

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université « SAAD DAHLAB » de BLIDA 1 Institut d'Architecture et d'Urbanisme



**THESE DE DOCTORAT D/LMD**

**ARCHITECTURE URBAINE ET ENVIRONNEMENT**

**Vers une approche systémique pour la régénération de  
l'interface ville/mer sous l'impact de l'élévation du  
niveau de la mer. Cas d'étude Alger**

**Présentée par :  
AMOURA RIMA**

**Sous la Direction de :  
DAHMANI Krimo**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Jury</b>	<b>Grade</b>	<b>Institution</b>
<b>KAOULA Dalel</b>	<b>Présidente</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>AOUISSI Khalil Bachir</b>	<b>Examineur</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>DIAFAT Abderrahmane</b>	<b>Examineur</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Sétif</b>
<b>DJELLATA Amel</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>DAHMANI Krimo</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Médéa</b>

**Année Universitaire 2022/2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*« L'architecture est une science qui embrasse une grande variété d'étude  
et de connaissance ».*

**Vitruve 1847. L'an 80 av. J.C**

*Ce modeste travail est dédié*

*À mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et prières, leur soutien ainsi que leur support tout au long de mes études.*

*À mon époux pour sa patience, ses encouragements et son support infailible.*

*À mes frères pour leur présence.*

*À mes très chers neveux Anais et Madjid.*

*À celles et ceux qui m'ont soutenu et aidé et qui souhaitent me voir réussir.*

*À toute ma famille et ma belle-famille DAHMANE.*

## RESUME

L'Algérie à travers son plan stratégique à l'horizon (2015-2035), ambitionne de faire de sa capitale une des vitrines et portes de l'Afrique. Elle prévoit de revitaliser sa ville selon quatre grandes orientations : (1) développement économique, compétitivité et emploi. (2) ouverture sur le monde et l'internationalisation. (3) cohésion territoriale, social et habitat. (4) l'environnement, protection et valorisation. La promenade de la baie d'Alger accueillera le long de son littoral divers projet d'extension et de renouvellement urbain à caractère touristique, culturel et de loisirs, notamment (les terrasses du port, les bains naturels de Bab El Oued, la promenade de la grande poste et de l'indépendance, le palais des sports, le musée de l'Afrique, etc.). Ces projets structurants offriront des espaces de rencontre, de partage, de loisir et contribueront à recréer le lien entre la ville et la mer.

Néanmoins, les études sur le changement climatique et l'élévation du niveau des mers à l'échelle internationale et méditerranéenne ont mis en évidence la vulnérabilité des zones côtières et de nombreuses villes portuaires. En raison de leurs situations géographiques, elles seront exposées à des événements météorologiques extrêmes tels que les submersions et les inondations. Alger, autant que ville côtière n'échappera pas à ce phénomène mondial.

L'élévation du niveau de la mer considérée comme l'une des conséquences du réchauffement climatique, est l'un des phénomènes le plus attendu du 21<sup>ème</sup> siècle. Alger devra faire face d'ici l'horizon 2030 en cas de tempête associée à un haut niveau des eaux à une surcote estimée à + 2,34 m pour un évènement à caractère exceptionnel selon l'étude qui porte sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques Naturels établis en 2013. Les projets structurants proposés dans le cadre du PDAU d'Alger horizon 2030 permettront à la capitale de réaliser ses ambitions d'être une éco-métropole moderne, mais ces derniers se situeront dans des zones soumises à des risques d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer.

Cette étude évalue l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur le centre de la capitale de l'Algérie, pour occurrence décennale et centennale. Basée sur une méthode permettant d'améliorer l'évaluation des niveaux extrêmes, en prenant en compte plusieurs paramètres notamment (la marée astronomique, la surcote des vagues, l'élévation due à une diminution de la pression atmosphérique, et les scénarios d'élévation du niveau de la mer), calculés à partir de la formule de Hoozemans et al. (1993), superposés à un modèle

numérique de terrain (MNT) de 3 m de résolution, indispensable pour la délimitation des zones potentiellement submersibles.

Les résultats de cette recherche mettent en évidence la vulnérabilité du cas d'étude à une future élévation du niveau de la mer, et soulignent l'importance de développer des mesures d'adaptation en privilégiant des mesures douces ainsi que des mesures d'accompagnement. Cette étude est destinée à attirer l'attention des décideurs et des gestionnaires côtiers sur ce type de phénomène afin d'orienter et réajuster les aménagements futurs dans les zones les plus exposées, notamment la future reconversion du port d'Alger prévue en 2030 par le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

**Mots clés :** élévation du niveau de la mer, Alger, cartographie du risque, mesures d'adaptation, Modèle numérique de terrain.

## ABSTRACT

Through its 2015-2035 strategic plans, Algeria aims to make its capital one of the showcases and gateways to Africa. It plans to revitalize its city along four main lines: (1) economic development, competitiveness and employment. (2) Openness to the world and internationalization. (3) Territorial, social and housing cohesion. (4) Environmental protection and enhancement. Along its coastline, the Bay of Algiers Promenade will host various urban renewal and extension projects of a tourist, cultural and leisure nature, notably (the port terraces, the natural baths of Bab El Oued, the promenade, etc.). These structuring projects will provide spaces for meeting, sharing and leisure, and will help recreate the link between the city and the sea.

Nevertheless, studies on climate change and sea-level rise on an international and Mediterranean scale have highlighted the vulnerability of coastal areas and many port cities. Because of their geographical location, they will be exposed to extreme weather events such as submersions and flooding. Algiers, as a coastal city, will not escape this global phenomenon.

Sea-level rise, considered one of the consequences of global warming, is one of the most eagerly awaited phenomena of the 21st century. By 2030, Algiers will have to cope with a storm surge associated with high water levels, estimated at + 2.34 m for an exceptional event, according to a 2013 study on the vulnerability and adaptation of the Wilaya of Algiers to climate change and natural hazards. The structuring projects proposed as part of Algiers' PDAU horizon 2030 will enable the capital to realize its ambitions to be a modern eco-metropolis, but they will be located in areas at risk of flooding due to the accelerated rise in sea level.

This study assesses the impact of sea-level rise on the center of Algeria's capital, for decadal and centennial occurrences. Based on a method to improve the assessment of extreme levels, taking into account several parameters in particular (astronomical tide, wave surge, rise due to a decrease in atmospheric pressure, and sea level rise scenarios), we are able to offer a wide range of products and services), calculated using the Hoozemans et al. (1993) formula, superimposed on a 3 m resolution digital terrain model (DTM), essential for delimiting potentially submersible zones.

The results of this research highlight the vulnerability of the case study to future sea-level rise, and underline the importance of developing adaptation measures with a focus on soft measures as well as accompanying measures. This study is intended to draw the attention of decision-makers and coastal managers to this type of phenomenon, in order to guide and readjust future developments in the most exposed areas, notably the future reconversion of the port of Algiers planned for 2030 by the master plan for development and urban planning.

**Keywords:** sea level rise, Algiers, risk mapping, adaptation measures, Digital Terrain Model

## ملخص :

تهدف الجزائر من خلال خطتها الإستراتيجية أفق (2015-2035) إلى جعل عاصمتها إحدى واجهات وأبواب إفريقيا. وتخطط لتنشيط مدينتها على أربعة محاور رئيسية : (1) التنمية الاقتصادية والقدرة التنافسية والتوظيف. (2) الانفتاح على العالم والساحة الدولية. (3) الترابط الإقليمي والاجتماعي والسكني. (4) البيئة والحماية وتعزيز مقوماتها. سيحتضن منتزه المنظمة الساحلية لمدينة الجزائر على طول ساحلها مشاريع امتداد وتجديد حضري مختلفة ذات طبيعة سياحية وثقافية وترفيهية ، ولا سيما (ساحات الميناء ، والحمامات الطبيعية في باب الواد ، ومكتب البريد المركزي والاستقلال ، قصر الرياضة، ومتحف إفريقيا، الخ). ستوفر هذه المشاريع مساحات للقاءات، المشاركة والترفيه وستساعد على إعادة الربط بين المدينة والبحر.

ومع هذا كله ، فقد سلطت الدراسات حول تغير المناخ وارتفاع مستوى سطح البحر على المستوى الدولي والمتوسطي الضوء على ضعف المناطق الساحلية والعديد من مدن الموانئ. وهذا بسبب موقعهم الجغرافي ، سوف تتعرض هذه المناطق لظواهر الطقس قصوى مثل الغمر البحري والفيضانات. و الجزائر ، بقدر ما هي مدينة ساحلية، ليست معزولة من هذه الظاهرة العالمية.

يعتبر ارتفاع مستوى سطح البحر أحد عواقب الاحتباس الحراري، وهو أحد أكثر الظواهر المتوقعة في القرن الحادي والعشرين. ولهذا سيتعين على الجزائر العاصمة أن تتهيأ لتواجه هذه الظاهرة بحلول أفق 2030 وهذا في حالة حدوث عاصفة مرتبطة بصعود منسوب المياه المقدر ارتفاعه ب + 2.34 متر كحدث ذو طبيعة استثنائية وفقاً لدراسة حول قابلية تأثر ولاية الجزائر وتكيفها مع تغير المناخ والمخاطر الطبيعية التي تم إنشاؤها عام 2013. إن مشاريع الهيكلية المقترحة بمدينة الجزائر في إطار المخطط التوجيهي للتهيئة و العمران لأفق 2030 ستتمكن العاصمة من تحقيق طموحاتها في أن تكون مدينة بيئية حديثة ، ولكن هذه المشاريع ستكون موجودة في مناطق معرضة لخطر الفيضانات بسبب الارتفاع المتسارع في مستوى سطح البحر.

تقيم هذه الدراسة تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر في وسط العاصمة الجزائرية ، على مدى عقد و على مدى مئة عام. كذلك هذه الدراسة تركز على طريقة لتحسين تقييم المستويات القصوى ، مع الأخذ بعين الاعتبار العديد من البيانات (المد الفلكي ، واندفاع الموج ، والارتفاع بسبب انخفاض الضغط الجوي ، وسيناريوهات ارتفاع مستوى سطح البحر) ، محسوبة باستخدام معادلة هوزمان (1993) ، مترابك على نموذج التضاريس الرقمية (DTM) بدقة 3 م ، والذي هو ضروري لتحديد المناطق الغاطسة المحتملة.

نتائج هذا البحث تسلط الضوء على ضعف حالة الدراسة المتعلقة بالارتفاع المستقبلي لمستوى سطح البحر وتؤكد على أهمية تطوير تدابير التكيف من خلال تفضيل واختيار التدابير الناعمة وكذلك التدابير المصاحبة. تهدف هذه الدراسة إلى لفت انتباه صانعي القرار ومسيري السواحل إلى هذا النوع من الظواهر من أجل توجيه وتعديل التطورات المستقبلية في المناطق الأكثر تعرضاً ، ولا سيما التحويل المستقبلي لميناء الجزائر المحتمل في مخطط عام 2030 من خلال المخطط التوجيهي للتهيئة و العمران.

**الكلمات المفتاحية:** ارتفاع مستوى سطح البحر ، الجزائر العاصمة ، رسم خرائط المخاطر ، إجراءات التكيف ، على نموذج التضاريس الرقمية.

## REMERCIEMENTS

C'est avec beaucoup d'émotion et de gratitude que s'achève ces cinq années de recherche, dans l'attente d'entamer d'autres perspectives. Il m'est agréable de réitérer mes vifs remerciements, ainsi que ma reconnaissance aux nombreuses personnes qui m'ont soutenu à mener à terme ce travail.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse Dr. DAHMANI Krime, pour son encadrement, sa disponibilité, sa compréhension, son soutien inconditionnel; moral, scientifique et administratif, ainsi que ses précieux conseils de vie.

Comme je tiens à remercier Dr. AOUISSI Khalil Bachir, pour ses orientations, ses conseils et ses encouragements, et particulièrement pour son intérêt apporté à mon sujet de recherche.

Je souhaite témoigner aussi toute ma reconnaissance à Dr. REZAK Salima, enseignante chercheuse au département d'architecture de l'USTMB d'Oran, pour son soutien moral, ses orientations, et ses encouragements qui m'ont été d'un précieux apport.

