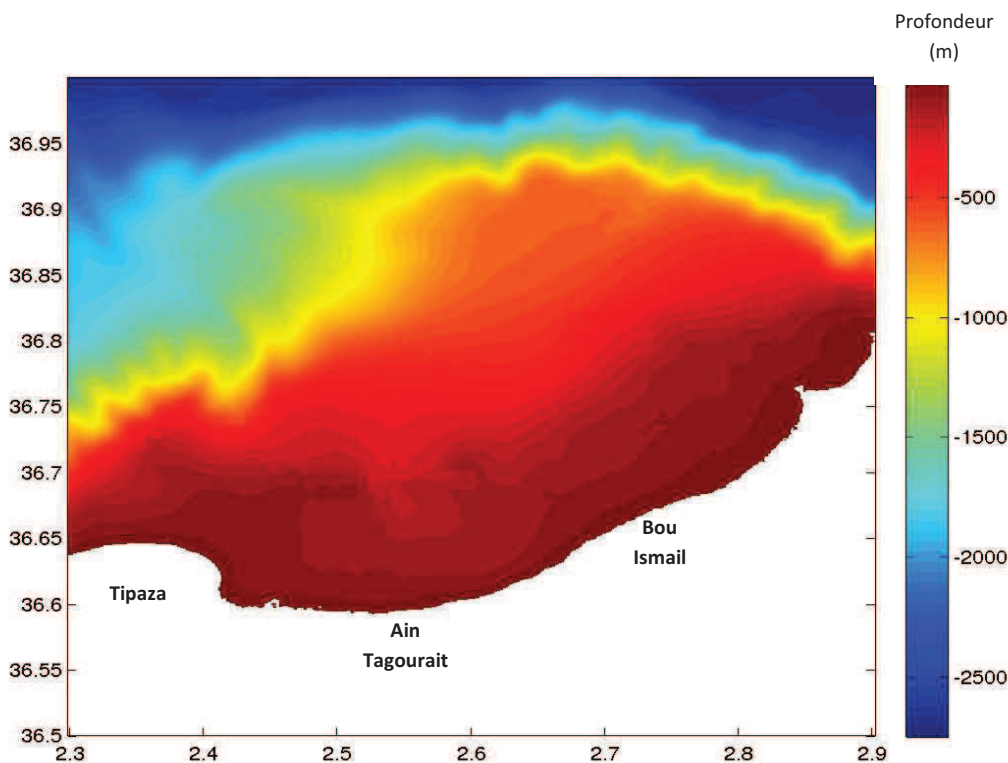


Figure 24 : Bathymétrie de la baie de Bou Ismail (GMRT., 2018)

## 1.2 - Réseau hydrographique

La baie de Bou Ismail est caractérisée par la présence d'Oueds qui alimentent les plages en sédiments, elle est le réceptacle de trois rivières (Mazafran, Nador et Beni Messous) à régime hydrologique irrégulier, mais qui ont un débit important, et transportent environ trois millions de tonnes par an uniquement pour le fleuve Mazafran (Inal et Boulahdid., 2014).

### 1.2.1 - Oued Nador

L'oued Nador se trouve dans la partie Ouest de la baie de BouIsmail, il traverse la commune de Tipaza.

### 1.2.2 - Oued Mazafran

L'oued représente la limite qui sépare la wilaya d'Alger de la wilaya de Tipaza, ces apports sont variables au cours de l'année, il est caractérisée par des crues hivernales et printanières soudaines.

### 1.2.3 - Oued Béni Messous

Il se situe dans la partie est de la baie (ouest d'Alger). Il prend sa naissance dans le massif de Bouzareah et se déverse dans la Baie d'El Djamila.

### 1.3 - Climatologie

La baie de Bou Ismail puisqu'elle se situe dans le nord de l'Algérie, elle bénéficie donc d'un climat méditerranéen caractérisée par un été chaud et sec et un hiver doux et pas très pluvieux. Les précipitations moyennes enregistrées par la station de Merad font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm durant la période 1978-2004.

Les températures annuelles moyennes varient entre 33 °C pour les mois chauds de l'été (juillet, août), à 6°C pour les mois les plus froids (décembre à février). (ONM., 2017).

#### 1.3.1 - Les vents

Le vent au niveau de la baie de BouIsmaïl est en moyenne de 4,5 à 5 m/s, les vents les plus violents se produisent durant les mois de Janvier, Février, Mars, Novembre et Décembre, les vents les plus violents recensés dépassent les 21 m/s durant la période entre 1992 et 2016 (ARGOSS., 2018 ,<http://www.waveclimate.com/>).

#### 1.3.2 – les houles

Pour des considérations purement pratiques, la Baie de Bou Ismail peut être subdivisée en deux zones Est et Ouest pour en appréhender l'étude de la houle.

La zone Est concerne les données des houles calculées au niveau du point de coordonnées géographiques 37°N de latitude et 3°E de longitude. Elles sont majoritairement de hauteur entre 0,5 et 1 mètre (ARGOSS., 2018, <http://www.waveclimate.com/>) considérées comme houles de faible hauteur et qui se produisent le plus souvent en période estivale.

Par contre, les houles de hauteur plus importante peuvent se produire en saison hivernale. Les hauteurs les plus importantes ont été recensées durant les mois de Février, Mars et Novembre pour la période entre 1992 et 2016, ces houles atteignent des hauteurs de 5,5 mètres (ARGOSS., 2018, <http://www.waveclimate.com/>).


En ce qui concerne la zone Ouest, on s'est basé sur les données de houles calculées au niveau du point géographique dont les coordonnées géographiques sont, en latitude 37°N et en longitude 2°30'E.


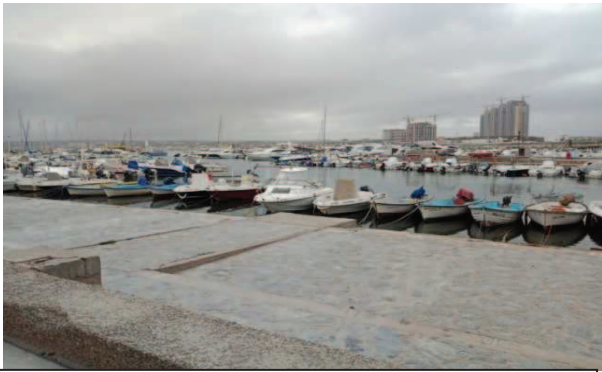

Comme c'est le cas pour le coté Est de la Baie, la plupart des houles sont de hauteur entre 0,5 et 1 mètre (la plupart en saison estivale) avec des pics de hauteur durant les mois de Janvier et Novembre, les houles atteignent exceptionnellement des hauteurs entre 5 et 6 mètres (ARGOSS., 2018, <http://www.waveclimate.com/> ).



### 1.4 - Infrastructures Portuaires

La baie de Bou Ismail comporte cinq (05) infrastructures portuaires à différents usages (Pêche, loisirs. etc.).

**Tableau 6** : Infrastructures portuaires dans la baie de Bou Ismail

Port	Photo et description
<p><b>El Djamila</b> (ex la madrague)</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px auto; width: fit-content;"> <p><b>Figure 25</b> : Port de'El djamila Photo prise le 26/04/2019</p> </div> <p>Le port d'El Djamila se situe dans la commune de Ain Benian à l'extrémité est de la baie de Bou Ismail, au niveau de la baie d'El Djamila (la madrague), c'est un port de pêche et de loisirs, il constitue une destination pour les plaisanciers avec un quai dédiée au transport des personnes. Le port d'el Djamila a subi en un épisode de submersion marine, avec une avancée du niveau de la mer au niveau du parking du port survenue le 11/09/10 (Direction de la Pêche et des Ressources Halieutiques DPRH, Alger).</p> <p>Le port est constitué :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'une plage artificielle</li> <li>- d'un ensemble d'habitations individuelles vétustes</li> <li>- Un grand espace de détente et de loisirs et quelques cabanons</li> <li>- des restaurants</li> <li>- d'un port de pêche et de plaisance.</li> </ul>

	 <p><b>Figure 26</b> : submersion au port d'El Djamila – (Hemdane et Benslama., 2016)</p>
<p><b>Sidi Fredj</b></p>	 <p><b>Figure 27</b> : Port de Sidi Fredj Photo prise le 26/04/2019</p> <p>Le port de Sidi Fredj fut bâti en 1969 dans le Cap Sidi Fredj qui se situe à 24 km à l'Ouest d'Alger dans la commune de Staoueli. La vocation exclusive du port est le loisir (port de plaisance).</p>
<p><b>Bouharoun</b></p>	 <p><b>Figure 28</b> : Port de Bouharoun Photo prise le 26/04/2019</p> <p>Le port de Bouharoun est un port de pêche situé dans la commune de Bouharoun à 45 km à l'ouest d'Alger.</p>

<p><b>Khemisti</b></p>	 <p><b>Figure 29</b> : Port de Khemisti - Photo prise le 26/05/2019</p> <p>Port de Khemisti est un petit port de pêche, situé dans la commune de Khmisti.</p>
<p><b>Tipaza</b></p>	 <p><b>Figure 30</b> : Port de Tipaza - Photo prise le 26/05/2019</p> <p>Ce port de pêche est situé à l'Est du mont Chenoua dans la commune de Tipaza, non loin des ruines romaines de Tipaza</p>

## 2 - Données

Comme pour toute étude, le calcul de vulnérabilité et du risque nécessite la collecte, le tri et un traitement spécifique des données. Les données recueillies pour l'évaluation de la vulnérabilité et du risque d'érosion et de submersion sont de type géomorphologique, climatique et socio-économique. Les données traitées sont introduites dans la grille de calcul de vulnérabilité et de risque qui va servir à la création des cartes des indicateurs et cartographie globale du risque

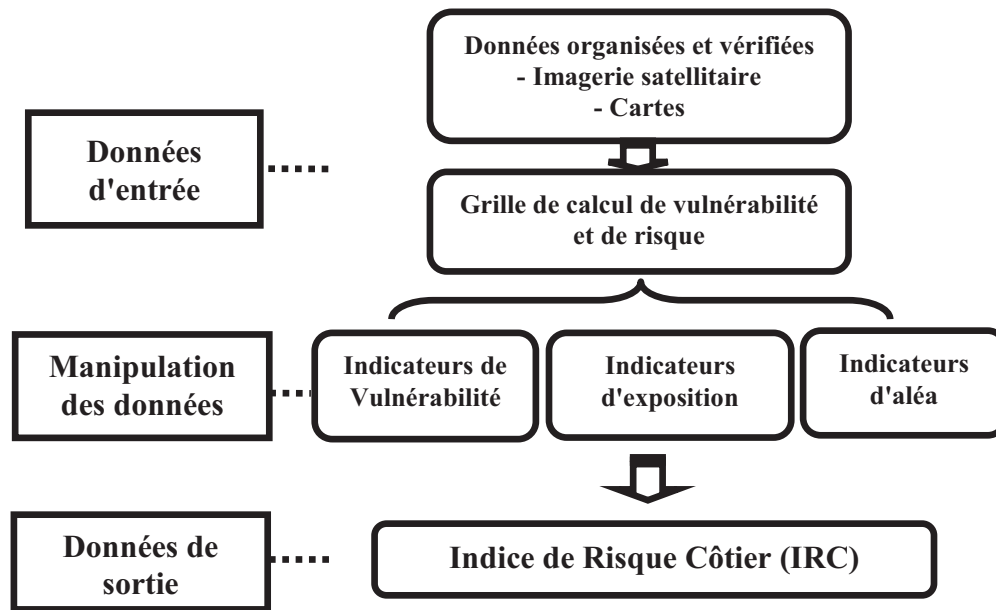


Figure 31 : Procédure modifiée d'obtention de l'indice de risque côtier (Duriyapong et Nakhapakorn., 2011 ; Satta et al., 2017)

## 2.1 - Données climatologiques

Les données climatologiques qui sont utilisés dans notre calcul de vulnérabilité et de risque côtier sont représentées par les hauteurs et les directions des houles au niveau de l'isobathe de 10 mètres, en plus de l'élévation du niveau de la mer.

## 2.2 - Données géomorphologiques

Les données géologiques utilisées dans notre étude concernent le type de côte, l'élévation par rapport au niveau de la mer, les apports sédimentaires terrigènes et l'évolution du trait de côte, ces données sont tirées à partir des sources différentes.

## 2.3 - Données démographiques

Les données démographiques utilisées dans notre étude concernent la population. Elles sont tirées des statistiques de l'ONS de 2008 avec une projection estimée pour 2018.

Pour ce qui est de la localisation on a utilisé les images satellitaires google earth de manière à cartographier la distribution de la population au niveau des communes de la baie de BouIsmaïl. En effet, bien que la densité de population dépasse les 2000 habitants/km<sup>2</sup> dans certaines communes tel que BouIsmaïl, Fouka et Staoueli, la distribution de la population

n'est pas tout à fait homogène certaines zones sont inhabitées en raison de la présence d'oueds au niveau de Mazafran (limite entre la wilaya d'Alger et Tipaza) et Oued Nador dans la commune de Tipaza, on note aussi l'existence, dans les communes de Zeralda, de Douaouda, de BouIsmaïl et de Ain Tagourait, d'une superficie importantes dédiées à l'agriculture ainsi que des zones forestières et à vocation forestière au niveau de la commune de Tipaza.

### **2.4 - Données économiques et sociales**

Les données économiques et sociales concernent les indicateurs relatifs aux facteurs de résilience et d'exposition.

Les facteurs de résilience touchent principalement les indicateurs relatifs aux lois et à la conscience citoyenne, pour les facteurs d'exposition il s'agit des indicateurs d'usage des terres, des routes et des sites historiques.

### **2.5 - Sources des indicateurs**

#### **2.5.1- Indicateurs de sensibilité**

##### **2.5.1.1 - Type de côte**

Les données sur l'indicateur type de côte ont été collectés à partir des images satellitaires Google earth en plus d'une vérification terrain afin de connaître la morphologie de la côte. La baie de BouIsmaïl est bordée par deux caps, le Cap Arcata à l'est et le Mont Chenoua à l'Ouest, elle est caractérisée par la présence d'une grande étendue de côte sableuses à l'est à la périphérie de Oued Mazafran (Communes de Zeralda et Douaouda) ainsi qu'une étendue moins importante l'Ouest (commune de Tipaza). Les côtes rocheuses sont plus présentes dans la commune de Ain Tagourait avec la présence d'anses, où on y trouve, entre autres, ce type de morphologie côtière.

##### **2.5.1.2 - L'altitude**

L'altitude est l'un des indicateurs de sensibilité qui est très intéressant dans notre étude dans la mesure où, les zones les plus basses sont plus susceptibles d'être érodées et submergées. Les données topographiques ont été téléchargées à partir du modèle numérique de terrain (MNT) du site USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Ces données ont une couverture géographique mondiale et ont une résolution de 25\*25 m. C'est l'indicateur qui est déterminé pour choisir la dimension de la résolution de notre grille de calcul de vulnérabilité et du risque

### **2.5.1.3 - Herbiers à Posidonie**

Les données sur les herbiers de Posidonie ont été collectées du rapport relatif à la gestion intégrée des zones côtières algéroises de 2006.

### **2.5.1.4 - Apport sédimentaire terrigène**

Les données de l'indicateur Apport sédimentaire terrigène ont été collectés a partir de cartes topographiques de l'INCT ainsi que des données Openstreetmap (<https://www.openstreetmap.org>). Ces données concernent tous ce qui est lié à la présence d'Oueds et de zones humides

## **2.5.2 - Indicateurs de résilience**

### **2.5.2.1 - Réglementation**

Les données sur l'indicateur réglementation concernent la présence ou non de lois au niveau national sur la protection du littoral ainsi que sur la gestion des risques majeurs.

### **2.5.2.2 - Conscience citoyenne**

L'indicateur "Conscience citoyenne" a été calculé à l'aide de questionnaire dédié à la population littorale de la baie de Bou Ismail les questions posées avaient pour but de connaître si la population a déjà effectué des exercices de sauvetage et de secourisme, aussi de savoir si les moyens sont disponibles pour faire face à un aléa côtier (voir annexe III).

## **2.5.3 - Indicateurs d'exposition**

### **2.5.3.1 - Population**

Les données sur la population ont été collectées auprès de l'ONS (Office National des Statistiques). Ces données concernent le recensement effectué en 2008.

### **2.5.3.2 - Sites historiques**

Les données sur les sites historiques ont été prises à partir des cartes touristiques des Wilaya d'Alger et de Tipaza, ces cartes sont produites par l'INCT.

Pour notre zone d'étude on a comme sites historiques les ruines romaines de Tipaza (commune de Tipaza), cette partie de notre zone d'étude est donc plus susceptible d'être impacté par l'érosion et la submersion marine.

### 2.5.3.3 - Routes

Les données de l'indicateur Routes ont été téléchargées des bases de données Openstreetmap (<https://www.openstreetmap.org>) ainsi que des cartes touristiques de l'INCT.

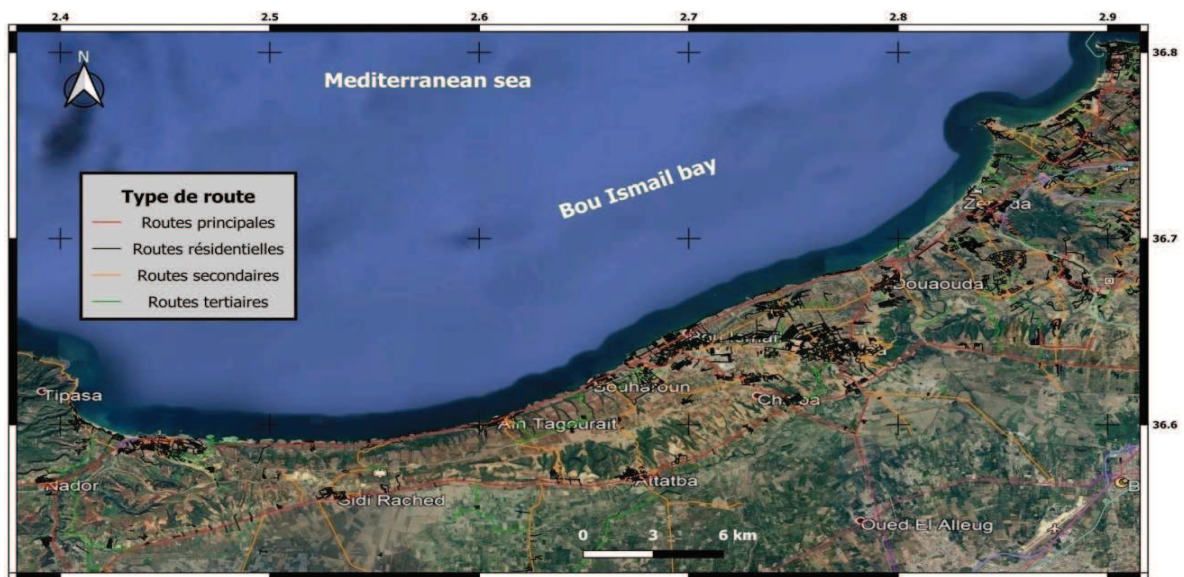


Fig 32 : Carte des routes dans la baie de Bou Ismail basée sur les données OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>)

### 2.5.3.3 - Usage des terres

Les données relatives à l'usage des terres ont été collectés à partir des cartes topographiques de l'INCT et comme c'est le cas pour les données des routes, des données sur l'usage des terres ont été téléchargés de la base de données Openstreetmap (<https://www.openstreetmap.org>). Cette base de données montre différents types d'occupation du sol : végétation, urbanisation et routes...etc.

## 2.5.4 - Indicateurs d'aléa

### 2.5.4.1 - Evénements extrêmes

Les données relatives aux événements extrêmes ont été collectés des données historiques sur les tsunamis et les tempêtes exceptionnelles ayant frappé la côte Algérienne, spécialement la baie de Bou Ismail pour notre cas d'étude.

En effet la côte Algérienne a connu des événements de tsunamis depuis le premier siècle de notre ère (**Maouche et al., 2009**). D'autres tsunamis ont été recensés dans la période entre 1500 et 1900 à Alger et à Tipaza dont deux en moins de trois mois à Alger en 1716 (**Maouche et al., 2009**)

En ce qui concerne les tempêtes exceptionnelles, notre zone d'étude a subi ce phénomène durant les 20 dernières années comme ça été le cas de la tempête exceptionnelle du 10 Novembre 2001 qui a touché le Nord de l'Algérie et qui a causé un sinistre à Bab el Oued suite aux fortes précipitations mais aussi à l'élévation du niveau de la mer ainsi qu'à l'exposition de la population dans une zone à faible altitude, cette catastrophe a causé plus de 800 morts

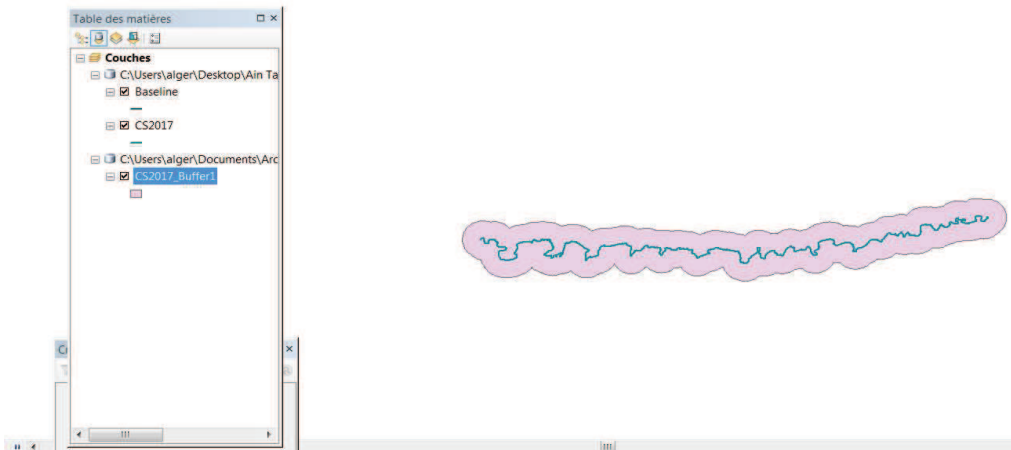
D'autre part d'autres événements de tempêtes ce sont produits tel que la submersion du port El Djamila le 11 Septembre 2010 et le naufrage d'un navire au large d'Alger le 09 Décembre 2014.

Les scores de l'indicateur "événements extrêmes" ont été établis en se référant à la fréquence des événements de submersion dans les côtes de la baie de Bou Ismail, ces submersions ont été le résultat de tempêtes exceptionnelles ou de tsunamis, pour l'évaluation de cet indicateur, l'échelle de degré de risque a été établie de sorte que si un événement se produit en moins de 10 ans la zone est considérée à très fort aléa de submersion.

### 2.5.4.2 - L'évolution du trait de côte

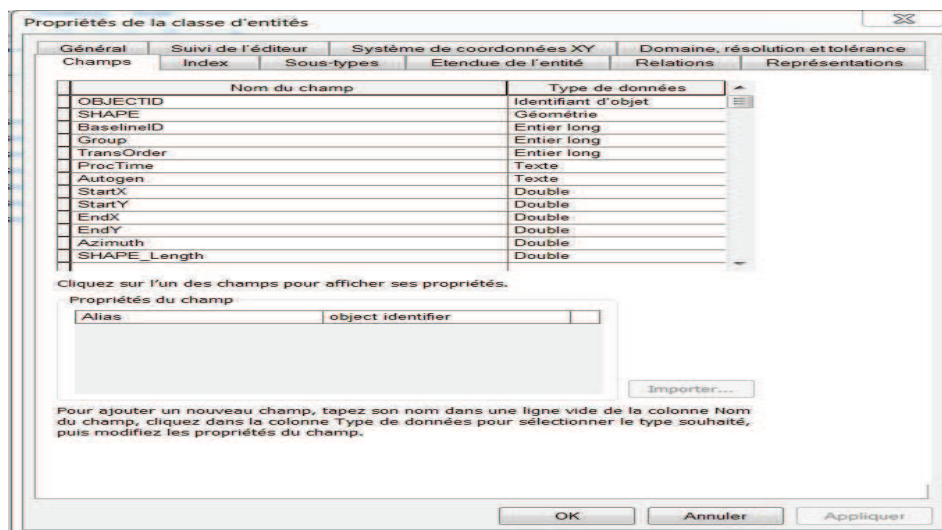
L'évolution du trait de côte nous informe sur l'érosion côtière, cet indicateur est mis en place par la digitalisation des images satellitaires téléchargées de Google Earth Pro (des années entre 2002 et 2017). Les images en question sont de très bonne résolution, elles sont donc compatibles avec l'évaluation du trait de côte à une résolution autour de 50 cm. L'erreur sur le trait de côte est de 1/15 mètre/an, de plus l'évaluation de l'évolution récente permettra la comparaison avec l'évolution du trait de côte entre 1959 et 2003 qui a été effectuée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, le groupe EGIS eau et le BRGM sur la wilaya d'Alger (**MATE et al., 2013**).

Pour réaliser l'étude d'évolution du trait de côte, la première étape consiste à les représenter par digitalisation des phénomènes observés entre 2002 et 2017. La base ligne de 2002 qui a été créée va servir de référence au trait et va permettre la mise en place des transects perpendiculaires à la baseline réalisée. Le travail a été fait grâce à l'outil buffer d'ArcGIS qui permet de créer une zone tampon à partir d'une distance de la couche de référence retenue.



**Figure 33 :** Création de la zone tampon sur ArcGis (Ain Tagourait)

La distance qui sépare les différents traits de côte à un transect correspond à la variation du trait de côte, cette valeur est calculée par DSAS (**Himmelstoss., 2009**) avec visualisation sur une table (database d'ArcGis) qui va servir comme référence à la variation moyenne du trait de côte des différentes années. Après avoir créé une série de traits de côtes ainsi que la baseline, le recours au logiciel DSAS en tant qu'extension d'ArcGis facilite l'appréciation de cette évolution dans les zones auxquelles les profils ont été placés et l'affichage des résultats dans la base de données associée au SIG.



**Figure 34 :** Base de données SIG pour le calcul de l'évolution du trait de côte

### 2.5.4.3 - L'élévation moyenne du niveau de la mer

Les scores de l'indicateur aléa élévation moyenne du niveau de la mer est calculé suivant les résultats des observations des satellites Topex Poseidon entre les années 1992 et 2016 (voir Figure 20) qui montrent une élévation de niveau de la mer de 0 à 2 mm par an au niveau des côtes de la baie de Bou Ismail.

### 2.5.4.4 - La hauteur des vagues

Le calcul des hauteurs des vagues à l'approche du rivage se fait par des modèles numériques dont le but est de calculer la variation de la houle en fonction de son déplacement du large vers le rivage.

Parmi les modèles les plus utilisés on retrouve le Mike 21, Wavewatch et SWAN, et pour notre étude on a opté pour le modèle libre SWAN (opensource) qui permet le calcul des paramètres des vagues dans les régions côtières à partir des données de la houle au large, du vent et de la bathymétrie (**Booij and al., 1999**).

Les données sur la bathymétrie ont été téléchargées à partir des modèles disponibles dans le site GMRT (Global Multi-Resolution Topography – <https://www.gmrt.org/GMRTMapTool/>) la résolution de cette bathymétrie est de 100 m \* 100 m , pour les données de houles au large. Celles ci ont été collectées du site de l'entreprise spécialisée dans les travaux de génie maritime BMT ARGOS (Pays bas) (<http://www.waveclimate.com/>).

Ces données sont issues d'observations satellitaires couplées à des modèles de calcul tel que Wavewatch et Mike 21 avec la possibilité d'avoir une mesure chaque 0°30'(<http://www.waveclimate.com/>). Pour notre zone d'étude, nous avons pris deux points comme référence au large.

Le premier point situé dans la partie Ouest de la Baie et le second est situé dans sa partie Est, dont les coordonnées géographiques sont indiquées dans le tableau ci-après. Les hauteurs des houles à ces points ont atteint les 4.5 mètres pour les houles de secteur Nord- Ouest et 4 mètres pour le secteur Nord ( **www.waveclimate.org**) ce qui représente la hauteur du sommet des 95% des hauteurs de vagues enregistrées (**Satta et al., 2017**).

**Tableau 7** : coordonnées géographiques des points de la baie de Bou Ismail utilisées dans l'évaluation de la propagation des houles

Position	longitude	latitude
Point 1 (Ouest de la baie)	2° 30'	37° 00'
Point 2 (Est de la baie)	3° 00'	37° 00'

Les simulations par le modèle SWAN va nous permettre d'établir une représentation cartographique de la façade maritime de la baie de Bou Ismail de manière à identifier les zones les plus à risque, ces zones nécessiterons des mesures de protection adéquates.

Pour les illustrations cartographiques, une plateforme cartographique a été utilisée; il s'agit de la fenêtre du logiciel Surfer

Le modèle SWAN, comme beaucoup de modèles utilisés pour prédire la propagation de la houle, résout l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues développée suite aux travaux de **Hasselmann et al (1973)** :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(c_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(c_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots (8)$$

Avec :

- N : densité du spectre
- $c_x$  : vitesse de propagation suivant l'axe x
- $c_y$  : vitesse de propagation suivant l'axe y
- $\sigma$  : Fréquence relative
- $\theta$  : Direction de la houle
- S : Terme de la dissipation et des interactions non linéaires

L'application couvre le spectre de houle complet en terme de fréquence et de direction (0 à 360) °, ce qui signifie que des champs de vagues se propagent dans différentes directions simultanément et leurs interactions peuvent être modélisées. Son intérêt par rapport aux modèles globaux tels que Wavewatch 3 est sa précision sur des maillages allant jusqu'à 20x20m, mais surtout sur des régions caractérisées par de faibles profondeurs jusqu'à la zone de déferlement (**TU Delft., 2006**).

SWAN est un modèle de propagation de la houle de troisième génération performant qui permet de résoudre les équations liées à des paramètres physiques dus au mouvement de la mer dont la réfraction, les interactions vagues-vagues et la dissipation par déferlement (**Booij et al., 1999**).

D'un point de vue pratique, SWAN s'exécute à partir de l'invite de commandes. Le manuel d'utilisation nous paraît clair et explicite. Le renseignement du fichier de commande avec l'extension (.swn) est nécessaire tout en sélectionnant les paramètres à prendre en considération (**TU Delft., 2006**), à savoir les inputs:

- **INPGRID** : définit dimension de fond, le niveau d'eau, le courant et les réseaux de friction.
- **BOUND** : définit la forme des spectres à la limite de la grille géographique et c'est à ce niveau qu'on introduit les directions, les périodes et les hauteurs significatives.
- **WIND** : active l'option constante du vent (vitesse et direction).

- **CGRID** : Définit dimension de grille de calcul qui comprend les valeurs de l'emplacement d'origine (cordonnées minimales en X et Y), l'espacement entre deux points successifs en X et Y ainsi que le nombre de mailles de la grille (lignes et colonnes).

Les résultats (outputs) de SWAN sont affichés sous forme d'un fichier qu'on peut ouvrir sous excel, les résultats obtenus concernent les variations de la hauteur de la houle en chaque point de la grille de calcul, on cite (TU Delft., 2006) :

- **HSGIGN** Hauteur des vagues (m)
- **HSWELL** Hauteur des vagues due aux seules basses fréquences
- **DIR** direction des vagues
- **DISSIP** Dissipation d'énergie totale par unité de temps
- **WLEN** Longueur d'onde de la houle(m)
- **TRANSP** Transport d'énergie (composantes selon x et y)
- **VEL** Vitesse du courant (composantes selon x et y)
- **WIND** Vitesse du vent (composantes selon x et y)

Le résultat qui nous intéresse dans notre étude est la hauteur de la houle à chaque point de la grille de la bathymétrie, la grille de bathymétrie initiale a été réorganisé pour son utilisation en tant que fichier input via Matlab (voir annexe IV).

Les cartes de hauteur des vagues sont par la suite réalisées sur Surfer pour donner une représentation de la hauteur de la houle au niveau de la Baie de BouIsmaïl, les cartes obtenues vont servir par la suite d'input pour la grille de calcul de la vulnérabilité et du risque.

### 2.6 - Cartographie et cotation de la vulnérabilité et du risque

Pour une meilleure lecture des résultats cartographiques de la baie de Bou Ismaïl en termes d'indices de vulnérabilité et de risque, la zone littorale en question a été divisée en cellules de dimensions 25\*25 mètres soit des dalles de 625 m<sup>2</sup> (Figure 35) de sorte à assurer une bonne couverture des détails dans le contexte régional. La déclinaison adoptée, proche de celle admise par **McLaughlin et Cooper (2010)** est pertinente dans la mesure où, l'indicateur de vulnérabilité qui s'intitule «élévation» tiré du modèle numérique de terrain (MNT) couvrant la zone d'étude à la résolution adoptée représente la plus petite division de terrain garantissant la précision source. Soit le pas du modèle en question (25\*25 mètres). Donc. Par conséquence le choix est dicté par des considérations d'héritages liées aux informations de base utilisées.

En ce qui concerne l'extension verticale de la grille de calcul de vulnérabilité et du risque, elle commence du trait de côte vers la limite de 800 mètres de celui-ci, cette zone est la plus exposé aux aléas côtiers, de plus la juridiction algérienne prévoit, par la loi 02-02 du 5 février

2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral, la délimitation du littoral en trois (03) zones selon des critères de délimitation et d'urbanisation.

- La zone se trouvant dans les 300 mètres du trait de côte (zone non-aedificandi)
- La zone se trouvant dans les 800 mètres du trait de côte
- La zone se trouvant dans les 3 km du trait de côte

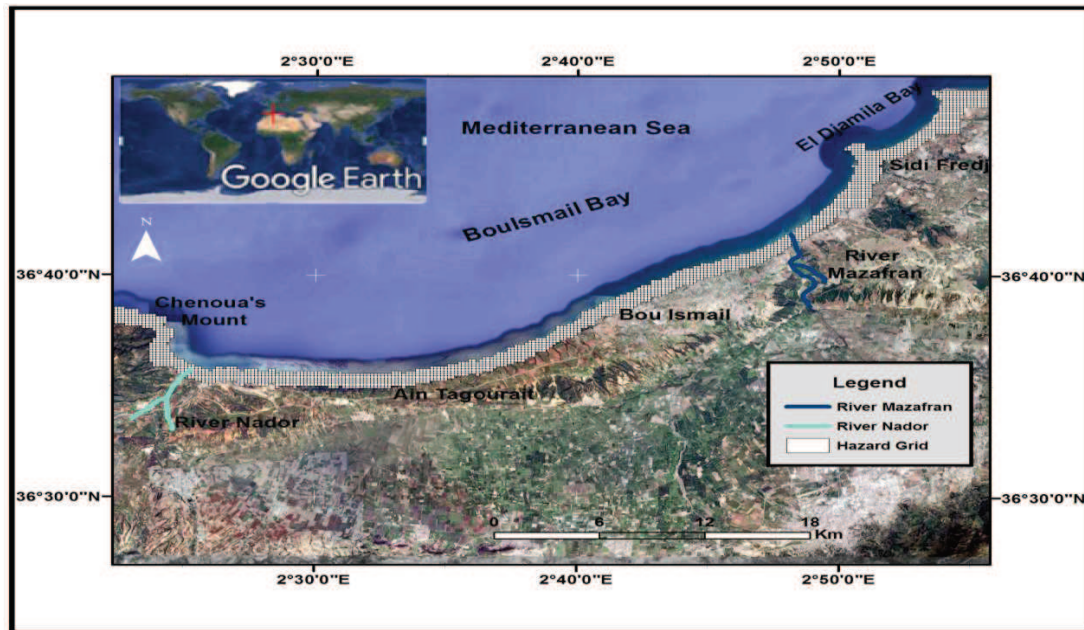


Figure 35 : Découpage de la zone d'étude en cellules de (25x25) mètres carrés

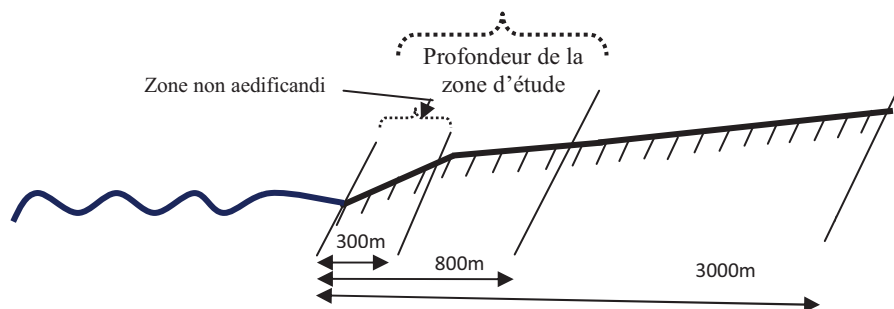


Figure 36 : Zonage selon la loi relative à la protection et à la valorisation du littoral

La loi 02-02 du 5 février 2002 stipule en son article 18 «Sans préjudice des dispositions légales en vigueur en matière de servitudes de *non-aedificandi* et sous réserve du cas des activités et des services pour lesquels la proximité immédiate de la mer est une nécessité, ces servitudes peuvent être portées à trois cents (300) mètres pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier (Figure 36).