Sans oublier un grand merci aux membres du laboratoire ETAP, et à leur tête Pr. FOUFA Abdessemed Amina, pour ses orientations, ses remarques pertinentes, et sa grande disponibilité en sa qualité de directrice du laboratoire.

De même que je saisis l'occasion qui m'est offerte, pour exprimer toute ma gratitude à mon deuxième foyer qui est l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme de l'université de Blida1, et à leur tête Dr. AIT SAADI Hocine en tant que directeur de l'institut, et à l'ensemble du personnel administratif, et particulièrement celui du service de la poste graduation. Et enfin un grand merci à tous mes enseignants, qui ont cru en mes capacités, durant tout mon cursus universitaire depuis 2012 au niveau de l'institut de Blida1.

Je voudrais témoigner toute ma gratitude à l'INCT, Institut National de Cartographie et de Télédétection d'Alger, qui m'ont facilité l'acquisition du modèle numérique de terrain (MNT) en un temps record. Mes remerciements s'adressent également au laboratoire des Etudes Maritimes d'Alger (LEM), pour leur accueil chaleureux, et surtout de m'avoir donné accès aux différents rapports notamment, l'étude de l'impact de la houle

sur la sédimentologie de la baie d'Alger (mission 3), et le Synoptic Meteorological observations mediterranean marine areas (Volume 3).

J'exprime toute ma gratitude aux membres du jury d'avoir bien voulu accepter d'évaluer ce travail. Mme KAOUA en qualité de présidente du jury et les examinateurs ; Mme DJELLATA, Mr AOUISSI et Mr DIAFAT de l'université de Sétif 1.

Enfin je voudrais témoigner ici toute ma gratitude et ma reconnaissance envers mes chers parents et mon époux. Un énorme merci pour votre soutien et vos encouragements, et pour finir merci d'avoir parcouru ce bout de chemin avec moi.

## TABLES DES MATIERES

<b>RESUME.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>VI</b>
<b>TABLES DES MATIERES.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>XX</b>
CHAPITRE INTRODUCTIF .....	1
I.- INTRODUCTION GENERALE.....	1
II.- PROBLEMATIQUE GENERALE.....	5
III.- PROBLEMATIQUE SPECIFIQUE.....	10
IV.- OBJECTIF DE LA RECHERCHE.....	12
V.- HYPOTHESES.....	12
VI.-STRUCTURATION ET METHODOLOGIE DE LA THESE.....	13
PREMIERE PARTIE : PARTIE THEORIQUE.....	16
1.- INTRODUCTION.....	16
<b>CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE.....</b>	<b>18</b>
1.- INTRODUCTION.....	18
2.- DEFINITION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	19
2.1.- LES CAUSES NATURELLES ET ANTHROPIQUES A L'ORIGINE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE..	20
2.2.- LES CAUSES NATURELLES DES VARIATIONS DU CLIMAT DE LA TERRE.....	21
2.2.1.- Activité solaire.....	21
2.2.2.- Activité volcanique.....	21
2.2.3.- L'oscillation Nord-Atlantique (NAO).....	21
2.2.4.- Circulation thermohaline.....	22
2.2.5.- L'effet de serre.....	22
2.2.5.1.- Effet de serre naturel.....	22
2.2.5.2.- Effet de serre anthropique.....	23
2.3.- LES CAUSES NATURELLES ET ANTHROPIQUES DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	23
2.3.1.- ACTIVITES HUMAINES ET CLIMATIQUES.....	24
2.3.2.- CONCENTRATION ATMOSPHERIQUE EN GAZ A EFFET DE SERRE.....	26
2.4.- LES SCENARIOS D'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE DU GIEC.....	27
3.- LES RAPPORTS D'EVALUATION DU GIEC.....	30
3.1.- ORDRES CHRONOLOGIQUE DU GIEC.....	31
3.1.1.- PREMIER RAPPORT DE 1990.....	35

3.1.2.- DEUXIEME RAPPORT DE 1995.....	36
3.1.3.- TROISIEME RAPPORT DE 2001 .....	36
3.1.4.- QUATRIEME RAPPORT DE 2007 .....	37
3.1.5.- CINQUIEME RAPPORT DE 2013 .....	37
3.1.6.- SIXIEME RAPPORT DE 2022 .....	37
4.- IMPACT DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE .....	38
5.- ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER : CAUSE ET CONSEQUENCES.....	41
5.1.- LES TENDANCES DU NIVEAU DE LA MER.....	42
5.2.- FLUCTUATION DU NIVEAU DE LA MER AU COURS DES TEMPS GEOLOGIQUE .....	42
5.3.- LES VARIATIONS DES NIVEAUX DE LA MER AU COURS DU 21 <sup>EME</sup> SIECLE.....	44
5.4.- IMPACT THEORIQUE DE L'ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER SUR LA DYNAMIQUE COTIERE.....	46
5.5.- MOYENS DE MESURES ET D'OBSERVATION DU NIVEAU MARIN .....	47
5.5.1.- Les marégraphes.....	48
5.5.2.- Les satellites altimètres .....	49
6.- LES PRINCIPAUX FACTEURS DES VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER.....	49
6.1.- Dilatation thermique .....	52
6.2.- Fonte des glaces continentale .....	52
7.- LES CONSEQUENCES PREVISIBLES DE LA REMONTEE DU NIVEAU MARIN .....	53
8.- SYNTHESE.....	55
CHPITRE 2 : LE LITTORAL ALGEROIS, CONTEXTE LEGISLATIF, GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE.....	57
1.- INTRODUCTION .....	57
2.- LA SITUATION ENVIRONNEMENTALE EN ALGERIE .....	59
3.- CONVENTIONS ET ACCORDS RELATIFS A LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT RATIFIES PAR L'ALGERIE.....	60
4.- LA ZONE COTIERE ALGEROISE SOUMISE A DE MULTIPLES RISQUES NATURELS	62
5.- LE LITTORAL ALGEROIS ET L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER.....	63
6.- LES EVENEMENTS HISTORIQUES CONFIRMANT L'EXPOSITION DU LITTORAL ALGEROIS AUX ONDES DE TEMPETES ET DE SUBMERSION MARINE.....	65
7.- CADRE LEGISLATIF DE LA PROTECTION DU LITTORAL.....	68
7.1.- Limites du cadre législatif.....	70
8.- Cadre climatique en Algérie .....	71
8.1.- Caractéristiques du climat.....	72
8.2.- Caractéristiques des précipitations.....	73
8.3.- Caractéristiques des températures.....	74
8.4.- LE CLIMAT EN ALGERIE.....	75
8.5.- LES GRANDS TRAITES DU CLIMAT D'ALGER .....	76
8.6.- Les scénarios climatiques pour Alger en 2030 .....	76
9.- PRESENTATION DE L'IMPORTANCE D'ALGER .....	79
9.1.- Présentation de la baie d'Alger .....	80

9.2.- HYDROLOGIE D'ALGER .....	81
9.3.- MORPHOLOGIE DU LITTORAL ALGEROIS .....	82
9.4.- POPULATION COTIERE DE LA BAIE D'ALGER.....	82
9.5.- JUSTIFICATION DU CHOIX DU CAS D'ETUDE .....	83
10.- SYNTHESE.....	84
<b>CHAPITRE 3 : L'AMENAGEMENT DE LA BAIE D'ALGER ET PROJETS STRUCTURANTS A L'HORIZON 2030 .....</b>	<b>86</b>
1.- INTRODUCTION .....	86
2.- STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT D'ALGER.....	89
2.1.- LE CINQUANTENAIRE DE L'INDEPENDANCE : L'ETAPE DE L'EMBELLISSMENT 2009/2014....	89
2.2.- Les piscines de Bab-El-Oued ; protection de manière définitive Bab-El-Oued des inondations .....	90
2.3.- La requalification du port d'Alger .....	90
2.3.1.- Les orientations concernant le port d'Alger.....	91
2.3.2.- La promenade de l'indépendance .....	93
2.3.3.- La réhabilitation du centre historique .....	94
2.3.4.- Les interventions: square Port-Saïd, les promenades et les boulevards.....	94
2.4.- 2015   2019 LE GRAND EVENEMENT INTERNATIONAL : L'ETAPE DE L'AMENAGEMENT DE LA BAIE .....	95
2.4.1.- L'aménagement de la baie d'Alger .....	95
2.4.2.- La reconquête de certaines friches industrielles .....	97
2.4.3.- La réalisation du nouveau port en eau profonde .....	97
3.- LES PROJETS STRUCTURANTS.....	100
3.1.- PORT D'ALGER ; RECONVERSION ET REAMENAGEMENT .....	100
3.2.- FRONT DE MER HUSSEIN-DEY .....	101
3.3.- PISCINE DE BEO.....	103
3.4.- Promenade de l'Indépendance/Mediterraneum (aquarium).....	104
3.5.- Promenade de la Mémoire/ Square Port Saïd. ....	106
3.6.- La place des martyres .....	108
3.7.- LES TERRASSES DU PORT.....	108
3.8.- Promenade de la Grande Poste .....	110
3.9.- LES AUTRES PROMENADES .....	111
3.10.- L'OPERA D'ALGER .....	113
3.11.- LE PALAIS DES SPORTS .....	113
3.12.- CASBAH ; SAUVEGARDE ET VALORISATION .....	113
4.- SYNTHESE.....	114
5.-conclusion .....	117
<b>DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE .....</b>	<b>118</b>
1.-Introduction.....	118
<b>CHAPITRE 4 : ETAT DE L'ART SUR LA SUBMERSION MARINE .....</b>	<b>119</b>
1.- INTRODUCTION .....	119
2.- DEFINITION DE QUELQUES ELEMENTS.....	120

2.1.- Le risque .....	120
2.2.- L'aléa .....	120
2.3.- Probabilité d'occurrence spatiale.....	120
2.4.- La probabilité d'occurrence temporelle .....	121
2.5.- L'intensité .....	121
2.6.- Les éléments exposés.....	121
2.7.- Vulnérabilité .....	121
2.8.- Les inondations .....	121
2.9.- ALEA SUBMERSION MARINE .....	122
2.10.- LES ALEAS ASSOCIES A LA SUBMERSION MARINE .....	124
2.10.1- LES DEPRESSIONS ATMOSPHERIQUES POUVANT CONDUIRE A UNE SUBMERSION MARINE.....	124
2.10.2.- Les tempêtes de latitudes moyennes .....	124
2.10.3.- Les cyclones .....	124
3.- LES DIFFERENTS PROCESSUS DE SUBMERSION MARINE .....	125
3.1.- LES PHENOMENES D'INONDATION PAR FRANCHISSEMENT .....	125
3.2.- LES PHENOMENES D'INONDATIONS PAR DEBORDEMENT .....	126
3.3.- LES PHENOMENES D'INONDATION PAR RUPTURE .....	127
4.- PROCESSUS HYDRODYNAMIQUES A L'ORIGINE DE LA SUBMERSION MARINE ..	129
4.1.- LA SURCOTE .....	129
4.2.- LA SURCOTE ATMOSPHERIQUE.....	130
4.3.- LA SURCOTE LIEE AUX VAGUES .....	130
4.4.- PHENOMENE DE JET DE RIVE .....	130
4.5.- ESTIMATION DE LA SURCOTE D'INONDATION .....	131
4.6.- SYNTHESE PARTIELLE.....	132
5.- LES FACTEURS ET CONSEQUENCES POTENTIELLE DE LA SUBMERSION MARINE SUR LES COTES .....	132
5.1- LES IMPACTS DE LA SUBMERSION MARINE SUR LA VIE ET LA SANTE HUMAINE .....	133
5.2- IMPACTS DE LA SUBMERSION MARINE SUR LES BIENS, ACTIVITES, PATRIMOINE ET L'ENVIRONNEMENT .....	134
5.2.1.- Dommages aux bâtiments et aux biens .....	135
5.2.2.- Dommages aux activités.....	135
5.2.3.- Dommages aux patrimoines naturel et culturel .....	136
6.- LA GESTION DES RISQUES DE SUBMERSION MARINE .....	136
7.- MODELES D'EVALUATION DES TERRES A RISQUE D'INONDATION .....	138
8.- EVALUATION DES TERRES A RISQUE D'INONDATION POUR ALGER .....	141
8.1.- CAS D'ETUDE : LA BAIE D'ALGER .....	144
8.2.- METHODOLOGIE D'UNE ETUDE PROSPECTIVE ET SES DONNEES .....	145
8.3.- CHOIX D'UNE METHODE D'EVALUATION.....	146
8.4.- DETERMINATION DU NIVEAU D'INONDATION.....	147
8.5.- Scénarios d'élévation du niveau de la mer .....	148
8.6.- Caractéristique de la vague à la côte Ain-Benian - Port d'Alger .....	149

8.6.1- Pour la zone d'étude 1 ; la baie d'Alger.....	149
8.6.2- Surcharges liées à la pression atmosphérique : effet barométrique inverse.....	150
8.6.3.- Évaluation de l'élévation du niveau de la mer sur les zones d'étude.....	151
8.6.4.- DONNEES D'ELEVATION .....	151
8.6.4.1.- DEFINITION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN .....	152
8.6.4.2.- Modèle numérique de terrain de la zone d'étude.....	154
9.- PRESENTATION DU LOGICIEL SIG .....	155
9.1.- Les formats supportés par QGIS .....	156
9.2.- Structuration des couches des données SIG .....	157
9.3.- Choix du système de coordonnées référence (SCR) .....	158
9.4.- LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES.....	158
9.5.- CARTOGRAPHIE DU RISQUE.....	159
10.- RESULTATS.....	160
10.1.- ZONES D'INONDATION EN FONCTION DES SCENARIOS D'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER .....	160
10.2.- ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA MONTEE DES EAUX .....	161
10.2.1- La superficie des zones inondables en fonction des différents scénarios pour 2030/2100.....	161
10.2.2- Détermination des impacts (étendue des inondations et des projets structurels affectés) à l'élévation du niveau de la mer en 2030.....	164
10.2.3- Détermination les impacts (étendue des inondations et des projets structurels affectés) à l'élévation du niveau de la mer en 2100.....	165
10.3-DISCUSSION DES RESULTATS DE CETTE ETUDE.....	167
11.- SYNTHESE.....	172
CHAPITRE 5 : ANALYSE STRUCTURELLE.....	174
1.- INTRODUCTION .....	174
2.- LES ORIGINES DE LA PROSPECTIVE ET LA FUTUROLOGIE.....	174
2.1.- L'ÉVOLUTION DE LA DÉFINITION DE LA PROSPECTIVE.....	175
2.2.- L'IMPORTANCE DE LA PROSPECTIVE URBAINE POUR LA VILLE DU 21 <sup>ÈME</sup> SIÈCLE.....	176
3.- L'ANALYSE STRUCTURELLE .....	177
3.1- ORIGINES ET OBJECTIFS DE L'ANALYSE STRUCTURELLE « LA METHODE MICMAC ; MATRICE D'IMPACT CROISEE MULTIPLICATION APPLIQUES A UN CROISEMENT ».....	178
3.2. - Recensement des variables .....	178
3.3.- Le repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle .....	179
3.3.1- Description des relations entre variables .....	179
3.3.2- Le remplissage de la matrice peut se faire de deux manières .....	179
3.3.3- Stabilité de la matrice .....	180
4.- La recherche des variables clés par la méthode MICMAC .....	180
4.1.-CLASSEMENT DES CRITERES.....	182
4.1.1.- INTERPRETATION DES VARIABLES .....	182
5.- UTILITE ET LIMITE DE L'ANALYSE STRUCTURELLE .....	183

6.-la vulnérabilité concept fondamentale d'évaluation des risques naturels .....	184
6.1.-LES MODELES « PRATIQUES » DE VULNERABILITE.....	186
6.1.1.- Modèle de vulnérabilité de la métropole Parisienne .....	186
6.1.2.- Modèle de vulnérabilité des Etablissements Recevant du Public (ERP).....	188
7.- APPLICATION DE LA PROSPECTIVE (MICMAC) SUR LE CAS D'ETUDE .....	190
7.1.- FACTEURS ET CRITERES DE VULNERABILITE .....	190
7.2.- REALISATION DE LA MATRICE MICMAC.....	193
7.3.- Caractéristique de la matrice Micmac.....	193
8.- RESULTATS.....	194
8.1.- CONSTRUCTION ET ANALYSE DU PLAN INFLUENCE/DEPENDANCE.....	194
8.2.- REPERAGE DES RELATIONS ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	196
8.3.- INTERPRETATION DES RESULTATS .....	199
8.4.- LES DIFFERENTS TYPES DE VARIABLE SUR LE PLAN D'INFLUENCE ET DE DEPENDANCE.....	201
9.- SYNTHESE DE L'ANALYSE STRUCTURELLE.....	202
<b>CHAPITRE 6 : STRATEGIE D'ADAPTATION DES VILLE COTIERE FACE LA MONTEE DES EAUX.....</b>	<b>206</b>
1.- INTRODUCTION .....	206
2.- PROBLEMATIQUES DES VILLES COTIERES .....	207
2.1- LE PHENOMENE DE WATERFRONT .....	208
2.1.1.- LES NOUVELLES EXPERIENCES DE WATERFRONT.....	209
2.1.2.- ADAPTATION DES VILLES COTIERES AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUES.....	211
2.1.2.1- L'ADAPTATION DE LA VILLE DE NEW YORK.....	212
2.1.2.1.1- Projet the Big U ou the Dry Line de New York .....	213
2.1.2.1.2- Description du projet .....	214
2.1.2.1.3- Synthèse partielle .....	218
2.1.2.2- LE PROJET DE BOSTON (ETATS- UNIS) .....	218
2.1.2.2.1- Mesures de résilience côtière pour l'est de boston.....	220
2.1.2.2.2- Schématisation des mesures adaptées.....	222
2.1.2.3.- L'EXEMPLE DE HAMBOURGE EN ALLEMAGNE : LA VILLE INONDABLE.....	225
2.1.3.- STRATEGIES A ADOPTER FACE AU RISQUE DE SUBMERSION MARINE .....	229
2.1.3.1- LES CINQ GRANDS TYPES DE REPONSES FACE A L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER .....	230
2.1.3.2- Protection des enjeux par l'action sur l'aléa.....	233
2.1.3.3- Prévention du risque par l'action sur les enjeux.....	235
2.1.3.3.1- Action sur les constructions .....	235
2.1.3.3.2- Actions complémentaires .....	237
3.- Synthèse.....	239

4.-VERS UNE PROPOSITION DE MESURES D'ADAPTATION D'ALGER FACE A L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER A L'HORIZON 2030/2100 .....	241
5.- conclusion .....	246
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>247</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>255</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>257</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>I</b>

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: DEGATS CAUSES PAR LES VAGUES DE TEMPETE OBSERVES. SOURCE: AMROUCHE ET AL. (2020).....	5
FIGURE 2: LES EQUIPEMENTS STRUCTURANTS EN BORD DE MER DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE (PDAU, 2016). .....	7
FIGURE 3: L'AMENAGEMENT DE LA BAIE D'ALGER EN FORME DE COLLIER DE PERLE. SOURCE: (GAOUA ET MANSOUR, 2019). .....	8
FIGURE 4: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES FACTEURS HUMAINS DE L'EVOLUTION DU CLIMAT, DES EFFETS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES REPONSES APORTEES. SOURCE : GIEC, 2007, P.26 .....	25
FIGURE 5: MOYENNES MONDIALES DES CONCENTRATIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE. SOURCE: GIEC, 2014.....	26
FIGURE 6: LA CONTRIBUTION DU GIEC A LA SCIENCE. SOURCE : <a href="https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_FR.pdf">HTTPS://WWW.IPCC.CH/SITE/ASSETS/UPLOADS/2020/05/2020-AC6_FR.PDF</a> .....	35
FIGURE 7: L'ELEVATION MOYENNE MONDIALE DU NIVEAU DE LA MER OBSERVEE ET PROJETEE ET LES CONTRIBUTIONS DE SES PRINCIPAUX CONSTITUANTS. SOURCE: GIEC, 2019, P.1319 .....	46
FIGURE 8: IMPACTS ATTENDUS DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR DIVERS TYPES DE COTE. SOURCE: AUTEUR MODIFIE SUR LA BASE DE COASTA ET AL. (2013). .....	47
FIGURE 9: LES PRINCIPAUX FACTEURS CONTRIBUANT A LA VARIATION DU NIVEAU DE LA MER. SOURCE : CAZENAVE AND LE COZANNET., 2014. IN <a href="http://dx.doi.org/10.1002/2013EF000188">HTTP://DX.DOI.ORG/10.1002/2013EF000188</a> . .....	51
FIGURE 10: LES DIFFERENTS IMPACTS EN RELATION AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE. SOURCE: LALAOUI. (2014) .....	55
FIGURE 11: PRESENCE DE STRUCTURE DE PROTECTION DANS LA BAIE D'ALGER. SOURCE: RABEHI. (2018). .....	59
FIGURE 12: SIMULATION DE LA SUBMERSION MARINE POUR LA PARTIE OUEST DE LA BAIE D'ALGER. AUTEUR SUR LA BASE DE LA SIMULATION FAITE PAR AOUISSI. (2019). SOURCE : <a href="https://www.floodmap.net/?LL=20,-10&amp;Z=3&amp;E=397">HTTPS://WWW.FLOODMAP.NET/?LL=20,-10&amp;Z=3&amp;E=397</a> .....	65
FIGURE 13: LES DEGATS DES EVENEMENTS DE VAGUES DE TEMPETES OBSERVES AU COURS DES DEUX DERNIERES DECENNIES. SOURCE: AMROUCHE ET AL. (2020).....	67
FIGURE 14: ETAGES BIOCLIMATIQUE DE L'ALGERIE. SOURCE: AGENCE NATIONALE D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE (ANAT).....	73
FIGURE 15: CARTE PLUVIOMETRIQUE DU NORD DE L'ALGERIE (1990-2010). SOURCE: MAHMOUD. M, 2012. ONM IN <a href="http://www.climasouth.eu/docs/presentationonm-algerie-lotfi-halimi.pdf">HTTP://WWW.CLIMASOUTH.EU/DOCS/PRESENTATIONONM-ALGERIE-LOTFI-HALIMI.PDF</a> .....	74
FIGURE 16: PROJECTIONS DE TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE. REFERENCE MODELE 1961-1990 EN VERT, FOURCHETTE D'INCERTITUDE DE L'ECART ENTRE L'HORIZON 2030 ET LA PERIODE DE REFERENCE EN NOIR. EGIS-EAU ET AL., 2013 .....	77
FIGURE 17: FIGURE 18: PROJECTIONS A L'HORIZON 2030 POUR LE CUMUL ANNUEL MOYEN DE PRECIPITATIONS. REFERENCE MODELE 1961-1990 EN VERT, FOURCHETTE D'INCERTITUDE DE L'ECART (EN %) ENTRE L'HORIZON 2030 ET LA PERIODE DE REFERENCE EN NOIR. EGIS-EAU ET AL., 2013 .....	78
FIGURE 18: RELIEF DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE: RABEHI. (2018).....	79
FIGURE 19: COMMUNES COTIERES DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE RABEHI. (2018). .....	80
FIGURE 20: HYDROLOGIE D'ALGER. SOURCE: RABEHI. (2018).....	82
FIGURE 21: DENSITE DES COMMUNES COTIERE DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE: RABEHI, 2018 SUR LA BASE DES DONNEES STATISTIQUES BERRAH. (2015). .....	83