## Collecte, Tri et traitement des données pour le calcul de l'IVC et de l'IRC

Les conditions et les modalités d'extension de la zone objet de *non-aedificandi* et d'autorisation des activités permises sont fixées par voie réglementaire».

La loi 02-02 du 5 février 2002 définit et elle délimite l'étendu du littoral dans sa partie terrestre qui correspond à la bande de terre de 800 mètres de profondeur à partir du rivage et c'est sur cette bande des 800 mètres que la grille de calcul du risque sera réalisée.

Chaque cellule de la grille de la vulnérabilité côtière se verra attribué un score (Figure 37 ) allant de 1 à 5 tel que :

1. Risque très faible
2. Risque faible
3. Risque moyen
4. Risque fort
5. Risque très important

Le résultat final prend la forme de carte de cellules carrées avec la possibilité de superposition de différentes thématiques.

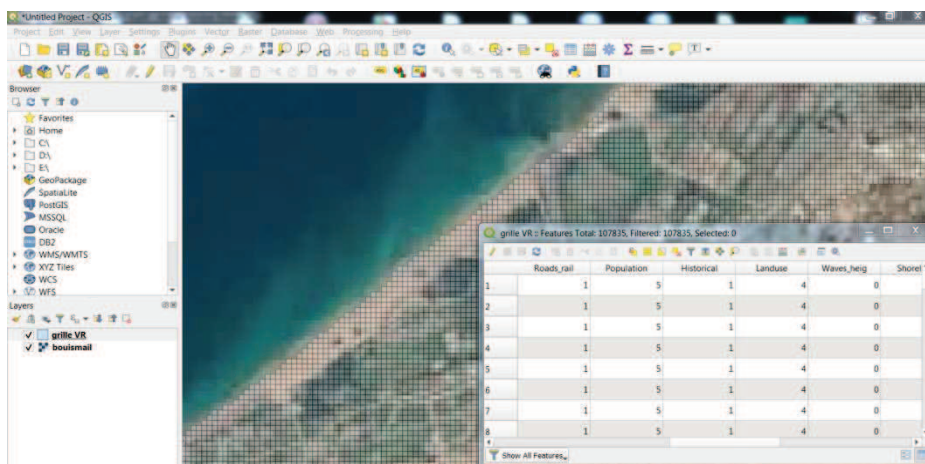


Figure 37 : Attribution des scores de vulnérabilité côtière

Le logiciel QGIS permet grâce à l'outil de gestion de la table attributaire de remplir la grille de la vulnérabilité côtière qui sera doté de scores de vulnérabilité pour chaque cellule de la grille, ceci est le processus de création d'une base de données SIG.

Les tableaux suivant montrent l'attribution des scores à chaque cellule de la grille de calcul de vulnérabilité et de risque pour les indicateurs (vulnérabilité, exposition et aléa).

**Tableau 8 : Attribution des scores de vulnérabilité (Chaib et al., 2020) d'après Gornitz (1991); McLaughlin et Cooper (2010)**

Indicateurs/ score	1	2	3	4	5
Type de côte	Falaises	Côtes rocheuses	Côtes protégées par des ouvrages de protection	/	Plages sableuses
Altitude (m)	Plus de 30	20 à 30	10 à 20	5 à 10	moins de 5
Apport sédimentaire terrigène (rivière)	Présence	/	/	/	Absence
Herbier à posidonie	Présence	/	/	/	Absence
Réglementation	Présence	/	/	/	Absence
Conscience citoyenne	Plus de 80%	60% to 80%	40% to 60%	20% to 40%	moins de 20%

**Tableau 9 : Attribution des scores d'exposition (Gornitz., 1991 ; McLaughlin et Cooper., 2010)**

Indicateurs/ score	1	2	3	4	5
Densité de population (habitants/km <sup>2</sup> )	Moins de 100	De 100 à 250	De 250 à 500	De 500 à 1000	Plus de 1000
Routes	Absence de routes	Routes secondaires	Routes de Wilaya	Routes nationales	Autoroutes/voies ferrés
Usage des terres	Zone humides	Zones côtières naturelles	Forêts	Zones agricoles	Zones urbaines et/ou industrielle
Sites historiques	Absence	/	/	/	Présence

**Tableau 10** : Attribution des scores des indicateurs d'aléa (Gornitz., 1991; Thieler et Hammar klose., 1999; McLaughlin and Cooper., 2010; Satta and al., 2015)

Indicateurs/ score	1	2	3	4	5
Elévation du niveau de la mer (mm/an)	Moins de 1.8	de 1.8 à 2.5	de 2.5 à 3	de 3 à 3.4	plus de 3.4
Hauteur des vagues au rivage (m)	Moins de 0.5	de 0.5 à 1	de 1 à 1,5	de 1,5 à 2	plus 2
Evolution du trait de côte (m/an)	plus de +3	de +1,01 à +3	de -0,99 à +1	de -1 à -3	moins de -3
Evénements extrêmes	1 en plus de 100 ans	1 entre 50 à 100 ans	1 entre 20 et 50 ans	1 entre 10 et 20 ans	1 en moins de 10 ans

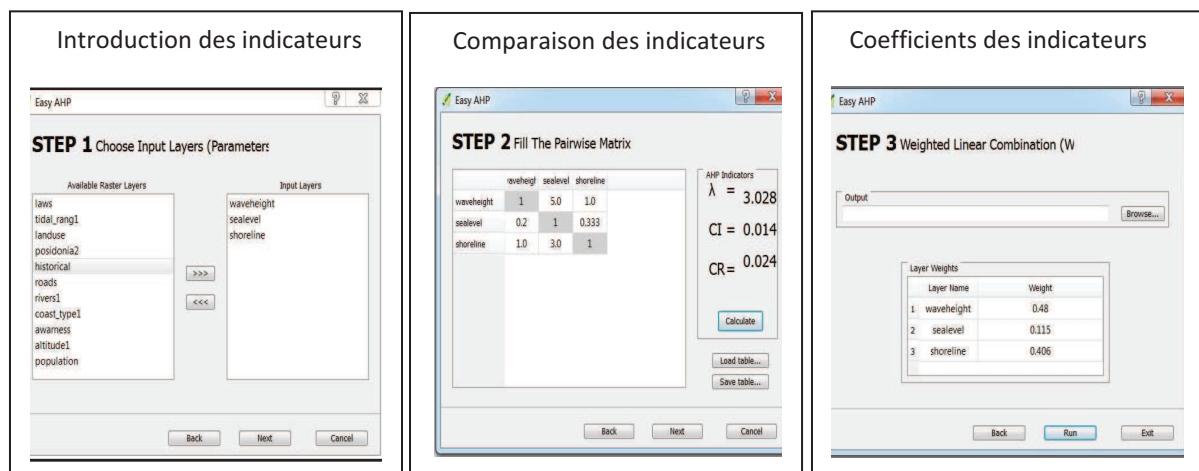
### 2.7 - Application de la méthode AHP

La méthode AHP comme déjà expliqué dans le chapitre II, permet de donner un coefficient à chaque indicateur de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa, tout en définissant un poids spécifique. Les indicateurs en question ont été pondérés à l'aide de l'outil (easy AHP) du SIG opensource QGIS.

A l'instar des SIG du marché, QGIS est un logiciel SIG qui permet de traiter, restituer et enregistrer les données géographiques, ce logiciel a été amélioré depuis sa création grâce aux apports de différents experts sur divers thématiques. Des outils sont régulièrement ajoutés dans le répertoire de QGIS et notamment sous forme de Plugin. Parmi ces outils on a utilisé le plugin (easy AHP) qui permet de faire le calcul des coefficients d'attribution pour chaque couche thématique introduite dans l'interface QGIS de manière à établir la formule globale de l'indice de risque côtier pour la baie de BouIsmaïl (voir chapitre 4).

Pour réaliser cette opération, on est amené à introduire les couches sur lesquelles l'opération de pondération a été appliquée suite au résultat du questionnaire (voir annexe). La seconde étape consiste à introduire les résultats obtenus de chaque expert dans le tableau de la matrice de calcul AHP.

On a obtenu au final un tableau qui montre la valeur du coefficient de chaque indicateur suite au calcul de la matrice AHP.



**Figure 38 :** les différentes étapes de mise en place des résultats de Comparaison des indicateurs dans la matrice AHP de l'outil easy AHP

Les coefficients obtenus vont nous permettre de définir les équations partielles de chaque sous indice du risque côtier (Sous indice de vulnérabilité avec la composante sensibilité et résilience, le sous indice exposition et le sous indice aléa).

### Conclusion du chapitre 3

Le calcul du risque côtier pour notre étude fait appel aux outils SIG pour introduire les valeurs attribuées à chaque indicateur dans chaque portion géographique de notre zone d'étude. Le logiciel ArcGis permet de réaliser le traitement géographique adéquat sous forme de grille de calcul de risque côtier en utilisant les différents dispositifs de la boîte à outil d'ArcGis.

La collecte des données relatives aux indicateurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa peuvent être introduites directement dans la grille de calcul de risque selon les données existantes. Cependant, certains indicateurs nécessitent le passage par certaines étapes pour y arriver, il s'agit des indicateurs évolution du trait de côte, la hauteur des vagues et la conscience citoyenne. En effet, ces indicateurs nécessitent certains traitements spécifiques.

- **pour le trait de côte** le dessin des traits de côte de 2002 à 2017 est nécessaire puis l'utilisation de l'outil DSAS a permis de calculer les valeurs de variation du trait de côte en prenant une ligne de côte de référence ;
- **pour la hauteur des vagues**, les hauteurs des vagues que l'on a introduit dans le calcul du risque sont celles qui sont près du rivage et pour se faire, on a utilisé le logiciel SWAN pour réaliser ce calcul en se servant des données d'entrée (hauteur des vagues

au large, période des vagues, direction de provenance des houles et l'étendue géographique), ce calcul une fois réalisé a été converti en carte sur Surfer, ces cartes vont servir de référence pour l'introduction des vagues à l'approche du rivage dans l'équation de calcul du risque côtier ;

- pour ce qui est de l'indicateur **conscience citoyenne** un questionnaire pour la population littorale a été réalisé.

Le remplissage de la grille de calcul du risque par les scores attribués à chaque indicateur dans chaque portion de la grille puis l'attribution de coefficients à chaque indicateur par la méthode AHP nous a donné comme résultat des cartes de risque pour chaque indicateur. Les résultats obtenus vont faire l'objet de discussion dans le prochain chapitre.

### Références du troisième chapitre

1. ARGOSS (2018) [www.waveclimate.org](http://www.waveclimate.org). consulté le 28/02/2018.
2. Booij N, Ris RC, Holthuijsen LH (1999) A third-generation wave model for coastal regions. part i. model description and validation. *J.Geophys. Res.*, 104 (C4): pp 7649-7666.
3. Boughrira A (2012) Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de BouIsmaïl. Mémoire de Magistère. ENSSMAL.
4. Chaib W, Guerfi M, Hemdane Y (2020) Evaluation of coastal vulnerability and exposure to erosion and submersion risks in Bou Ismail bay (Algeria) using the Coastal Risk Index (CRI), *Arabian Journal of Geosciences* **13**, 420 : <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05407-6>.
5. Delft University of Technology (2006) SWAN USER MANUAL SWAN Cycle III version 40.51 , <http://falk.ucsd.edu/modeling/swanuse.pdf> , accessed on 24 April 2018.
6. Duriyapong F et Nakhapakorn K (2011) Coastal vulnerability assessment: a case study of Samut Sakhon coastal zone. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.* 33 (4): pp 469-476.
7. Gornitz V (1991) Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section), 89, Elsevier Science Publishers B.V, 379-398 .
8. Grimes S (2010) Peuplements benthiques des substrats meubles : Taxonomie, structure et statut écologique. Thèse de doctorat d'état. Sciences de l'environnement. Université d'Oran.
9. Hasselmann K, Barnett TP, Bouws E, Carlson H, Cartwright DE, Enke K, Ewing JA, Gienapp H, Hasselmann DE, Kruseman P, Meerburg A, Müller P, Olbers DJ, Richter

- K, Sell W, Walden H (1973) Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl.* 12(A8):pp 1-95.
10. Hemdane Y et Benslama L (2016) Etude des oscillations marines de basse fréquence pouvant induire une potentielle submersion marine sur un littoral microtidal. Cas du littoral Algérois (port d'Alger).
  11. Himmelstoss EA (2009) "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" In Thieler ER, Himmelstoss EA, Zichichi, JL, Ayhan E. (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. \*updated for version 4.3, [https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/data/DSASv4\\_3.pdf](https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/data/DSASv4_3.pdf) . accessed on 22 March 2018.
  12. Inal et Boulahdid M (2014) Heavy metals contamination of sediments of Bou Ismail Bay (Algeria). *Journal of Marine Science: Research & development*. 2nd International Conference on Oceanography. July 21-23, Hampton Inn Tropicana, Las Vegas, USA.
  13. Leclaire L (1972) La sédimentation holocène sur le versant méridional du Bassin Algéro-Baléares (Précontinent algérien). Muséum nationale d'histoire naturelle, Paris.
  14. Maouche S, Morhange C, Meghraoui M (2009) Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in teh western mediterranean 262:pp96-104 <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.03.013>.
  15. Marcos et Tsimplis (2008) Coastal sea-level trends in Southern Europe. *Geophys. J. Int* 175: pp 70-82.
  16. MATE, EGIS EAU, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Île-De-France, Bureau de Recherches Géologique et Minière (2013). Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 – Évaluation et représentation des sources de vulnérabilité, [http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC\\_Alger\\_Phase%201\\_FINAL\\_Part1\\_0.pdf](http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC_Alger_Phase%201_FINAL_Part1_0.pdf). accessed on 05 November 2017.
  17. McLaughlin S et Cooper JAG (2010) a multi scale vulnerability index: a tool for coastal managers? . *Environmental Hazards Human and Policy Dimensions*: pp 234-248.
  18. Miossec A (2004) Les littoraux entre nature et aménagement, 3rd ed. ARMAND COLIN, Paris, France : 49p.
  19. Mouffi A, Pauc H, Mouffi L (2012) Les sédiments récents de la Baie de Bou Ismail (Ouest algérois). Nature, origine et mécanismes de mise en place. *Bulletin du Service Géologique National* 23 (1) : pp 29 - 49.

20. Saaty TL (2003) Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European. Journal of Operational Research* 145: pp 85–91.
21. Satta A , Puddu M , Venturini S , Giupponi C (2017) Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: The case of the Mediterranean region International. *Journal of Disaster Risk Reduction* 24 : pp 284–296.
22. Thieler ER, Hammar-Klose ES (1999) National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S.Atlantic Coast. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/dds/dds68/reports/eastrep.pdf>. consulté le 16/02/ 2020.

# **Chapitre 4**

## **Formalisation des équations et cartographie du risque**

## Chapitre IV

### Formalisation des équations et cartographie du risque

---

Les informations collectées nous ont permis d'assurer les différents traitements pour l'obtention des résultats des hauteurs des vagues et de l'évolution du trait de côte tout en assurant le traitement statistique par le biais de l'approche AHP qui vise à garantir la distribution et la correction pondérale sur les différents indicateurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa selon les avis d'experts tel qu'exprimés via le questionnaire pour le calcul du risque. Cette manière de voir les choses est de nature à cartographier, dans une première phase, les indicateurs d'exposition, de vulnérabilité (sensibilité et résilience) et d'aléa et la combinaison de ces différents facteurs, pour réaliser, en seconde étape, la cartographie des risques d'érosion et de submersion marine.

#### **1 - Indicateurs de vulnérabilité**

##### **1.1 - Sensibilité**

###### **1.1.1 - Altitude**

La cartographie de l'indicateur "Altitude" montre que la grande partie de la zone d'étude est de basse altitude, et cela en grande partie près du rivage et plus on se dirige vers les terres plus l'altitude augmente et donc le risque d'érosion et de submersion est faible, on retrouve les plus grandes altitudes près du rivage dans les extrémités de la baie où l'on retrouve les deux monts qui bordent la baie (Mont Chenoua à l'Ouest et le Mont Bouzreah à l'Est) ainsi que le cap Sidi Fredj qui est plus élevé que les alentours. L'information a été lue depuis les courbes de niveaux des cartes topographiques de la région et confortée par des sorties sur terrain (Figure 39 et 40).

###### **1.1.2 - Type de côte**

La cartographie de l'indicateur " Type de côte" montre un faible degré de vulnérabilité vu que la plupart de la côte de la baie de Bou Ismail est rocheuse en grande partie dans la commune de Ain Tagourait connu pour ses anses, on retrouve aussi une large étendue de côtes sableuses aux alentours de Oued Mazafran ainsi que dans la baie d'El Djamila (plage Club des Pins), ces zones sont donc fortement vulnérables. Aussi, on y retrouve une haute falaise au niveau de l'extrémité Ouest de la baie à Chenoua (très peu vulnérable) (Figure 39 et 40).

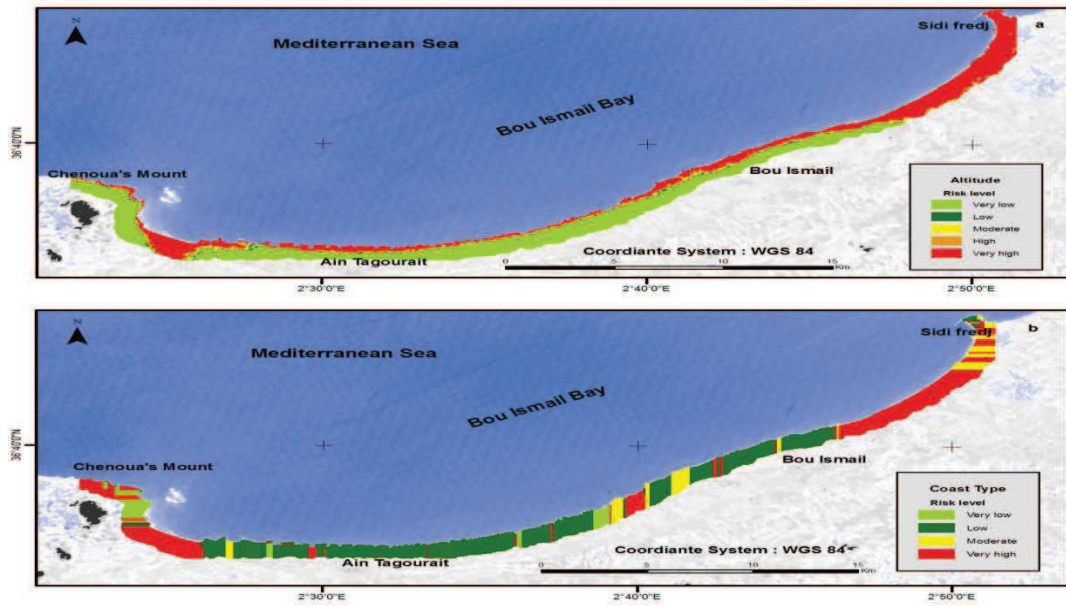


Figure 39 : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Altitude b) Type de côte

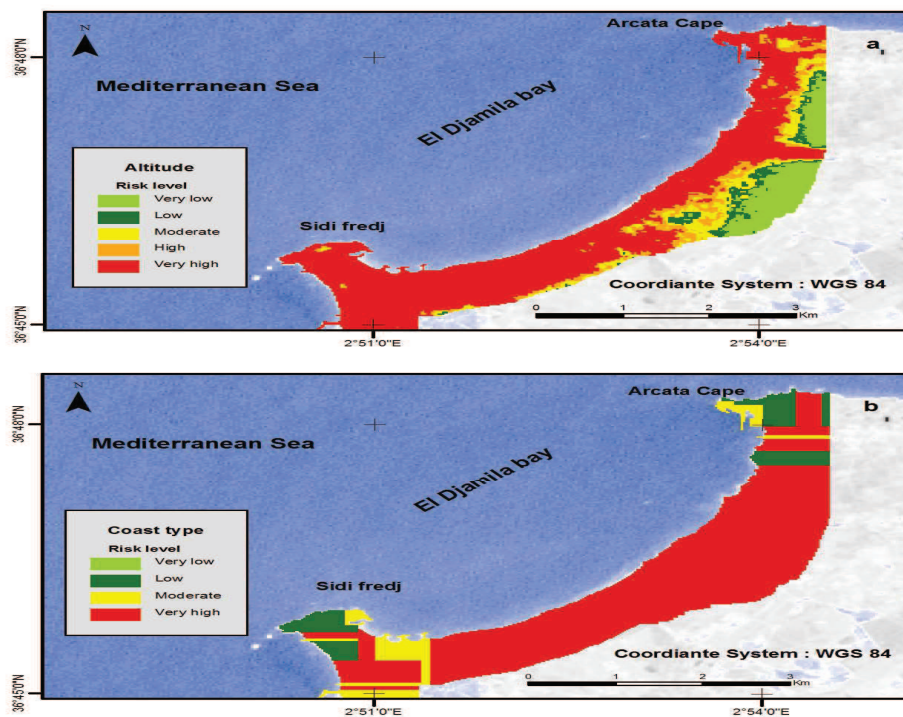


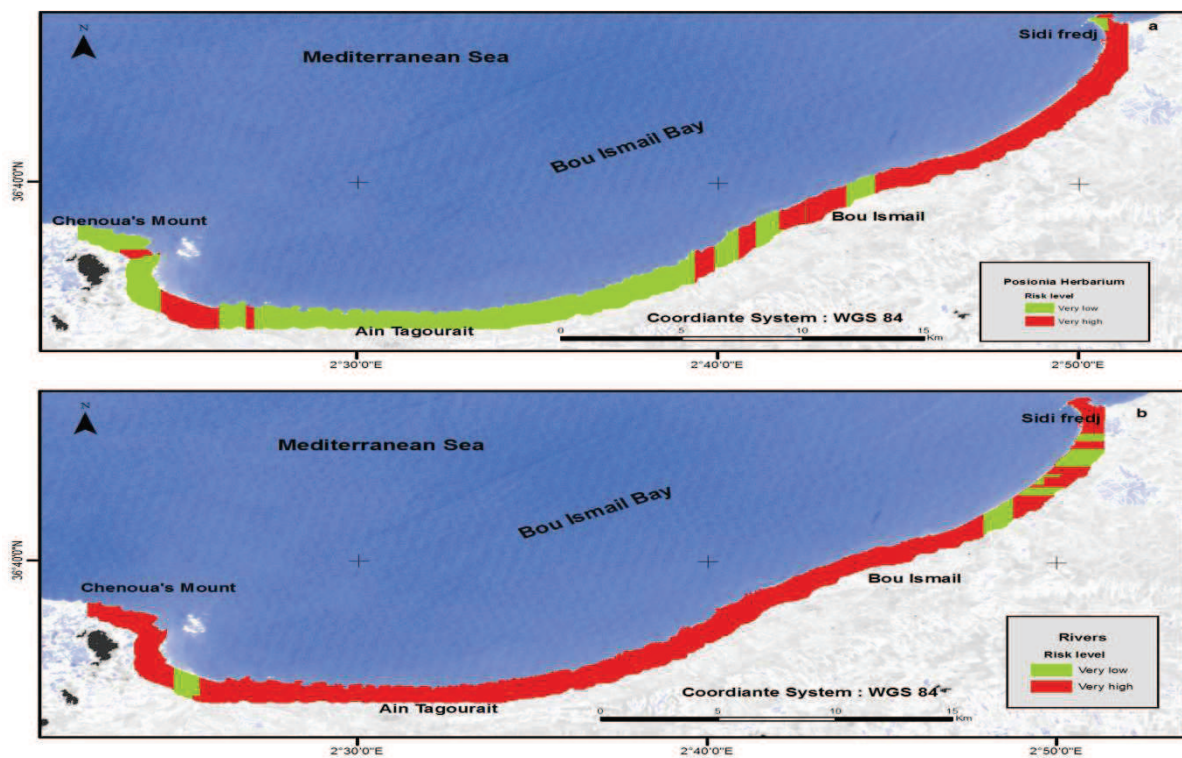
Figure 40 : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie d'El Djamilia  
a) Altitude - b) Type de côte

### 1.1.3 - Herbiers à Posidonie

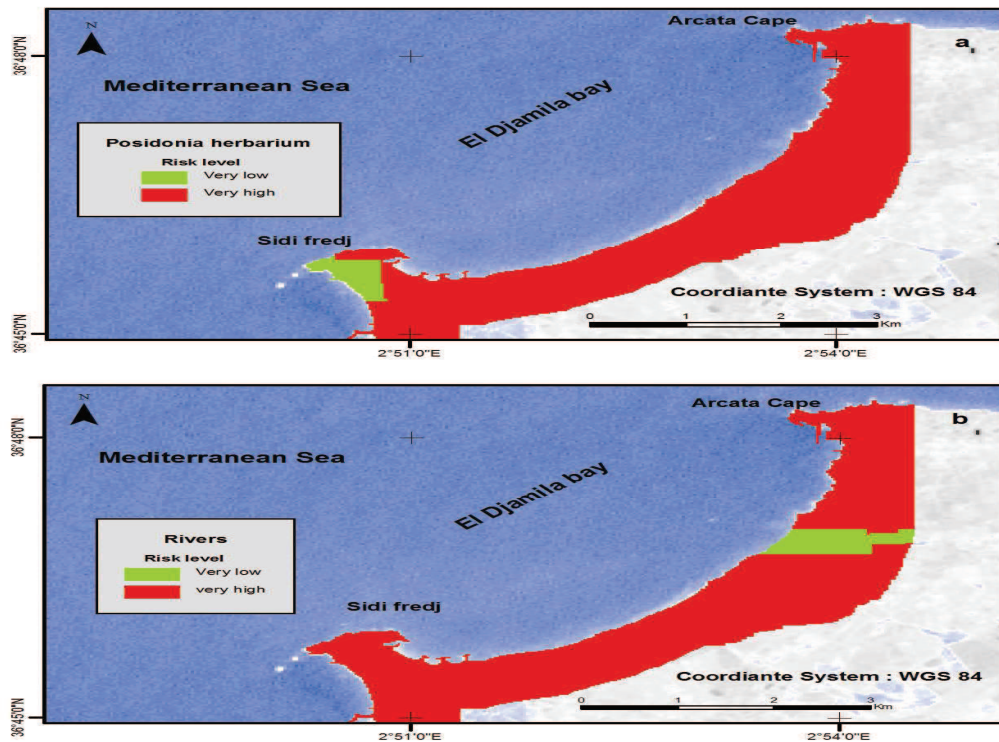
La cartographie de l'indicateur "Herbiers à Posidonie" montre la présence des herbiers au niveau des zones les moins pollués et en grand partie dans la commune de Ain Tagourait (Ouest de la baie), les zones ayant subi l'impact de la surpopulation sont dépourvues de ces herbiers et sont donc plus vulnérables (Figure 41 et 42).

### 1.1.4 - Apport sédimentaire terrigène

La cartographie de l'indicateur "Apport sédimentaire terrigène" montre certaines zones d'apports sédimentaires (Oueds) au niveau de la baie d'el Djamila (Oued béni Messosus), au niveau de la limite entre Alger et Tipaza (Oued Mazafran) ainsi que Oued Nador dans la commune de Tipaza ces Oueds alimentent la côte en sédiments permettant la consistance des plages et leur équilibre sédimentaire (Figure 41 et 42).



**Figure 41** : Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Herbiers à Posidonie - b) Apport sédimentaire terrigène



**Figure 42 :** Cartographie des indicateurs de sensibilité au niveau de la baie d'El Djamilia a) Herbeirs à Posidonie b) Apport sédimentaire terrigène

## 2 - Indicateurs de résilience

### 2.1 - Réglementation

L'indicateur réglementation montre un faible niveau de risque en raison de la présence d'un arsenal juridique au niveau national qui se constitue principalement de la loi littorale 02-02 relative à la protection et à la valorisation du littoral et de la loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, ce qui fait que pour la protection du littoral, il existe un socle juridique mais néanmoins ce dernier mérite d'être conforté par des textes d'application adaptées (Figure 43 et 44).

### 2.2 - Conscience citoyenne

La cartographie de l'indicateur "Sensibilité citoyenne" montre un fort degré de risque en raison du manque de sensibilisation auprès de la population, car un pourcentage élevé de la population affirme ne pas avoir effectué d'exercices de secourisme ni avoir les bases de comportements en cas de catastrophe naturelle, un grand travail doit se faire sur cet indicateur. En effet, chaque acteur doit réaliser son rôle pour une meilleur gestion des risques commençant du citoyen jusqu'au décideurs locaux et régionaux en passant par les ingénieurs et la protection civile, et la mise en place d'exercices de secourisme régulier est d'une grande importance (Figure 43 et 44).

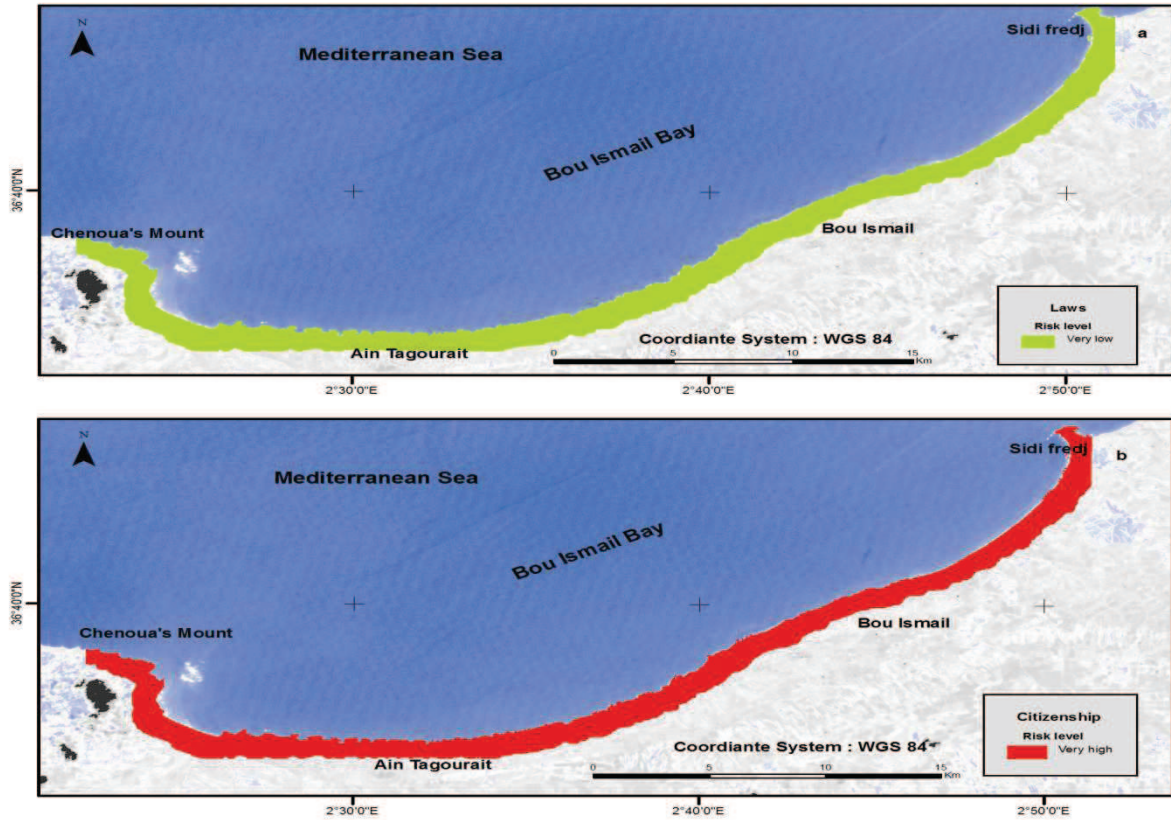


Figure 43 : Cartographie des indicateurs de résilience a) Reglementation b) Consience citoyenne

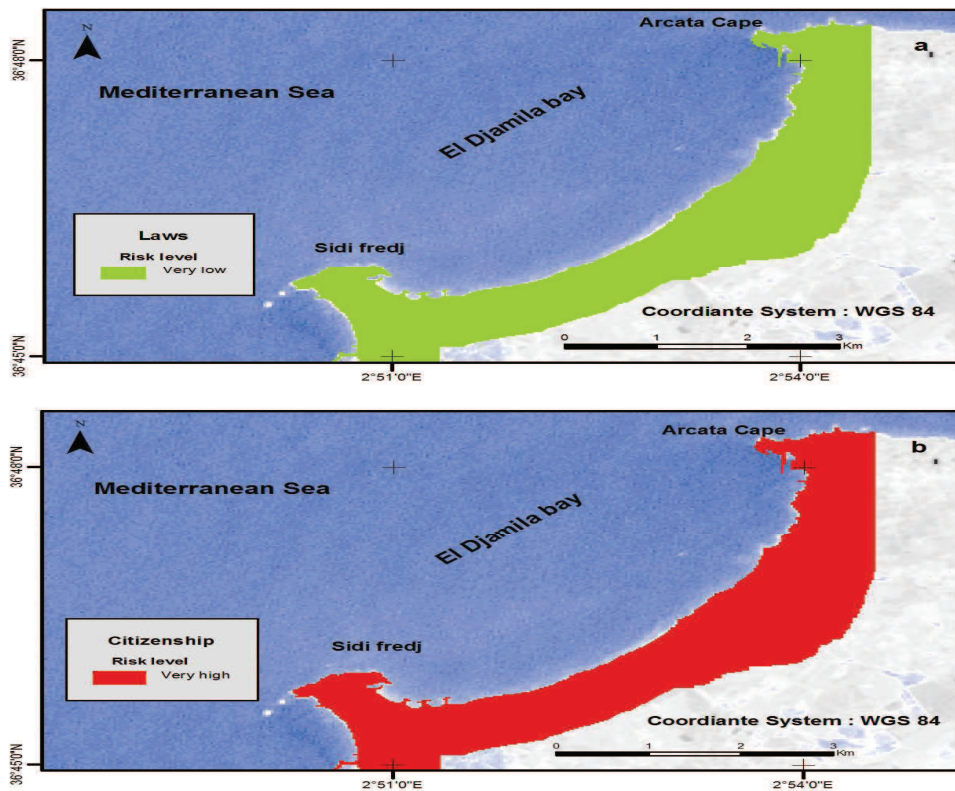


Figure 44 : Cartographie des indicateurs de résilience au niveau de la baie d'El Djamilia a) Reglementation b) Consience citoyenne

### 3 - Indicateurs d'exposition

#### 3.1 - Population

La cartographie de l'indicateur "Population" montre que la baie de Bou Ismail est surpeuplé avec des densités de population dépassant les 1000 habitants par kilomètres carré, à l'exception des communes de Tipaza et de Ain Tagourait (à l'Ouest de la baie) avec une densité de population inférieure à 500 habitants par kilomètres carré, l'exposition de la population est donc élevée dans une grande partie de la baie de Bou Ismail (Figures 45 et 56).

#### 3.2 - Usage des terres

La cartographie de l'indicateur "Usage des terres" indique un fort taux d'exposition en raison de la grande présence de tissu urbain (très concentré à l'Est) ainsi que de terres agricoles. La zone est connu pour les champs de cultures sous serres, d'autres zones sont à faible degré d'exposition il s'agit des cours d'eaux (Oued Mazafran, Oued Nador, Oued Béni Messous) et des zones côtières non urbanisées, les zones à vulnérabilité modérée constiuent les forets qu'on retrouve au mont Chenoua et Ain Tagourait (Figures 45 et 46).

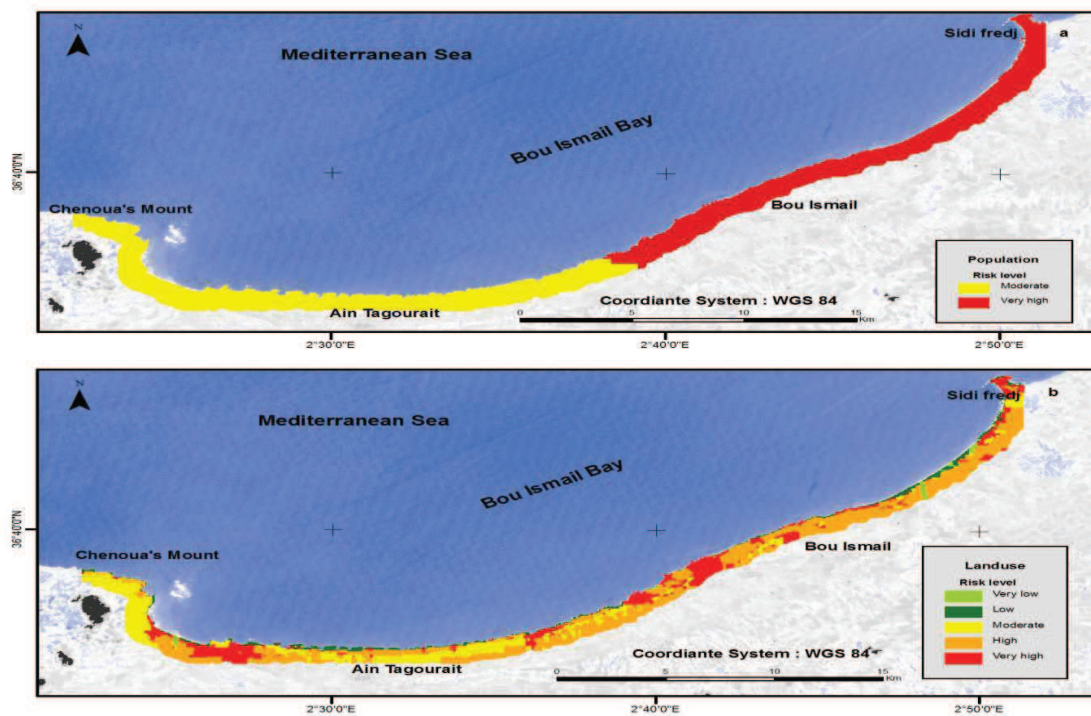
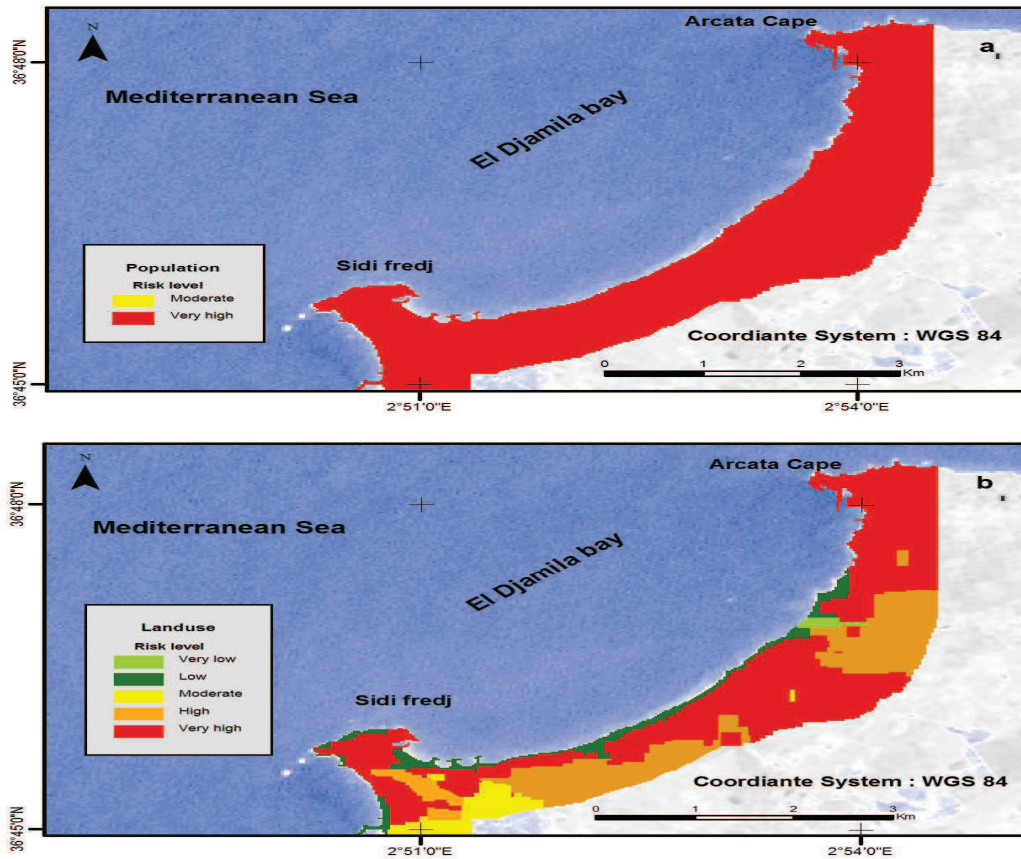


Figure 45 : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie de Bou Ismail  
a) Population - b) Usage des terres



**Figure 46 :** Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie d'El Djamilia  
a) Population - b) Usage des terres

### 3.3 - Sites historiques

La cartographie de l'indicateur "Sites historiques" montre que la baie de Bou Ismail englobe un site historique au niveau de la commune de Tipaza, il s'agit des ruines romaines. Cette zone attire les touristes et se doit d'être protégée (Figure 47).

### 3.4 - Routes

La cartographie des routes montre que la zone des 800 mètres n'est pas caractérisé par la présence d'autoroutes à l'exception de la rocade sud qui passe légèrement par le côté Est de la baie ainsi que la route nationale n°11 (dans la baie d'El Djamilia) , les routes qui y sont présentes dans la baie de Bou Ismail sont pour la majorité des routes secondaires et des sentiers car la zone est d'aspect agricole (Figure 47 et 48).

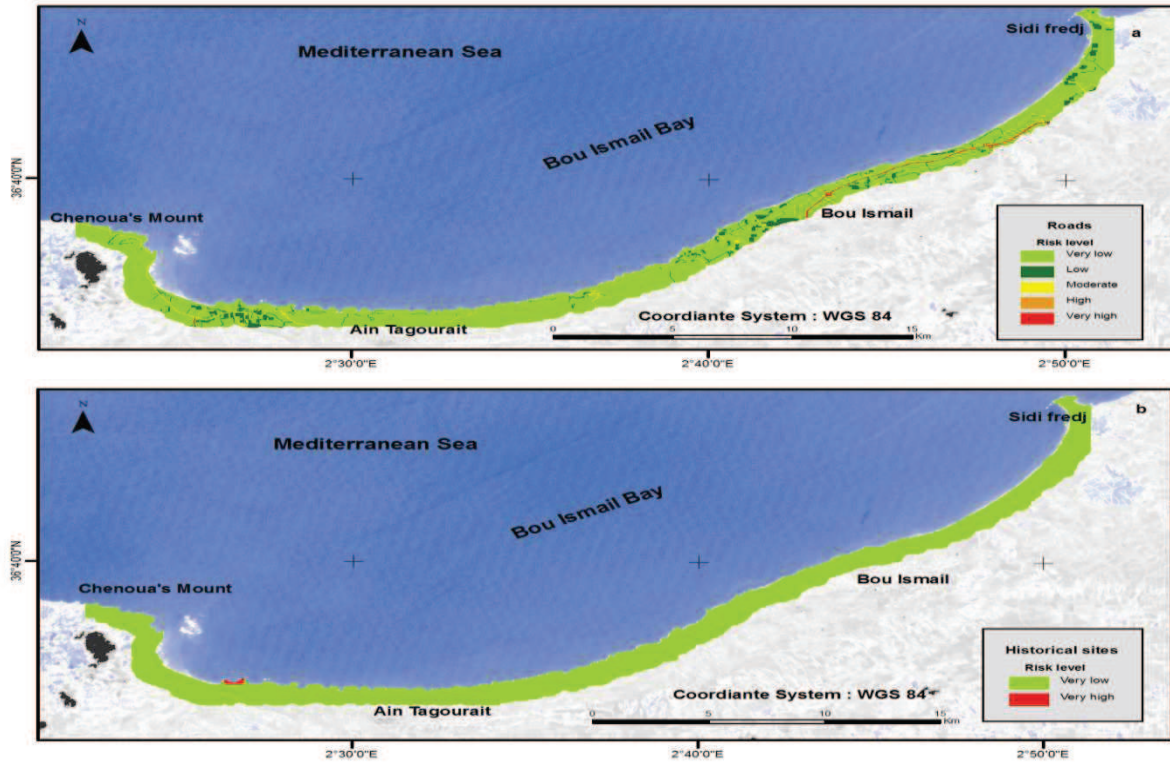


Figure 47 : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie de Bou Ismail a) Routes b) Sites historique

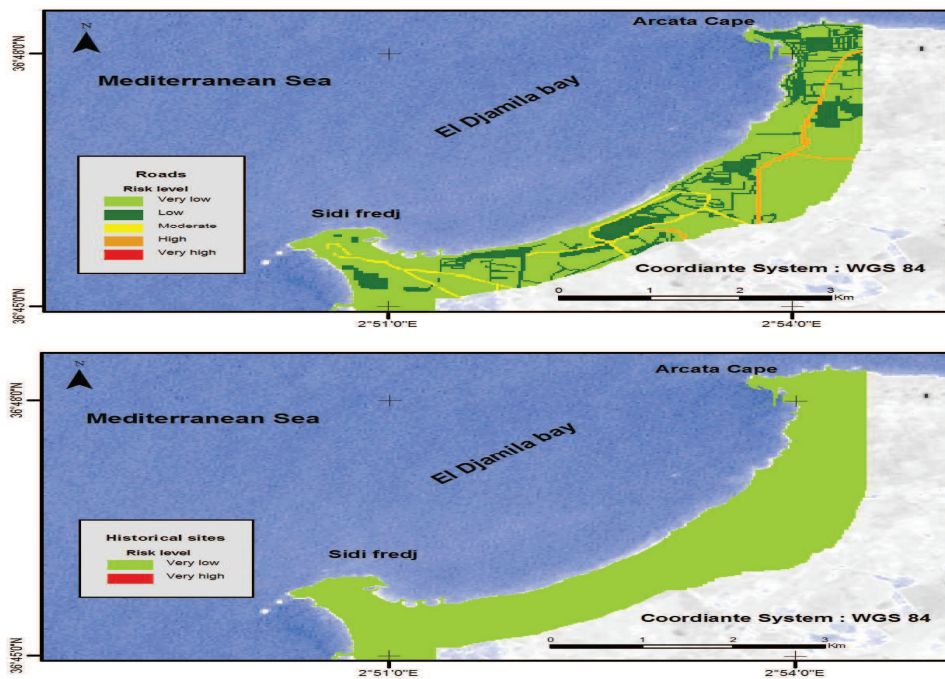


Figure 48 : Cartographie des indicateurs d'exposition au niveau de la baie d'El Djamilia a) Routes b) Sites historiques

## 4 - Indicateurs d'aléa

### 4.1 - Evenements extremes

La cartographie de l'indicateur "Evenements extremes" montre que la baie de Bou Ismail est à grand risque par rapport aux événements de tempestes extremes et de tsunamis pouvant ainsi causer une submersion dans les zones côtières car la fréquence de ces événements peut être de moins d'un événement tous les 10 ans (Figures 49 et 50).

### 4.2 - Elévation moyenne du niveau de la mer

La cartographie de l'indicateur "Elévation du niveau de la mer" montre que l'élévation du niveau de la mer est faible dans la baie de Bou Ismail, elle est de + 1.8 à +2.4 mm par an d'après la cartographie de l'élévation du niveau de la mer par les observations des satellites Topex/Poseidon réalisé par le LEGOS (Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale) (source: <http://www.legos.obs-mip.fr>) (Figures 49 et 50).

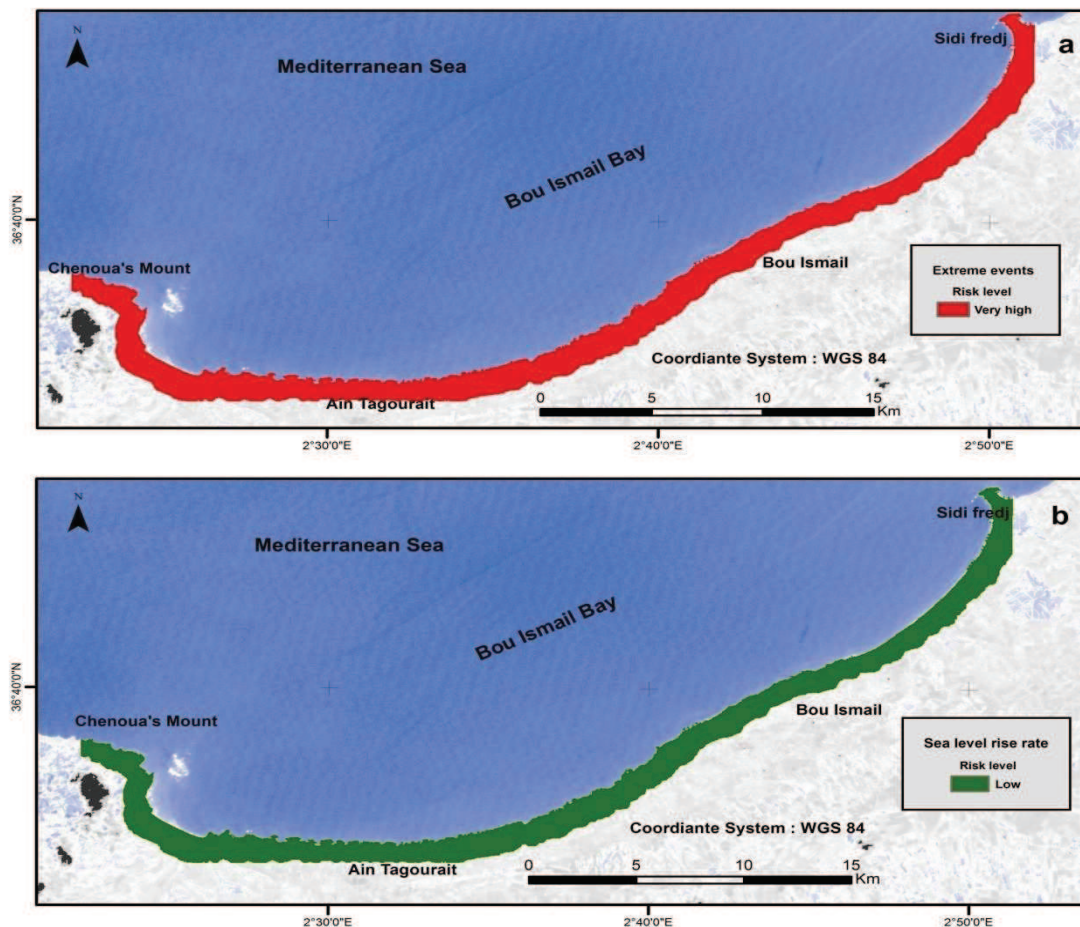
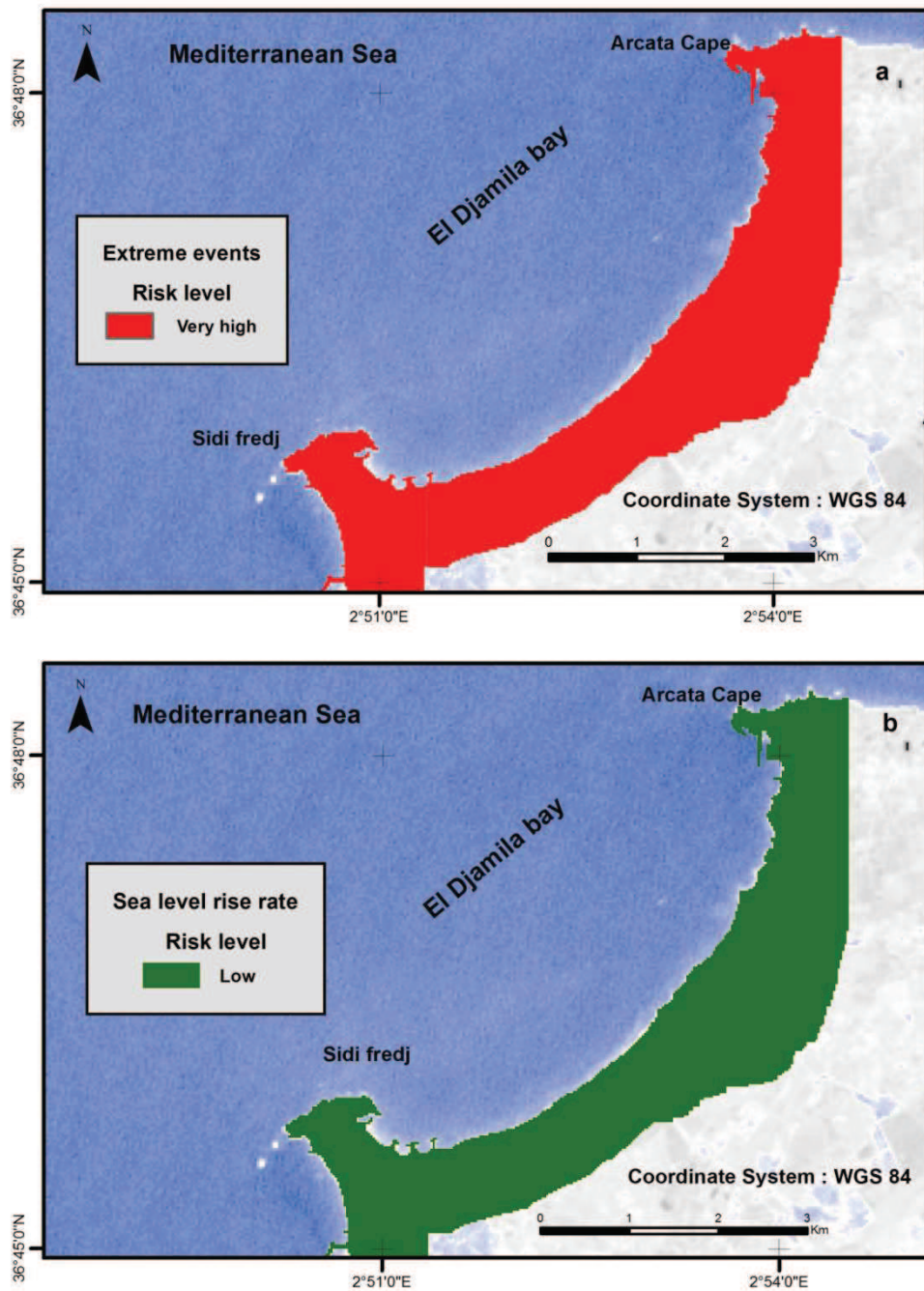


Figure 49 : Cartographie des indicateurs d'aléa au niveau de la baie de Bou Ismail a) Evenements extremes b) Elévation moyenne du niveau de la mer



**Figure 50** : Cartographie des indicateurs d'aléa au niveau de la baie d'El Djamilia a) Evenements extremes b) Elévation moyenne du niveau de la mer

### 4.3 - Evolution du trait de côte

Le calcul de l'évolution du littoral côtier à l'aide de DSAS nous montre la variation du littoral côtier entre 2002 et 2017, nous pouvons observer que l'érosion dans la baie de Bou Ismail n'est pas très importante pour une grande partie du littoral de la baie, sauf pour certaines zones localisées comme le littoral de la ville de Bou Ismail et de Fouka qui connaissent une érosion,

aussi on retrouve des zones d'accrétions qui correspondent aux zones d'oueds et des cours d'eau.

Ces résultats confirment la tendance d'évolution des rivages côtiers étudiée auparavant, en effet, la ligne de côte entre 1959 et 2003 dans la partie est de la baie de Bou Ismail était stable et il y avait une légère augmentation dans certains endroits où des infrastructures de protection du littoral ont été mises en place (MATE et al., 2013), le littoral de la partie occidentale de la baie de Bou Ismail entre 1959 et 2003 montre également que les niveaux d'érosion dans cette partie de la baie n'atteignent pas 2 m / an, l'Oued Mazafran située à l'est de la baie (limite entre Alger et Tipaza) est une zone d'accrétion (entre 0,4 et 1,5 m / an) (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et al., 2006), et c'est presque les mêmes résultats obtenus dans notre étude.

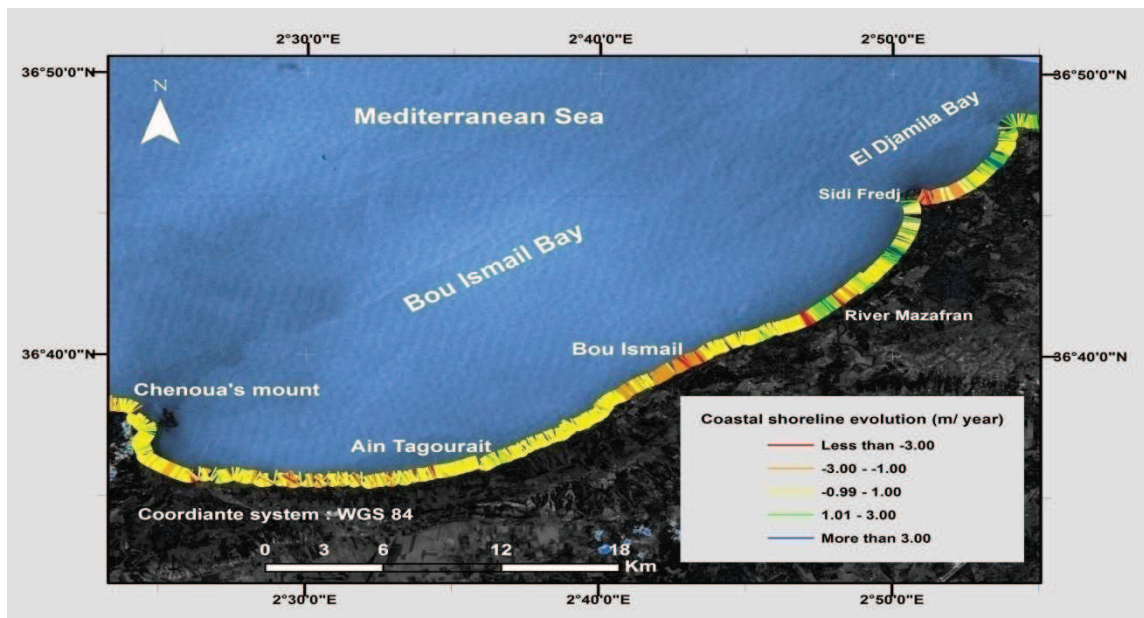


Figure 51 : Cartographie de l'évolution du trait de côte de 2002 et 2017

L'évolution du trait de côte dans la baie de Bou Ismail montre qu'une grande partie de cette baie est stable avec une faible accumulation ou accrétion, à l'exception de certains endroits localisés où des ouvrages de protection littorale ont été implantés comme c'est le cas pour le complexe touristique de Zeralda et de l'embouchure de l'Oued Mazafran et de l'Oued Béni Messous.

Ces zones connaissent une accrétion en raison de l'alimentation en sédiments fourni par l'Oued Mazafran et la préservation du patrimoine sédimentaire procurée par les ouvrages de protection.

En revanche, pour les autres endroits on constate une érosion importante comme le montre le cas du littoral de la commune de Bou Ismail. Le degré de risque est donc plutôt modéré dans la baie avec quelques foyers à haut degré de risque dans les communes de Fouka et Bou Ismail (comme mentionné précédemment) et d'autres qu'on peut retrouver vers Ain Tagourait.

### 4.4 - La propagation des vagues

La propagation des vagues a été cartographiée après avoir obtenu les résultats des valeurs de la hauteur des vagues en différents points de la baie de Bou Ismail. La carte montre que les vagues hivernales des secteurs Nord et Nord-Ouest conservent une grande partie de leur énergie et atteignent des hauts et des bas dépassants 2 mètres à 10 mètres de profondeur, à l'exception de certaines zones abritées où les vagues sont bien atténuées. On remarque principalement dans la partie ouest de la baie pour les vagues nord-ouest, le reste de la baie étant très touché par les vagues de Nord et Nord-Ouest, les dernières études confirment que les vagues Ouest-Nord-Ouest peuvent atteindre 1 m ou plus sur les côtes de la baie de Bou Ismail (**Hemdane et al., 2016**). Les résultats de la propagation des vagues du secteur Nord et des vagues du secteur Nord-Ouest sont plus probables et significatifs pour notre étude car ils affectent une grande partie de la baie qui est exposée à ces vagues à cause de son orientation. La direction des vagues ne change que très peu; les vagues ont tendance à garder leur direction d'origine sauf lors de la rencontre d'un parcours (comme c'est le cas aux extrémités de la baie) où on remarque une légère déviation des vagues. Cette déviation est plus significative pour les vagues du nord-ouest du côté ouest de la baie où, elles tendent à changer de direction du nord-ouest au nord.

La cartographie de la propagation des vagues de secteur Nord Ouest montre que ces vagues perdent une bonne partie de leur énergie à l'approche des côtes Ouest. Ceci est moins observé pour les côtes Est où, elles perdent moins de la moitié de leur énergie. Les hauteurs des vagues à l'est de la baie atteignent des hauteurs de plus de 2 mètres de hauteur. D'après les résultats obtenus, on remarque que les vagues hivernales de Secteurs Nord perdent moins de la moitié de leur énergie à l'approche des côtes. En effet, on retrouve des houles de hauteurs dépassants les 2 mètres à 10 mètres de profondeur dans presque toute la baie à l'exception des zones abritées tel que l'Ouest au niveau du mont Chenoua où, les vagues du Nord se retrouvent dévier et perdent de leur hauteur car ces vagues ne font pas face à la côte en cet endroit, le degré d'aléa du à la hauteur des vagues dans la baie de Bou Ismail est donc très élevé.

La direction des vagues à tendance à ne pas changer vers l'Est. Cependant, elle dévie un peu plus vers l'Ouest pour les vagues de secteur Nord et ceci est plus observé vers le Cap Chenoua.

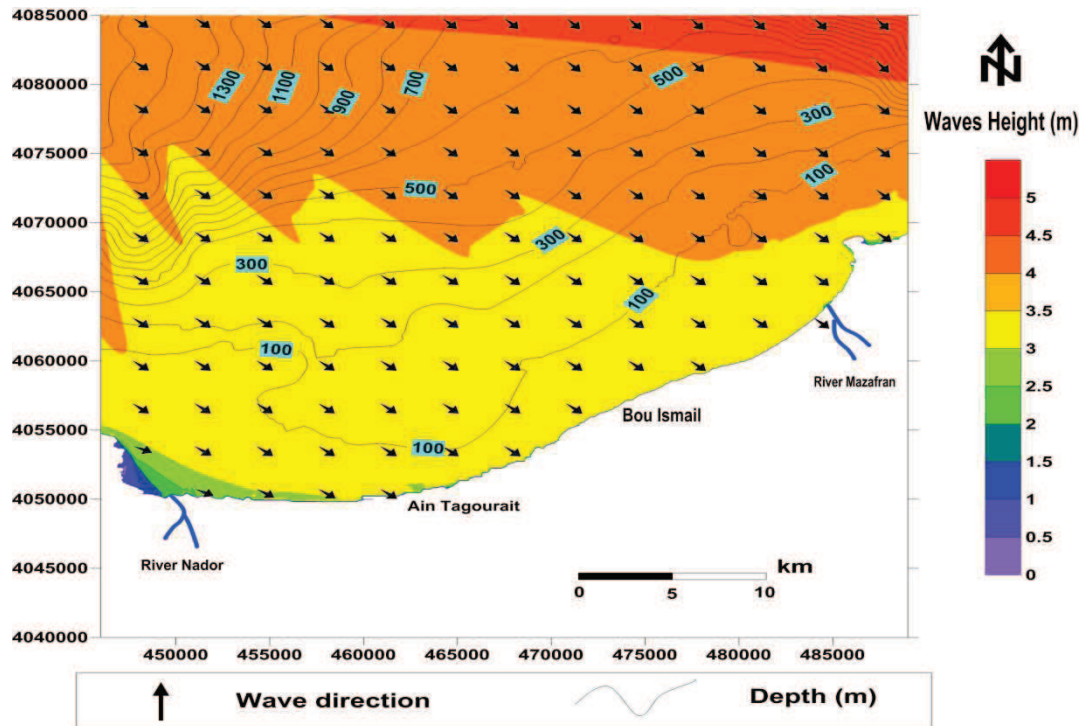


Figure 52 : Cartographie de la propagation de la houle du secteur Nord Ouest

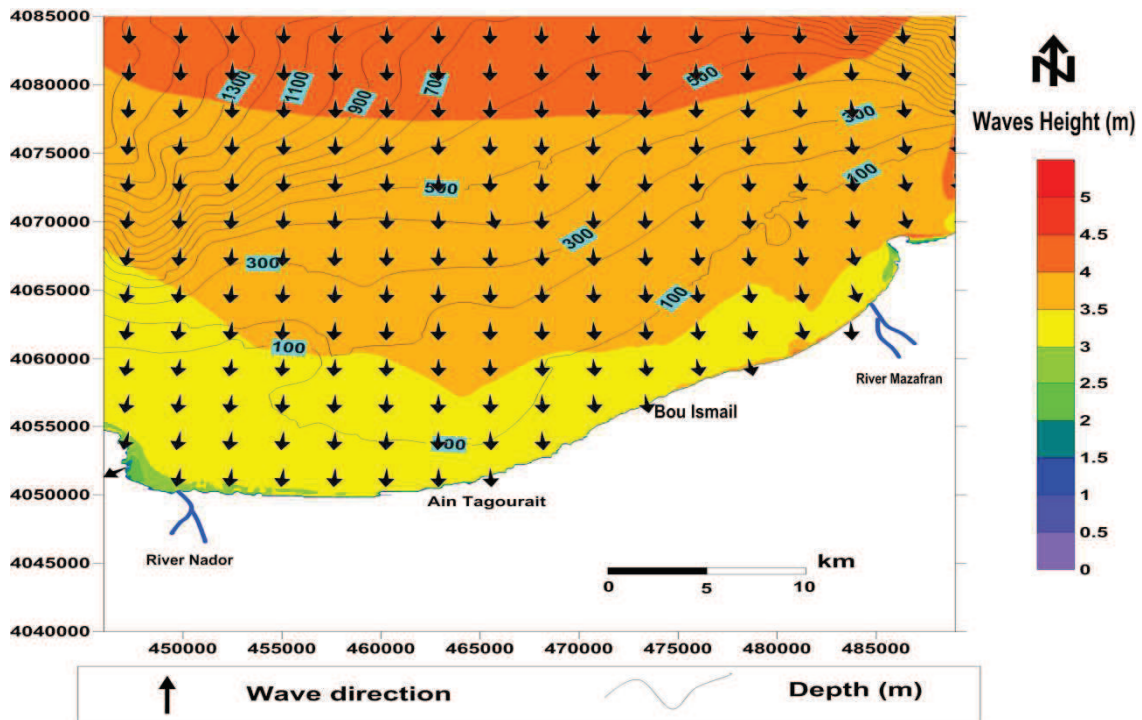
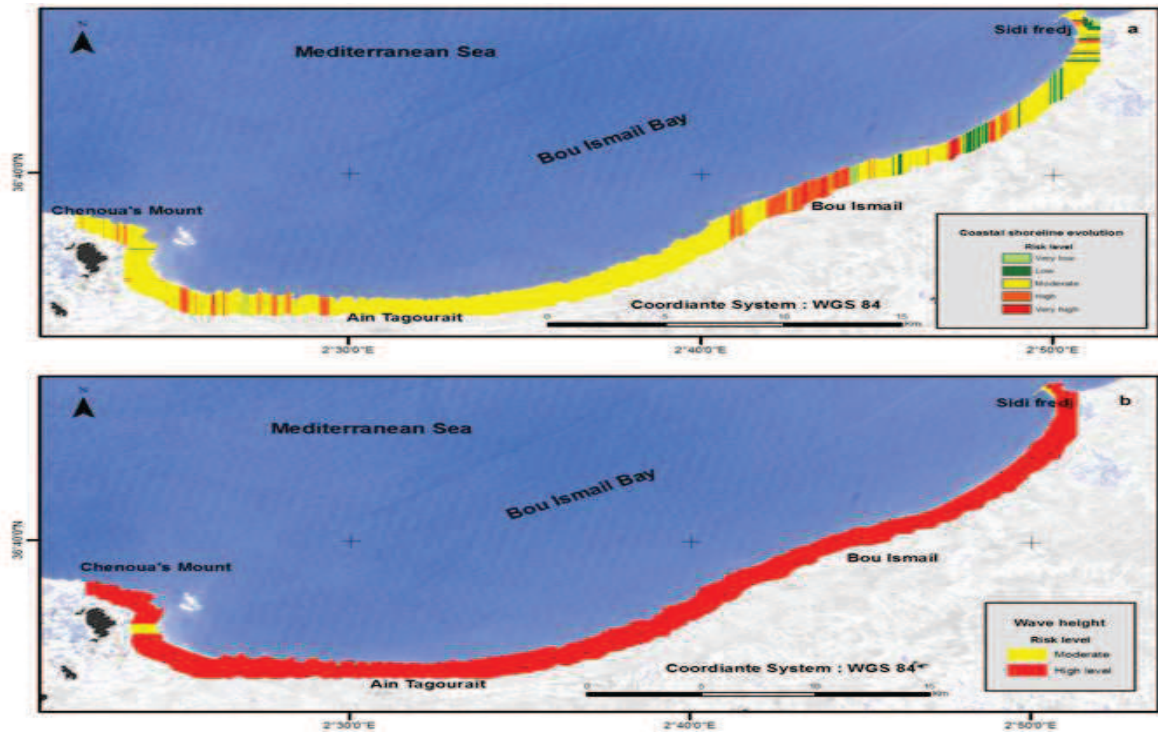
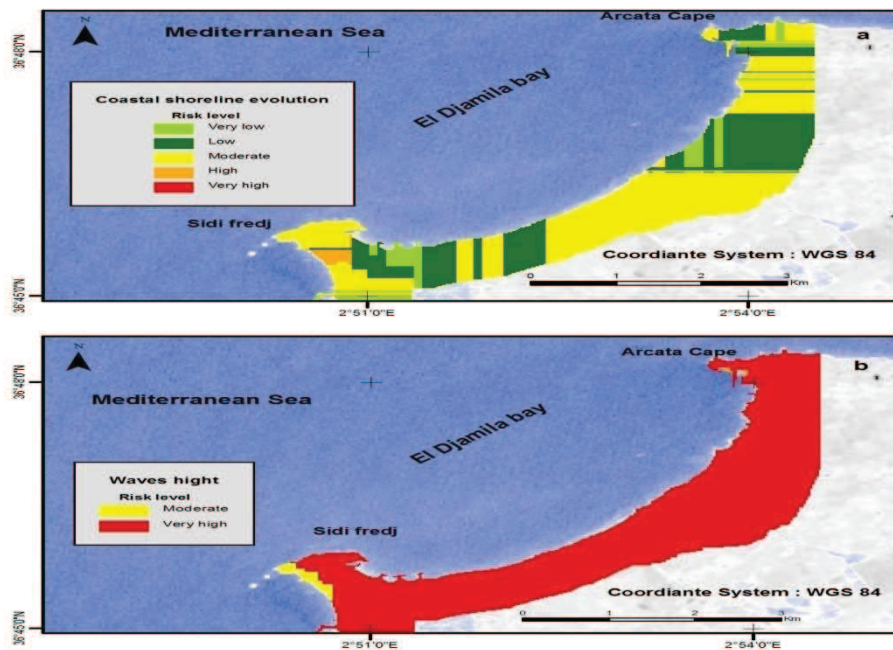


Figure 53 : Cartographie de la propagation des vagues de secteur Nord



**Figure 54** : Cartographie des indicateurs d'aléa dans la baie de Bou Ismail  
 a) Evolution du trait de côte - b) Hauteur des vagues à l'approche du rivage



**Figure 55** : Cartographie des indicateurs d'aléa dans la baie d'El Djamilia  
 a) Evolution du trait de côte  
 b) Hauteur des vagues à l'approche du rivage

## 5 - Formulation de l'équation du risque

Le traitement statistique par l'AHP grâce l'outil de QGIS (easy AHP) nous a permis d'attribuer les coefficients aux indicateurs de vulnérabilité (sensibilité et résilience), d'exposition et d'aléas. Ces coefficients ont été obtenus suite au traitement AHP effectués sur les résultats d'avis d'experts (voir Annexe VI)

Les équations pour le calcul des composantes du risque côtier sont décrites de la manière suivante :

### 5.1 - Equation d'Aléa

$$H = 0.433 X_1 + 0.247 X_2 + 0.173 X_3 + 0.147 X_4 \dots (9)$$

- H** : Aléa ( Hazard )
- X1** : Evénements extrêmes
- X2** : Hauteur des vagues à l'approche du rivage
- X3** : Elévation moyenne du niveau de la mer
- X4** : Evolution du trait de côte

L'équation de l'Aléa montre d'après les résultats traités suite aux réponses au questionnaire d'avis d'experts que les indicateurs "Evénements extrêmes" et "Hauteur des vagues à l'approche du rivage" ont plus d'importance que les indicateurs "Elévation du niveau de la mer" et " Evolution du trait de côte" dans le processus du risque côtier.