FIGURE 22: L'AMENAGEMENT DE LA BAIE QUI ILLUSTRE LE PRINCIPE DE COLLIER DE PERLE. SOURCE : (GAOUA ET MANSOUR, 2019).....	88
FIGURE 23: AMENAGEMENT DE LA PROMENADE COTE SABLETTE DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE : GAOUA ET MANSOUR. (2019).....	89
FIGURE 24: PLAN GLOBAL DU REAMENAGEMENT DU PORT. SOURCE : (AGAM, 2013, P.61)....	91
FIGURE 25: L'AMENAGEMENT DE LA PREMIERE SEQUENCE DES TERRASSES DU PORT D'ALGER. SOURCE : PDAU. (2016).....	92
FIGURE 26: AMENAGEMENT DE LA DEUXIEME SEQUENCE DU MOLE HMAMINE AU MOLE BOLOGHINE. SOURCE : TAHIR. (2012).....	93
FIGURE 27: LA PROMENADE DE L'INDEPENDANCE. SOURCE : PDAU. (2016).....	94
FIGURE 28: LES DIFFERENTES SEQUENCES D'AMENAGEMENT DE LA BAIE D'ALGER EN COLLIER. SOURCE: AZZAG. (2016).....	96
FIGURE 29: PLAN D'AMENAGEMENT DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE: URBAB BLIDA.....	96
FIGURE 30: EMISSIONS DE NOX D'UN JOUR OUVRABLE DU MOIS DE MARS 2006 DANS LA REGION DU GRAND ALGER. SOURCE: RAHAL. (2015). ....	98
FIGURE 31: SCHEMA REPRESENTANT UNE PARTIE DES RISQUES TECHNOLOGIQUES DE LA VILLE D'ALGER. SOURCE: PDAU. (2011).....	99
FIGURE 32: L'ENSEMBLE DU TRAFIC JOURNALIER DU MOIS DE MARS 2006 DANS LA REGION DU GRAND ALGER. SOURCE : RAHAL. (2015) .....	99
FIGURE 33: LE NOUVEAU PORT D'EL HAMDANIA A EAU PROFONDE. SOURCE: <a href="https://www.aps.dz/economie/118361-port-d-el-hamdania">HTTPS://WWW.APS.DZ/ECONOMIE/118361-PORT-D-EL-HAMDANIA</a> .....	100
FIGURE 34: VUE SUR L'AMENAGEMENT DES TERRASSES DU PORT D'ALGER. SOURCE : PDAU. (2016).....	101
FIGURE 35: AMENAGEMENT DU FRONT DE MER HUSSEIN-DEY. SOURCE: VIE DE VILLES HORS-SERIE N°03 (JUILLET 2012).....	102
FIGURE 36: PLAN D'AMENAGEMENT D'OUED EL HARRACH. SOURCE : AZZAG. (2016).....	103
FIGURE 37: VUE AERIENNE SUR LE PROJET DE BAB EL OUED. SOURCE : ARTE CHARPENTIER IN VIES DE VILLES, N° 3 HS. (2012). ....	104
FIGURE 38: VUE EN HAUTEUR SUR LA PROMENADE DE L'INDEPENDANCE. SOURCE: PDAU. (2016).....	105
FIGURE 39: VUE EN PLAN DE LA PROMENADE DE L'INDEPENDANCE. SOURCE : PDAU. (2016) .....	106
FIGURE 40: AMENAGEMENT DU SQUARE PORT SAÏD. SOURCE : PDAU. (2016).....	107
FIGURE 41: VUE SUR LES DIFFERENTS AMENAGEMENTS DES TERRASSES DU PORT D'ALGER. SOURCE <a href="https://www.cap-architectes.com/essential_grid/les-voutes-dalger-place-des-martyrs-16-alger/">HTTPS://WWW.CAP-ARCHITECTES.COM/ESSENTIAL_GRID/LES-VOUTES-DALGER-PLACE-DES-MARTYRS-16-ALGER/</a> .....	110
FIGURE 42: PROMENADE DE LA GRANDE POSTE. SOURCE : PDAU. (2016).....	111
FIGURE 43: PLAN GENERALE DES INTERVENTIONS AU CENTRE HISTORIQUE. SOURCE : PDAU (2016).....	112
FIGURE 44: VUE EN PLAN DES SEQUENCES ET PROMENADE. SOURCE : PDAU. (2016).....	112
FIGURE 45: ALEA SUBMERSION MARINE A L'HORIZON 2030 LE LONG DU RIVAGE DE LA BAIE D'ALGER. SOURCE : EGIS BRGM IAU-IDF, 2013. ....	116
FIGURE 46: LES COMPOSANTS DU RISQUE, ALEAS ET ENJEUX. SOURCE: <a href="https://www.sdea.fr/index.php/fr/l-eau/les-inondations/les-risques-d-inondations">HTTPS://WWW.SDEA.FR/INDEX.PHP/FR/L-EAU/LES-INONDATIONS/LES-RISQUES-D-INONDATIONS</a> .....	120
FIGURE 47: SUBMERSION PAR RUPTURE DU CORDON DUNAIRE A MONTMARTIN-SUR-MER (A GAUCHE) ET PROJECTIONS DE GALETS ASSOCIES A DES SUBMERSIONS PAR FRANCHISSEMENT A CALVADOS. SOURCE : F. LEVOY IN GARRY ET AL. (1997). ....	123
FIGURE 48: SCHEMAS DES DIFFERENTS MODES DE SUBMERSION MARINE. SOURCE: (CARIOLET, 2011) .....	125

FIGURE 49: PHENOMENE DE FRANCHISSEMENT D'UN OUVRAGE DE PROTECTION DE LA NOUVELLE ZERLANDE, 1972. SOURCE: (CARIOLET, 2011).....	126
FIGURE 50: ILLUSTRATION D'UNE SUBMERSION PAR DEBORDEMENT PENDANT LE CYCLONE KATRINA DANS LE GOLFE DU MEXIQUE AUX USA. CREDIT PHOTO : NOAA. SOURCE : IN (BREILH, 2004, P.14) .....	127
FIGURE 51: PHENOMENE DE SUBMERSION PAR RUPTURE D'UN OUVRAGE DE PROTECTION SUITE A LA TEMPETE XYNTHIA. SOURCE: (BREILH, 2014).....	128
FIGURE 52: ILLUSTRATION DES PHENOMENES DE RUPTURE DE CORDON DUNAIRE A GAUCHE (LAGUNE DE LA BELLE-HENRIETTE A LA FAUTE-SUR-MER EN VENDEE, PHOTO © BRGM) ET D'ARASEMENT DE CORDON DUNAIRE PROVOQUE PAR DEBORDEMENT A DROITE - RESERVE NATURELLE DU MARAIS D'YVES EN CHAR.....	128
FIGURE 53: EXEMPLE DE CHRONOLOGIE POSSIBLE EN CAS DE SUBMERSION MARINE (FRANCHISSEMENT PAR PAQUET DE MER/DEBORDEMENT/DEGRADATION. SOURCE : BRGM IN LE CLIMAT DE LA FRANCE AU XXIE SIECLE. VOLUME 5 .....	129
FIGURE 54: SCHEMA DES FACTEURS A L'ORIGINE DE LA DEFORMATION DU PLAN D'EAU A LA COTE. SOURCE: YATES-MICHELIN ET AL. (2011). RAPPORT FINAL BRGM/RP 59405-FR, 145P., 32 TAB, 57 FIG., 5 ANNEXES.....	130
FIGURE 55: PHENOMENE DE SUBMERSION MARINE (MERCIER ET AL., 2013, D'APRES STEPHAN, 2011). .....	131
FIGURE 56: HAUTEUR D'EAU ET VITESSE DU COUREAU LIMITE POUR LES USAGERS. SOURCE: (CEPRI, 2016).....	133
FIGURE 57: METHODE DE CARTOGRAPHIE DES ZONES SUBMERSIBLES RELATIVE A LA CIRCULAIRE DU 27/07/2011. SOURCE : (MERCIER ET AL ., 2013).....	138
FIGURE 58: DOMAINES D'APPLICATION ET MODELES D'APPLICATION SELON LA LOCALISATION. SOURCE: DEGUENON ET AL., 2022 .....	140
FIGURE 59: LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE. SOURCE : AUTEUR SUR LA BASE DE GOOGLE EARTH.....	145
FIGURE 60: PROJECTION DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER POUR LA PERIODE 2080-2100 CONTRE LA PERIODE 1980-2000. SOURCE: SOMOT ET AL. (2016).....	148
FIGURE 61: LES ELEMENTS DISTINGUANT LE MNT DU MNE. SOURCE : AUDA, 2022.....	153
FIGURE 62: LES TIN, GRID ET COURBES DE NIVEAUX. SOURCE : AUDA, 2022.....	153
FIGURE 63: QUELQUES PRODUITS DE MNT EN LIBRE ACCES. SOURCE : AUDA, 2022.....	154
FIGURE 64: MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN MNT 3 M. SOURCE: INCT.....	155
FIGURE 65: MODELE VECTORIEL DE GAUCHE A DROITE: POINT, LIGNE ET POLYGONES. SOURCE: REZAK, (2018) IN WOLFGANG ET AL. (2012) .....	156
FIGURE 66: MODELE RASER POUR UNE CARTE D'OCCUPATION DE SOL DE GAUCHE A DROITE: DELIMITATION DE PIXEL POUR CHAQUE OCCUPATION DE SOL EN TRAIT ROUGE, CARTE FINAL D'OCCUPATION DE SOL. SOURCE : REZAK. (2018). .....	157
FIGURE 67: STRUCTURATION DES DONNEES DES COUCHES DANS LE SIG. SOURCE: AUDA. (2022). .....	157
FIGURE 68: METHODE SUIVIE POUR LA CARTOGRAPHIE DES TERRES A RISQUE D'INONDATION.....	159
FIGURE 69: REPARTITION DES PROJETS STRUCTURANTS D'ALGER. SOURCE: RAPPORT D'ORIENTATION PDAU D'ALGER. (2016). .....	160
FIGURE 70: INONDATION DE LA ZONE D'ETUDE POUR LE SCENARIO 0,2 M .....	161
FIGURE 71: LES ZONES INONDABLES DE LA ZONE D'ETUDE A OCCURRENCE DECENNALE.....	162
FIGURE 72: LES ZONES INONDABLES DE LA ZONE D'ETUDE A OCCURRENCE CENTENNALE. ....	163
FIGURE 73: PROJETS STRUCTURANTS AFFECTES PAR UN SCENARIO D'ELEVATION DE 6 M.....	164
FIGURE 74: PROJETS STRUCTURANTS AFFECTES PAR UN SCENARIO D'ELEVATION DE 8 M.....	165

FIGURE 75: LA DIGUE DU PORT DE BEJAIA FRACTURE PAR LA HOULE EN 2013. SOURCE: HTTPS://WWW.ALGERIE360.COM/LA-DIGUE-DE-PROTECTION-DU-PORT-DE-PECHE-DE- TALA-ILEF-BEJAIA-FRACTUREE-PAR-LA-HOULE/ .....	170
FIGURE 76: CLASSEMENT DES CRITERES. SOURCE: (GODET M, 2007). .....	182
FIGURE 77: LA VULNERABILITE SYSTEMIQUE A UN MOMENT T. SOURCE MEUR-FEREC ET AL., 2020, ADAPTE DE MEUR-FEREC ET AL., 2008 .....	185
FIGURE 78: DOMMAGES MATERIELS, STRUCTURELS, FONCTIONNELS. SOURCE : (REGHEZZA, 2006). .....	187
FIGURE 79: VULNERABILITE MATERIELLE, FONCTIONNELLE ET ORGANISATIONNELLE. SOURCE : REGHEZZA, 2006).....	187
FIGURE 80: PLAN D'INFLUENCE / DEPENDANCE DIRECTES. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LOGICIEL .....	194
FIGURE 81: PLAN D'INFLUENCE/ DEPENDANCE INDIRECTES. / SOURCE: AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LOGICIEL. ....	195
FIGURE 82: PLAN D'INFLUENCE / DEPENDANCE DIRECTES POTENTIELLES. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LE LOGICIEL.....	196
FIGURE 83: PLAN D'INFLUENCE / DEPENDANCE INDIRECTES POTENTIELLES. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LE LOGICIEL.....	196
FIGURE 84: GRAPHE DES INFLUENCES DIRECTES. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LOGICIEL .....	197
FIGURE 85: GRAPHE DES INFLUENCES INDIRECTES. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LOGICIEL .....	198
FIGURE 86: CLASSEMENT DES VARIABLES SUIVANT MATRICE D'INFLUENCE DIRECTE / MATRICE D'INFLUENCE INDIRECTE / MATRICE D'INFLUENCE INDIRECTE POTENTIELLE. / SOURCE : AUTEUR AVEC APPLICATION SUR LOGICIEL.....	199
FIGURE 87: LA PREMIERE PHASE D'AMENAGEMENT DU BROOKLYN BRIDGE PARK. SOURCE: GRAS, 2011 IN GRAS. (2014).....	211
FIGURE 88: PLAN DES PROJETS SELECTIONNES DU CONCOURS REBUILD BY DESIGN. SOURCE: DANTICIKANE. (2018).....	213
FIGURE 89: DRY LINE DE NEW YORK. SOURCE: BIG U 2015 .....	214
FIGURE 90: FONCTIONNEMENT DES MURS ANTI-INONDATION DEPLOYABLES EN TEMPS NORMAL ET EN INONDATION. SOURCE: GRANNIS ET AL. (2016). REBUILDING WITH RESILIENCE.....	216
FIGURE 91: LE DEPLOIEMENT D'INFRASTRUCTURES VERTES DANS L'ENSEMBLE DES CAMPUS DE LOGEMENTS PUBLICS AFIN DE GERER LES EAUX PLUVIALES ET DE REDUIRE LES RISQUES D'INONDATION. SOURCE : GRANNIS ET AL. (2016).....	217
FIGURE 92: IMPACT POTENTIEL DES INONDATIONS ATTENDU DANS EST BOSTON, LES FLECHES MONTRENT LES POINTS D'ENTREE DE LA MER POUR LE NIVEAU D'INONDATION EN 2030 ET EN 2070. SOURCE: RAPPORT FINAL, 2017. COASTAL RESILIENCE SOLUTIONS FOR EAST BOSTON AND CHARLESTOWN.....	219
FIGURE 93: SYSTEME DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS COTIERES INTEGRE DANS UN NOUVEAU RESEAU D'ESPACES OUVERTS BOSTON EAST. SOURCE: WALSH. (2017). FINAL REPORT. COASTAL RESILIENCE SOLUTIONS FOR EAST BOSTONAND.....	220
FIGURE 94: MESURES DE RESILIENCE COTIERE PROPOSEE POUR BOSTON EST. SOURCE: IN COASTAL RESILIENCES SOLUTIONS FOR EAST BOSTON AND CHARLESTOWN (PHASE 2), 2022 .....	221
FIGURE 95: ELEVATION DE LA PROMENADE PORTUAIRE ET DU PARC A GAUCHE ET ELEVATION DES DUNES ET BERMES A DROITE. SOURCE: IN COASTAL RESILIENCES SOLUTIONS FOR EAST BOSTON AND CHARLESTOWN (PHASE 2), 2022 .....	222