### 5.2 - Equation de sensibilité

$$S = 0.27 X_1 + 0.39 X_2 + 0.12 X_3 + 0.22 X_4 \dots (10)$$

- S** : Sensibilité
- X1** : Altitude
- X2** : Type de côte
- X3** : Herbiers à Posidonie
- X4** : Apport sédimentaire terrigène

Cette équation montre que l'indicateur "Type de côte" a le plus grand degré d'importance dans le risque côtier, l'indicateur "Altitude" a un peu plus d'importance que l'indicateur "Apports sédimentaires terrigène" , les indicateurs "Altitude et "Type de côte" ont plus d'importance que l'indicateur "Herbiers à Posidonie" dans le risque d'érosion côtière et de submersion.

### 5.3 - Equation de résilience

$$R = 0.561 X_1 + 0.439 X_2 \dots (11)$$

- X1** : Réglementation  
**X2** : Conscience citoyenne

L'équation de la résilience montre que les indicateurs "Réglementation" et "Conscience citoyenne" ont presque le même degré d'importance dans le risque côtier avec une très légère dominance de l'indicateur "Réglementation"

### 5.4 - Equation de la vulnérabilité

Equation de la vulnérabilité est fonction de la sensibilité et de la résilience.

$$V = \frac{(S + R)}{2} \dots (12)$$

- V** : vulnérabilité  
**S** : sensibilité  
**R** : résilience

### 5.5 - Equation d'exposition

$$E = 0.466 X_1 + 0.237 X_2 + 0.107 X_3 + 0.19 X_4 \dots (13)$$

- X1** : Population  
**X2** : Usage des terres  
**X3** : Routes  
**X4** : Sites historiques

L'équation de l'exposition montre que l'indicateurs "Population" a beaucoup plus d'importance que tous les autres indicateurs, aussi on retrouve que l'indicateur "Usage des terres" a un peu plus d'importance selon les experts que l'indicateur "Sites historiques" et plus d'importance que l'indicateur "Routes".

### 5.6 - Equation du risque

Equation du risque est fonction de la vulnérabilité, de l'exposition et de l'aléa

$$R = \frac{(V + E + H)}{3} \dots (14)$$

Les scores obtenus dans chaque équation sont compris entre 1 et 5 et la classification de l'évaluation du risque sera comme suit :

- 1 à 1.5 : Risque très faible
- 1.5 à 2.5 : Risque faible
- 2.5 à 3.5 : Risque modéré
- 3.5 à 4.5 : Risque élevé
- 4.5 à 5 : Risque très élevé

## 6 - Cartographie de la sensibilité

En ce qui concerne la sensibilité, on note que la majeure partie de la zone est faiblement à moyennement vulnérable, certains endroits présentent un degré élevé de sensibilité en raison du type de côte, de l'absence d'herbier à Posidonie et de la faible altitude du côté Est de la baie. La cartographie de la sensibilité montre que la sensibilité de notre zone d'étude est plus prononcée à l'Est de la baie. Cette zone est effectivement caractérisée par une faible altitude et une absence d'herbiers à Posidonie, le côté Ouest (Ain Tagourait et Tipaza) est à moindre degré de sensibilité notamment pour la présence d'herbiers à Posidonie à Ain Tagourait, la présence de zones plus élevées vers Chenoua et la présence de Oued Nador à Tipaza (Figure 56 et 57).

## 7 - Cartographie de la résilience

La cartographie de la résilience montre que la baie de Bou Ismail est d'une résilience modérée en raison, d'une part, de la protection juridique des côtes Algériennes par le biais de la loi littorale ainsi que la loi sur les risques majeurs, et d'un manque de préparation et de sensibilisation pour faire face aux aléas côtiers d'autre part. Donc le degré de vulnérabilité est important par rapport à cet indicateur, sachant que les deux indicateurs de résilience ont presque le même degré d'importance d'après les résultats du questionnaire d'avis d'experts, ceci fait que le degré de résilience de la baie de Bou Ismail est modéré (Figure 56 et 57).

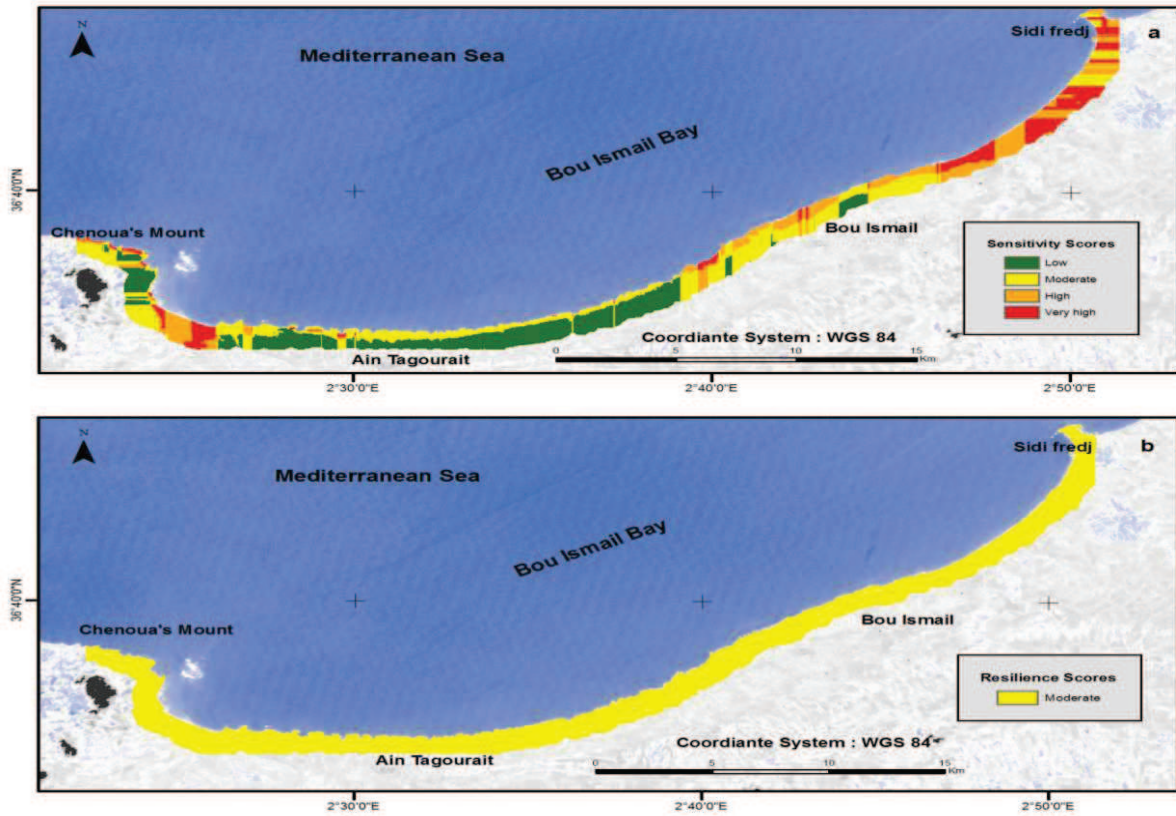


Figure 56 : Cartographie des facteurs de vulnérabilité dans la baie de Bou Ismail  
a) Sensibilité  
b) Résilience

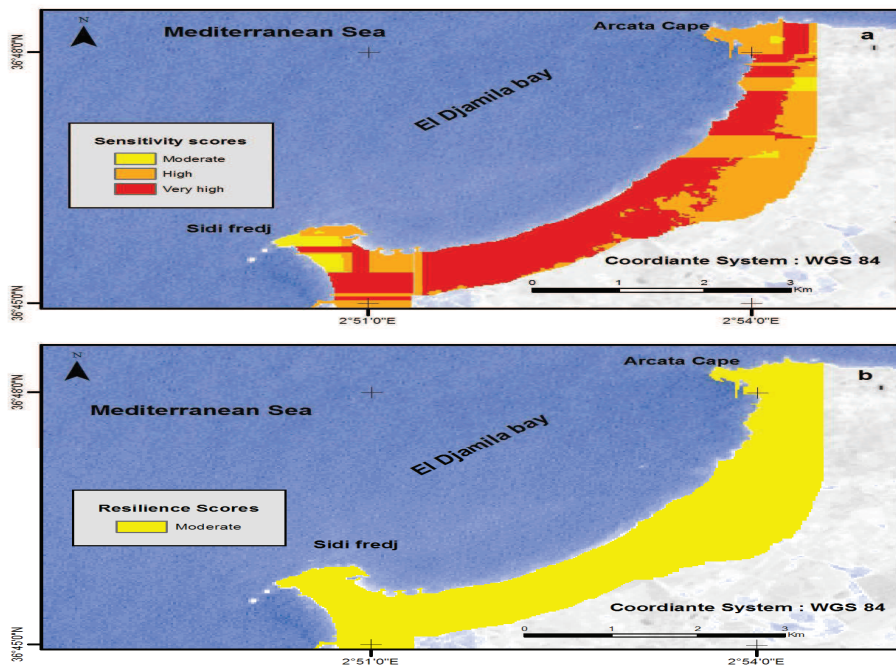


Figure 57 : Cartographie des facteurs de vulnérabilité dans la baie d'El Djamilia  
- a) Sensibilité  
- b) Résilience

### 8 - Cartographie de la vulnérabilité

La carte de la vulnérabilité côtière de la baie de Bou Ismail indique le niveau de vulnérabilité dans notre zone d'étude. La baie de Bou Ismail est modérément vulnérable dans 80 % de la surface entre Sidi Fredj et Chenoua, mais certaines zones sont extrêmement vulnérables (à l'extrême Est de la baie et à l'extrême Ouest), d'autres sites ont une faible vulnérabilité (centre et extrême ouest) (Figures 58 et 59).

Ces résultats confirment l'impact des indicateurs de sensibilité de la vulnérabilité côtière. Selon l'avis des experts, les indicateurs "Type de côte" et "Altitude" sont les plus significatifs en matière de vulnérabilité côtière.

On considère que les zones de basse altitude et les plages sont plus vulnérables, comme c'est le cas pour l'ouest de la municipalité de Tipaza (extrême ouest de la baie de Bou Ismail) est extrêmement vulnérable, de même pour certaines zones du côté Est de la baie de Bou Ismail.

### 9 - Cartographie de l'exposition

L'exposition côtière dans la baie de Bou Ismail est modérée à forte ( de faible à moyenne dans le coté Ouest et de moyenne à forte dans le coté Est) (Figures 58 et 59), selon les résultats du questionnaire d'avis d'experts, les deux indicateurs qui influent le plus sur le degré d'exposition sont la population et l'usage des terres, la partie Ouest de la baie est moins exposée aux aléas côtiers que la partie Est car la densité de population est moindre dans cette partie de la baie et où on retrouve une moindre densité du tissu urbain. L'indicateur "usage des terres" joue également un rôle dans cette distribution du niveau d'exposition, car la plupart des zones urbaines sont situées dans la partie Est de la baie qui fait partie de la capitale.

### 10 - Cartographie de l'aléa

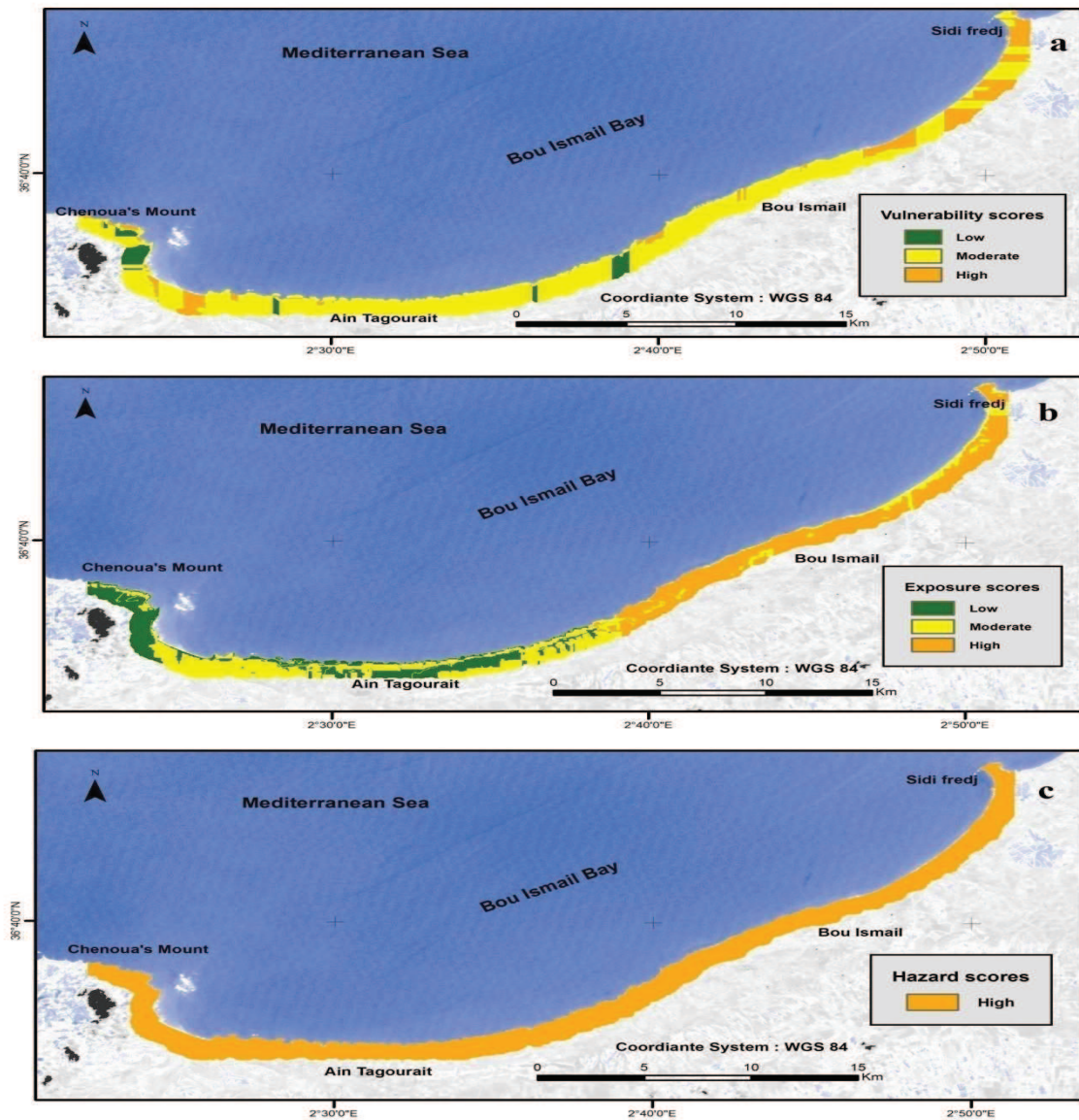
La cartographie de l'Indice d'Aléa côtier montre que le degré d'érosion côtière et de risque de submersion est élevé dans une grande partie de la baie de Bou Ismail (plus de 95% de la baie), néanmoins on y trouve certaines zones localisées au centre de la baie présentant un degré de risque modéré (Figure 58 et 59).

L'indicateur événements extrêmes a le plus grand impact sur le risque d'érosion côtière, selon l'opinion des experts. La cartographie de l'indicateur montre qu'il a un degré de risque élevé sur toute notre zone d'étude, quant à la cartographie de l'indicateur de hauteur des vagues ( en deuxième position d'après l'avis des experts), elle indique que cet indicateur a aussi un degré de risque élevé dans une très grande partie de la baie de Bou Ismail à l'exception de quelques

## Formalisation des équations et cartographie du risque

zones abritées qu'on retrouve vers Chenoua, ces deux indicateurs influent le plus dans le degré de risque côtier et ont donc aboutit au résultat que la baie de Bou Ismail est à fort risque d'érosion et de submersion.

L'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger au réchauffement climatique et aux risques naturels montre que le degré de risque d'aléa de submersion est faible à modéré, localement élevé (à Zeralda), tandis que le risque d'aléa d'érosion horizon 2030 est moyen à élevé (MATE et al., 2013).



**Figure 58 :** Cartographie des facteurs de risque dans la baie de Bou Ismail

- a) Vulnérabilité
- b) Exposition
- c) Aléa

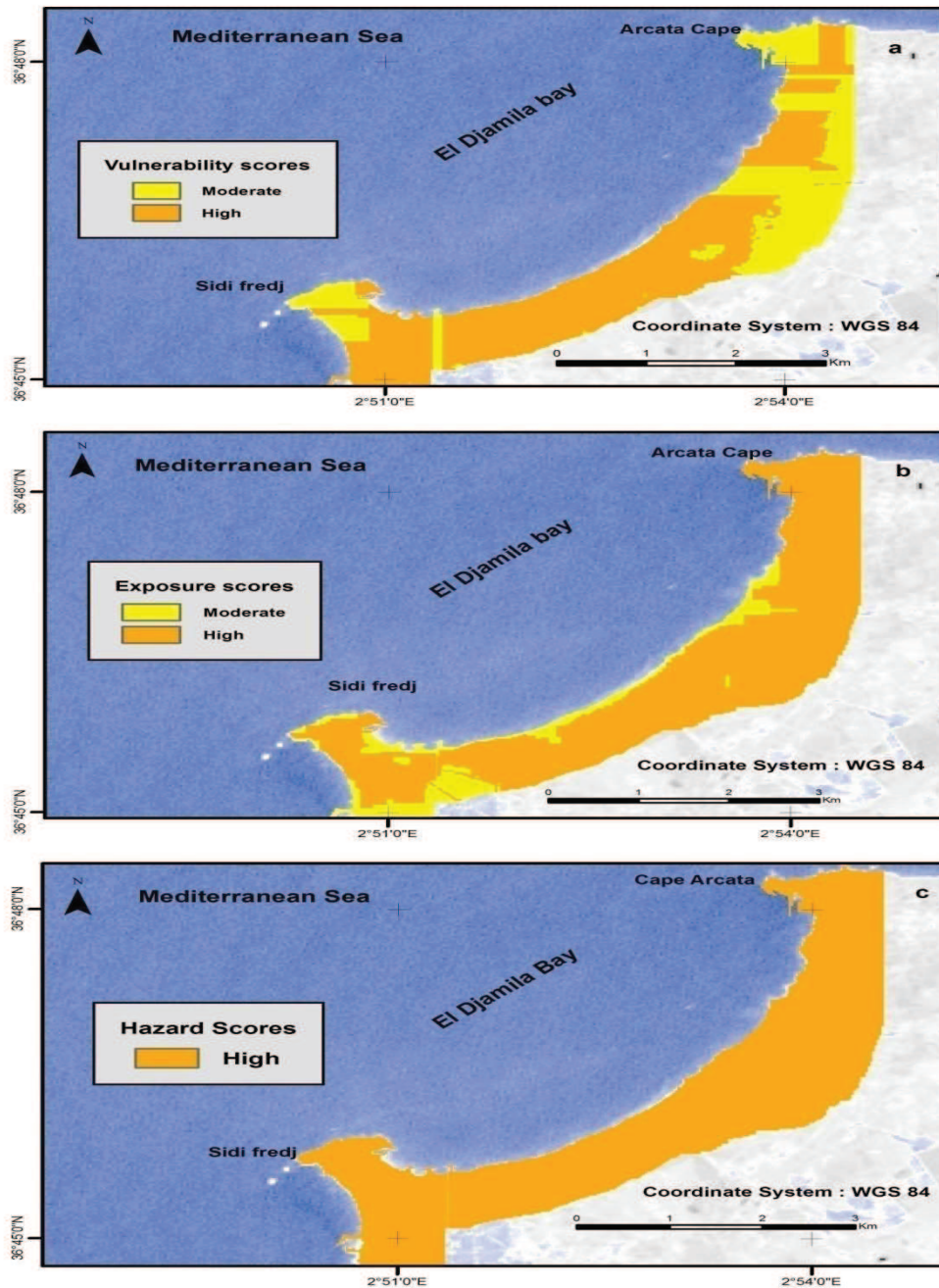


Figure 59 : Cartographie des facteurs de risque dans la baie d'El Djamilia  
a) Vulnérabilité - b) Exposition - c) Aléa

## 11 - Cartographie du risque

La cartographie du risque côtier dans la baie de Bou Ismail montre que près de 70 % de la baie est à risque élevé d'érosion et de submersion, près de 45% de la superficie de la baie de Bou Ismail est à risque modéré dans sa partie Ouest (au niveau des communes de Tipaza et Ain Tagourait) , quand à la partie Est (El Djamilia), la zone d'étude est à risque élevé (ceci est plus remarqué à l'Est de Oued Mazafran qui correspond à la partie Algéroise de la baie) (Figures 60 et 61).

Ceci est dû au fait que les facteurs qui influencent le plus sur le risque côtier sont à un degré élevé dans la partie Est (Usage des terres, Population, Type de côte, Altitude). La partie Ouest est moins susceptible d'être affecté d'un aléa d'érosion et de submersion car cette zone est moins habitée et caractérisée par une faible concentration du tissu urbain, aussi cette partie là connait la présence d'un foyer d'herbiers à Posidonie à Ain Tagourait et une zone de plus grande altitude à Chenoua ainsi qu'une zone plus abritée face aux houles exceptionnelles

La cartographie des points chauds (Figure 62) montre les 4 points chauds de la baie, deux se situent dans la baie d'El Djamila, et pour les deux autres l'un se situe dans la commune de Bou Ismail et l'autre dans la commune de Fouka (au centre de la baie).

Toutefois, L'ajout d'autres indicateurs dans les différents compartiments du risque (vulnérabilité, exposition et aléa) permet d'obtenir des résultats plus précis quant au degré de risque côtier cependant ceci doit se faire avec précaution de sorte à ne pas encombrer chaque sous indice (de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa) d'indicateurs car l'application de la méthode AHP par le biais des résultats d'avis d'experts pourra donner des résultats biaisés. Ceci est dû au fait que la comparaison binaire d'un grand nombre d'indicateurs est susceptible de donner des résultats incohérents, ces incohérences sont dus à la difficulté de réaliser une comparaison correcte et structurée d'un grand nombre d'alternatives deux par deux pour l'être humain (Saaty., 2003; Bozóki and Rapcsák., 2008; Bagla and al., 2013).

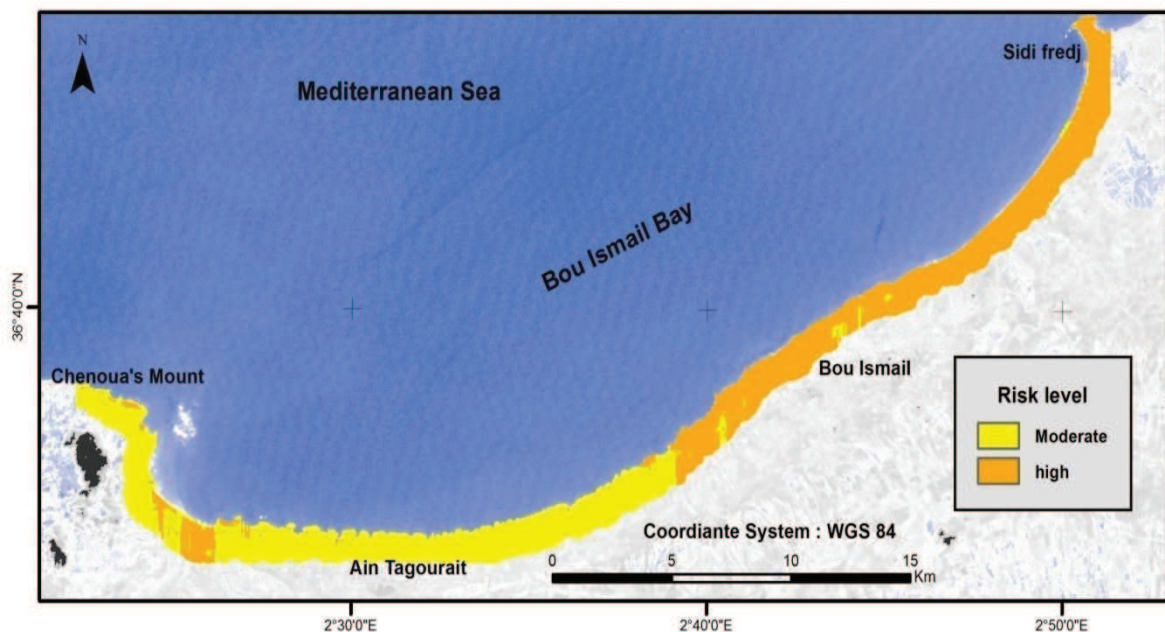


Figure 60 : Cartographie du risque côtier dans la baie de Bou Ismail

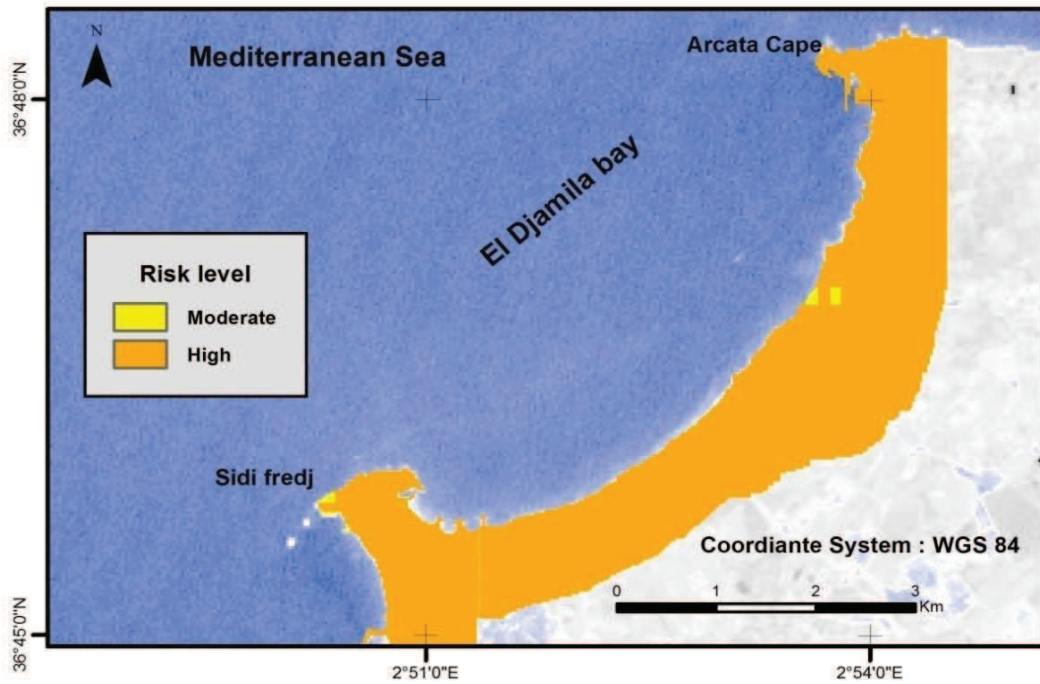


Figure 61 : Cartographie du risque côtier dans la baie d'El Djamilia

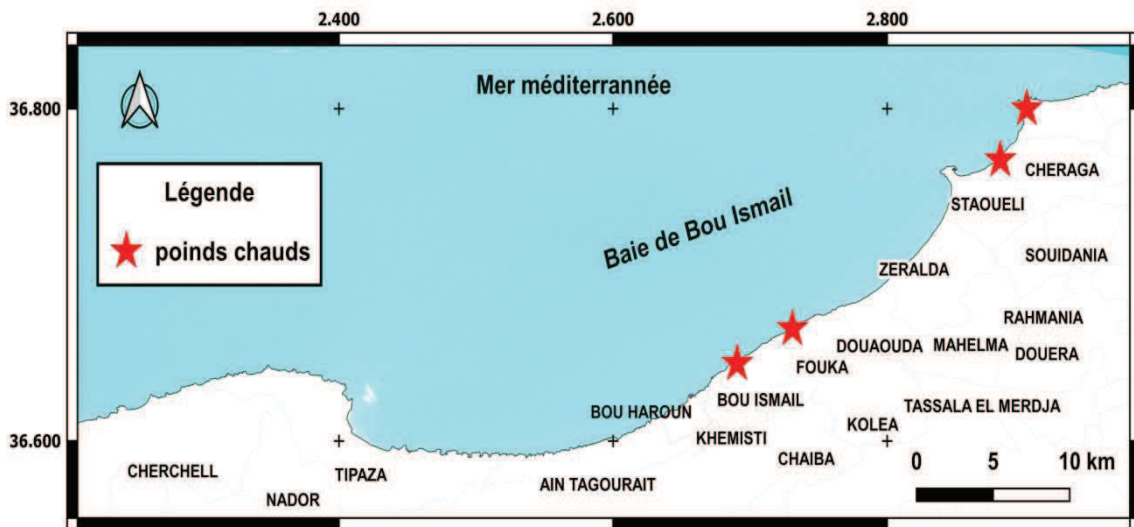


Figure 62 : Cartographie des points chauds (hotspots) de la baie de Bou Ismail ( les zones les plus à risque)

### Conclusion du chapitre 4

L'application de la méthode Hiérarchique des Procédures a permis d'affecter un coefficient à chaque indicateur de vulnérabilité (sensibilité et résilience), d'exposition et d'aléa, cela a mis en évidence le degré d'importance de chaque indicateur dans le processus du risque.

Pour la sensibilité c'est les indicateurs "Altitude" et "Apport sédimentaire terrigène" qui ont le plus d'importance par rapport à la présence d'herbiers à Posidonie et au type de côte. En ce qui concerne la résilience, les deux indicateurs "Réglementation" et "Conscience citoyenne" ont presque le même degré d'importance, Quant à l'exposition, c'est les indicateurs "Population" et "Usage des terres" qui ont le plus d'importance dans le risque côtier par rapport aux sites historiques et aux routes, et enfin en ce qui concerne l'Aléa les indicateurs "Événements extrêmes", "Evolution du trait de côte" et " Hauteur des vagues à l'approche du rivage" ont un peu plus d'importance que l'indicateur " Elévation moyenne du niveau de la mer".

La cartographie des indicateurs de vulnérabilité montre que le degré de sensibilité des côtes de la baie de Bou Ismail est important dans la partie Est de la baie. Il en est de même pour l'exposition. En ce qui concerne la résilience celle-ci est modérée.

Il est intéressant de souligner que l'aléa est important dans plus de 95% de la baie, avec quelques zones dont le degré d'aléa est modéré. Celles-ci correspondent aux zones dont le trait de côte connaît une accrétion et/ou les zones abritées qui ne sont pas touchés par des vagues de hauteur importante.

La cartographie globale du risque montre que celui-ci est plus concentré dans la partie Est de la baie (autour de 30 % de la baie est à risque modéré contre près de 70 % de la zone à risque élevé). Ceci est très cohérent en raison de la concentration des facteurs qui favorisent le risque d'érosion et de submersion dans cette zone (faible altitude, présence humaine intense, urbanisation, plages sableuses et absence d'herbiers à posidonie).

Cette partie-là de la baie nécessitera un suivi plus régulier et des mesures spécifiques pour atténuer l'impact des aléas côtiers, sans perdre de vue l'évolution de la partie Ouest de la baie qui est une zone touristique attractive (Tipaza) causant ainsi une pression de plus en plus soutenue.

## Références du quatrième chapitre

1. Bagla V, Guptab A, Mehrac A (2013) Improving Consistency of Comparison Matrices in Analytical Hierarchy Process. *International Journal of Current Engineering and Technology* 3, 2: pp 316-321.
2. Bozóki S, Rapcsák T (2008) On Saaty's and Koczkodaj's inconsistencies of pairwise comparison matrices. *Journal of Global Optimization* 42(2):157-175. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9236-z>.
3. MATE, EGIS EAU, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Île-De-France, Bureau de Recherches Géologique et Minière (2013). Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 – Évaluation et représentation des sources de vulnérabilité, [http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC\\_Alger\\_Phase%201\\_FINAL\\_Part1\\_0.pdf](http://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr//ACC_Alger_Phase%201_FINAL_Part1_0.pdf). accessed on 05 November 2017.
4. Hemdane Y, Bouhmadouche M, Atroune F (2016) Identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine renouvelable (vagues/houles) à travers l'étude de la morphologie côtière et sous-marine et hydrodynamique. *Revue des Energies Renouvelables*.19 (4): pp543-552.
5. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Programme d'Actions Prioritaires, Centre d'activités Régionales (2006). Programme d'Aménagement Côtier (PAC) "Zone côtière algéroise". Rapport final intégré. <https://www.papthecoastcentre.org/pdfs/Rapport%20final%20integre%20WEB.pdf>. Accessed on 23 December 2018.
6. Saaty TL (2003) Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research* 145(1): pp 85-91. doi:10.1016/s0377-2217(02)00227-8.

# **Chapitre 5**

## **La Gestion des risques**

# Chapitre V

## La gestion des risques

---

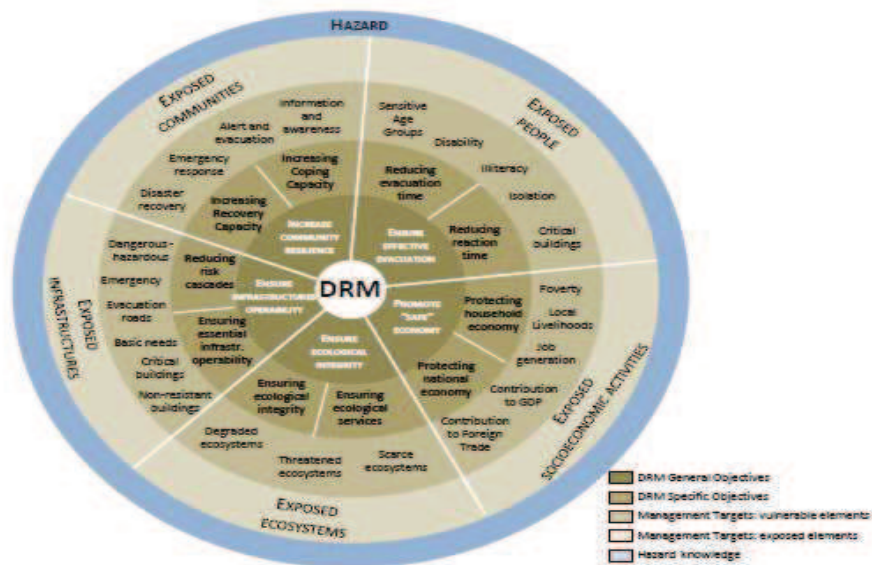
L'indice de vulnérabilité et de risque côtier joue un rôle important dans le processus d'aide à la prise de décision dans la mesure où, il constitue dans le cadre de notre étude, l'une des clefs permettant le débroussaillage de premier niveau, facilitant ainsi la localisation des zones vulnérables et à risques. Les décideurs pourront en tirer les décisions adéquates par rapport aux mesures à entreprendre en termes de protection et de mitigation face aux risques d'érosion et de submersion ; cet outil permet aussi de mettre en place un plan de gestion des risques de catastrophes adapté. L'adoption du plan en question est de nature à rendre les différents intervenants sur la frange littorale en mesure de répondre convenablement aux différentes menaces notamment les risques d'érosion et de submersion. Ce plan doit être conforme à la juridiction Algérienne en termes procédural et organisationnel pour que l'indice de vulnérabilité et de risque côtier s'intègre facilement dans la perspective de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC). Lorsqu'on aborde la gestion des risques on passe systématiquement par deux concepts : il s'agit de la gestion de risque de catastrophe et de la réduction des risques de catastrophe, ces deux notions seront définies dans ce chapitre en plus de la gestion intégrée des zones côtières et du rôle que joue l'IVC et l'IRC dans la GIZC et la gestion et la réduction des risques de catastrophes.

### 1 - Gestion des risques de catastrophes

#### 1.1 - La réduction et la gestion des risques de catastrophe

La réduction des risques de catastrophes est définie comme étant la diminution des risques en minimisant l'exposition et donc la vulnérabilité, la réduction des risques se fait sur le plan institutionnel et sur le terrain par la mise en place des moyens nécessaires afin d'éviter les pires scénarios dus à une catastrophe (**Nations Unies et Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes des Nations Unies., 2009**).

La gestion des risques de catastrophe (Disaster Risk Management DRM) est un concept qui englobe la réduction des risques de catastrophes. Il consiste dans la mise en place d'une stratégie et d'une feuille de route constituée d'un schéma global des composantes du risque et de la logique de la gestion du risque visant la diminution du degré de risque et augmenter le degré de résilience dans les différentes unités qui composent le système côtier en intervenant durant toute étape du cycle de vie du risque (avant ou après la catastrophe) (**Twigg., 2004; Gonzalez-Riancho et al., 2014**) (Figure 63).



**Figure 63** : Schéma de gestion des risques de tsunamis au Salvador (Gonzalez-Riancho et al., 2014) License CC by 3.0

Le processus de gestion de risque de catastrophe comprend plusieurs étapes importantes qui sont (Ikeda et al., 2007) :

1. **La connaissance de l'aléa** qui inclut tout ce qui concerne les données et les modèles pour évaluer le degré de l'aléa ;
2. **Le calcul du risque** : tout ce qui concerne le calcul des vulnérabilités, des aléas et donc des risques (ce qui a été réalisé dans cette thèse) ;
3. **La gestion du risque** : les mesures pour une meilleure résilience ;
4. **La communication du risque** : l'implication des différents acteurs dans la prévention et la diminution du degré de risque: les pouvoirs publics, les scientifiques et la population.

## 1.2 - Historique

Depuis les années 1980, la gestion des risques de catastrophes est devenue une priorité dans l'agenda politique international dans tous ses segments que ce soit dans la gestion de la catastrophe, la reconstitution ou la mitigation (Revet., 2009).

L'assemblée générale des nations unies a proclamé en 1989 la période 1990-2000 comme étant la « Décennie Internationale pour la Réduction des Catastrophes Naturelles ». Cette décennie vise à sensibiliser la société civile et les décideurs sur les impacts des aléas naturels sur les populations.

La résolution 46/192 du 19/12/1991 a été promulguée afin de mettre en œuvre une meilleure coordination des efforts de la communauté internationale pour les pays touchés par les aléas naturels, et c'est en 1994 que la première conférence internationale sur la réduction des risques de catastrophes naturelles a été tenue au Japon (Yokohama) avec comme objectif la prévention, la préparation, l'évaluation et l'atténuation des risques afin de mettre en œuvre des systèmes d'alertes efficaces (**Nations Unies., 1994**).

L'institutionnalisation de la réduction des risques de catastrophes a commencé à voir le jour en 1999 lors de l'Assemblée Générale des Nations Unies bénéficiant d'une détermination politique forte de la part des pays participants fortement concernés par la problématique, qui a débouché sur des résolutions visant la création d'un secrétariat inter-agences, l'UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) sous la direction du Sous-secrétariat des Nations Unies aux Affaires Humanitaires ainsi qu'un Groupe de travail inter-agences pour la Réduction des Catastrophes (IATF-DR, Inter-agency Task Force for Disaster Reduction) qui assure le suivi et la durabilité des actions entreprises depuis 1990 (**Quenault., 2015**).

### 1.3 - Le cadre d'action Hyogo

La déclaration de Hyogo a été établie en 2005 avec comme objectif de construire la résilience des nations et des communautés aux catastrophes et l'adoption du cadre d'action de Hyogo (2005-2015). 168 pays s'engagent à respecter et appliquer les 5 priorités pour la gestion des risques de catastrophes (**Nations Unies, 2005 ; Quenault., 2015**) qui sont :

- 1) prioriser la réduction des risques de catastrophes au niveau national et local ;
- 2) évaluer et surveiller les risques et renforcer les systèmes d'alerte rapides ;
- 3) développer la sécurité et la résilience par le biais de l'éducation, la sensibilisation et l'innovations ;
- 4) réduire les facteurs de risques ;
- 5) développer une bonne préparation aux catastrophes dans le but d'intervenir efficacement à tous les niveaux.

Le Cadre d'Action de Hyogo met l'accent sur la collaboration et la coordination. Il est primordial de mettre tous les efforts des acteurs en commun dans le but de réduire les risques de catastrophes, et d'augmenter leur résilience. Et de ce fait, les États, organisations régionales, les organisations non gouvernementales (ONG), milieux scientifiques, secteur privé et la société civile ont chacun un rôle à jouer pour diminuer les risques de catastrophes naturelles (**SIPC., 2007**).

### 1.4 - Les étapes de la gestion de risque de catastrophe

La gestion des risques comporte 04 phases d'application il s'agit de la préparation, la réponse, la réhabilitation et la mitigation et chacune de ces étapes comprend des mesures spécifiques de gestion des risques (FAO., 2008; Baird., 2010)

#### 1 - La préparation :

C'est la phase de mise en place d'une alerte et des mesures nécessaires pour une réponse efficace face aux risques. Cette phase peut arriver suite à un événement de risque majeur d'où son importance car elle permettra une meilleure réponse face aux éventuelles catastrophes (FAO., 2008).

#### 2 - La réponse :

Cette étape se déclenche lorsque l'aléa est en cours. Il s'agit d'activités et d'actions de protection de la population et des enjeux socio-économiques et de prévoir également les moyens pour la survie humaine tout cela dans un cadre bien défini dans un plan d'actions pré-catastrophe (FAO., 2008). En Algérie la législation prévoit des plans ORSEC pour la gestion des risques de catastrophes.

#### 3 - Réhabilitation :

Cette étape débute après le passage de l'aléa. Elle englobe des mesures de réparation des dégâts occasionnés par la catastrophe et de renforcement des infrastructures pour qu'elles soient plus résilientes en cas d'un éventuel nouveau passage de l'aléa. Cette étape est souvent suivie par une analyse des vulnérabilités et une classification de l'aléa dans l'historique des risques encourus et c'est là qu'interviennent les experts pour la mise en place des cartes des vulnérabilités et des risques suite à la catastrophe qui permettront le suivi et la préparation à la mitigation (Crozier et al., 2016) (<https://disastermedicine.wordpress.com/four-phases-of-disaster-management/>).

#### 4 - Mitigation :

C'est une phase de stabilité qui peut être considérée comme une suite ou une partie de la réhabilitation. Il s'agit là, de renforcer la résilience des infrastructures, la diminution des vulnérabilités existantes, mais aussi une sensibilisation de la population. Il s'agit donc de mettre en place de nouveaux modes de gestion des risques de catastrophes en les actualisant et d'instaurer de nouvelles mesures plus efficaces face aux risques de catastrophes (FAO., 2008).

En général, l'approche recommandée pour La gestion des risques de catastrophe comprend plusieurs volets (**Penning-Rowell., 2013**) :

- Projection future de 50 à 100 ans de l'érosion côtière
- Probabilité de calcul de pertes dues à l'érosion (approche probabilistique)
- Evaluation des pertes d'infrastructures
- Evaluation de la valeur économique des terres agricoles en risque d'érosion
- Evaluation de la valeur économique des espaces publics en risque de subir l'érosion cotière
- Mesures politiques

### 1.5 - Gestion post catastrophe

On peut aussi parler d'un autre type de gestion de catastrophe qui est la gestion post catastrophe qui débute de la phase post crise caractérisée par des dommages et des pertes matériels. Cette étape va nécessiter des expertises, la réparation des biens endommagés et l'assistance aux personnes touchées par la catastrophe et l'événement tragique fera l'objet d'un enregistrement et d'analyse (mise en place de la mémoire de l'événement) pour améliorer la réaction en cas de retour. Puis vient l'étape de la reconstitution qu'on peut subdiviser en 3 sous étapes qui sont : la prévention, la préparation opérationnelle et la gestion de crise (**Chance et Noury., 2011**).

Tout d'abord, des mesures de préventions seront établies pour préparer la population au risque ainsi que des améliorations au niveau réglementaire et aux modalités de constructions seront mises en place pour une meilleure résilience face au risque (**Nations Unies., 2008**).

Ceci amène à une meilleure compréhension du risque en adoptant les mesures adéquates tels que les suivis, les plans d'organisations ainsi que les exercices de préparation et de secourisme qui seront mis en place pour la population (**Crozier et al., 2017**).

Et au final, une gestion des risques sera née qui va permettre de mettre en place une meilleure alerte, une amélioration dans la gestion des secours et la préparation des sites d'hébergement de la population dans les cas extrêmes.

### 1.6 - Politique Algérienne dans la gestion des risques

La politique Algérienne en matière de gestion des risques a été renforcée par la loi 04-20, du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Elle est perçue comme le cadre juridique de base et le socle indispensable à la mise en place de procédure adaptée pour la maîtrise et le développement des concepts de vulnérabilité et de risque sur le plan

prévention et résilience mais aussi en tant que référence normative pour les études prospectives et la mise en place de mécanismes de post sinistre.

Cette loi mérite d'être détaillée par les différents textes non encore promulgués (cf. chapitre II méthodologie et développement d'un IVC et de l'IRC– point 2.2 – la loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable).

Six ans après la promulgation de la loi cadre relative aux risques majeurs, la consolidation du corpus juridique a été confortée par la loi 10-02 du 29 juin 2010 portant approbation du schéma national d'aménagement du territoire (SNAT) pour une durée de vingt (20) ans avec des évaluations périodiques et une actualisation tous les cinq (05) ans (article premier). Elle précise dans la rubrique des étapes et objectifs de l'élaboration du SNAT 2030 point 6.4 relatif aux instruments sectoriels et spatiaux de déclinaisons du SNAT le schéma directeur d'aménagement du littoral (SDAL) en tant que déclinaison territoriale qui devrait tracer et définir le contenu du schéma directeur d'aménagement du littoral en termes de **(loi 10-02 du 29 juin 2010)**:

1. **Délimitation de la zone littorale** conformément à la loi littoral et la loi sur les risques majeurs pour en assurer la visibilité nécessaire sur les enjeux, les aspects socio-économiques, géographiques et environnementaux ;
2. **La cartographie et la mise en place d'un système d'information géographique** qui permettra de suivre la mise en œuvre du SDAL en tant qu'objectif immédiat mais qui reste valable pour les besoins de la gestion des risques côtiers ;
3. **La déclinaison de la dimension stratégique du SDAL** qui vise à rentabiliser les investissements réalisés en termes d'exploitation des rapports d'études pour les besoins d'orientations, de choix de scénarios, de mise en place de programmes et de plans d'opérations pour la protection et la valorisation de la zone littorale ;
4. **Mesures et modalités de mise en œuvre** qui a été proposée sous forme d'un gigantesque programme avec un montage financier mixte pour la wilaya d'Alger. Les mesures méritent d'être élargies aux quatorze wilayas côtières ;
5. **Les modalités de suivi et évaluation** de la mise en œuvre du SDAL qui rentrent dans la gestion des grands projets lancés qui arrête les indicateurs pertinents à analyser (processus, résultat et impact).

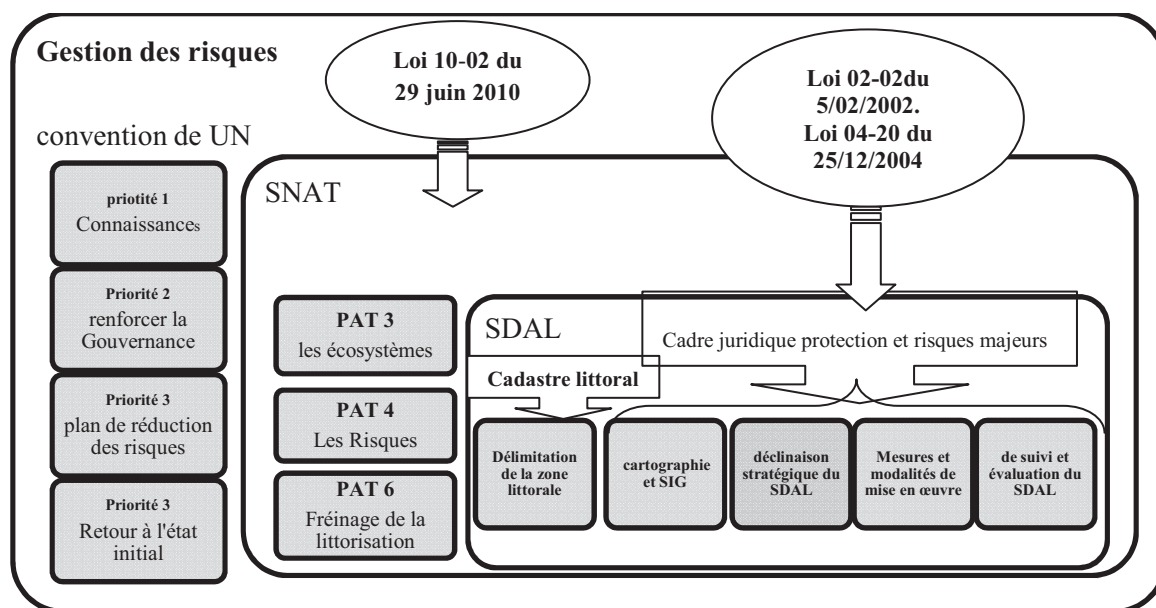
Sur les vingt (20) plans d'actions territoriales introduits, trois (03) PAT touchent le littoral **(SNAT 2015)**:

**PAT n° 3** : la préservation et la mise en valeur du littoral figure parmi le six (06) écosystèmes retenus. La stratégie adoptée sur la base des résultats du cadastre

littoral, vise à assurer la protection et la valorisation du littoral (classement et aménagement à l'horizon 2030 de 11 parcs marins et 21 réserves marines).

**PAT n° 4** : le plan d'action 4 a été dédié aux risques majeurs en général, dans lequel on peut tirer l'action relative à la limitation et le contrôle de l'urbanisation dans les zones à risques et le plan d'atténuation et d'adaptation au risque climatique. Le plan vise à mobiliser l'ensemble des opérateurs économiques et sociaux pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique par la mise en œuvre du protocole de kyoto, de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (**loi 10-02 du 29 juin 2010**).

**PAT n° 6** : le plan s'intitule «freinage de littoralisation et l'équilibre du littoral», vise à assurer rééquilibrage du littoral par la limitation et le contrôle de l'urbanisation littorale en conurbation et le maintien des fenêtres littorales naturelles de 5 km.



**Figure 64** : Intégration du cadre juridique relatif aux risques dans les plans d'urbanisme (SNAT 2015 disponible sur <http://www.interieur.gov.dz/images/brochure-SNAT-FR-compressed.pdf>).

En effet, les différentes évaluations, faites par le ministère de l'intérieur et le ministère de l'environnement et des énergies renouvelables, relatives à la mise en œuvre effective de cette loi font apparaître un manque en matière d'élaboration de textes réglementaires, de guides méthodologiques et de cartographie des risques. (<http://www.interieur.gov.dz>).

Les risques majeurs pris en charge par les dispositifs de prévention sont :

1. Les séismes et risques géologiques,
2. Les inondations,

3. Les risques climatiques,
4. Les feux de forêts,
5. Les risques industriels et énergétiques,
6. Les risques radiologiques et nucléaires,
7. Les risques portant sur la santé humaine,
8. Les risques portant sur la santé animale et végétale,
9. Les pollutions atmosphériques, telluriques, marines ou hydriques,
10. Les catastrophes dues à des regroupements humains.

De ces risques, on retient les points 2, 3 et 10 respectivement les inondations, les risques climatiques et les catastrophes dues à des regroupements humains, quand elles sont provoquées par une forte pluviométrie et une tempête marine générant ainsi des érosions et des submersions marines sur la frange littorale.

Aussi, un travail remarquable intitulé «analyse de risque et de vulnérabilité en Algérie» a été initié par le Ministère de l'environnement et des Energies Renouvelables sur la base du guide de référence sur la vulnérabilité «Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées» (GIZ et al., 2015), sous-entend que la démarche a été appropriée et elle se présente comme référence et d'un apport précieux au Plan National Climat en Algérie (PNC) qui servira comme appui pour bâtir une approche de prévention et d'intervention post sinistre.

### 1.6.1 – Complémentarité entre les différentes lois

La conceptualisation du phénomène de la vulnérabilité et du risque côtier ne se limite pas aux causes initialement indiquées (naturelles et anthropiques), dans la mesure où, le risque côtier est susceptible d'être aggravé par la fluctuation du climat, jusqu'à aujourd'hui méconnue en Algérie. Ce dérèglement est la résultante de plusieurs facteurs dont l'interaction mérite d'être explorée de manière à réunir l'information exhaustive sur le plan temporelle et spatiale. Les facteurs en question peuvent être structurés en quatre grandes classes (D'Ercole., 1996; Forest et Hamdouch., 2015) :

1. La croissance démographique ;
2. l'urbanisation anarchique ;
3. la dégradation des écosystèmes ;
4. la création et l'expansion de quelques agglomérations le long du littoral.
5. le dérèglement climatique.

L'arsenal juridique en notre possession vise à protéger, valoriser et promouvoir les sites littoraux en Algérie. Cette protection passe par l'application stricte des dispositions contenues dans la loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral dite «loi littoral» avec ses sept décrets d'application qui précisent l'étendu et

la profondeur terrestre de la zone littorale non-aedificandie qui reste interdite à l'édification des constructions en dur sauf pour les installations légères respectueuses de l'environnement.

Chaque site côtier est unique en termes de spécificités physiques et naturels mais surtout du degré d'artificialisation du sol et du taux de concentration des personnes à titre permanent ou occasionnel. Et chaque zone nécessite une mobilisation des pouvoirs publics pour, d'une part, assurer la sauvegarde du littoral conformément à la réglementation en vigueur et plus particulièrement la loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral et de garantir, d'autre part, la protection des biens et des personnes des risques côtiers encourus, conformément à la loi 04-20 relative aux risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Pour ce faire, on est devant une situation de fait, dans la mesure où, les deux lois en question sont récentes. Et, le littoral a subi, avant leur promulgation, diverses agressions sur la faune et la flore et surtout sur la typologie physique de la côte. On est en présence de 3 cas de figures qui méritent d'être étudiées, à savoir :

### **1. Site vierge**

Pour les sites vierges, l'application de la loi littorale est de mise. Par contre la loi sur les risques ne sera pas appliquée pour absence d'enjeux.

### **2. Site artificialisée**

Pour les sites artificialisées et mixtes, l'application simultanée des deux lois est obligatoire ;

### **3. Site mixte (partie vierge et partie artificialisée)**

La problématique, à ce stade de réflexion, réside dans la maîtrise du champ de manœuvre des responsables locaux (Président d'APC) pour chaque type de site côtier.

En effet, si le site est vierge on est dans l'obligation de le sauvegarder par une application stricte de la loi littorale. On est donc devant une situation d'absence de risques par manque d'enjeux. En revanche, si le site est artificialisé ou mixte, on est dans l'obligation de garantir la sécurité des biens et des personnes vu la présence d'enjeux par une application stricte de la loi sur les risques majeurs et d'assurer la protection des sites côtiers conformément à la loi littoral. Les pouvoirs publics interviennent pour :

1. délocaliser pour réduire les risques et éviter les travaux de protection ;
2. maintenir les personnes et les biens et entreprendre les travaux de protection pour réduire les risques ;
3. maintenir les personnes et les biens sans entreprendre les travaux de protection et sans réduction de risques.

### 1.6.2 - Application du cadre d'action 2015-2030 de Sendai dans le contexte Algérien

186 pays ont participé en mars 2015 à la rencontre mondiale sur la réduction des risques de catastrophes qui s'est tenue à Sendai (Japon) pour évaluer le cadre d'action 2005-2015 et d'en proposer le nouveau cadre pour 2015-2030. Cette rencontre s'est soldée par l'adoption du cadre d'action à sept (07) objectifs cibles, à savoir (UNISDR., 2015) :

1. Réduire la mortalité causée par les catastrophes;
2. Diminuer le nombre de personnes affectés par les catastrophes;
3. Réduire les déficits économiques engendrés par les catastrophes ;
4. Limiter la perturbation liée à l'accès aux services de base (santé, enseignement...etc. )en cas de catastrophe;
5. Renforcer plus de pays de stratégies nationales et locales pour la réduction des risques ;
6. Appui aux pays en développement dans la mise en place du cadre de Sandai;
7. Permettre une meilleure accessibilité aux dispositifs d'alerte face aux risques pour la population.

Aussi, la mise en œuvre du cadre de Hyogo 2005-2015 a fait ressortir des lacunes et des difficultés opérationnelles au niveau local (Quinault et al., 2015). Ce qui a motivé d'introduire dans la nouvelle charte du cadre d'action de Sendai les priorités suivantes (UNISDR., 2015) :

**Priorité 1** : assimilation des risques de catastrophe.

**Priorité 2** : gestion des risques de catastrophes par la bonne gouvernance.

**Priorité 3** : investir dans la réduction des risques de catastrophe dans le but d'atteindre la résilience.

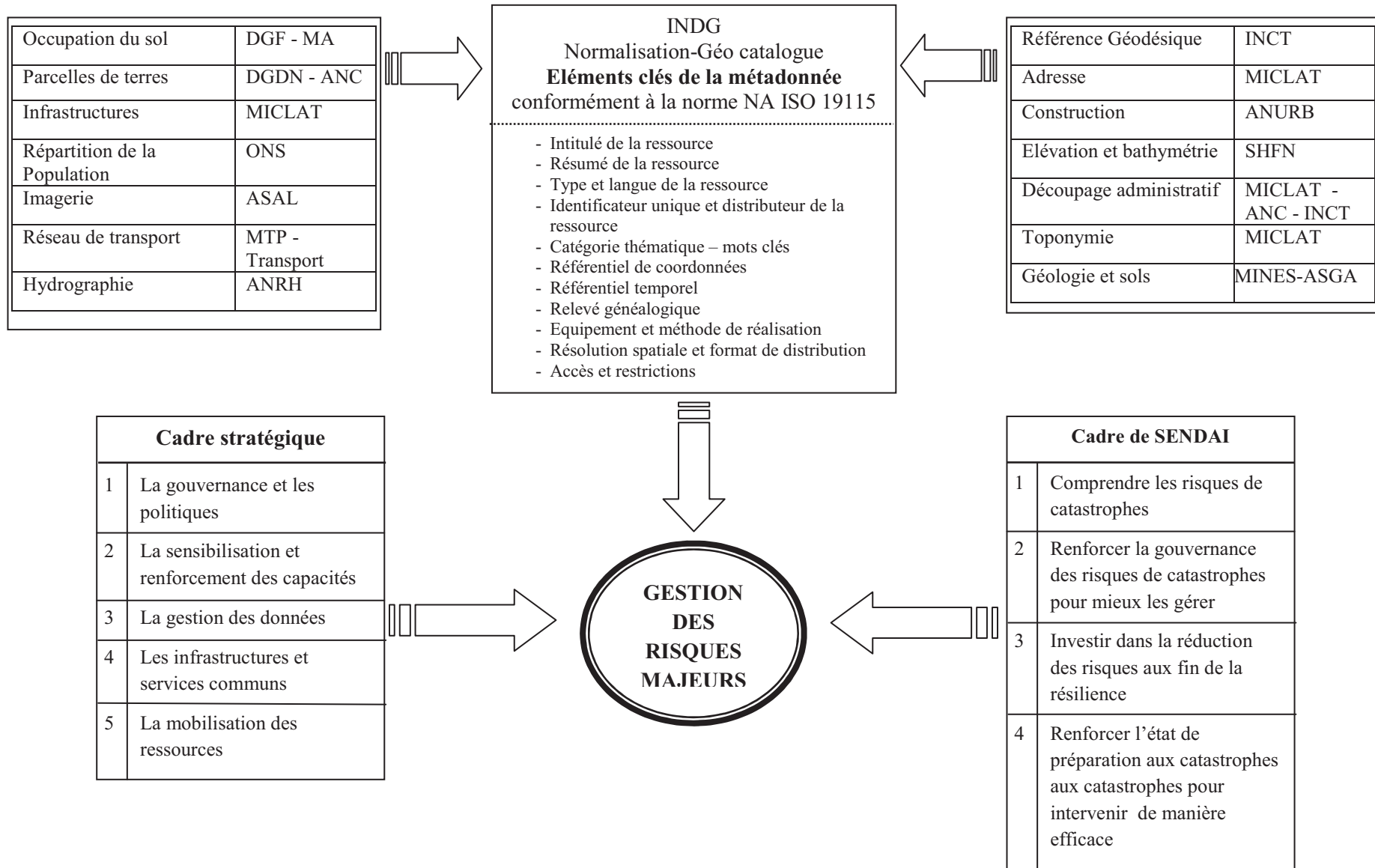
**Priorité 4** : renforcer l'état de préparation aux catastrophes pour intervenir de manière efficace et pour une meilleure reconstruction.

Sur les quatorze (14) risques majeurs reconnus par l'Organisation des Nations Unies, dix (10) sont susceptibles de toucher l'Algérie conformément à la loi 04-20 relative aux risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Le CNIG, permet grâce à la mise en place du géoportail sur les données normalisées géographiques relatives aux risques, d'appliquer le cadre d'action de Sendai 2015-2030 dans le contexte Algérien en se basant sur les 4 priorités citées précédemment (CNIG., 2020).

La prévention des risques majeurs passe par la mise en place d'un système global avec une déclinaison opérationnelle sous la responsabilité des institutions publiques et des collectivités territoriales dans le cadre de leurs compétences respectives, en concertation avec les opérateurs économiques, sociaux et scientifiques (**Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire., 2018**).

### Utilisation de la donnée géo spatiale dans la gestion des risques majeurs (CNIG 2020)



### 1.7 - Rôle de l'IVC et de l'IRC dans la gestion du risque de catastrophe

L'outil indice de vulnérabilité et de risque côtier permet de mettre en place les mesures de gestion de risque adéquates en fonction des facteurs défaillants dans le processus d'enclenchement du risque (aléa important, vulnérabilité importante, exposition importante, résilience faible), et donc des corrections et des mises à jour de mode de gestion des risques sur le plan administratif (plan de gestion plus efficaces) ou sur le plan exécutif (mesures d'adaptation et de protection plus efficaces) sont nécessaires pour faire face aux risques naturels qui ont une forte possibilité de se reproduire de plus en plus violents à mesure que l'on avance dans le temps en raison des effets du réchauffement climatique qui induit à une élévation du niveau de la mer entraînant une augmentation des risques de catastrophes naturelles.

Il faut aussi noter que l'indice de vulnérabilité et de risque côtier permet de mettre en place une gestion anticipative des catastrophes, en effet les indicateurs présentant les scores les plus importants (4 à 5 correspondant à un risque élevé à très élevé) indiquent un manque ou/et une défaillance dans la résilience ainsi qu'une sensibilité importante. On est dans ce cas-là on présence d'éléments évocateurs nécessitant des mesures d'intervention fines en termes d'exploration et de collecte de données débouchant sur des stratégies locales en matière de diminution de la vulnérabilité et d'appropriation à terme d'une gestion anticipative.

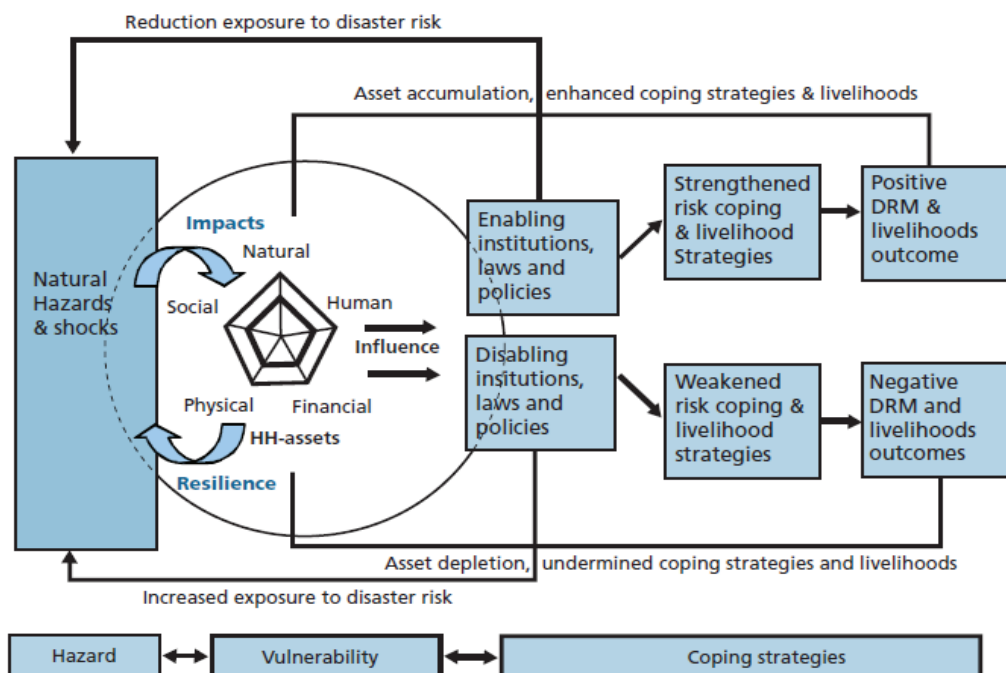
La gestion anticipative des risques littoraux est importante pour diminuer la vulnérabilité des communautés qui vivent près de la mer et diminuer l'ampleur des catastrophes naturelles (Sylvestre., 2011). Ceci peut se réaliser grâce à l'implication de différents acteurs activant dans divers domaines tel que l'éducation, les communes et les associations citoyennes pour les activités liées à la sensibilisation. Pour les activités relatives à la conception de plans d'intervention post sinistre, à la mise en place de schémas d'urbanisation adaptés et le strict respect des normes dans le but de diminuer la vulnérabilité littorale, le management des services de la protection civile, des collectivités locales, de l'urbanisme et des entreprises de réalisation est fortement interpellé. (Sylvestre., 2011).

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier permet de développer la stratégie de réduction des risques de catastrophe en établissant des actions en fonction des manques que peut rencontrer la zone dans la gestion des risques, cette étape concerne principalement la composante résilience (la gestion est relié à la résilience).

C'est la raison pour la quelle les indicateurs de gestion ont été ajoutés pour plus de précision dans l'évaluation du risque (chapitre IV – point 5.3).

Les actions de gestion et de réduction de risque de catastrophe concernent :

- La sensibilisation des communautés littorales par la mise en place de programmes de préparation aux risques de catastrophes naturelles (exercices de secourisme, exercices d'évacuations etc.) ;
- Le renforcement des protections littorales par la mise en place et/ou le renforcement des ouvrages côtiers afin de faire face à la montée du niveau de la mer, ceci doit quand même se faire suivant les normes du génie côtier mais aussi prévoir de diminuer l'implantation des ouvrages de protections de type lourd (ouvrages en béton) et encourager les protections douces ;
- L'application du principe de l'aménagement en hauteur pour délocaliser les activités ne nécessitant pas la proximité des rivages vers l'arrière-pays afin de diminuer les pertes pouvant être occasionnés en cas d'événements extrêmes (**Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action régionale., 2004**) ;
- L'amélioration des plans de gestion de risque de catastrophes par la mise en place de mises à jour des plans pour une meilleur gestion du risque et une meilleure organisation



**Figure 65** : Logique de Gestion de risque de catastrophes (FAO., 2008)

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier rentre dans la démarche de gestion de risque de catastrophe. On peut dire que son élaboration se fait dans la phase de mitigation. Ainsi, si une zone dispose d'une cartographie des vulnérabilités et des risques, elle aura une meilleure résilience et une meilleure connaissance des zones à risque. De plus, une zone côtière disposant d'un indice de vulnérabilité et de risque nécessite des actualisations en introduisant

les données les plus récentes pour connaître l'évolution ainsi que l'état actuel de la vulnérabilité et du risque potentiel que peut subir la zone côtière.

### 1.8 - Planification de la gestion des risques de catastrophe

Le schéma de gestion de risque de catastrophe d'érosion et de submersion marine ne peut être dissocié de l'approche globale retenue pour la gestion du risque en général. Aussi, sa mise en œuvre vise, d'une part, une meilleure réponse des gestionnaires des zones côtières aux problématiques actuelles en matière du marché foncier et d'impliquer l'ensemble des acteurs partageant cette espace convoité dans une politique de préservation des biens et des personnes.

L'approche préconisée s'inspire des cinq recommandations de l'ONU avec ses vingt cinq objectifs (ONU, 2015 In Lafond., 2015) :

- **Cadre institutionnel et administratif** : coordination, participation citoyenne et alliances locales ;
- **financement et ressources** : postes budgétaires et incitatifs aux propriétaires ;
- **connaissance du risque** : Appréciation du risque, actualisation des données et réduction du risque ;
- **protection** : infrastructure, éducation et écosystème ;
- **réglementation** : Aménagement du territoire et aides ;
- **formation, éducation et sensibilisation** : communication du risque ;
- **préparation, alerte, réponse, rétablissement et construction** : capacités, simulation et soutien

Le schéma ci-dessous montre le modèle de gestion des risques qui débute de l'évaluation des aléas puis des expositions et des vulnérabilités pour une évaluation globale du risque (IPCC., 2014). Ces évaluations permettront de mettre en place trois batteries de mesures qui portent sur : la bonne compréhension des aléas d'érosion et de submersion, la gestion des vulnérabilités et des facteurs d'exposition (population, usage des terres, routes, sites historiques et enjeux socio-économiques) et la réduction des conséquences des risques d'érosion et de submersion.