FIGURE 96: MURS VERTICAUX ANTI-INONDATION, ELEVATION DES ROUTES, ET SOLUTIONS NATURELLE (DE GAUCHE A DROITE). SOURCE: IN COASTAL RESILIENCES SOLUTIONS FOR EAST BOSTON AND CHARLESTOWN (PHASE 2), 2022 .....	223
FIGURE 97: BARRIERES D'INONDATION DEPLOYABLES, STRUCTURES ADAPTES, RETRAIT STRATEGIQUE (DE GAUCHE A DROITE). SOURCE: IN COASTAL RESILIENCES SOLUTIONS FOR EAST BOSTON AND CHARLESTOWN (PHASE 2), 2022 .....	224
FIGURE 98: LES 13 VOILETS DU PLAN CLIMAT HAMBOURGEOIS. SOURCE : BOGDANOFF ET AL. (2021).....	226
FIGURE 99: MODELISATION 3D DE LA PROPOSITION D'AMENAGEMENT DE HAFENCITY HAMBOURG. SOURCE : MICHAEL KOROL, AIVP.....	227
FIGURE 100: POSITION DU BATI, DES QUAIS INONDABLES ET DES ESPACES VERTS. SOURCE: BERENTELG. (2018).....	227
FIGURE 101: PRINCIPE DES TERPS ET LE SYSTEME DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS. SOURCE: BERENTELG. (2018). FROM GOOD COTY FORM URBAN TRANSFORMATION.....	228
FIGURE 102: VUE SUR LE QUAI INONDABLE UTILISE COMME PROMENADE EN DEHORS D'EPISODE DE TEMPETE. SOURCE : BERENTELG. (2018).....	228
FIGURE 103: LE CONCEPTS DES TERPS ET SYSTEME DE PROTECTION CONTRE LES HAUTES EAUX SUR HAFENCITY. SOURCE: BERENTELG. (2018).....	228

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: SIMILITUDES DES SCENARIOS SERS/ RCP. SOURCE: CAESAR ET AL., 2013.....	30
TABLEAU 2: LES EVENEMENTS HISTORIQUES CONFIRMANT L'EXPOSITION DU LITTORAL ALGEROIS AUX ONDES DE TEMPETES ET DE SUBMERSION MARINE. SOURCE : LALAOUI. (2014).....	67
TABLEAU 3: LE VOCABULAIRE EN RELATION AVEC LES TERMES INONDATIONS OU SUBMERSION. SOURCE: TOURMENT ET AL. (2019). ....	122
TABLEAU 4: CARACTERISTIQUES DES VAGUES AU LARGE DU LITTORAL ALGEROIS. SOURCE: LEM .....	150
TABLEAU 5: SCENARIOS D'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER A L'HORIZON 2030/2100.....	151
TABLEAU 6: LES TROIS SCENARIOS UTILISES POUR L'ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR LA ZONE D'ETUDE.....	151
TABLEAU 7: SUPERFICIE INONDABLE EN 2030.....	162
TABLEAU 8: SUPERFICIE INONDABLE EN 2100.....	163
TABLEAU 9: POURCENTAGE DES SUPERFICIES INONDABLES POUR LES DEUX HORIZONS. ....	166
TABLEAU 10: LES COMPOSANTES DES CINQ TYPES DE VULNERABILITES URBAINES RETENUS DANS NOTRE RECHERCHE. SOURCE : AUTEUR SUR LA BASE DES TRAVAUX REGHEZZA .(2006) ET CHAUVITEAU, C ET VINET, F. (2006), LALLAOUI. (2014). ....	189
TABLEAU 11: FACTEURS ET CRITERES DE LA MATRICE. SOURCE: AUTEUR .....	191
TABLEAU 12: CARACTERISTIQUES DE LA MATRICE. SOURCE: AUTEUR.....	194
TABLEAU 13: LES QUATRE TYPES DE VARIABLES SELON GODET ET DURANCE. (2008).....	200
TABLEAU 14: CLASSEMENT DES CRITERES SELON LEUR IMPORTANCE DANS LE SYSTEME. ....	203
TABLEAU 15: CLASSEMENT DES MESURES D'ADAPTATION PROPOSES POUR LE CAS D'ETUDE FACE AU RISQUE DE SUBMERSION MARINE (AUTEUR SUR LA BASE DE GARCIN ET AL., 2018 ; MREE-PAP RAC/PAM, 2015 ; EGIS EAU ET AL., 2013). ....	243

## CHAPITRE INTRODUCTIF

### I.- Introduction générale

Les travaux exposés dans cette thèse traitent de l'aléa submersion marine. Les surcotes et submersions marines associées, sont considérées parmi les catastrophes naturelles les plus coûteuses en terme de vie humaine et de dégâts matériels ; cela s'explique en partie par la forte densité de population vivant sur la bande côtière (environ 60 des habitants de la planète vivent dans la grande zone côtière et 3,8 milliards de personnes vivent dans un rayon de près de 150 km du rivage)<sup>1</sup>. Mais encore 13 des 20 plus grandes mégapoles mondiales sont côtières et des dizaines de millions d'habitants vivent sur des territoires vulnérables de faible altitude qui sont directement exposés au risque de submersion marine (Breilh, 2014).

Plusieurs catastrophes naturelles causées par des cyclones où tempêtes illustrent très bien les risques de submersions marines à l'échelle globale, à titre d'exemple les cyclones de Bhola en 1970, Katrina en 2005, Naegis en 2008, Xynthia en 2010, Sandy en 2012 et Haiyan en 2013 (Breilh, 2014 ; André 2013). Etant admis qu'il est prévu une augmentation globale du niveau de la mer et une augmentation de la population en zone côtière dans le futur selon les différentes projections du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), il est donc crucial d'étudier le phénomène de submersions marine dans le but de mieux le comprendre, éventuellement de le prévoir et donc d'en limiter les dégâts.

Ce travail de thèse porte sur l'évaluation du risque de la submersion marine induite par l'élévation accélérée du niveau de la mer sur Alger à l'horizon 2030/2100. En effet, ce choix de cas d'étude se justifie d'une part que c'est la capitale nationale du pays. S'ajoute à cela, cette portion du territoire recevra d'ici 2030 plusieurs projets d'extensions et de rénovations urbaines à caractère culturel, touristiques et de loisirs capables d'augmenter sa vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer.

Cette recherche se base en premier lieu sur les résultats de l'étude « la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger aux impacts du changement climatique. Phase 1 et 2, Mars 2013 », élaboré par Egis-Eau, IAU-IAF, BRGM, en deuxième lieu sur la construction d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de 3 m de résolution afin de cartographier les

---

<sup>1</sup> L'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). In l'observatoire du littoral, démographie et économie du littoral. Dossier réalisé par l'Insee et le soes. Consultable sur <https://www.insee.fr>. 2009.

terres à risque d'inondation, développé par l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection d'Alger). Enfin, cette recherche se base aussi sur les données hydrodynamiques du littoral d'Alger, qui nous ont été accessibles grâce au Laboratoire d'Etude Maritime (LEM) d'Alger, (qui intervient dans les activités liées aux infrastructures portuaires et maritimes) via les données SMMO, volume 3 ; Modélisées grâce au logiciel SIG (QGIS 3.10) en libre accès. L'objectif de cette recherche est d'attirer l'attention des décideurs et des gestionnaires côtiers sur ce phénomène, afin d'envisager des stratégies d'adaptation dans les zones prioritaires à risque à court, moyen et long terme.

Les submersions marines sont dues à l'élévation du niveau de la mer à la côte lors de tempêtes hivernales. Plusieurs événements de submersion marine ont marqué l'histoire dans le monde entier, notamment dans l'océan Indien, où les cyclones de Bhda, frappent le Bangladesh en 1970, Nargis qui s'abattent sur la Birmanie en 2008. Ces événements comptent parmi les catastrophes naturelles les plus meurtrières (de l'ordre de 300 000 et 140 000 victimes). Aux États-Unis, la saison des ouragans cause chaque année d'importants dommages ; en 2005 l'ouragan Katrina, dévasta le Golfe du Mexique, et en particulier la ville de la Nouvelle-Orléans en Louisiane, avec plus de 1300 morts, et environ 125 milliards de dollars de dommages. Plus récemment, l'ouragan de Sandy, le 28 octobre 2012, s'abat sur la côte est des États Unies, et en particulier sur la ville de New York, le bilan était de 150 décès et environ 70 milliards de dollars de dommages (André, 2013).

En Europe, où les tempêtes n'atteignent pas généralement la force des cyclones tropicaux, la submersion marine la plus catastrophique est celle de 1953, qui a causé plus de 1800 morts aux Pays-Bas et des dommages de l'ordre de 6 milliards d'euros. En France, la tempête Lothar survenant quelques jours avant la tempête Martin, baptisée toute les deux comme « les tempêtes de 1990 », sont considérées comme les plus coûteuses, évaluées à 12 milliards d'euros en 2011. Récemment, la tempête Xynthia le 27/02/2010, qui a été particulièrement sévère, est responsable de 64 victimes en Europe, dont 41 par le phénomène de submersion marine (Ibid, 2013). Ces phénomènes naturels dévastateurs doivent être traités en tant que priorité en matière de gestion par les gestionnaires. Chaque retard enregistré en matière de sa prise en compte va coûter des vies humaines et des dégâts matériels considérables.

Diverses études mondiales, régionales et locales ont été menées pour quantifier l'inondation des zones côtières due à l'élévation du niveau de la mer (Kuhn et al, 2011). Ces dernières années, plusieurs auteurs ont traité cette problématique notamment (Al-

Mutairi et al., 2021 ; Chouari,2019 ; El Hage et al., 2011 ; Garcin et al., 2012 ; Hoque et al., 2019 ; Khan et al., 2012 ; Lerma et al, 2015 ; Snoussi et al., 2009, etc).

Un grand nombre de travaux et de recherches urbaines s'intéressent à Alger comme cas d'étude traitant des problématiques allant de l'échelle d'un quartier jusqu'à une échelle métropolitaine mondiale (Aouissi, 2019). Dans le domaine académique plusieurs travaux de recherche récents baignent dans cette thématique d'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière d'Alger face aux aléas naturels, en particulier les travaux des auteurs Chaib et al. (2020) qui ont évalué la vulnérabilité de la baie de Bou Ismail à l'érosion côtière et à la submersion ; Djouder et Boutiba. (2017) ont évalué l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur la baie de Bejaia ; Rabehi et al. (2018) ont évalué l'indice de vulnérabilité côtière (CVI) des communes de la baie d'Alger ; Amrouche et al. (2020), ont évalué les tempêtes le long de la côte d'Alger et de leurs impacts potentiels ; Benchakal. (2021) traite l'impact climatique sur le milieu naturel cas du nord-ouest de l'Algérie, etc.