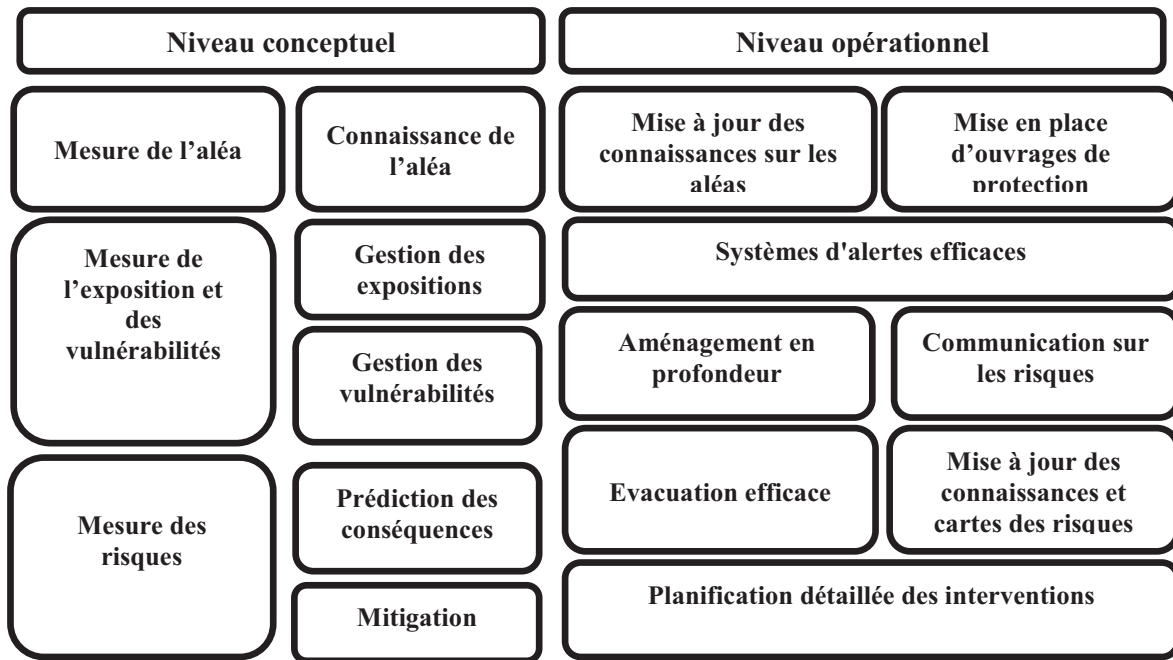


Figure 66 : Schéma de plan de gestion de risque de catastrophe pour les risques côtiers en Algérie basé sur le calcul du risque côtier

L'ensemble de ce corpus législatif et réglementaire forme un tout cohérent qu'il n'y a pas lieu de remettre en cause radicalement. Des ajustements et des compléments sont certes nécessaires pour combler les vides juridiques constatés tout en renforçant son pilotage et son fonctionnement qui doivent être améliorés par la création de nomenclatures budgétaires adaptés en termes de gestion des ressources humaines et des moyens au niveau communal.

L'évaluation périodique des aléas d'érosion et de submersion marine renforce la compréhension des phénomènes naturels et leurs impacts sur les biens et les personnes. Le travail consiste à établir une cartographie aussi fine que possible des vulnérabilités et des risques encourus de manière à dégager une approche conformément à la réglementation en vigueur en Algérie en favorisant la collecte d'information historique en termes de variation du niveau de la mer mesurées par les stations marégraphiques d'Alger, Oran et Jijel et le suivi de l'évolution du trait de côte, pour en dégager localement l'approche urgente et peu coûteuse en matière d'ouvrages de protection appropriés (**US Army Corps of Engineers., 1984 a et b**).

Cependant, il faut privilégier les méthodes de protection douces caractérisé par des ouvrages ne nécessitant pas l'utilisation du béton, ces méthodes peuvent même être réalisés par la population locale avec l'accord des responsables communaux, et permettent la conservation du patrimoine sédimentaire des plages par le biais d'implantation et de maintenance permanente de ganivelles (**Mulot et al., 2010**).

La gestion des risques d'érosion et de submersion pour les vulnérabilités et les éléments exposés consiste à augmenter la résilience et diminuer les sensibilités et les facteurs

d'exposition, par l'amélioration de la sensibilisation citoyenne, la population littorale doit être informé des risques littoraux, leur origine et leur impacts aussi les citoyens doivent connaître les bases du secourisme en cas d'accidents pouvant survenir lors d'une submersion, l'apport des outils de communication est très important pour augmenter le degré de sensibilité en touchant un maximum de personnes. La communication joue donc un rôle important dans la prévention et la protection face aux risques de catastrophes naturelles (**Ait Ouarab-Bouaouli., 2008; Guindon., 2017; Lemyre et al., 2017; Doré., 2017**).

Il a été même prouvé que les réseaux sociaux sont plus efficaces que les moyens traditionnels de communication dans la gestion communicationnelle notamment l'expérience faite pour les inondations majeures, les séismes et les incendies de forêt (**Guylaine et al., 2017**). De plus, les réseaux sociaux font partie intégrante de la vie quotidienne, du fait de l'évolution des moyens de communications sans fil, ce qui rend le déclenchement d'alertes et la réaction des populations se fassent en temps réel (**De Marcellis-Warin et Warin., 2017**). Cette manière de voir les choses est de nature réfléchir localement sur les possibilités d'intégrer les réseaux sociaux dans le processus de gestion de crise en général (**Michel et al., 2017**).

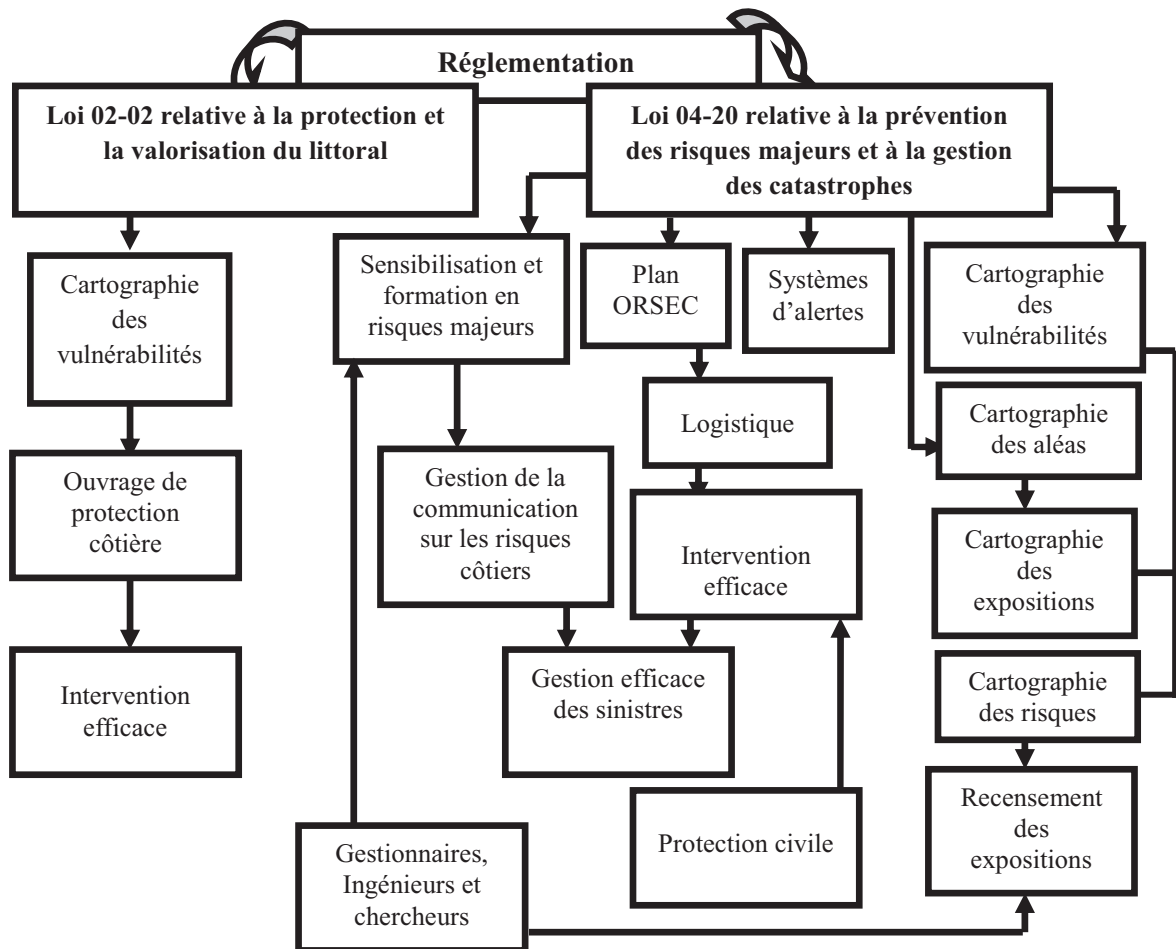
D'autre part, les activités ne nécessitant pas la proximité de la mer peuvent être déplacés vers l'arrière-pays suivant le principe de l'aménagement en profondeur (**Grange Bateliere., 1975**) ce qui contribue à la diminution du degré d'exposition dans le calcul du risque côtier.

Il est à noter aussi qu'une application rigoureuse de loi littorale 02-02 permet de diminuer l'impact des risques côtiers en interdisant la construction dans les zones littorales à moins de 300 mètres de la ligne du rivage.

La réduction des impacts des risques côtiers et la minimisation de ces conséquences passe par la diminution des pertes que peuvent subir les enjeux.

Sur le plan opérationnel, en plus des mesures visant à diminuer l'exposition et la vulnérabilité, les autres aspects liés à la connaissance des aléas, les mesures d'évacuation, de planification et de répartition des tâches en fonctions des cas qui peuvent se produire lors d'épisode tragique s'avèrent important. Sans perdre de vue les actions de maintenance et de mise à jour permanente de la cartographie des risques et des différents plans y afférents.

La hiérarchie de gestion des risques côtiers est représentée dans la figure 67 ci-après, il suit la réglementation en vigueur ainsi que les recommandations du GIEC sur l'évaluation du risque.



**Figure 67** : Schéma hiérarchique du plan de gestion des risques de catastrophes pour les risques côtiers en Algérie

Le plan de gestion des risques des catastrophes pour les côtes algériennes est d'une grande importance pour l'amélioration de la réponse de la population face aux risques d'érosion et de submersion ainsi que dans la mise en place d'une organisation efficace face aux aléas. Cependant la mise en pratique nécessite une contribution budgétaire pour une bonne application du schéma de gestion des risques. La responsabilité des pouvoirs publics, des ingénieurs et des chercheurs est importante pour la réussite de la stratégie de la gestion des risques d'érosion sur le plan opérationnel en termes de sensibilisation, d'évacuation, de mise à jour des connaissances, de vulgarisation des cartographies de vulnérabilités et des risques côtiers ainsi que la conception des ouvrages de protections côtières. Une démarche ministérielle est d'ailleurs en voie d'implémentation pour en tirer les conclusions.

En effet, impliquer les communes littorales à contribuer dans la budgétisation locale est faisable dans la mesure où, un taux des recettes provenant du tourisme balnéaire peut couvrir le coût de protection des rivages allant de la construction d'ouvrages au cas extrême de déplacement de population. Au niveau de la Wilaya d'Alger un programme gigantesque a été mis en œuvre pour reloger la population.

L'intervention des services de protection civile se fait dans le cadre du Plan Orsec (Organisation de la **R**éponse de **S**écurité **C**ivile) suivant les directives de deux décrets :

- 1) décret n°85-231 du 25 août 1985 fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophes ;
- 2) décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophes

Les plans Orsec en Algérie sont subdivisés selon la couverture géographique de la gestion des risques en :

- plans ORSEC national
- plans ORSEC inter- wilaya
- plans ORSEC de wilaya
- plans ORSEC communaux
- plans ORSEC des sites sensibles

Une indemnisation des victimes des risques côtiers est nécessaire pour assurer les gens qui habitent près des côtes et qui peuvent subir les effets des risques côtiers ceci est réglementé par :

- La loi n°03-12 du 26 août 2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes ;
- L'article 48 de la loi n°04-20 du 25 décembre 2004.

D'autre part une amélioration des modes de communications permettra aux populations de bien se préparer face aux aléas naturels et plus particulièrement le risque sismique et le risque inondation, la communication est une responsabilité commune et elle fait intervenir plusieurs acteurs (**Doré., 2017**) dont :

- Les scientifiques
- Les technologues
- Les autorités
- Les communicateurs
- Les gestionnaires
- Les médias
- Les intervenants d'urgence
- La population

Un travail est à faire pour ce qui est du risque érosion tout en favorisant les modes de communication imposés par les technologies de l'information et de la communication notamment les réseaux sociaux et les sites officiels des organismes chargés des risques majeurs en favorisant l'utilisation des applications mobiles (**Douvinet et al., 2017**) y afférentes.

La délégation nationale aux risques majeurs créée par décret n°11-194 du 22 Mai 2011 portant missions, organisation et fonctionnement de la Délégation nationale aux risques majeurs en application de l'article 68 de la loi 04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion de crise dans le cadre du développement durable doit assurer la mission de centralisation pour en garantir le traitement et la diffusion de l'information. La Délégation est placée auprès du Ministre de l'Intérieur, est organisée et fonctionne comme un service extérieur de l'Administration centrale. ([www.interieur.gov.dz](http://www.interieur.gov.dz)).

La mise en place du plan de gestion des risques à partir de l'évaluation des risques côtiers permet de bien planifier et préparer les actions en accord avec l'intensité du risque. Il est admis que la diminution du risque et de ces conséquences dans les zones dites critiques est synonyme d'une bonne stratégie de gestion des risques et l'appropriation de la population des bonnes pratiques contenues dans les guides conçus à cet effet. Sans perdre de vue que la précision et l'exhaustivité de la démarche dépend en grande partie des indicateurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa intégrés dans le calcul du risque.

Pour approfondir le facteur aléa et appréhender le risque côtier en toute connaissance de cause, on a opté pour la méthode déterministe dans la mesure où, les indicateurs retenus convergent vers un indice de risque côtier et à partir de cette donnée classée selon son intensité (très fort, fort, moyen, faible et très faible) le Président de l'Assemblée Populaire a les informations qu'il faut pour en prendre la bonne décision en cas de projet ou d'intervention post sinistre.

Cette méthode ne va pas exclure l'approche probabiliste de plus en plus utilisée. Mais elle va la compléter dans la mesure où, le calcul de l'IVC et IRC dans le cas de cette étude s'ouvrira sur le facteur temporel ou la période de retour. Donc, il est nécessaire de connaître le risque en termes de localisation et d'intensité mais il est souhaitable de savoir est ce que le risque en question peut se produire à court, moyen ou à long terme. L'aménageur au vu des résultats obtenus peut se prononcer pour ou contre un projet de construction proche du rivage surtout pour ce qui est des projets touristiques dans les ZET le long du littoral Algérien.

La décision revient au maître d'ouvrage. Le wali territorialement compétent dans ce cas-là, a besoin d'autres informations pour se prononcer, le retour d'expérience par le biais d'une étude probabiliste est de nature à conforter la prise de décision.

## 2 - La gestion Intégrée des zones côtières (GIZC)

### 2.1 - Définition

La Gestion Intégrée des Zones Côtières correspond à une gestion globale du littoral dans toutes ses composantes pour une durabilité environnementale, sociale et économique, le littoral en lui-même est un ensemble complexe, c'est un milieu naturel fragile, mais qui attire les hommes à s'y installer en raison des activités économiques qui se développent dans cette zone. En effet, plus de 80% du commerce international ainsi que plus de la moitié de la population mondiale se trouvent dans les littoraux (**Gourmelon et Robin., 2005**).

Sorensen définit la GIZC comme suit : "la GIZC est un processus dynamique dans lequel une stratégie de coordination est développée et implémentée pour les allocations des ressources environnementales, socio-culturelles et institutionnelles dans le but d'assurer la conservation et la durabilité des usages de la zone côtière" (**Sorensen., 1993**)

La GIZC est aussi considérée comme étant un outil de gouvernance pour booster le développement et la gestion des zones côtières en prenant en considération toutes les composantes du littorales (environnementales et socio-culturelles) dans le but de garantir le bénéfice de ces milieux sans déclencher des conflits d'usages ou de dégradation de l'environnement et des ressources (**Post et Lundin., 1996**), l'élaboration d'une GIZC ne se fait donc que par l'apport de différents experts dans différentes disciplines (**Gueben-Venière., 2014**).

Le processus de GIZC d'après l'Union Européenne comprend huit composantes principales (**EC., 2002 In Ahlhorn., 2018**) :

- 1) une large perspective globale sur le plan thématique et géographique qui inclut aussi bien les composantes naturelles et leurs relations ainsi que le rôle de l'homme dans la zone côtière ;
- 2) Mise en place d'une vision à long terme pour combler les besoins et les précautions des populations littorales ainsi que des prochaines générations;
- 3) Mise en place d'une gestion adaptative pour l'adaptation face aux problèmes et la mise à jour scientifique concernant la tendance des zones côtières ;
- 4) Flexibilité des mesures de protection pour les besoins de protection des littoraux ;
- 5) Faire en sorte que les activités humaines soient plus durables sur le plan environnemental, social et économique ;
- 6) L'implication des parties prenantes dans le processus de gestion (associations, partenaires économiques, ONG et autres);

- 7) Implication des administrations au niveau national, local et régional en mettant l'accent sur une coordination efficace;
- 8) Concilier entre planification et gestion par le biais de différents instruments .

### 2.2 - Historique

L'historique de la GIZC est difficile à cerner et suivre dès son commencement même si l'on sait que la GIZC en tant que principe est né depuis la fin des années 90. En effet, des travaux de GIZC bien que cette terminologie n'existait pas à l'époque ont vu le jour depuis les années 60 tel que la conservation de la baie de San Francisco -Etats Unis- et la création de l'autorité portuaire du Port Phillip pour l'aménagement de la baie du Port Phillip -Australie- (**Ahlhorn., 2018**). Des efforts de mise en place d'une gestion intégrée des zones côtières se sont développés depuis 1972 aux états unis d'Amérique par le *coastal zone management act* établi par le *national coastal zone management* (**Ahlhorn., 2018**).

Celui-ci prévoit des actions pour la protection et le développement de la zone côtière, puis des initiatives européennes ont vu le jour tel que la stratégie européenne d'aménagement intégrée des zones côtières (le nom d'origine est Integrated Coastal Zone Management - ICZM) à la fin des années 90. Cette stratégie est basée sur l'interaction des différents acteurs de la zone côtière dans un niveau local et régional dans le but de promouvoir la gestion durable des zones côtières (**Council of Europe Committee of Ministers 1994**).

Les actions de la Gestion Intégrée des Zones Côtières sont définies en fonction des objectifs liés aux enjeux identifiés tel que la maîtrise de l'érosion côtière, le développement économique, la pêche et les problématiques environnementales, tous ces enjeux sont pilotés suivant une structure opérationnelle par l'intermédiaire de systèmes d'indicateurs permettant le suivi de la démarche d'évaluation des actions. En Europe, la Commission européenne trace la stratégie européenne d'aménagement intégrée des zones côtières avec des recommandations aux pays membres sur les possibilités de mise en place des principes généraux et options politiques spécifiques. (**Gourmelon et Robin., 2005; Ahlhorn., 2018**).

L'apport de la conférence du sommet de Rio 1992 a été déterminant dans la mise en place du principe de la GIZC avec les recommandations de l'Agenda 21 dans le chapitre 17 pour la protection des océans et des zones côtières et toute perspective de GIZC doit être conforme aux règles générales du programme d'action de l'Agenda 21 du sommet de Rio (**UN., 1992**).

### 2.3 - Le plan de GIZC

L'organisation du plan de gestion intégrée des zones côtières prend en considération les pressions environnementales et anthropiques (**Daeden., 2015**) avec une contribution des méthodes de recherche des sciences sociales et économiques est importante pour la gestion des zones côtières (**Kalaora et Charles., 2000**).

L'apport des usagers de la zone côtière est important pour définir les solutions à appliquer pour la zone côtière pour satisfaire tous les usagers sans compromettre leurs activités (**Morel et al., 2008**)

La gestion intégrée n'est pas une action figée mais un processus continue dans le temps et se doit d'être mise à jour au fil du temps selon les circonstances (**Rochette et Comley., 2015**). Un plan de gestion sans GIZC pourrait ne pas permettre une gestion efficace des zones côtières notamment en ce qui concerne les facteurs écologiques, ceci aura tendance à ressembler plus à une gestion purement économique. Néanmoins tant que le littoral constitue une combinaison et un lieu de rencontre de plusieurs activités et de plusieurs facteurs d'ordre géomorphologique et écologique, le recours à une gestion intégrée est d'une importance capitale pour la pérennité des zones littorales cela s'est traduit du passage de gestion des zones côtières vers une gestion intégrée des zones côtières (**Ahlhorn., 2018**).

Le recensement des ressources naturelles et socio-économiques est important dans la GIZC et il permet de bien définir la stratégie de protection des côtes afin de préserver les activités préexistantes ainsi que le développement de nouvelles activités en tenant en compte les bénéfices écologiques et socio-économiques des différentes activités.

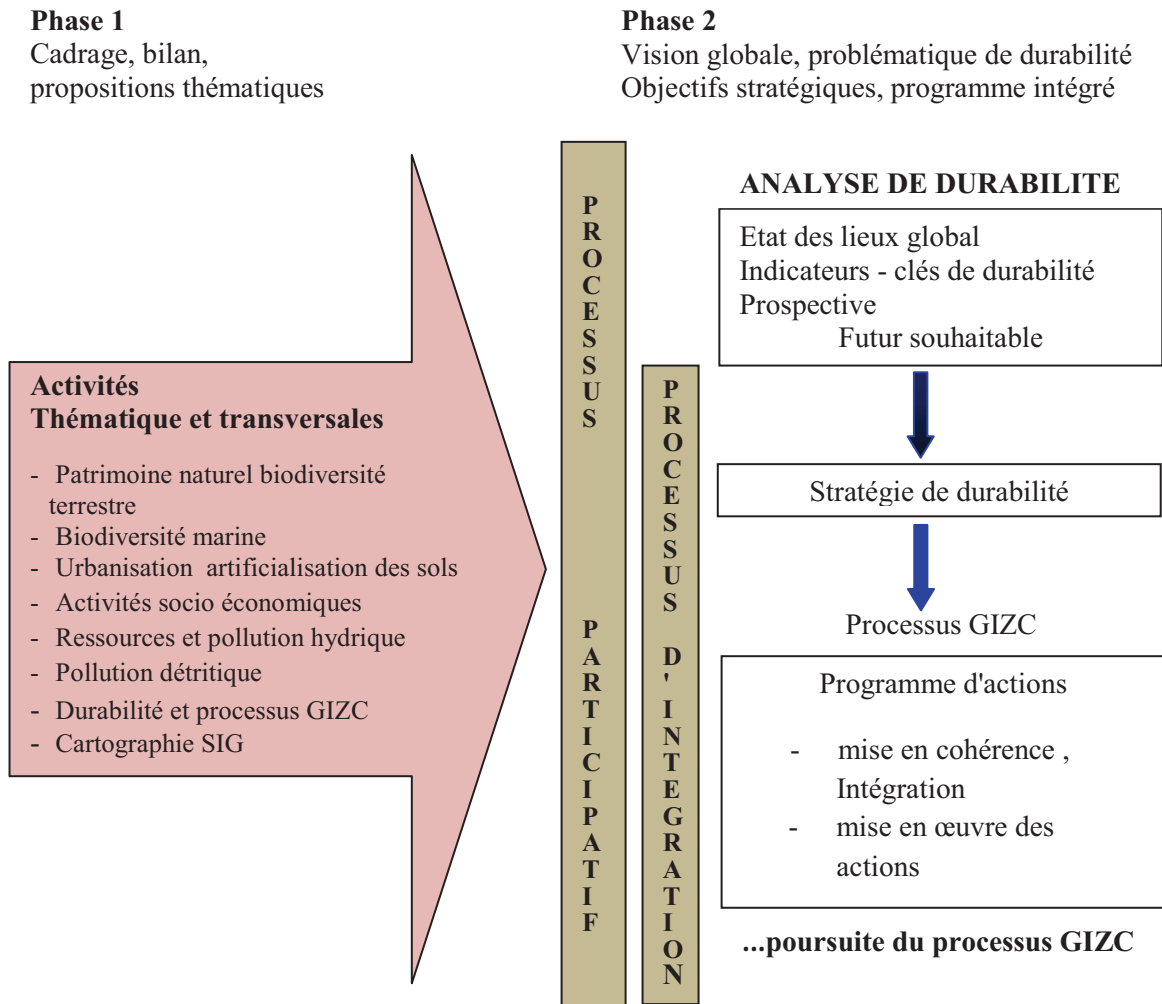
Les données des ressources naturelles et socio-économiques collectées en vue d'une étude de vulnérabilité et de risque côtier permettant de bien prendre en considération l'impact que peuvent avoir les aléas côtiers sur les ressources de la zone côtière. Ces ressources sont des éléments du facteur exposition dans l'évaluation du risque côtier.

### 2.4 - La gestion intégrée des zones côtières en Algérie

La gestion intégrée des zones côtières en Algérie est présente dans les différents programmes de développement et de préservation des zones côtières (**MATE et al., 2006**), et régionaux comme c'est le cas pour le projet Méditerranéen *Medpartnership* (2009-2014) qui repose sur l'analyse de la durabilité de la zone côtière (**Larid., 2015**).

La durabilité de la zone côtière est évaluée grâce à des indicateurs qui conduisent à la mise en place de différentes actions pour la gestion intégrée de la zone côtière (**Coudert et Larid., 2006**). Cette phase qui porte sur la vision globale et la mise en place d'un programme intégré

pour la gestion participative de la GIZC se fait après la mise en place du cadre de gestion participative et des propositions thématiques de la GIZC (patrimoine, activités économiques, etc.) qui regroupe tous les acteurs de la zone cotière qui contribuent à la mise en place de la GIZC (Larid., 2013).



**Figure 68** : Démarche intégrée participative de la GIZC (Larid., 2013 In Larid 2015)

La mise en place de la GIZC en Algérie est en processus mais connaît quelques problèmes liés à la difficulté de mettre en place d'un modèle intégratif étant donné le mode de gestion actuel qui est plus axé sur la représentation par les structures étatiques par rapport aux collectivités locales et associations (Larid., 2015).

La stratégie nationale de la GIZC s'appuie sur 10 orientations principales (ENSSMAL et al., 2018)

- 1) Renforcement de la législation et du cadre institutionnel pour la bonne gouvernance ;
- 2) Adaptation de la de production et de la consommation des ressources côtières ;
- 3) Prise de décision efficace par le savoir et la concertation ;
- 4) Mise en place de systèmes de suivi, de veille et d'alertes efficaces;
- 5) Réseautage efficace pour la bonne connectivité au niveau national ;
- 6) Consolidation des aptitudes et adaptation des formations aux exigences de la GIZC
- 7) Développement du volet communication et sensibilisation ainsi que la communication environnementale et l'implication des acteurs associatifs dans la prise de décision pour le développement durable du littoral;
- 8) Innovation et financement adéquat ;
- 9) Coopération internationale et régionale efficace;
- 10) Intégration des risques provoqués par les effets du changement climatique dans la planification côtière.

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier répond exactement aux exigences du dernier point cité des orientations principales de la stratégie de GIZC en Algérie

### **2.5 - Rôle du SIG et de l'IRC dans la GIZC**

La GIZC a pour rôle la gestion des problématiques littorales et compte tenu de la complexité des facteurs en raison de la grande variété géographique (espaces littoraux non homogènes tel que les plages, falaises, récifs coralliens etc.) et la variation spatiale (concernant l'occupation du sol) ainsi que la multitude d'enjeux littoraux, le recours à un SIG est d'une importance capitale.

L'identification et la localisation des zones vulnérables et à risques est à notre sens décisive, compte tenu, des enjeux de plus en plus lourds à gérer et des contraintes juridiques imposées par la réglementation actuellement en vigueur. L'élaboration d'un Indice de Vulnérabilité et de Risque Côtier, faisant l'objet de cette étude, est de nature à déblayer le terrain et d'avoir une visibilité du territoire côtier de la commune en termes d'enjeux liés aux risque côtiers.

La cartographie de l'Indice de Vulnérabilité et de Risque Côtier représente un support pour la connaissance des zones à risque d'érosion côtière et de submersion. Cette étape peut être considérée comme un point de départ pour la GIZC permettant de mettre à disposition des chercheurs et des décideurs locaux une meilleure base de connaissances par rapport aux aléas

et leurs conséquences probables dans une zone côtière (**Klein et Nicholls., 1999**). De plus elle servira d'alerte à la protection civile pour l'intervention dans les zones susceptibles d'être à risque élevé.

Il est aussi important de noter que cette cartographie n'est pas immuable et qu'une mise à jour est nécessaire pour l'actualisation du répertoire des zones à risque selon une périodicité qui accompagne dans un premier temps la révision de la carte topographique de base.

L'indice de risque peut diminuer en diminuant les composantes de la vulnérabilité et d'exposition. En effet, il est plus important de diminuer la vulnérabilité car c'est le facteur important dans le processus du risque car il correspond à la faiblesse contrairement à l'exposition qui correspond plus à la présence d'enjeux dont certains ne peuvent être déplacés de leur emplacement. L'indice de risque peut aussi augmenter si les valeurs de risques des indicateurs des aléas croissent en raison de l'amplification de l'ampleur des tempêtes (un aléa plus fort induit à un risque plus important).

L'adaptation des écosystèmes et de la population face aux effets du réchauffement climatique est un enjeu majeur du 21ème siècle en raison des sinistres qui peuvent avoir lieu suite à la montée du niveau de la mer. La mise en place d'une cartographie des indices de risque côtier revêt une importance capitale (**Coastal Zone Management Authority and Institute., 2016**), dans la mesure où, l'outil peut être généralisé à d'autres risques côtiers tels que la pollution, l'intrusion saline (**Satta., 2014**) ainsi que pour la protection de la faune et de la flore marine et littorale

L'indice de vulnérabilité et de risque peut aussi être amélioré de manière à qu'il adienne plus représentatif par l'ajout d'autres indicateurs ce qui nécessite la mise en place de bases de données plus riches (et donc plus de données à collecter).

### **2.6 - Urbanisation littorale**

D'autre part la baie de Bou Ismail connaît quelques infractions à la loi littorale 02-02 en effet la présence de tissu urbain à moins de 10 mètres du rivage comme c'est le cas à Fouka et Chenoua ce qui constitue une réelle menace à la population littorale qui y habite, ces zones sont donc fortement exposées aux aléas d'érosion et de submersion comme on l'a déjà conclu en réalisant les cartes des indicateurs et de l'indice d'exposition (avec les facteurs ayant le plus d'impact qui sont la population et l'usage des terres).

Ce constat, confirmé sur terrain, permet de conclure que la loi 02-02 doit être mieux appliquée pour garantir la sécurité de la population littorale et des enjeux socio-économiques.



**Figure 69** : Urbanisation littorale à Fouka  
(partie droite est à 10 mètres du trait de côte)

Le principe d'aménagement en profondeur est considéré comme une vision intéressante pour diminuer le risque d'impact du risque côtier lié à une proximité des habitats et des activités économiques de la mer (**Dehaba et Labii., 2012**), de plus la diminution des niveaux d'urbanisation (slow urbanisation) permettra de créer des villes durables et de diminuer la surpopulation et l'exposition des populations littorales (**Forest., 2016**).

La protection des zones est aussi importante pour la diminution des risques d'érosion et de submersion dans les zones urbanisés près du littoral, en effet les méthodes de protections qui peuvent protéger la partie terre en faisant rempart aux eaux marines devrait quand même se faire selon certaines normes pour ne pas tomber dans des erreurs de sous dimensionnement (ouvrages de protection pas assez consistant pour protéger la côte) ou de surdimensionnement (ouvrages dimensionné plus qu'il n'en faut pour protéger la côte) (**US Army Corps of Engineers., 1984 a et b**).

L'aménageur au vu des résultats obtenus peut se prononcer pour ou contre un projet de construction proche du rivage, voir même, on procédant à des réaménagements et des renforcements surtout pour ce qui est des projets touristiques dans les ZET le long du littoral Algérien. La décision revient au maître d'œuvre. Le wali territorialement compétent dans ce cas-là, a besoin d'autres informations pour ce prononcer, le retour d'expérience issu d'une étude probabiliste est de nature à conforter la prise de décision.

### **2.7 - Protection côtière**

L'une des applications concrètes de l'étude de la vulnérabilité et des risques est la mise en place d'une stratégie pour la protection des zones côtières dans le cadre de la gestion intégrée des zones côtières.

La gestion de la côte face au risque d'érosion peut être affecté par la présence d'ouvrages de protection à la cote, la réponse de la plage en présence d'ouvrages de protection est différente, Dans la gestion des risques de catastrophe, l'aménagement urbain doit être effectué pour résister au moins 50 ans (**Penning-Rowell., 2013**).

L'étude a montré que certaines côtes des communes de la baie de Bou Ismail (Staoueli, Douaouda, Fouka et Bou Ismail) connaissent un recul important du trait de côte d'autre part les houles hivernales perdent peu de leur énergie et atteignent les côtes avec des hauteurs d'au moins 2 mètres en période hivernales ce qui constitue un effet naturel causant la perte de patrimoine sédimentaire permettant à la côte de se maintenir, ajouter à cela la basse altitude dans une grande partie de la baie qui constitue une menace pour ces zones basses qui sont déjà habités et certaines activités socio-économiques sont localisés non loin de la ligne de rivage.

Etant donné l'importance de certains endroits tel que le complexe touristique de Zeralda, le site de pêche artisanale de BouIsmail ou l'on retrouve, respectivement, une série d'ouvrages (épi, brise lame, et un épi en L) et quelques ouvrages en T, sont à risque en raison de leurs topographies qui est proche de celui du niveau de la mer. Ces ouvrages de protection aident à diminuer l'ampleur de l'érosion côtière et les effets d'élévation du niveau de la mer néanmoins ils peuvent contribuer à l'érosion des côtes, et cela peut être perçu dans les zones non abrités et les zones à dos de l'ouvrage où, on a constaté un recul du trait de côte dans la partie à dos des ouvrages de protection du complexe de Zeralda.

Les ouvrages de protection construits dans la baie de Bou Ismail font partie de la catégorie des ouvrages de protection lourde, ces ouvrages sont faits de béton et de maçonnerie et peuvent avoir un impact sur le milieu marin sans oublier des problèmes qui peuvent se poser concernant les affouillements. C'est pourquoi il est important de passer à des solutions de protections douces moins couteuses avec un moins d'impact sur l'environnement.



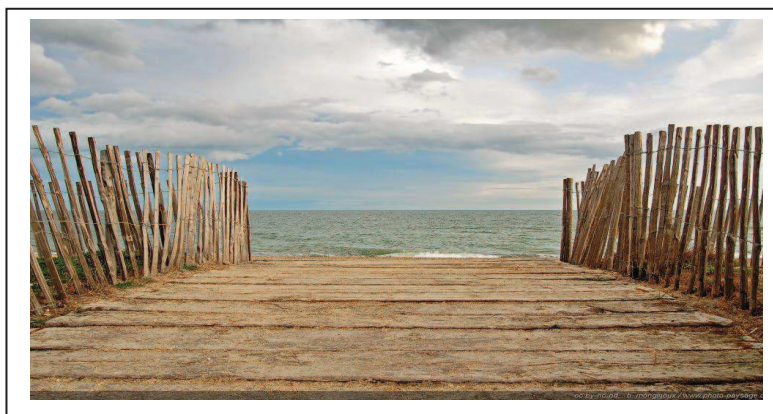
**Figure 70** : Ouvrages de protection à Bou Ismail

### 2.7.1 - Solutions alternatives

Les méthodes de protection douces peuvent constituer un substitut intéressant pour la protection des zones côtières utilisant pour la plupart des matériaux naturels non polluants. Pour ce faire, les communes littorales doivent avoir toute l'autonomie requise en matière de gestion des risques côtiers.