Malgré l'importance de la ville d'Alger et de son port, rare sont les travaux de recherche qui portent sur le changement climatique et l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur son littoral, étant donné les nombreux enjeux qu'il recevra d'ici l'horizon 2035. Exception faite pour le travail de magistère de Lalaoui. (2014) et l'étude élaborée par Egis, eau et al. (2013), qui a évalué la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels à l'horizon 2030 en particulier l'aléa submersion marine.

Dans cette étude, il est estimé qu'en cas de tempêtes associées à un niveau d'eau élevé, une valeur de +2,34 m est à considérer pour un événement de caractère exceptionnel. Elle prévoit aussi, que les évolutions du haut de la plage dans les zones urbanisées et les habitations situées directement sur la plage le long du littoral sont susceptibles de subir des dommages importants en 2030. La région MENA (Middle East and North Africa), est considérée selon une étude de la Banque Mondiale, comme la deuxième région la plus affectée par la montée du niveau des eaux, étant donné que la moyenne des catastrophes naturelles a triplé dans cette région depuis 1980 (Egis-Eau et al., 2013).

En Algérie, plusieurs tempêtes ont provoqué des catastrophes économiques, matérielles et humaines ; qui ont causé de nombreux dommages aux infrastructures côtières (une érosion côtière importante, des bâtiments côtiers démolis, des falaises déstabilisées, des naufrages (avec morts), ainsi que plusieurs inondations portuaires enregistrées). Les côtes d'Alger, ont été exposées à plusieurs tempêtes dont 6 cas de

tempêtes étendues, 7 cas de tempêtes extrêmes et 3 cas de tempêtes catastrophiques, avec une hauteur significative de 8,13 m au large d'Alger et une persistance de 192 heures. Les plus puissantes sont celles qui proviennent des directions Nord-Ouest et du Nord-est, durant lesquelles, les hauteurs de vagues extrêmes les plus élevées ont été observées (Amrouche et al., 2020).

L'une des tempêtes les plus catastrophiques sur la côte d'Alger est sans doute l'inondation de Bab El Oued, résultante d'une pluie torrentielle qui a persisté quatre jours du 9/11/2001 jusqu'au 13/11/2001, avec une hauteur significative maximale au large supérieure à 8 m. Le bilan était de 781 morts, 155 disparus et 3271 bâtiments détruits et endommagés. La deuxième tempête catastrophique observée sur les côtes d'Alger d'origine Nord-est, avec une hauteur significative de 8 m a persisté cinq jours du 7/03/2007 jusqu'au 12/03/2007 ; l'impact de cette tempête a été observé dans le port de Tipaza où d'importants dégâts matériels ont été enregistrés, notamment la destruction des phares à l'entrée du port, ainsi que l'endommagement de plusieurs bateaux, néanmoins aucune perte humaine n'a été signalée. La troisième et dernière tempête catastrophique, a persisté pendant 8 jours du 29/01/2015 jusqu'au 5/02/2015, avec une hauteur significative maximale de 7,5 m au large du secteur Ouest-Nord-Ouest. Cette dernière est considérée comme la tempête la plus violente enregistrée au cours des 40 dernières années, causant une forte érosion de la plage Surcouf de la baie de Zemmouri, ainsi que la démolition de deux bâtiments et l'endommagement de plusieurs infrastructures côtières, cependant aucune perte humaine n'a été enregistrée.

Plusieurs autres dommages côtiers ont été enregistrés, causés par les vagues de tempête, au cours des deux dernières décennies. La tempête du 14/11/2004 provenant du secteur Nord-Nord-est, avec une hauteur de vague maximale de 7,5 m au large, a été l'origine de l'épave du Cargo Béchar (134,9 m de long), et de l'échouage du Batna (un vrac de 156 m de long). Le Béchar a causé 16 morts du membre de l'équipage, cependant aucune perte humaine n'a été enregistrée pour celle de Batna. La tempête du 9/12/2004, causant la mort de 3 marins algériens et la mort d'un Ukrainien, lors du naufrage du bateau-pilote du port d'Alger, avec une hauteur de vague dépassant les 5 m au niveau de la digue nord du port d'Alger.

La tempête du 14/02/2016, provenant du secteur Ouest, avec une hauteur extrême de 4 m, a conduit à des inondations dans le port et sur la plage El Djamilia, où plusieurs bateaux de pêches ont été endommagés. Récemment, la tempête du 20/03/2018, provenant du secteur Nord-Ouest, a causé d'énormes dégâts dans le port de Tamenfoust ; plusieurs

bateaux de pêche ont été endommagés à l'intérieur du port et plusieurs d'entre eux ont coulés, avec une hauteur estimée à 3 m, voir (figure.1) (Ibid., 2020).



Figure 1: Dégâts causés par les vagues de tempête observés. Source: Amrouche et al. (2020).

Les tempêtes côtières sont considérées parmi les catastrophes naturelles les plus coûteuses. Les dommages causés peuvent affecter l'économie du pays d'une manière considérable compte tenu des coûts élevés de la reconstruction des zones touchées, d'où la nécessité que l'ampleur de ces tempêtes soit anticipée, afin d'entreprendre les mesures nécessaires pour y faire face (André, 2013 ; Akpinar et al., 2017).

## II.- Problématique générale

L'élévation du niveau de la mer considérée comme l'un des impacts du réchauffement climatique, est l'un des phénomènes le plus attendu du 21<sup>ème</sup> siècle. De nombreux scientifiques et travaux du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), ont confirmé l'augmentation des températures atmosphériques de surface. Ils proposent comme facteur explicatif principal l'impact des émissions anthropiques de gaz à effet de serre depuis la révolution industrielle. Cette augmentation de températures atmosphériques induit une élévation du niveau des mers et océans en raison, d'une expansion thermique des eaux (effet stérique), et d'un apport d'eau douce accru résultant de la fonte des glaciers de montagne et des inlandsis.

Ces changements globaux représentent un risque pour les régions littorales puisqu'ils pourraient s'accompagner d'un accroissement de plusieurs aléas côtiers en nombre et en intensité notamment l'érosion côtière et les submersions marines. Même si l'élévation du niveau de la mer est connue de manière précise, les incertitudes quant aux conséquences en termes de submersion, d'érosion et d'intrusion saline dans les aquifères demeurerait importante en raison de la complexité et de l'interaction des processus morpho-dynamiques et géologiques en jeu (Costa et al., 2013). Ce phénomène devient préoccupant en raison de son accélération à l'échelle mondiale, et son taux d'élévation ne cessera d'augmenter durant les siècles à venir, ce qui augmentera les fréquences et la sévérité des tempêtes sur les côtes (Amoura et Dahmani, 2022).

Alger ville millénaire, capitale nationale de l'Algérie indépendante (1962), est métropole portuaire pilier pour le continent méditerranéen. Son emplacement stratégique, ses richesses culturelles et patrimoniales lui attribue un fort succès à travers les différentes époques, mais elle est vite devenue la victime de son propre succès de manière formelle et informelle : croissance démographique, exode rural, urbanisation massive et anarchique, étalement urbain incontrôlé, piétinement sur les terrains agricoles, pollution des sources hydriques, destruction des écosystèmes naturels, implantation des industries en proximité, exposition des zones urbaines aux différents types de risques majeurs, dégradation et vieillissement du cadre bâti, étouffement de la ville, dysfonctionnement de mobilité, démaritimisation, etc. En outre tous les problèmes cités auparavant, ne feront que s'aggraver avec le réchauffement climatique devenu malheureusement une évidence à l'échelle mondiale (Aouissi, 2019 ; Bentchakal, 2021).

La côte d'Alger, représente un écosystème fragile et menacé de dégradation en raison d'une forte concentration de population, d'activités et d'infrastructures importantes. Elle présente de manière récurrente des signes de dégradations (érosion côtière/submersion marine, inondation, risque sismique et tsunami), dont l'évènement le plus marquant est sans doute les inondations de Bab-El-Oued, résultante d'une pluie torrentielle, avec 261,6 mm en seulement 24 h. Le bilan était d'environ 1 millier de morts, ainsi que d'énormes dégâts (Egis-eau et al., 2013 ; Chaib et al., 2020 ; Amrouche et al., 2020 ; Rabehi et al., 2018 ; Otmani et al., 2020).

Plusieurs études ont démontré que le littoral d'Alger connaît un haut degré de vulnérabilité, (Rabehi et al., 2018 ; Amrouche et al., 2020 ; Maouche et al., 2009 ; Lalaoui, 2014 ; Otmani et al., 2019 ; Otmani et al., 2020 ; Larara et al., 2012, Amir et al., 2017, etc.). Sur seulement 150 km de littoral, 70 ouvrages de protections ont été installés

ou sont en cours d'installation afin de contrer la puissance des tempêtes de vagues destructrices (Amrouche et al., 2020). Cette vulnérabilité ne sera pas moins dans les années à venir, notamment à l'horizon 2030, ou Alger prévoit via le plan stratégique de la baie d'Alger horizon (2035), de revitaliser sa ville selon quatre grandes orientations : (1) développement économique, compétitivité et emplois, (2) ouverture sur le monde et l'internationalisation, (3) cohésion territoriale, sociale et habitat, (4) environnement, protection et mise en valeur.

La ville d'Alger prévoit d'accueillir le long de son littoral, des projets d'extensions et de renouvellement urbain à caractère touristique, culturel et de loisir (PDAU, 2016; Nouri et al., 2019). Le projet le plus emblématique est sans doute l'aménagement de la baie d'Alger qui se déploie sur un territoire de pas moins de 50 km de rivage et de 500 m de profondeur ; il s'articule autour de trois principaux axes ; (1) revalorisation de la façade maritime et de l'espace urbain, (2) reconquête des ports, (3) re-naturalisation de la ville. La partie la plus symbolique de cet aménagement est la promenade de la baie d'Alger, qui est aménagée en continue sur l'ensemble du littoral du Cap Caxine à Cap Matifou. Les différents aménagements dont elle disposera seront (les terrasses du port, les bains naturels de Bâb l'oued, etc.). Il convient également de citer l'aménagement d'un gigantesque espace public en bord de la mer ponctué par des équipements structurants (Figure 2), qui offrent des espaces de rencontre, de partage, d'échange, et de loisir et contribuent ainsi à la récréation du lien entre la ville et la mer (Gaoua et Mansour, 2019).



Figure 2: les équipements structurants en bord de mer de la baie d'Alger. Source (PDAU, 2016).



Figure 3: l'aménagement de la baie d'Alger en forme de collier de perle. Source: (Gaoua et Mansour, 2019).

A travers le projet d'aménagement de la baie d'Alger (figure 3), impulsé par le plan stratégique à l'horizon 2035, porteur de transformations et de dynamique paysagère (Gaoua et Mansour, 2019), l'Algérie ambitionne de faire de sa capitale, une vitrine et porte de l'Afrique, une éco-métropole moderne à la tête des grandes métropoles méditerranéennes. Cependant les études récentes à l'échelle mondiale ont démontré la vulnérabilité des littoraux face aux aléas du changement climatique, particulièrement l'élévation du niveau de la mer. Alger autant que ville côtière n'échappera pas à ce phénomène mondial (Lalaoui, 2014; Egis et al., 2013, Aouissi, 2019).

Actuellement, les impacts du réchauffement climatique représente une réalité amère ; ses conséquences se font ressentir de plus en plus notamment sur les villes côtières (AIVP, 2021 ; Aouissi, 2019). Leurs proximités de la mer, les exposent à de sérieux risques. A l'instar de la ville d'Alger à l'horizon 2030, le risque de submersion marine est imminent, considéré comme un aléa fort sur le littoral algérois selon l'étude qui porte sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger aux impacts du changement climatique et aux risques naturels. Cette dernière estime une élévation du niveau de mer de 20 cm à l'horizon 2030 (hypothèse très haute impossible à affiner en l'absence de données marégraphiques sur une longue période), et une surcote de + 2,34 m pour un évènement à

caractère exceptionnel. Une bonne partie de la baie d'Alger y compris la zone portuaire risque la submersion (Egis-eau et al, 2013 ;Aouissi, 2019 ; Amoura et Dahmani, 2022).