#### 2.7.1.1 - Les ganivelles

Les ganivelles constituent un moyen de protection des côtes sableuses et plus spécifiquement les dunes littorales, en effet l'utilisation d'une série de bouts de bois fixés au sable suivant le même rôle que jouent la végétation dunaire (l'oyat ) permet de fixer le sédiment dunaire pour qu'il ne soit pas arraché par les vents, ainsi la plage conservera sa stabilité, les ganivelles sont aussi appelés Brise vents.



**Figure 71** : Installation de ganivelles (source : **B Monginoux**, [www.photo-paysage.com/](http://www.photo-paysage.com/)) License CC by 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Les ganivelles sont implantés verticalement et en faisant face au vent dominant, cette méthode peut s'effectuer manuellement et ne nécessitent pas forcément des financements importants, et peut s'effectuer grâce à l'appui des associations environnementales ainsi qu'à l'aide fournie par la commune littorale, tout cela dans un cadre administratif et réglementaire bien défini dans les missions principales de cette dernière.

#### 2.7.1.2 - Les géotextiles

Les géotextiles constituent un moyen de protection originale de la côte, ces tissus remplis de sable et/ou de roches font office de brise lames, d'épis ou de digue de protection selon l'usage (**Farnole et Lebunetel., 2011**), les ouvrages en géotextiles sont donc un substitut intéressant et moins coûteux aux ouvrages en béton et en maçonnerie.



**Figure 72** : Epi en géotextile (source: <http://www.novintiss.com/fr/geotextile-anti-erosion.html>)

### 2.7.1.3 - Le rechargement artificiel des plages

Le rechargement artificiel des plages consiste à alimenter les plages en sédiments afin de préserver la quantité de sédiments présente dans une plage pour la protéger de l'érosion côtière, le volume du sable à injecter ainsi que la taille moyenne des grains de sable de rechargement est calculé grâce à des abaques tout ceci en rapport avec la taille des grains de sable préexistant dans la plage dans laquelle on veut effectuer le rechargement (**James., 1975; US Army Corps of Engineers., 1984 a et b**).

Certaines études récentes utilisent des outils logiciels pour le calcul du volume de sable nécessaire pour diminuer l'érosion tel que le logiciel BERM-N "Bayesian ERosion Management Network" qui utilise l'équation statistique de Bayes pour le calcul du taux d'érosion en fonction de la quantité de sable (**Giardino et al., 2019**).

### 2.7.1.4 - Les récifs artificiels

Une des solutions innovantes pour la protection des côtes consiste dans l'immersion des récifs artificiels, cette méthode de protection peut être classée aussi bien dans les protections lourdes (si le récif est conçu en béton) que dans les protections douces.

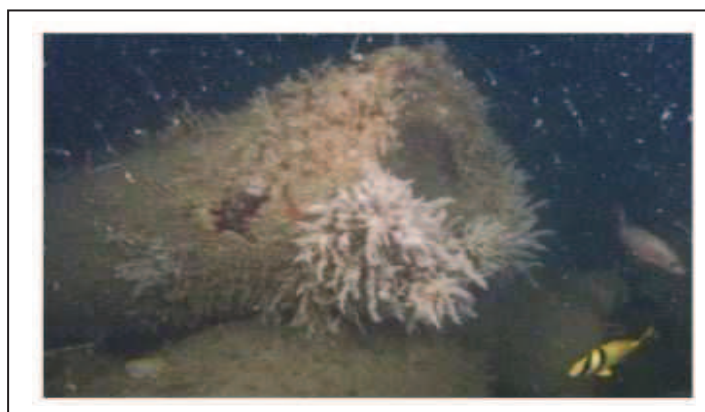
Le récif artificiel est un ouvrage de protection côtière immergé permettant d'atténuer l'énergie des vagues, cet ouvrage est aussi immergé pour des raisons environnementales et biologiques afin d'implanter un écosystème dans les fonds marins dans les zones dégradés et qui connaissent une pauvre biodiversité.

Donc en plus de leurs rôle dans la protection littorale en faisant rempart aux houles, les sites sont devenus un laboratoire pour l'étude des espèces marines et un atout pour le développement touristique (**Achilleos et al., 2018**), ils constituent des zones propices pour la

fixation et la colonisation des algues et des abris pour différents genres de poissons, crustacés et autres espèces marines (Sene., 2008). Les récifs artificiels peuvent être classés en trois catégories (Convention et protocole de Londres et PNUE., 2009) :

1. **Récifs de production** : Cette catégorie concerne les récifs ayant une vocation de repeupler le fond marin et les fonds pauvres en biodiversité
2. **Récifs de protection** : Des récifs ayant pour fonction la préservation des espèces marines du chalutage illégal.
3. **Récifs récréatifs** : Aussi appelés récifs paysagers, ces récifs ont une vocation touristique en favorisant les activités de plongée pour les estivants.

Ces types de récifs peuvent aussi avoir selon leurs dimensions un rôle dans la protection côtière en permettant la réfraction de la houle.



**Figure 73** : Récif de production (Froehlich et Kline., 2015)

License CC by 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Un récif artificiel peut être conçu et immergé dans les zones les plus vulnérables selon la cartographie de la vulnérabilité et du risque et pourra servir de moyen pour le développement de la faune et de la flore aquatique dans la baie de Bou Ismail.

### 2.7.2 - Evolution des méthodes de protection côtière

Les stratégies de protection côtière ont évolué au fil du temps des pays comme l'Allemagne et les Pays bas ont construit des ouvrages de protection côtière en fonction de la protection des côtes face à l'érosion, depuis le 20ème siècle ces constructions prirent un aspect plus écologique et durable.

Des approches sur la gestion des risques de submersion côtière sont nés au Royaume Uni avec une dimension globale des risques côtiers et toutes les composantes humaines et socio-économiques du littoral (Ahlhorn., 2018).

### 2.7.3 - Cas de la baie de Bou Ismail

La cartographie de l'évolution du trait de côte montre qu'une grande partie de la baie de Bou Ismail est plus ou moins stable avec de faible taux d'érosions à l'exception de certaines zones localisées telle qu'une partie du littoral des communes de Fouka et de Bou Ismail (voir Chapitre 4).

La mise en place d'ouvrages et de méthodes de protection alternatives (protections douces) dans cette zone doit être conforme aux résultats obtenus lors des études de l'évolution du trait de côte et de la propagation de la houle.

Ces résultats vont nous renseigner sur les paramètres nécessaires pour l'implantation des nouveaux ouvrages de protection et de mise en place de techniques douces dans notre zone d'étude (**US Army Corps of Engineers., 1984 a et b**). La mise en place de géo tubes, de récifs artificiels et d'opérations de rechargement seront effectués dans les zones qui connaissent un grand recul du trait de côte (plus d'un mètre par an), c'est le cas pour les côtes de Bou Ismail, Fouka et une partie du littoral de Tipaza.

L'implantation d'ouvrages de protection longitudinaux tel que les épis (un géotube comme substitut dans les méthodes de protection douces) doit prendre en considération la modélisation du transport sédimentaire ceci peut se faire grâce à des outils logiciels tel que Log GSTA et Mike 21 qui traite la taille moyenne des sédiments collectés en tant que données d'entrée (**Warren et Bach., 1992; Boudet., 2017**). Ceci est d'autant plus important dans des zones comme l'Est de Sidi Fredj qui connaît une érosion malgré la présence d'ouvrages de protection, le cap Sidi Fredj joue un rôle dans le blocage du transport sédimentaire mais un dimensionnement mal approprié peut être la cause de l'érosion dans les zones à l'Est de ces ouvrages.

L'immersion de récifs artificiels semble être une solution de protection prometteuse d'autant qu'elle permet deux fonctions distinctes d'une part l'atténuation des vagues et donc la préservation du patrimoine sédimentaire, mais aussi le repeuplement des fonds par les espèces marines, cette méthode peut être renforcée par le rechargement artificiel des plages par le sable ce qui pourra diminuer l'implantation excessive d'ouvrages de protection en béton, d'autre part les récifs artificiels peuvent être immergés à l'Ouest de Fouka, l'Est de Bou Ismail ainsi qu'au centre de Ain Tagourait, vu que ce zones subissent une forte érosion (voir chapitre 4).

Hormis la mise en place d'ouvrages et de techniques de protection il est aussi nécessaire de noter que la préservation du patrimoine sédimentaire joue un rôle clé dans la protection des zones côtières et leur durabilité étant donné que l'activité d'extraction peut avoir des effets néfastes et provoquer une forte érosion des côtes, aussi il est nécessaire de procurer un bon environnement pour les herbiers à Posidonie (*Posidonia Oceanica*) cette phanérogame marine

très répondu dans les côtes de Ain Tagourait constitue un moyen de protection côtière, la mise en place d'un projet touristique à la zone de Kouali (Ain Tagourait) doit prendre en considération tous les facteurs écologiques pour ne pas altérer le milieu naturel et surtout en ce qui concerne l'herbier à Posidonie qui non seulement joue un rôle dans la protection des côtes, mais aussi il constitue un abri pour les espèces marines et une source d'oxygénation par la prise du CO<sub>2</sub>. Les récifs artificiels peuvent contribuer dans la protection des herbiers à Posidonie pour empêcher le chalutage dans ces zones (**Convention et protocole de Londres et PNUE., 2009**)

Sur le plan urbanisation il est important à souligner que la sortie sur terrain, a montré la présence d'habitations proche du rivage certaines se trouvent presque au niveau du trait de côte au niveau de la commune de Fouka, il est urgent de délocaliser les habitations proche du rivage vers l'intérieur des terres en accord avec la loi 02-02 relative à la protection et à la valorisation du littoral (Figure 74).

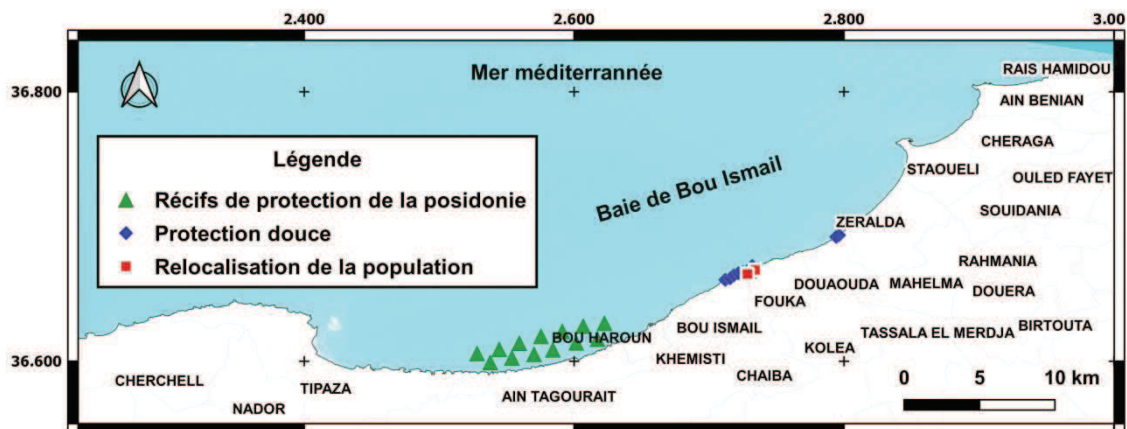


Figure 74 : Protection littorale au niveau de la baie de Bou Ismail

## Conclusion du chapitre 5

L'Indice de vulnérabilité et de risque a des applications diverses dans la protection côtière, la gestion intégrée des zones côtières et la gestion des risques de catastrophes.

L'érosion et la submersion marine sont des risques côtiers déjà observés en Algérie pouvant conduire à des pertes économiques, matérielles et humaines ce qui rend l'intégration de ces risques dans la gestion de risques de catastrophes d'une importance primordiale.

Les ouvrages de protection côtière s'y trouvant dans la baie de Bou Ismail ont permis, à un certain degré, le ralentissement de l'effet de l'érosion côtière d'après la cartographie de l'évolution du trait de côte. Par contre, certaines zones sont toujours en risque d'érosion,

malgré les ouvrages édifiés, dû à quelques erreurs dans le dimensionnement des ouvrages en question.

La mise en place d'ouvrages de protection douce est moins néfaste pour les zones côtières aussi bien en matière d'environnement marin et/ou de protection face aux risques d'érosion et de submersion sans omettre de souligner le coût économique qui est nettement moins important. La mise en place des méthodes de protections douces est d'une grande importance pour protéger le littoral.

Pour notre cas d'étude il est nécessaire que certaines zones soient protégées face à l'érosion (Est de Sidi Fredj, Fouka, BouIsmaïl et Ain Tagourait), de plus il est d'une importance capitale de protéger la population littorale dont les habitations sont proches de la mer en procédant à la délocalisation de ces dernières vers l'arrière-pays.

La GIZC est un outil important pour la gouvernance et la durabilité des zones côtières, sa mise en place se fait grâce aux divers acteurs de la zone côtière (sociétés, activités économiques et tout usager de la zone côtière) et à différentes échelles (local, régional et national). L'indice de vulnérabilité et de risque permet de mettre en place une feuille de route pour une GIZC solide et représentative de l'état actuel et futur de la côte de manière à fixer les objectifs selon une démarche cohérente et pragmatique visant la réduction des risques liés à l'érosion et à la submersion.

La cartographie du risque réalisée n'est pas une fin en soi dans la mesure où, cette cartographie est la base pour la prise de décision dans la gestion des risques côtiers et la gestion intégrée des zones côtières.

Une prise de conscience des acteurs concernés reste indispensable sur le volet communication et surtout l'autonomie financière des communes littorales.

De plus, le flux d'information, entre l'APC et sa tutelle (Daïra et Wilaya) ainsi qu'avec les établissements publics, soit renforcée de manière à accroître le partage de données stratégiques ayant trait aux risques en général comme phase transitoire en attendant la mise en place de l'infrastructure nationale de données géo spatiales. Ceci est de nature à faciliter la tâche au président de l'assemblée populaire communale (PAPC) pour en prendre la bonne décision en cas de projet ou d'intervention post sinistre.

Le premier responsable de la plus petite entité territoriale qui est la commune devrait avoir toute l'information utile pour comprendre le risque en termes de localisation et d'intensité et de savoir ce que le risque en question peut se produire à court, moyen ou à long terme. La démarche peut être appréhendée par les résultats obtenus sous forme d'IRC et d'IVC.

L'apport de la gestion des risques de catastrophes est important pour une bonne gestion des risques côtiers et elle constitue une feuille de route pour les décideurs. En effet, la démarche

organisationnelle prend en charge les facteurs principaux du risque pour une définition spécifique des lignes directrices sous forme de guides opérationnels adaptés aux différentes typologies locales et régulièrement mis à jour des changements anthropiques et des évolutions naturelles observées.

### Références du cinquième chapitre

1. Ait Ouarab-Bouaouli S (2008) « Pour une équité dans l'accès à l'information en cas de catastrophes », *Communication* [En ligne], Vol. 26/2 |, mis en ligne le 01 octobre 2009, consulté le 17 mai 2020. URL : <http://journals.openedition.org/communication/850> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/communication.850>.
2. Achilleos K, Patsalidou M, Jimenez C, Kamidis N, Georgiou A, Petrou A, Kallianiotis A (2018) Epibenthic Communities on Artificial Reefs in Greece, Mediterranean Sea. *Water*. 10, 347. doi:10.3390/w10040347.
3. Ahlhorn F (2018) Integrated Coastal Zone Management. Status, challenges and prospects. Springer. DOI 10.1007/978-3-658-17052-3.
4. Baird ME (2010) The phases of Emergency management. [https://www.memphis.edu/ifti/pdfs/cait\\_phases\\_of\\_emergency\\_mngt.pdf](https://www.memphis.edu/ifti/pdfs/cait_phases_of_emergency_mngt.pdf)
5. Boudet L (2017) Modélisation du transport sédimentaire lié aux crues et aux tempêtes à l'embouchure du Rhône. Thèse de doctorat. Aix Marseille Université.France.
6. Chance H et Noury M (2011) La gestion de la Post catastrophe. L'approche française et la stratégie internationale. Les dossiers Institut des risques majeurs.
7. CNIG (2020) Utilisation de la donnée géospatiale dans la gestion des risques majeurs
8. Coastal Zone Management Authority and Institute (CZMAI) (2016) Belize Integrated Coastal Zone Management Plan. CZMAI, Belize City.
9. Convention et protocole de Londres, PNUE (2009) Directives pour l'implantation de récifs artificiels. Londres, Royaume Uni.
10. Coudert E et Larid M (2006) « *IMAGINE* : un ensemble de méthodes et d'outils pour contribuer à la gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée » , *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 7 Numéro 3 | décembre 2006, mis en ligne le 15 décembre 2006, consulté le 24 juin 2019. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/9059> ; DOI : 10.4000/vertigo.9059.
11. Council of Europe Committee of Ministers (1994) Council resolution of the 6 May 1994 on a community strategy, for integrated coastal zone management (94/C135/02). Official Journal of the European Communities.

12. Crozier D, Jouannic G, Tran Duc Minh C, Kolli Z, Matagne E, Arbizzi S (2017) Reconstruire un territoire moins vulnérable après une inondation. *Espace populations sociétés* [Online]. <http://journals.openedition.org/eps/7033>. DOI : <https://doi.org/10.4000/eps.7033>
13. D'Ercole R (1996) La catastrophe et son impact à moyen terme : l'exemple de Popayan (Colombie), dix ans après le séisme du 31 mars 1983. In : THOURET JC (PREF.). Croissance urbaine et risques naturels dans les pays en développement. *Cahiers des Sciences Humaines*, 32 (2): pp 445-470. Croissance Urbaine et Risques Naturels dans les Pays en Développement, Clermont-Ferrand (FRA), 1994/12/2-3. ISSN 0768-9829
14. Daeden J (2015) Analyse des pressions anthropiques sur l'environnement littoral européen et français. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle France.
15. De Marcellis-Warin N et Warin T (2017) Les sciences des données et la perception des risques naturels et climatiques. In Motulsky B, Guindon JB, Tanguay-Hébert F (2017) Communication des risques météorologiques et climatiques. Presses de l'Université du Québec.
16. Dehaba R et Labii B (2012) Plaidoyer pour un aménagement touristique en profondeur Cas de la wilaya d'el Tarf. *Sciences & technologies. D- N° 35*: pp 69-78.
17. Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (2004) construire ensemble un développement équilibré du littoral, commission du littoral du conseil national d'aménagement et de développement du territoire
18. Doré MC (2017) La stratégie et les acteurs de la communication des risques. In Motulsky B, Guindon JB, Tanguay-Hébert F (2017) Communication des risques météorologiques et climatiques. Presses de l'Université du Québec.
19. Douvinet J, Gisclard B, Kouadio JS, Saint-Martin C, Martin G (2017) Une place pour les technologies smartphones et les Réseaux Sociaux Numériques (RSN) dans les dispositifs institutionnels de l'alerte aux inondations en France ?. *Cybergéographie : European Journal of Geography*, , Espace, Société, Territoire, document 801, <http://journals.openedition.org/cybergeographie/27875> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeographie.27875>.
20. EC (2002) Recommendations of the European Parliament and Council of 30 May 2002 concerning the Implementation of an Integrated Coastal Zone Management in Europe (2002/413/EC). *Official Journal of the European Communities*, L184/24:24–27, 2002. In Ahlhorn (2018) Integrated Coastal Zone Management. Status, challenges and prospects. Springer. DOI 10.1007/978-3-658-17052-3.
21. ENSSMAL, PAP/RAC, UN Environment et Mediterranean Action Plan Barcelona Convention (2018) Première conférence internationale sur la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) et la planification de l'espace maritime (PEM), 8 Mai 2018.

22. FAO (2008) Disaster risk management systems analysis. A guide book. ISSN 1684 8241.
23. Farnole P et Lebunetel J (2011) Les digues sous-marines en géotextiles pour la protection des plages : avantages et inconvénients, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime Edition 2, Tanger, Maroc.
24. Forest J (2016) « Pour un *Slow Urbanism* », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*[En ligne], Débats et Perspectives, mis en ligne le 21 janvier 2016, consulté le 22 juillet 2019. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/16856> ; DOI : 10.4000/vertigo.16856
25. Froehlich CYM et Kline RJ (2015) Using Fish Population Metrics to Compare the Effects of Artificial Reef Density. *PLoS ONE* 10(9): e0139444. doi:10.1371/journal.pone.0139444.
26. GIZ , Adelphi, EURAC research (2015) The Vulnerability Sourcebook Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.
27. Gourmelon F et Robin M (2005) SIG et littoral. Lavoisier : p22.
28. Grange Bateliere (1975) grands dossiers alpha de la mer. éditions kister, Genève.
29. Gueben-Venière S (2014) Vers une gestion renouvelée du littoral nord-ouest européen : des ingénieurs néerlandais, anglais et français de plus en plus “ verts ” ?. Sciences de l’Homme et Société. Université Paris 1, 2014. Français. tel-01142998
30. Guindon JB (2017) Les dispositions de base pour s'ouvrir au domaine de la communication des risques applicable à la météorologie et à la climatologie. In Motulsky B, Guindon JB, Tanguay-Hébert F (2017) Communication des risques météorologiques et climatiques. Presses de l’Université du Québec.
31. Guylaine M et Libaert T (2017) Les médias sociaux en gestion d’urgence (MSGU) : adopter le réflexe citoyen In Motulsky B, Guindon JB, Tanguay-Hébert F (2017) Communication des risques météorologiques et climatiques. Presses de l’Université du Québec.
32. Ikeda S, Sato T, Fukuzono T (2007) Towards an integrated management framework for emerging disaster risks in Japan. *Nat Hazards*. 44. 267. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9124-3>.
33. James WR (1975) Techniques in Evaluating Suitability of Borrow Material for Beach Nourishment," TM-60, Coastal Engineering Research Center, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Dec. 1975.
34. Kalaora B et Charles L (2000) Intervention sociologique et développement durable : le cas de la gestion intégrée des zones côtières, *Nature Sciences Sociétés* 8 (3), pp 31-38.

35. Klein RJT et Nicholls RJ (1999) Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio*28(2): 182-187.
36. Larid M (2008) La zone côtière humide de Réghaia dans le littoral Est Algérois (Algérie): Contribution méthodologique à son plan de gestion », *Cybergeo : European Journal of Geography* [Online], Environment, Nature, Landscape, document 425, Online since 02 July 2008, connection on 25 June 2019. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/18852> ; DOI : 10.4000/cybergeo.18852
37. Larid M (2013) *Plan côtier de Réghaia : Durabilité et processus GIZC*. ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement **In** Larid M (2015) « L'apport du retour d'expérience au processus de gestion intégrée des zones côtières », *Méditerranée*, 125 . pp 141-152. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8091> . DOI : 10.4000/mediterranee.8091.
38. Larid M (2015) « L'apport du retour d'expérience au processus de gestion intégrée des zones côtières », *Méditerranée*, 125 . pp 141-152. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8091> . DOI : 10.4000/mediterranee.8091.
39. Lemyre L, Beaudry M, Yong AG (2017) Les aspects psychosociaux de la perception et de la communication des risques **In** Motulsky B, Guindon JB, Tanguay-Hébert F (2017) *Communication des risques météorologiques et climatiques*. Presses de l'Université du Québec.
40. Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (2018) *Conférence Nationale sur la gestion des risques de catastrophes*
41. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Programme d'Actions Prioritaires, Centre d'activités Régionales (2006). *Programme d'Aménagement Côtier (PAC) "Zone côtière algéroise". Rapport final intégré*. <https://www.papthecoastcentre.org/pdfs/Rapport%20final%20integre%20WEB.pdf> .Accessed on 23 December 2018.
42. Morel V, Körfe A, Deboudt P (2008), « Réseaux et gestion intégrée des zones côtières : un regard de géographes », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 8 Numéro 1 | , mis en ligne le 12 avril 2008, consulté le 17 mai 2020. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/1922> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.1922>.
43. Nations Unies (1994) *Conférence Mondiale sur la Prévention des Catastrophes Naturelles*. <https://www.preventionweb.net/files/resolutions/G9401867.pdf>. consulté le 19/05/2020.
44. Nations Unies (2005) *Cadre d'action de Hyogo pour 2005-2015: Pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes*.

<https://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-french.pdf>. consulté le 03/05/2021.

45. Nations Unies (2008) Préparation à une réponse efficace en cas de catastrophe Ensemble des directives et indicateurs pour la mise en œuvre de la priorité 5 du cadre d'action de Hyogo. [https://www.unisdr.org/files/2909\\_ochadisasterpreparednesseffectivere.pdf](https://www.unisdr.org/files/2909_ochadisasterpreparednesseffectivere.pdf) consulté le 01/09/2020.
46. Nations Unies et Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes des Nations Unies (2009) Terminologie pour la Prévention des risques de catastrophe [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologyFrench.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyFrench.pdf). consulté le 31/08/2019.
47. ONU (2015) Organisation des Nations Unies Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles. Les Nations Unies et l'assistance humanitaire. **In Lafond V (2015) Intégrer la gestion des risques dans une approche de développement durable en gouvernance municipale. Maitrise en Environnement. Université de Sherbrooke**
48. Penning-Rowsell E, Priest S, Parker D, Morris J, Tunstall S, Viavattene C, Chatteron J, Owen D (2013) Flood and coastal erosion risk management. Routledge.
49. Post JC et Lundin CG (1996) Guidelines for Integrated Coastal Zone Management. ESD Studies and Monographs, No. 9, The World Bank.
50. Revet S (2009) Les organisations internationales et la gestion des risques et des catastrophes "naturels". Etudes du CERI : pp.1-30. hal-01023685.
51. Rochette J et Comley J (2015) Plans de gestion intégrée des zones côtières Revue critique et recommandations pour les États et Territoires insulaires océaniques, Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, Nouméa, [https://integre.spc.int/images/telechargements/plan-gizc-revue-critique\\_rescue.pdf](https://integre.spc.int/images/telechargements/plan-gizc-revue-critique_rescue.pdf), consulté le 17/05/2020
52. Satta (2014) An Index-based method to assess vulnerabilities and risks of Mediterranean coastal zones to multiple hazards. Doctoral dissertation, Department of Economics Ca'Foscari University of Venice, Italy.
53. Sene C, Sane K (2008) Programme d'immersion de récifs artificiels pour une gestion durable de la pêche au Sénégal. République du Sénégal. Ministère de l'Economie Maritime et des transports Maritimes Internationaux.
54. SIPC (2007) Cadre d'action de Hyogo pour 2005-2015 : Pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes. [https://www.preventionweb.net/files/1217\\_HFABrochureFrench.pdf](https://www.preventionweb.net/files/1217_HFABrochureFrench.pdf). consulté le 19/05/2020.
55. SNAT (2015) SNAT synthèse. <http://www.interieur.gov.dz/images/brochure-SNAT-FR-compressed.pdf>

56. Sorensen J (1993) The International Proliferation of Integrated Coastal Zone Management Efforts. *Ocean and Coastal Management*, 21(1-3):pp 45–80. doi: 10.1016/0964-5691(93)90020-Y
57. Sylvestre G (2011) la gestion préventive des risques de catastrophes naturelles en Asie du sud et du sud est : défis pour la réduction de la vulnérabilité des populations. Essai. Centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke.
58. Twigg J (2004) Good practice review Disaster risk reduction Mitigation and preparedness in development and emergency programming. Overseas Development Institute. London.
59. UN (1992) Agenda 21 - United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. Technical report, United Nations.
60. UNISDR (2015) Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015 - 2030. ICLUX FR 1re édition
61. US Army Corps of Engineers a (1984) Shore Protection Manual Volume I. 4ème edition.
62. US Army Corps of Engineers b (1984) Shore Protection Manual Volume II. 4ème edition.
63. Warren, I. R., & Bach, H. K. (1992). *MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas*. *Environmental Software*, 7(4), 229–240. doi:10.1016/0266-9838(92)90006-p

# **Conclusion générale**

# Conclusion Générale

---

Les zones côtières sont des zones qui subissent des pressions permanentes en raison des enjeux socio-économiques présents parfois sur les zones les plus sensibles du littoral. De plus, le phénomène de réchauffement climatique vient accroître les risques côtiers, notamment sur les côtes naturellement plus sensibles (côtes basses, côtes meubles, falaises fragiles, etc.).

Les zones côtières peuvent subir plusieurs risques naturels et/ou anthropiques. Parmi les risques liés au réchauffement climatique on retrouve l'érosion et la submersion. Ces risques sont encore plus affectés par l'élévation du niveau de la mer que subissent les zones côtières partout dans le monde. Cette élévation est variable selon les régions et se situe entre 0 et 2 mm/an en Méditerranée (**Marcos et Tsimplis., 2008**).

Avec les risques croissants dus aux changements climatiques, des méthodes d'évaluation de vulnérabilité et de risques côtiers ont été développées pour la classification de zones côtières à haut degré de risque afin que des mesures adéquates de préservation et de protection puissent être prises. A ce sujet, l'un des outils le plus utilisés est l'indice de vulnérabilité côtière, associé aux méthodes basées sur les indicateurs de vulnérabilité (projet EuroSION et GIZ), les outils SIG et les modèles dynamiques.

Une meilleure compréhension des risques côtiers requiert, entre autres, la collecte des données et la mise en place de bases de données. Cette approche aidera, en conséquence, à mieux évaluer les niveaux de vulnérabilités et de risques côtiers.

Des projets au niveau international et au niveau national ont été entrepris, parmi lesquels le projet GIZ qui explique d'une manière détaillée la méthodologie de calcul de la vulnérabilité aux changements climatiques (niveau international) et le projet du MATE et d'EGIS EAU pour l'évaluation de la vulnérabilité des côtes algéroises face aux risques d'érosion et de submersion.

La mise en place de l'indice de vulnérabilité spécifique aux côtes Algériennes est d'une grande nécessité pour le recensement et la gestion des risques côtiers, cependant suite aux progrès survenus dans l'évaluation des risques côtiers, notamment depuis la sortie du 5ème rapport du GIEC, les recherches ont pris une direction vers le calcul du risque global incluant la vulnérabilité comme l'un des facteurs du risque, en plus de l'exposition et de l'aléa qui sont considérés comme les piliers du risque selon le 5ème rapport du GIEC, L'objectif de cette approche est de mettre un standard pour les différentes recherches sur ce sujet qui ont connu des divergences en raison des différentes théories sur les risques.

Et c'est dans cette optique que cette étude a été entreprise en visant la mise en place d'un Indice de Risque Côtier (IRC) incluant les différents facteurs du risque côtier dont la vulnérabilité côtière, qui était le premier objectif de cette présente thèse.

## Conclusion générale

---

La mise en place d'un indice de risque côtier nécessite la mise en place d'un schéma hiérarchique du risque côtier incluant les indicateurs sélectionnés dans leurs compartiments de risque qui leur correspondent.

Les indicateurs de risque ont été choisis suivant les critères de disponibilité des données, de leur utilisation dans des études précédentes et leur concordance avec le contexte Algérien.

Pour cette thèse les indicateurs choisis sont : le type de côte, l'altitude, les herbiers à Posidonie et l'apport sédimentaire terrigène pour le sous facteur de sensibilité ; la réglementation et la conscience citoyenne pour le sous facteur de résilience ; la population, l'usage des terres, les sites historiques et les routes pour le facteur d'exposition ; et l'évolution du trait de côte, l'élévation moyenne du niveau de la mer, les événements extrêmes et la hauteur des houles près des côtes (à une profondeur de 10 mètres pour notre étude) pour le facteur d'aléa, sans perdre de vue que les sous facteurs de sensibilité et de résilience combinés constituent le facteur de vulnérabilité dans le calcul du risque global.

Dans ce type d'études, une pondération des indicateurs est nécessaire parce que chaque indicateur a son impact et son importance dans l'impact du risque. Comme dans beaucoup de recherches, l'approche préconisée est l'Analyse Hiérarchique des Procédures (AHP) de Saaty (1980). En effet, cette méthode est très utilisée dans plusieurs domaines de recherche nécessitant un apport de l'avis d'expert qui facilite la mise en place d'une pondération à chaque indicateur. En clair, elle effectue des comparaisons binaires entre indicateurs dans chaque compartiment du risque (vulnérabilité, exposition et aléa) pour sortir avec les équations de calcul de la vulnérabilité (par le biais de l'équation de sensibilité et de résilience et leurs sommes divisés par 2), l'équation de l'exposition et l'équation de l'aléa. Aussi, il y a lieu de souligner que les indicateurs dotés de coefficients importants influenceront grandement le degré de risque et seront considérés comme facteurs décisifs par rapport à l'importance du risque.

La cartographie des indicateurs de sensibilité a permis l'élaboration d'une carte de sensibilité de la zone de la baie de Bou Ismail, dans laquelle elle a été sectionnée en plusieurs secteurs selon le degré de sensibilité.

Certaines zones sont moyennement sensibles, tandis que d'autres sont fortement vulnérables notamment à l'Est (avec un foyer à l'Ouest dans la plage Chenoua), et d'autres avec un faible degré de vulnérabilité notamment à l'Ouest, ceci est dû aux caractéristiques naturelles de la zone représentées, dans notre étude, par les indicateurs de sensibilité (type de côte, altitude, herbiers à Posidonie et apport sédimentaire terrigène) où l'on remarque que la côte Est connaît une plus grande sensibilité en raison du manque d'herbiers de Posidonie et une grande présence de côtes sableuses par rapport à l'Ouest et plus de zones d'altitude basse.

## Conclusion générale

---

La cartographie de la résilience montre que la baie de Bou Ismail est moyennement vulnérable en raison de la juridiction algérienne représentée en grande partie par la loi littoral 02-02. Cela rend la baie de Bou Ismail protégée juridiquement (peu vulnérable par rapport à la juridiction), mais qui présente un manque par rapport au désintéressement citoyen face aux risques côtiers qui se répercute sur le manque de d'information de la population par rapport aux événements extrêmes et les catastrophes liés à la montée du niveau de la mer.

A partir de la cartographie de la sensibilité et de la résilience on obtient une cartographie de la vulnérabilité qui montre que la baie de Bou Ismail est globalement moyennement vulnérable (80 % de sa superficie est moyennement vulnérable). Suite à l'agrégation des résultats obtenus de la cartographie des indicateurs de vulnérabilité choisis (qu'il s'agisse d'indicateur de sensibilité et/ou de résilience), la cartographie de l'indice de vulnérabilité a permis de connaître les zones potentiellement vulnérables aux aléas d'érosion et de submersion marine. En effet, la vulnérabilité, qui inclut les deux paramètres précédents (résilience et sensibilité), montre que les zones côtières les plus vulnérables dans la baie de Bou Ismail se situent à l'Est de la baie (quelques foyers) avec certaines zones faiblement vulnérables localisées dans la partie Ouest de la baie. Bien que cette dernière ait le même niveau de résilience, elle connaît toutefois une moins forte sensibilité suite aux résultats obtenus dans le calcul du sous facteur "Sensibilité". Il est important de noter que les indicateurs qui ont le plus influencé ce résultat sont l'altitude et l'apport sédimentaire terrigène.

La cartographie de l'exposition aux risques côtiers d'érosion et de submersion dans la baie de Bou Ismail montre que la zone est peu à moyennement vulnérable dans la partie Ouest, et fortement vulnérable dans la partie Est de la baie, en raison de l'apport des indicateurs d'exposition sélectionnées. Et cela révèle que la cartographie des indicateurs "réseaux routier" et "sites historiques" montre un faible degré d'exposition et ont moins d'importance par rapport aux deux autres indicateurs "Population" et "Usage des terres" selon le traitement AHP issu de l'avis d'experts. Ces deux derniers indicateurs montrent un fort degré d'exposition notamment dans la partie Est de la baie.

La cartographie de l'indice d'aléa côtier (facteur aléa) montre que le degré d'aléa dans la baie est important avec quelques foyers de degré d'aléa moyen (plus de 95% de la baie est à fort degré d'aléa). Les indicateurs d'aléa ont montré une forte importance des aléas côtiers dans la baie de Bou Ismail caractérisée par les fortes houles hivernales qui arrivent vers les côtes, un recul important du trait de côte dans certaines zones (Fouka et Bou Ismail) et une fréquence des événements extrêmes. Pour ce qui est de l'élévation moyenne du niveau de la mer, elle est homogène sur toute la zone d'étude. Etant donné l'importance des indicateurs événements extrêmes et hauteur des houles par rapport à l'élévation moyenne du niveau de la mer suite aux résultats du traitement AHP issu de l'avis d'expert on obtient une côte majoritairement touché par les aléas côtiers.

## Conclusion générale

---

La cartographie des risques côtiers issue de la vision globale du risque décrite par le GIEC permet de recenser les zones potentiellement à risque d'érosion et de submersion à l'aide d'indicateurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa. Ces trois facteurs calculés et cartographiés permettent de connaître l'impact du risque sur une zone ; le risque qu'un aléa frappe une zone exposée qui connaît des fragilités sur le plan naturel et institutionnel.

La cartographie globale du risque côtier dans la baie de Bou Ismail montre que la baie est en moyennement à risque dans la partie Ouest et à risque élevé dans la partie Est de la baie (70 % de la baie est à risque élevé). Ceci est dû aux facteurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa qui y sont plus présents dans la partie Est de la baie et notamment dans la baie d'El Djamila ainsi que dans la partie centre (commune de Bou Ismail). En effet la partie Est et centre de la baie est plus surpeuplée, plus urbanisée, plus basse et connaît une absence d'herbiers à Posidonie ainsi qu'un recul plus important du trait de côte dans certains endroits.

L'indice de risque côtier n'est pas une finalité en soi mais est considérée comme une étape dans le processus de gestion et de réduction des risques ainsi que dans la GIZC. Cet outil permet de détecter les zones vulnérables et susceptibles d'être à risque et permet de mettre en place les mesures nécessaires pour diminuer la sensibilité, l'exposition et l'aléa et augmenter le degré de résilience des côtes. A ce sujet, il est fortement recommandé de prioriser les méthodes de protection douces et durables ainsi qu'une relocalisation de la population habitant près du rivage.

L'apport de l'indice de risque côtier dans la gestion de risque est important ainsi que dans la GIZC. La mise en place des mesures adéquates pour la gestion des côtes, la protection côtière et la gestion des risques côtiers ne se fait pas au hasard mais en fonction du degré de risque dans la zone côtière étudiée, la mise en place d'une cartographie globale du risque permet de prendre les bonnes décisions pour la protection durable des côtes (mise en place d'ouvrages de protection lourdes ou douces ou sans protection), la prise de décision par rapport aux usagers de la zone côtière, la préservation des ressources côtières et la mise en place d'une stratégie cohérente de gestion des risques basés sur les vulnérabilités et les expositions recensées.

## Références de la conclusion

1. Marcos et Tsimplis (2008) Coastal sea-level trends in Southern Europe. *Geophys. J. Int* 175: pp 70-82.
2. Saaty TL (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.

# Perspectives

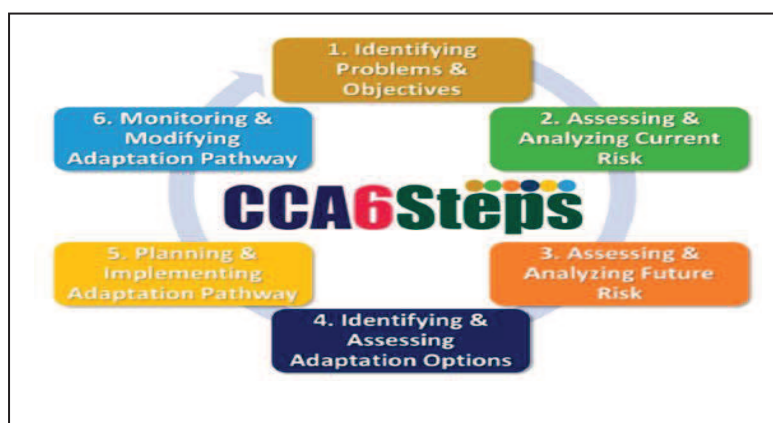
## Perspectives

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier sont des outils importants dans le processus d'aide à la prise de décision et dans la gestion intégrée des zones côtières. L'identification des zones à risque permet de mettre en place une planification stratégique de la gestion des risques côtiers ainsi que la planification spatiale de l'usage du littoral tout en conservant les composantes physiques, environnementales, sociales et la croissance économique. Cette thèse qui s'inscrit dans une perspective de protection et de gestion du littoral Algérien doit toutefois connaître une certaine vision à long terme ainsi qu'une mise à jour des méthodes utilisées pour aboutir à des résultats plus significatives et une prise de décision adéquates aux problématiques littorales.

Des approches visant à mettre en place des algorithmes pour l'évaluation de l'adaptation aux risques liés au changement climatique peuvent être appliqués dans le cadre d'une étude globale d'évaluation et de gestion des risques côtiers comme pour l'approche récente de l'Algorithme de l'Adaptation aux changements climatiques en 6 étapes (Climate Change Adaptation Six Steps (CCA6Steps) ) (Tung et al., 2019)

Les 6 étapes de l'algorithme sont (Tung et al., 2019):

1. Identification des problématiques et des objectifs
2. Evaluation et analyse des risques
3. Evaluation et analyse des risques futures
4. Identification et évaluation de l'adaptation
5. Implémentation d'une feuille de route pour l'adaptation aux risques
6. Suivi et mise à jour des mesures d'adaptation



**Figure 75** : Approche de l'algorithme de l'adaptation aux changements climatiques en 6 étapes (Tung et al., 2019)

License CC by 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

D'un point de vue purement théorique notre l'étude a fait un éclairage sur la première et la deuxième étape de l'algorithme de l'adaptation aux changements climatiques à travers les différents chapitre de cette thèse. Cette étude aura forcément une continuité dans le management des risques pour dégager les mesures d'adaptation appropriées au contexte Algérien face aux effets des changements climatiques en ce qui concerne les risques côtiers, ce processus inclura non seulement les chercheurs dans les risques côtiers mais aussi les décideurs, les usagers de la zone côtière et la société civile (**Tung et al., 2019**). Aussi, comme le suggère l'approche de l'algorithme de l'adaptation aux changements climatiques, les études sur les risques côtiers doivent être continues de sorte à connaître le phénomène récent de l'impact des risques côtiers ainsi que leur évolution temporelle.

Cette approche va permettre non seulement de mettre en place des bases de données géographiques sur les risques côtiers nécessaires à la protection côtière mais elle va renforcer la recherche sur l'évolution du climat et particulièrement en cette période qui connaît un réchauffement global et son impact sur le long terme avec tout ce que ça implique comme conséquences (évolution du niveau de la mer, submersions, érosion, événements météorologiques extrêmes...etc.).

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier a permis d'identifier les zones vulnérables et à risque dans la baie de Bou Ismail, néanmoins cet indice nécessite une continuelle mise à jour pour des résultats plus représentatives et plus précis introduisant plusieurs indicateurs de vulnérabilité, d'exposition et d'aléa et ceci devient d'autant plus important que la zone d'étude est petite (une étude de vulnérabilité sur 1 km comme pour une plage nécessite un grand nombre d'indicateurs et qui nécessitent plus de précision comme par exemple le transit sédimentaire), d'autre part les études sur la vulnérabilité et les risques côtiers doivent être généralisées sur tout le territoire national dans le but de fournir une base de données sur les vulnérabilités et les zones à risques et ces dernières seront plus facilement recensés et des mesures et actions adéquates seront prises pour diminuer le risque en diminuant les vulnérabilités, changer l'emplacement des activités socio-économiques des zones sensibles et augmenter le degré de résilience.

La mise en place d'un indice de risque avec une hiérarchie plus détaillée des composants principaux du risque pourra nous aider à aboutir à un calcul du risque plus représentatif de son impact au niveau des zones côtières, une hiérarchie plus détaillée permettra de mieux distribuer les indicateurs selon leurs position dans les composantes du risque selon une subdivision qui intègre des sous facteurs d'aléa, d'exposition et de vulnérabilité, avec des possibilités d'introduire d'autres indicateurs caractéristiques de l'adaptation dans le sous facteur "Mitigation".

L'ajout de plus d'indicateurs peut avoir un effet positif ou négatif dans la conception de l'équation du risque, d'une part des indicateurs comme l'historique des houles, le type de roche d'autre part l'introduction d'un grand nombre d'indicateurs peut induire en erreur les experts dans la réponse au questionnaire car un grand nombre d'indicateurs peut être difficile à classer selon le degré d'importance d'un point de vue humain (ex : comparaison entre 7 à 8 indicateurs peut poser des problèmes dans la matrice de calcul AHP dans le cas où, la comparaison de ces indicateurs comprend quelques erreurs logiques).

Le calcul de l'indice de vulnérabilité et de risque côtier devrait être intégré dans des méthodologies plus sophistiquées en effet de récentes études montrent que l'intelligence artificielle et les algorithmes de Machine Learning peuvent être utilisés dans la création de modèles pour le calcul de la vulnérabilité et des risques côtiers (**Pradhan., 2019**), ces outils de technologie avancée permettront d'automatiser les calculs longs et ainsi faciliter l'obtention des résultats, ce qui n'est pas toujours le cas lors du traitement classique habituel dans les outils de systèmes d'informations géographiques.

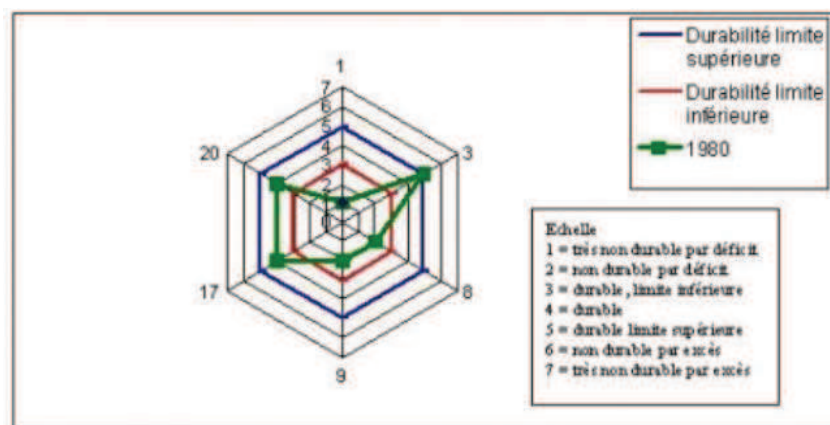
La mise en marche de l'intelligence artificielle se fait tout d'abord par l'entrée des données input, les interactions entre les différentes données se fait pas ce réseau de neurones par le biais de signaux électriques propageant ainsi ces signaux vers une sortie (output), ces réseaux de neurones artificiels peuvent être supervisés ou non supervisés (**Peponi et al., 2019**).

Dans un réseau supervisé la fonction d'apprentissage et les données d'entrée sont introduites et les valeurs de sortie seront informés par les valeurs d'entrée introduites, en ce qui concerne le réseau non supervisé c'est le réseau lui même qui se charge de classer les données d'entrée en cherchant toute similitude existante entre ces données, il apprend lui même les propriétés des données et met en place les sorties (Output sous forme de carte ou autre) (**Peponi et al., 2019**), ces méthodes de réseaux de neurones ont beaucoup d'autres applications reliées au domaine littoral et à la protection côtière tel que la télédétection (traitement des images satellitaires) et le suivi du trait de côte (**Dwarakish et Nithyapriya., 2016**).

L'indice de vulnérabilité et de risque côtier doit rentrer dans la stratégie de GIZC pour la planification côtière, en effet la mise en place d'une stratégie de GIZC pour la protection des zones côtières basés sur les résultats de calcul de vulnérabilité et de risque permettra de bien recenser les zones côtières à protéger et de mettre en place des directives d'interventions adaptées.

L'évaluation de la vulnérabilité et du degré de risque doit être jumelé à l'étude de durabilité de la zone côtière, la durabilité de la zone côtière dépend de plusieurs facteurs, pour cette thèse on s'est consacré à la durabilité par rapport à la géographie et les enjeux socio-

économiques (d'autres facteurs peuvent être inclus tel que les facteurs écologiques et environnementaux), cette étude de durabilité permettra de préserver les espaces côtier en calculant le degré de durabilité à l'aide de différents indicateurs (**Larid., 2008**). Les résultats de notre travail peuvent contribuer à l'étude de durabilité notamment par les indicateurs, présence d'herbiers à Posidonie, évolution du trait de côte, réglementation et conscience citoyenne.



La mise en place d'un plan de GIZC bien adapté doit impérativement comprendre toutes les composantes naturelles et socio-économiques dans le scénario globale de la GIZC (**Larid., 2013**) afin de s'assurer de la cohérence des relations entre les acteurs de la zone cotière, de leurs environnements et de la durabilité de ses zones, d'autre part l'intégration de la gestion et de la réduction des risques de catastrophes dans le scénario global de la GIZC est nécessaire compte tenu de l'importance de l'impact des aléas côtiers sur la zone cotière, ses usagers et les activités socio-économiques qui y sont installés, la mise en place d'une GIZC incluant en plus les risques côtiers et leurs gestion permettra de trouver les solutions idoines pour préserver les activités socio-économiques et surtout celles qui nécessitent la proximité de la mer.

## Références du chapitre perspectives

1. Dwarakish GS et Nithyapriya B (2016) Application of soft computing techniques in coastal study –A review. *Journal of Ocean Engineering and Science*.1: pp 247- 255.
2. Larid M (2008) La zone côtière humide de Réghaia dans le littoral Est Algérois (Algérie) : Contribution méthodologique à son plan de gestion », *Cybergeo : European Journal of Geography* [Online], Environment, Nature, Landscape, document 425, Online since 02 July 2008, connection on 25 June 2019. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/18852> ; DOI : 10.4000/cybergeo.18852
3. Larid M (2013) *Plan côtier de Réghaia : Durabilité et processus GIZC*. ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
4. Pradhan B (2019) Artificial Intelligence and Spatial Modelling in Natural Hazards and Environmental Applications. In: El-Askary H, Lee S, Heggy E, Pradhan B. (eds) *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications*. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham.
5. Peponi A, Morgado P, Trindade J ( 2019) Combining Artificial Neural Networks and GIS Fundamentals for Coastal Erosion Prediction Modeling. *Sustainability*, 11 (4) , 975; <https://doi.org/10.3390/su11040975>.
6. Tung CP , Tsao JH , Tien YC, Lin CY, Jhong BC (2019) Development of a Novel Climate Adaptation Algorithm for Climate Risk Assessment. *Water*. 11(3). 497. <https://doi.org/10.3390/w11030497>.

# **Annexes**

# **Annexe I**

**Les différents sinistres enregistrés dans le littoral  
Algérien depuis 1931**

**Tableau 11** : Les différents sinistres enregistrés dans le littoral Algérien depuis 1931

Date	Lieu	Type de sinistre
31/12/1931	Port d'Alger	Tempête effroyable dans la baie d'Alger – vagues de 10 mètres
10 /11/2001	Bab el Oued – Alger	Inondation – 800 morts
12/10/2004	Baie d'Alger – Alger	Forte Tempête – 2 navires échoués (Béchar et Batna)
25/12/2014	Ras El Ain – Oran	Glissement de terrain – 1 mort
	Sedikkia – Oran	Glissement de terrain – 4 mort
28/10/2006	littoral est, entre Ténès et Oued Goussine,	Plus de 100 ha de pins d'Alep, situés sur le littoral détruit
13/07/2010	littoral Ain Taya – Alger	Erosion – Effondrement d'un mur
11/12/2014	Port d'Alger	Vagues de 10 mètres – 4 morts
10/10/2015	Ain Taya – Est d'Alger	Inondation à Alger-plage
24/02/2015	Aokas – Béjaia	Effondrement de falaise – 7 morts
24/02/2015	Route du port d'Oran	Affaissement

# **Annexe II**

**Evolution des populations des Wilayas littorales**

Tableau 12 : Evolution des populations des Wilayas littorales (ONS 2011)

Wilaya	1987	1998	2008
Tlemcen	716678	842 053	949135
A.Temouchent	275492	327331	371239
Oran	932832	1213839	1454078
Mostaganem	502832	631057	737118
Chlef	687106	858695	1002088
Tipaza	389530	506053	591010
Alger	2112188	2562428	2988145
Boumerdes	508101	647389	802083
Tizi Ouzou	939013	1108708	1127607
Béjaia	698837	856840	912577
Jijel	474040	573208	636948
Skikda	621563	786154	898680
Annaba	466839	557818	609499
El teref	274762	352588	408414
<b>Total littoral</b>	9599813	11824161	13488621
<b>Total national</b>	23051000	29100867	34080030
<b>Taux %</b>	41,64	40,63	39,58

# **Annexe III**

## **Fiche descriptive des indicateurs**

Intitulé de l'indicateur	Description	Source	format		Echelle	Unité	Précision exhaustive	Coût	disponibilité	Référentiel		Méthode de calcul
			d'origine	Après traitement						Spatial	temps	
<b>Type de côte</b>	La forme de la côte selon qu'elle soit rocheuse ou sableuses (la vulnérabilité est importante pour les côtes sableuses)	Google earth, et reconnaissance terrain,	Images satellitaires et Observation terrain	Cartes Raster	locale	par type	Haute si, le type de côte est unique dans l'unité élémentaire de la grille	Gratuit, disponible sur les supports cartographique avec reconnaissance sur terrain	Public – reconnaissance	WGS 84	Année 2017	Observation Cartographie sur SIG
<b>Altitude</b>	La hauteur de la partie terrestre par rapport au niveau de la mer plus l'élévation est importante plus le risque et la vulnérabilité diminue	USGS	MNT	Carte raster des altitudes	Pas de 25 mètres Absolue	Mètre	Pas de 25 mètres totale	Gratuit pour le MNT international	Site web USGS	WGS 84	Année 2017	Calculs topographiques
<b>Présence d'herbiers à Posidonie</b>	Une plante marine ayant pour rôle l'atténuation de l'énergie des vagues ce qui stabilise la côte cette plante est très présente dans la commune de Ain Tagourait si les herbiers sont présents la vulnérabilité est faible.	Documents PAC	Carte de présence d'herbiers	Carte de la présence d'herbiers à Posidonie sur la grille adoptée	/	Oui Ou non	A déterminer selon le projet Données non exhaustives	Gratuit	Documents PAC	WGS 84	Année 2006	Digitalisation sur et traitement SIG

<b>Apports sédimentaires</b>	Présence de cours d'eaux	Données Open streetmap  Cartes INCT	Données vectorielles	Cartes Raster des apports sédimentaires terrigènes Sur la grille adoptée	nominale	Oui Ou Non	Selon les données	Gratuit	Disponible sur le site open streetmap	WGS 84	Année 2017	Digitalisation sur image satellite et traitement SIG
<b>Réglementation</b>	Présence de réglementation nationale sur les zones côtières et sur les risques majeurs	Journal officiel	Textes juridiques	Carte raster de présence ou d'absence de lois	Application générale	Oui Ou Non	Retour d'expérience à court ou moyen terme	Gratuit	Public		Depuis 2004	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG
<b>Conscience citoyenne</b>	Implication des citoyens et des pouvoirs publics dans la mise en place de séances de préparation des citoyens face aux risques côtiers	Population vivant et activant sur le littoral	Réponses anonymes	Cartes Raster de gouvernance locale	Au niveau de la zone d'étude	Oui Ou Non	Selon échantillonnage	Gratuit	Services communaux	WGS 84	2017 2018	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG
<b>Densité de population</b>	Le nombre de population par Km <sup>2</sup> plus la densité de population est grande plus la vulnérabilité est importante	Office National des Statistiques	Fichier format tableau	Cartes Raster de la densité de population Selon la grille adoptée	niveau commune ordinal	nombre/km <sup>2</sup> répartis sur la grille adoptée	au niveau communal par rapport au dernier recensement avec un coefficient d'estimation de l'ONS	Gratuit	Public disponible sur le site de l'ONS	WGS 84	2008	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG
<b>Réseaux routiers</b>	Présence de routes, de tramways et de trains la présence de routes augmente la vulnérabilité tandis qu'en cas d'absence la vulnérabilité est moindre	Cartes INCT + Open Streetmap  Extraction de l'information des cartes routières	Données vectorielles	Cartes Raster de la présence de tronçon sur la grille adoptée	nominale	-	1/10000	Données gratuites et coût d'acquisition pour les cartes	Cartes INCT  Disponible sur le site open streetmap	WGS 84	2017	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG

<b>Sites historiques (Patrimoine culturel)</b>	Présence de patrimoine culturel (forts, musées... etc) Le degré de risque est plus importante en cas de présence de patrimoine culturel	Cartes touristiques et reconnaissance terrain	Cartes touristiques en format raster	Cartes Raster de la présence de site historique sur la grille adopté	1/100000 Et 1/10000	Nominale	Fiable après reconnaissance terrain	Travail interne gratuit Et coût d'acquisition de la carte	Public	WGS 84	2006	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG
<b>Usage des terres</b>	Les activités humaines dans les zones littorales (Ports, administrations, complexes touristiques, patrimoine historique, établissements scolaires, agriculture, industrie) leur présence près des cotes est un signe de vulnérabilité	Open Streetmap  Google Earth  Cartes topographiques	Données Vectorielles	Cartes Raster précisant l'usage en cours, sur la grille adopté	Du 1/1000 Au 1/25000	nominal e	Fiable après reconnaissance	Acquisition de cartes  + Données gratuites	Public	WGS 84	2006 2018	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG
<b>Hauteur des houles</b>	La hauteur des houles dans la baie, plus la hauteur à l'approche du rivage est importante plus le degré de risque et important et vice versa	Données bathymétrique GMRT et données de la houle de l'entreprise BMT ARGOSS	Données météorologiques et bathymétriques Sous forme de fichiers	Cartes de réfraction de la houle	Local (au niveau de la baie de Bou Ismail)	mètre	Pas de 100 mètres	Gratuit	BMT ARGOSS et GMRT	WGS 84	Houles d'hivers de 1992 à 2016 et bathymétrie récente (2018)	Modèle SWAN pour la réfraction et traitement cartographique sur SIG
<b>Élévation moyenne du niveau de la mer</b>	Terme à introduire en fonction des estimations du GIEC. La hauteur moyenne de l'élévation du niveau de la mer	Cartes réalisées suite à la simulation issue des images satellites	Raster	Cartes Raster de l'élévation du niveau de la mer Sur la grille de calcul	Niveau régional	Ordinale	millimètres/an estimation	Gratuit	Site web LEGOS	WGS 84	de 1992 à 2006	Modèle cartographique sur SIG

	provoque des submersions marines là où, le niveau des terres est relativement bas.	Topex Poseidon										
<b>Déplacement moyen du trait de côte</b>	La tendance temporelle à l'érosion ou à l'engraissement de la côte. si la côte à tendance à s'engraisser la vulnérabilité est faible mais si la côte à tendance à s'éroder la vulnérabilité est importante	Images satellites Google earth Pro.	Raster	Carte raster du déplacement moyen du trait de cote	Local	mètres / an	50 cm	Gratuit	Téléchargeable depuis Google earth pro	WGS 84	2002 A 2017	DSAS pour le calcul de l'évolution du trait de côte et cartographie sur SIG
<b>Événements extrêmes</b>	La périodicité des événements de tempêtes exceptionnelles et/ou de tsunamis	Historique des événements	Texte	Cartes raster des événements extrêmes	Local	Nombre d'événements / années	Au niveau de la baie	Gratuit	Historique	WGS 84	Depuis 1500	Introduction de la donnée dans la grille de calcul et traitement SIG

# **Annexe IV**

**Code Matlab pour l'introduction du fichier  
bathymétrie sur SWAN**

L'introduction des données bathymétrique dans le calculateur SWAN se fait après la conversion du fichier bathymétrique (x,y,z) en matrice de valeurs des profondeurs de la baie, les commentaires en bleu expliquent chaque ligne du programme :

```
d=load('C:\Users\Walid\Desktop\SWAN\BathyBou Ismail.dat'); sur cette ligne il faut introduire le répertoire vers le fichier de bathymétrie (x,y,z)
```

```
x=unique(d(:,1));y=unique(d(:,2));
```

```
Z=reshape(d(:,3),length(x),length(y));
```

```
Z=(Z') ses trois lignes servent à modifier le fichier bathymétrique en matrice des profondeurs
```

```
save BouIsmail.dat Z -ascii sur cette dernière ligne, il s'agit de définir le nom du fichier de sortie
```

# **Annexe V**

**Résultats du questionnaire pour l'indicateur  
conscience citoyenne**

Question : Des exercices d'évacuation face aux risques côtiers ont-ils été appliqués ?

Réponses	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	0	0
En partie	9	14.29
Non	54	85.71
Total	63	

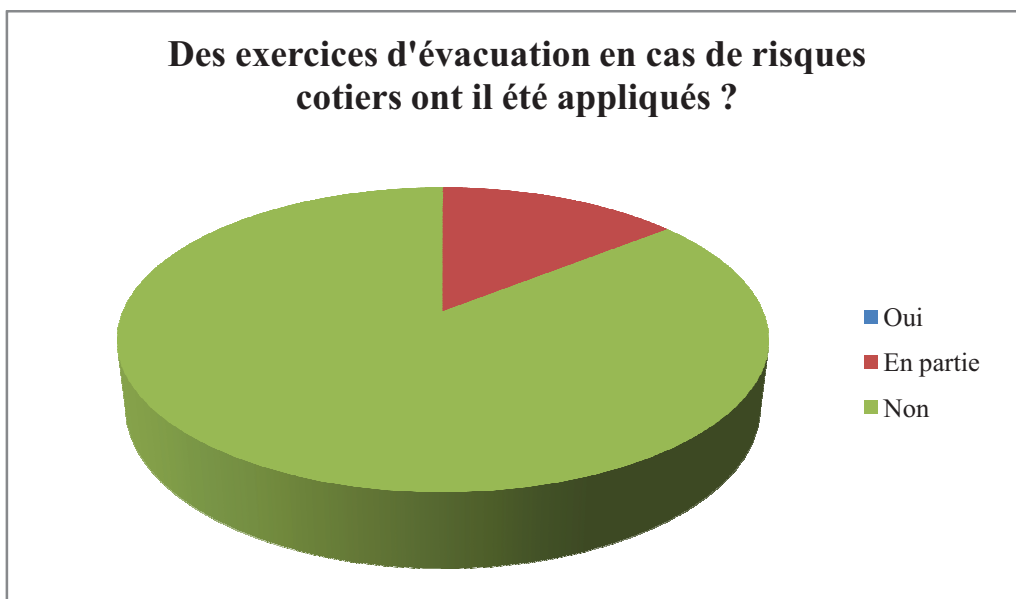


Figure 77 : Répartition des réponses à la question relative aux exercices d'évacuation

# **Annexe VI**

**Résultats du questionnaire d'avis d'experts**

**Indicateurs de sensibilité**

Experts/ Indicateurs	Altitude	Type de cote	Posidonia	Apport sédimentaire	$\lambda_{\max}$ *	IC**	RC***
Expert 1	0.528	0.051	0.133	0.288	4.421	0.14	0.15
Expert 2	0.398	0.398	0.062	0.142	4.367	0.122	0.136
Expert 3	0.073	0.538	0.157	0.231	4.357	0.119	0.132
Expert 4	0.407	0.212	0.069	0.313	4.117	0.039	0.043
Expert 5	0.11	0.502	0.169	0.219	4.444	0.148	0.164
Expert 6	0.125	0.625	0.125	0.125	4	0	0
Expert 7	0.044	0.638	0.159	0.159	4.526	0.175	0.194
Moyenne	0.27	0.39	0.12	0.22			

**Indicateurs de résilience**

Experts/ Indicateurs	Réglementation	Citoyenneté	$\lambda_{\max}$	IC	RC
Expert 1	0.2	0.8			
Expert 2	0.5	0.5			
Expert 3	0.33	0.67			
Expert 4	0.33	0.67			
Expert 5	0.8	0.2			
Expert 6	0.8	0.2			
Expert 7	0.8	0.2			
Expert 8	0.5	0.5			
Expert 9	0.33	0.67			
Expert 10	0.86	0.14			
Expert 11	0.8	0.2			
Expert 12	0.67	0.33			
Expert 13	0.89	0.11			
Moyenne	0.561	0.449			

**Indicateurs d'exposition**

Experts/ Indicateurs	Densité de population	Usage des terres	Routes	Sites historiques	$\lambda_{\max}$ *	IC**	RC ***
Expert 1	0.475	0.302	0.056	0.167	4.329	0.11	0.12
Expert 2	0.52	0.201	0.079	0.201	4.043	0.014	0.016
Expert 3	0.628	0.203	0.1	0.07	4.449	0.15	0.167
Expert 4	0.242	0.242	0.192	0.325	4.154	0.051	0.057
	0.466	0.237	0.107	0.19			

**Indicateurs d'aléa**

Experts/ Indicateurs	Elévation du niveau de la mer	Hauteur des vagues	Evolution du trait de côte	Evénements extrêmes	$\lambda_{\max}$ *	IC**	RC ***
Expert 1	0.102	0.231	0.066	0.601	4.052	0.0173	0.019
Expert 2	0.15	0.301	0.113	0.436	4.202	0.0673	0.074
Expert 3	0.042	0.235	0.104	0.619	4.239	0.797	0.089
Expert 4	0.239	0.209	0.253	0.299	4.186	0.062	0.069
Expert 5	0.241	0.241	0.188	0.33	4.154	0.0513	0.057
Expert 6	0.082	0.166	0.221	0.532	4.211	0.0703	0.077
Expert 7	0.283	0.102	0.147	0.468	4.264	0.088	0.098
Expert 8	0.246	0.493	0.087	0.174	4.121	0.0403	0.045
Moyenne	0.173	0.247	0.147	0.433			

La méthode AHP établi par **Saaty (1980)** s'applique après le calcul de certaines valeurs dans la matrice des choix des préférences

\*  $\lambda_{\max}$  est calculé par la multiplication de tous les scores de chaque indicateur par le total des scores de chaque colonne de la matrice AHP, puis diviser chaque score de chaque cellule de la matrice par le total des scores de chaque colonne, puis calculer la moyenne de chaque ligne (diviser le résultat obtenu pour chaque élément sur le nombre des colonnes) ce qui nous donne une deuxième matrice qu'on nomme le vecteur de priorité

La matrice de l'AHP sera multipliée par le vecteur de priorité, ce qui nous donnera une nouvelle matrice de la même dimension du vecteur de priorité, la moyenne des éléments de cette nouvelle matrice est la valeur propre  $\lambda_{\max}$  de la matrice AHP

\*\*  $IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$

IC : indice de cohérence de la matrice

n : nombre d'indicateurs dans la matrice AHP

\*\*\*  $RC = IC / IA$

RC : ratio de cohérence

Plus la valeur de RC est importante, plus la matrice est moins cohérente, la valeur de RC optimale est de moins de 0.1 si la valeur de RC est entre 0.1 et 0.2 la matrice a un niveau de cohérence tolérable (**Wedley., 1993**)

IA : indice aléatoire établi par **Saaty (1980)** pour donner un ordre de cohérence à la matrice, les valeurs de cet indice ont été définies selon le nombre de paramètres présents dans la matrice AHP (les indicateurs pour notre cas d'étude) ex : si le nombre d'indicateurs est de 2,  $IA = 0$ , si le nombre d'indicateurs est de 3,  $IA = 0.58$ , si le nombre d'indicateurs est de 4,  $IA = 0.9$

### Références :

Saaty TL (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.

Wedley WC (1993) Consistency Prediction for Incomplete AHP Matrices. *Mathl. Comput. Modelling* V 17: pp 151-161.

# **Annexe VII**

**Attestations de participations aux séminaires et  
conférences**

Certificat de contribution à la 1<sup>ère</sup> conférence de la revue Arabian Journal of Geosciences (AJGS)

springer.com

 Springer

# Certificate of Contribution

Springer, part of Springer Nature, wishes to express its appreciation to  
**Walid Chaib**

for their oral communication at the 1<sup>st</sup> Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG), held in Hammamet, Tunisia on 12–15 November 2018, and for the paper they contributed to the conference proceedings published by Springer.  
(Paper number 694) Evaluation of coastal vulnerability and exposure to the risk of erosion and submerision in the coasts of Bou Ismail Bay  
Author(s): Walid Chaib, Mokhtar Guerfi, Yacine Hemdane

*Nabil Khelifi*  
Springer MENA Program  
Dr. Nabil Khelifi, Senior Editor

*Al-Amri*  
CAJG General Chair  
Prof. Dr. Abdullah Al-Amri

1<sup>ST</sup> CONFERENCE OF THE ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCES (CAJG)  
12–15 NOVEMBER 2018, HAMMAMET, TUNISIA  
[www.cajg.org](http://www.cajg.org)

Part of SPRINGER NATURE

# **Annexe VIII**

**Article de thèse**

## Intitulé de l'article

S. I. – CAJG-2018 Topic 2 | Published: 31 May 2020

# Evaluation of coastal vulnerability and exposure to erosion and submersion risks in Bou Ismail Bay (Algeria) using the coastal risk index (CRI)

[Walid Chaib](#) , [Mokhtar Guerfi](#) & [Yacine Hemdane](#)

[Arabian Journal of Geosciences](#) **13**, Article number: 420 (2020) | [Cite this article](#)

[Metrics](#)


## Citation de l'article

### About this article



### Cite this article

Chaib, W., Guerfi, M. & Hemdane, Y. Evaluation of coastal vulnerability and exposure to erosion and submersion risks in Bou Ismail Bay (Algeria) using the coastal risk index (CRI). *Arab J Geosci* **13**, 420 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05407-6>

[Download citation](#) 

Received  
05 July 2019

Accepted  
30 April 2020

Published  
31 May 2020

DOI  
<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05407-6>

### Résumé de l'article

The Algerian coastal zone is under high pressure occurring from natural origin (seismic and tsunamis risks, erosion/accretion, salt water intrusion, etc.) and from human sources (pollution, loss of biodiversity, economic value, etc.). The lack of data, particularly time series over natural coastal process, is an impediment for decision making. In many cases, the implemented coastal protection measures even exacerbate the vulnerability of these zones, particularly the hard engineering solutions. The aim of this work is to produce coastal vulnerability and exposure index maps to erosion and marine submersion, by adapting the coastal vulnerability index (CVI) into coastal risk index (CRI) according to the new vision of the risk adopted by the International Panel on Climate Change (IPCC). This index turned out to be a relevant tool to adjust coastal planning and management decision making, by confirming the vulnerability of some physiographic units and give at local and regional levels a broad image of coastal zone sensitivity to erosion and submersion. This index should be integrated in Integrated Coastal Zones Management policy and management decision making. The mapping of coastal vulnerability and exposure in Bou Ismail Bay shows that it is 80% moderately vulnerable to erosion and submersion. Also, 45% of the bay is highly exposed to coastal hazards. Some sectors are more vulnerable and exposed than others especially in the East side of the bay. The mapping of coastal risk index using coastal hazard component, combined with vulnerability and exposure maps, has led us to identify the degree of erosion and submersion risk in Bou Ismail Bay. The risk mapping shows that 40% of the bay is at high risk level; it means that some procedures should be made to decrease the level of sensitivity and improve resilience of this heavily populated area.