Avec l'expansion urbaine et la croissance démographique, les zones urbaines côtières seront de plus en plus touchées par les effets du changement climatique, tels que les tempêtes extrêmes, l'élévation du niveau de la mer et les inondations côtières (Paranunzio et al., 2022). Aujourd'hui les villes littorales cherchent des solutions durables dans l'aménagement de leur front de mer afin de s'adapter aux effets du changement climatique. A l'instar des villes de New York, d'Hambourg de Boston ou de Rotterdam, qui anticipent les impacts du changements climatiques par le réaménagement de leurs fronts de mer avec comme double objectifs, réaliser un aménagement comme bouclier afin de protéger la ville contre l'augmentation du niveau de la mer, d'autre part embellir, moderniser et adapter le front de mer à la ville d'aujourd'hui et de demain.

L'interface ville /mer d'Alger devrait donc être considérée comme l'opportunité de protéger les côtes algéroises du risque de submersion marine et de ramener la métropole au rang de ses concurrente notamment méditerranéennes comme exprimées par le SNAT. Cette option de régénération de l'interface ville/ mer d'Alger sous l'optique de la résilience et de la durabilité est très envisageable surtout avec la future « reconversion portuaire » du port d'Alger prévue par le PDAU. (2016), mais aussi avec l'entame de la réalisation du grand port d'El Hamdania à 75 Km d'Alger qui vient renforcer cette hypothèse ; ce dernier est censé booster l'économie du pays et concurrencer les grands ports de la méditerranée à l'instar du méga-port de Tanger Med au Maroc (Aouissi, 2019).

La proposition du réaménagement du port d'Alger faite par Arte-Charpentier en 2009 montre ses limitent. Elle est considérée comme une rénovation Bulldozer (Aouissi, 2019) par rapport aux opérations de reconversions portuaires récentes qui adoptent de nouveaux concepts de résilience urbaine et anticipent les différentes conséquences (inondation côtière, pollution portuaire, etc.) qui découlent des impacts du changement climatiques.

Les interfaces ville/mer, particulièrement exposées peuvent être envisagées comme des laboratoires où seront déployées des stratégies de résilience s'inspirant des fonctionnalités de la nature (AIVP, 2015). Ceci nous guide à nous poser la question suivante orientant le travail :

Comment envisager la régénération de l'interface ville/mer d'Alger sous l'optique de la résilience face à l'élévation du niveau de la mer ?

### III.- Problématique spécifique

Les inondations côtières sont le résultat cumulé d'une série de facteurs pertinents, notamment l'élévation du niveau de la mer induite par le climat, les mouvements d'eau non périodiques tels que, les ondes de tempêtes, la variation des marées, le climat des vagues et les courants océaniques, les systèmes de basse pression. La vitesse et la direction du vent, peuvent forcer l'eau à pénétrer dans les ports et estuaires provoquant ainsi des ondes de tempêtes. Il est donc essentiel de comprendre les tendances du niveau de la mer à l'échelle régionale et locale afin d'élaborer des plans d'adaptation efficaces au climat (Paranunzio et al., 2022). De nombreux travaux ont déjà été réalisés pour évaluer les impacts de l'élévation du niveau de la mer sur les communautés côtières et pour identifier les options et stratégies d'adaptation pour rendre ces communautés plus résistantes au climat (Koks et al., 2022).

Dans le cadre du programme « villes et changement climatique » du CMI, Copiloté par la Banque Mondiale et la CDC, l'étude avait pour but de favoriser l'adaptation des villes d'Afrique du Nord aux changements climatiques et aux risques naturels. Cela a permis la conduite d'une étude intitulée « *vulnérabilité des villes côtières d'Afrique du Nord particulièrement exposées aux impacts du changement climatique et aux désastres naturels* » entre 2009 et 2011 sur quatre sites de première importance pour le bassin méditerranéen : Tunis, Alexandrie, Casablanca et la vallée du Bouregreg au Maroc, et enfin Alger (Egis-eau et al., 2013).

Cette étude régionale a conduit au développement d'une méthodologie applicable à l'ensemble des villes du pourtour méditerranéen qui consistait à :

- Evaluer les vulnérabilités des villes aux changements climatiques et aux risques naturels (inondations, glissements de terrain, tremblements de terre et tsunamis, vagues de chaleur et de froid, submersion marine et érosion, stress hydrique) ;
- Elaborer des recommandations et des plans d'action à destination des acteurs locaux pour renforcer l'adaptation des villes aux changements climatiques et aux risques naturels.

L'étude portant sur le périmètre de la wilaya d'Alger a permis la conduite d'une étude intitulée « *vulnérabilité et l'Adaptation de la wilaya d'Alger au Changement Climatique et aux Risques Naturels. Phase 1, évaluation et représentation des sources de vulnérabilités. Mars 2013* ». Plusieurs types de menaces naturelles ont été considérés par

cette étude, notamment : les inondations urbaines, pénurie d'eau, vague de chaleur, mouvements de terrain, séisme et tsunami, élévation du niveau de la mer, érosion et submersion marine des zones côtières dans un contexte actuel et futur à l'horizon 2030 (Ennesser et al., 2016). Nous nous concentrons essentiellement pour cette recherche sur le risque d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer.

Cette étude estime qu'une tempête associée à un haut niveau des eaux peut engendrer une surcote marine de + 2,34 m pour un évènement exceptionnel ; les aménagements de haut de plage et les habitations implantées sur la plage le long du littoral risquent de subir de gros dommages à l'horizon 2030, les plages sableuses seront partiellement immergées et devraient montrer un faible recule. L'élévation du niveau de la mer le long du littoral algérois de l'ordre de 20 cm aura pour conséquence, une augmentation de 7% du risque d'érosion ainsi que la submersion des terrains les plus bas, représentés le long de la wilaya d'Alger par les débauchés des oueds (Egis eau et al., 2013).

Cependant en matière de collecte de données, il n'a pas été possible pour cette étude d'obtenir des informations suffisamment explicite, premièrement en ce qui concerne les données sur l'hydrodynamique<sup>2</sup> du littoral algérois, deuxièmement absence de données d'élévation (modèle numérique de terrain MNT) pour pouvoir évaluer avec certitude les zones du littoral qui seront submergées par l'aléa référencé égal à +2,34 m et de pouvoir quantifier les superficies littorales touchées par ce phénomène.

Ce travail de recherche tente de répondre à ces deux questions:

- Peut-on prévoir l'étendue de zones inondées par de telles tempêtes sans passer par une modélisation numérique de la submersion marine, complexe, longue et très coûteuse en termes de ressources de calcul ?
- Face à la nécessité de protéger les territoires côtiers vulnérables aux submersions marines en raison de l'élévation eustatique du niveau marin, le rehaussement des défenses de côtes est-il la seule solution ou existe-t-il des alternatives permettant de protéger les territoires, les humains et les biens matériels qui leur sont inhérents ?

---

<sup>2</sup> Une meilleure connaissance des évolutions morphologiques et des caractéristiques hydrodynamiques le long du littoral algérois permettrait de mieux adapter les solutions de protection qui pourraient s'avérer nécessaires si l'élévation des eaux se poursuit.

#### **IV.- Objectif de la recherche**

L'objectif de cette étude, vise à contribuer à la recherche existante sur les inondations côtières, en fournissant un premier niveau de dépistage des risques d'inondations dans la zone d'étude. Enfin, elle vise à informer et à attirer l'attention des autorités locales et les communautés à risque afin de développer un plan d'adaptation et de résilience pour l'aménagement futur de la baie d'Alger. La contribution de notre recherche se présente comme suite :

- Estimer le niveau d'inondation pour le cas d'étude à échéance 2030/2100.
- Évaluer le risque d'élévation du niveau de la mer sur le cas d'Alger, et déterminer les projets structurants exposés à cette élévation des eaux à l'horizon 2030/2100, en utilisant des données sur l'hydrodynamique du littoral d'Alger, et un modèle numérique de terrain (MNT) de 3 m de résolution, considéré comme des données cruciales pour la délimitation des zones à risques d'inondations.
- A travers la matrice MICMAC lister les facteurs clés faisant varier la vulnérabilité de cette portion du territoire face à l'élévation du niveau de la mer, et mettre en évidence les variables clés sur lesquelles il faudra agir en premier lieu.
- Enfin, proposer des mesures d'adaptation face au phénomène étudié en s'imprégnant d'exemples à une échelle internationale qui mènent des efforts d'adaptation et d'atténuation face à l'élévation du niveau de la mer.

#### **V.- Hypothèses.**

Notre travail de recherche va contribuer au développement d'une démarche afin de protéger la zone côtière d'Alger contre le phénomène de submersion marine engendré par l'élévation du niveau de la mer en cas de tempête. Cela afin d'attirer l'attention des gestionnaires côtiers face à ce phénomène mondial, et d'envisager des mesures d'adaptation dans les zones prioritaires à risque.

Afin de répondre préalablement aux questions de notre problématique, nous proposons les hypothèses suivantes :

- Un modèle d'inondation basée sur un SIG, mais aussi sur des données d'élévations de terrain et des scénarios d'élévation du niveau de la mer à échelle

locale, peut constituer une option efficace et rapide pour la visualisation des terres à risque d'inondations dues à l'élévation accélérée du niveau de la mer en l'absence et limite de moyen financier (nous avons affirmé cette hypothèse à travers le chapitre 4).

➤ Régénérer l'interface ville/mer d'Alger sous l'optique de la résilience urbaine, en évaluant l'exposition de la zone d'étude à l'inondation, et en adoptant des mesures d'adaptation apparaît comme une alternative adéquate face à l'élévation du niveau de la mer selon un contexte mondial, pour minimiser les impacts sur le plan économique, environnementale et sociale du cas d'étude (nous avons affirmé cette hypothèse à travers le chapitre 6).

➤ L'identification des critères faisant varier la vulnérabilité de l'interface ville/mer face à l'élévation du niveau de la mer à l'aide d'une matrice MICMAC, permettrait de mettre en valeur les variables clés sur lesquelles, il faudra agir afin de minimiser les conséquences de l'élévation du niveau de la mer (nous avons affirmé cette hypothèse à travers le chapitre 5).

## **VI.-Structuration et Méthodologie de la thèse**

Pour répondre aux questions de la problématique, nous avons suivi une démarche qui respecte la traçabilité et la lisibilité de cette recherche. Il s'agit tout d'abord, d'une démarche descriptive où en passe en revue la littérature, entre autres les définitions des concepts clés autour du sujet. Puis une démarche empirique qui tente à traiter la partie expérimentale en calculant les scénarios d'élévation du niveau de la mer provoqué par le changement climatique ; enfin une démarche analytique en s'imprégnant à travers des expériences réussies dans le monde et qui se trouvent dans un contexte similaire d'interface ville/mer.

L'objectif de cette thèse est de répondre le plus clairement possible aux interrogations posées auparavant. Cette étude est replacée dans un contexte global, afin de montrer que les résultats obtenus localement sont génériques et transférables, tout en expliquant les méthodes utilisées et les processus physiques qui interviennent. Ainsi, cette thèse est structurée en deux parties contenant chacune trois chapitres, d'une introduction et d'une conclusion.

L'introduction générale: s'attèle à la pause de la problématique de recherche, sa relation avec notre contexte, les hypothèses, les objectifs de la recherche, ainsi que la méthodologie adéquate pour répondre à nos questions et enfin la structuration de la thèse.

### **Première partie :**

Le Chapitre 1 : s'appuie sur les travaux les plus récents en la matière et sur le dernier rapport spécial du GIEC. (2019) sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique. Ce chapitre comporte des généralités sur les causes naturelles et anthropiques du réchauffement climatique, les facteurs principaux de variations du niveau de la mer au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, ainsi que les conséquences prévisibles de la remontée du niveau de la mer.

Le Chapitre 2 : a pour objectif de traiter de la situation environnementale en Algérie, en découle la problématique de l'élévation du niveau de la mer du littoral algérois ainsi que la citation de quelques évènements qui confirment l'exposition de ce littoral aux ondes de tempête, un rappel du contexte législatif de gestion du littoral et enfin la présentation des caractéristiques et justification du choix de la zone d'étude.

Le Chapitre 3 : décrit la stratégie de développement d'Alger à l'horizon 2030, ainsi que la description du projet d'aménagement de la baie d'Alger et, enfin les différents projets structurants prévus avec leurs montants prévisionnels.

### **Deuxième partie :**

Le Chapitre 4 : a pour objectif de définir et de décrire le phénomène de submersion marine déclenchée par les tempêtes, de connaître son impact sur la vie humaine, l'environnement et la société. Enfin, ce chapitre se termine avec une application sur le cas d'étude à travers l'évaluation des terres à risque d'inondation due à une élévation accélérée du niveau de la mer pour Alger à occurrence décennale et centennale.

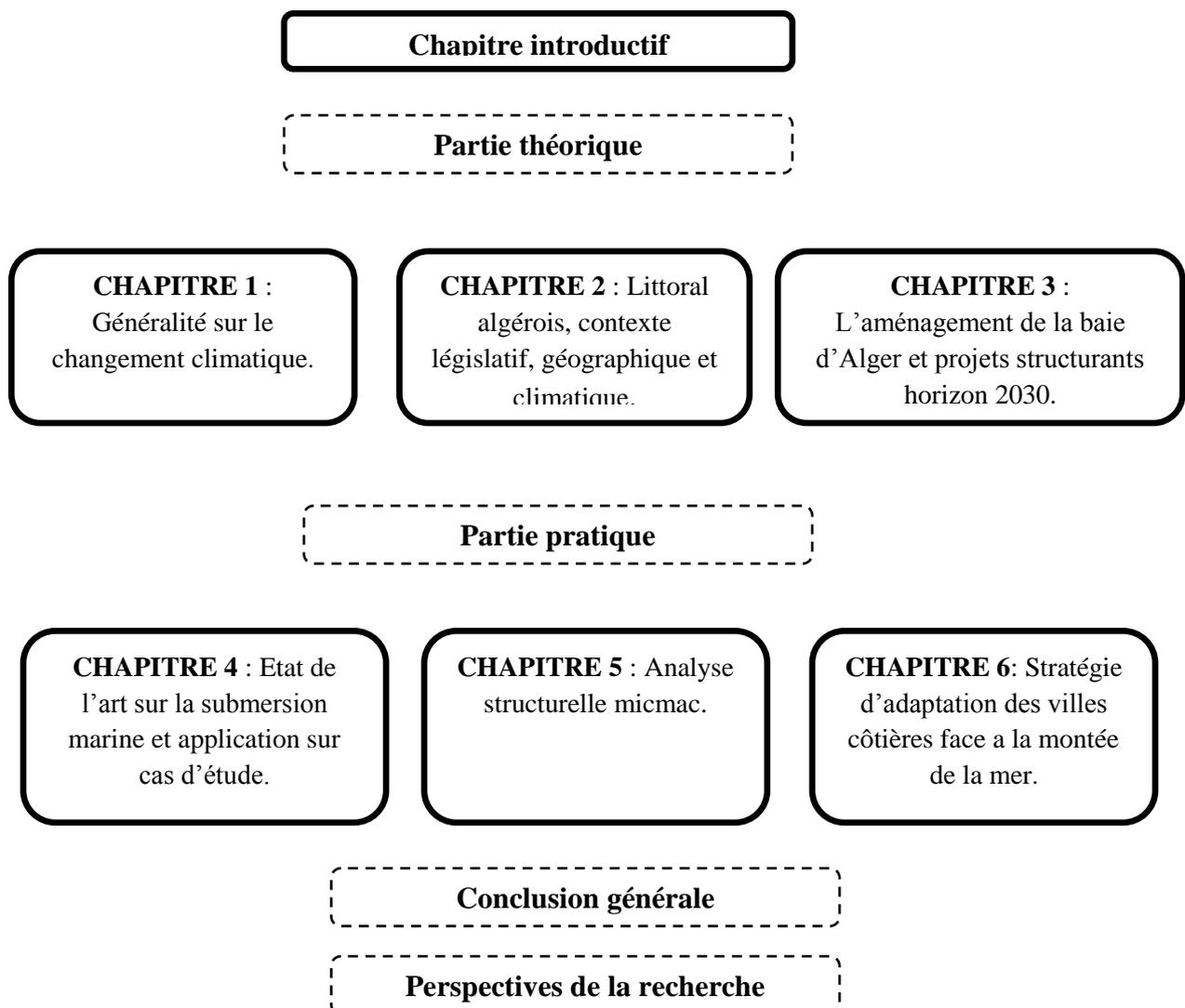
Le Chapitre 5 : a pour objectif de proposer une démarche de modélisation devant conduire à mieux comprendre la susceptibilité de l'habitat (l'interface ville/mer) à subir des dommages face à l'inondation due à l'élévation du niveau de la mer à travers l'analyse structurelle MICMAC, et de mettre en évidence les variables clés sur lesquelles il faudra agir afin de réduire les dommages causés par l'élévation du niveau de la mer.

Le Chapitre 6 : traite de la problématique des villes côtières et leurs réponses face à la montée du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Etant donné que la concurrence implique l'imitation, ce chapitre s'est référé à des expériences étrangères afin de

s'imprégner des mesures d'adaptations déjà mises à l'œuvre par ces projets. Des cas innovants tels que New York, Boston et Hambourg en Allemagne, mènent des efforts d'adaptation et d'atténuation face à l'élévation du niveau de la mer. Enfin ce chapitre propose une classification des mesures d'adaptation pour le cas d'étude face au phénomène d'élévation du niveau de la mer.

Enfin, la dernière section est consacrée aux conclusions générales et aux perspectives futures.

## SCHEMA DE STRUCTURE DE LA THESE



## **PREMIERE PARTIE : PARTIE THEORIQUE**

### **1.- Introduction**

Cette première partie de la thèse comporte trois chapitres dont le premier concerne des généralités sur le changement climatique, le deuxième chapitre porte sur le littoral algérois entre contexte législatif, géographique et climatique, et enfin le dernier porte sur la stratégie de l'aménagement de la baie d'Alger et projets structurants développés à l'horizon 2030.

Nous tontons à travers le chapitre 1 de traiter d'une problématique actuel qui porte sur le changement climatique et les conséquences de l'élévation du niveau de la mer à une échelle mondiale. Ce chapitre se base sur différents travaux scientifiques récents mais aussi sur les nombreux rapports du groupe intergouvernemental de l'évolution du climat (GIEC), notamment sur leur dernier rapport spécial sur l'océan et la cryosphère. Dans un premier temps, nous définissons la notion du changement climatique, ainsi que, les différentes causes naturelles et anthropiques à l'origine du changement climatique, par la suite nous citons les différentes conclusions des rapports du GIEC. Enfin ce chapitre s'attarde à traiter du risque d'élévation du niveau de la mer comme l'un des impacts du réchauffement climatique et comme l'un des phénomènes les plus attendus du 21<sup>e</sup> siècle, et liste quelques conséquences prévisibles de la remontée du niveau marin sur les zones côtières.

Le chapitre 2 traite de la problématique de l'élévation du niveau de la mer sur la zone côtière algéroise et se base notamment sur les résultats de l'étude « vulnérabilité et adaptation de la wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels » à l'horizon 2030. Cette dernière met en évidence la vulnérabilité du littoral algérois face au risque d'élévation du niveau de la mer et la nécessité de développer des stratégies d'adaptation en confirmant la poursuite du réchauffement climatique à l'horizon 2030, associés à une hausse des évènements extrêmes. La zone côtière algéroise est considérée comme une zone soumise à de multiples risques naturels notamment (séismes, glissements de terrain, inondations, érosions/submersion côtières, etc.), plusieurs événements historiques confirment l'exposition de cette zone aux ondes de tempête, dont l'évènement le plus marquant est sans doute les inondations de Bab El Oued en 2001 causant plus de 751 victimes et d'énormes dégâts matériels. Enfin la limite du cadre législatif portant sur la protection du littoral algérois est aussi une problématique que ce chapitre souligne.

Enfin le chapitre 3, porte sur la connaissance de la stratégie de développement de la baie d'Alger prévue dans le cadre du PDAU d'Alger (2016). Dans une conjoncture de mondialisation croissante, où l'affirmation des pays et des villes est aujourd'hui un impératif de compétitivité à l'échelle mondiale, l'Algérie ambitionne dans le cadre du plan stratégique horizon 2035 de faire de sa capitale (Alger) une des vitrines et portes de l'Afrique, une éco-métropole moderne et attractive, afin d'accompagner cette ambition, de grands travaux d'infrastructure, d'équipement et d'embellissement sont prévus. Et c'est ainsi que le projet d'aménagement de la baie d'Alger se retrouve au cœur de ces mutations urbaines avec au programme divers projets qui seront porteurs de transformations et de dynamique paysagère. La promenade de la baie d'Alger est l'un des projets le plus emblématique dans ce volet, aménagé en continue sur l'ensemble du littoral du Cap Caxine au Cap Matifou. Elle disposera de plusieurs aménagements dont (les terrasses du port, les bains naturels de Bâb l'oued, le palais des sports, le musée de l'Afrique, etc.). Ces derniers contribueront certes à la récréation du lien entre la ville, les algérois et la mer. Cependant cette ambition à laquelle aspire Alger est vite rattrapé par la réalité amère du réchauffement climatique, selon les derniers travaux du GIEC une forte accélération du niveau des mers est prévue aux horizons 2030, 2050 et 2100.

Vu le montant de l'investissement prévu pour ces projets, une évaluation du risque d'élévation du niveau de la mer pour la baie d'Alger s'avère nécessaire.

## **CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE**

### **1.- Introduction**

Depuis le premier rapport d'évaluation du GIEC, apparu en 1991, la communauté scientifique internationale a tiré la sonnette d'alarme au sujet de l'impact des activités humaines sur le changement climatique. Les rapports qui s'ensuivent du groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, ne permettent plus de douter sur le fait que le climat de la planète est en train de changer et continuera de changer durant les siècles à venir. Tous les rapports d'évaluation du GIEC stipulent que l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le 20<sup>e</sup> siècle est due à l'augmentation des GEZ à effet de serre dans l'atmosphère (Niazi, 2007).

Une des conséquences majeures du réchauffement global de la planète est le risque d'élévation accélérée du niveau de la mer induit par l'expansion thermique des océans et la fonte des glaces et calottes glaciaires. L'augmentation extrême du niveau moyen de la mer, ainsi que, le réchauffement et l'acidification des océans devraient exacerber les risques pour les communautés humaines dans les zones côtières basses. Cette dernière abrite environ 680 million de personnes, elle devrait atteindre plus d'un million d'habitants d'ici 2050.

Les scientifiques prévoient que, dans certaines régions, des événements extrêmes liés au niveau de la mer, qui étaient prévus une fois tous les 100 ans, se produiront chaque année dans 20 à 25 % des endroits d'ici 2050, indépendamment des émissions. D'ici 2100, le choix des émissions aura de l'importance : des événements extrêmes liés au niveau de la mer se produiront chaque année dans 60 % des endroits où les émissions sont faibles, et dans 80 % des endroits où les émissions sont fortes (GIEC, 2019).

L'élévation du niveau de la mer augmentera la fréquence et la gravité des phénomènes extrêmes liés au niveau de la mer sur les côtes telles que les ondes de tempête, les inondations dues aux vagues, etc. selon les conclusions du GIEC, le risque peut être accru par des changements, même minimes.

Au cours des dernières décennies, l'exposition des personnes et des infrastructures aux risques naturels a augmenté en raison de la croissance démographique, du tourisme et du développement socio-économique, (les communautés côtières se retrouvent exposées à de multiples aléas liés au climat, notamment les cyclones tropicaux, les niveaux extrêmes de la mer et les inondations, les vagues de chaleur marines, la perte de glace de mer et le

dégel du pergélisol)<sup>3</sup>, d'autre part cette augmentation est liée à des facteurs non climatiques induits par l'homme, tels que l'affaissement des terres (ex : extraction des eaux souterraines), la pollution, la dégradation de l'habitat, les récifs et extraction de sable.

Parmi tous ces phénomènes, les inondations côtières sont plus fréquentes et plus visibles que les autres, les dommages causés par les inondations à l'échelle mondiale sont estimés à plus de 6 milliards de dollars par an en moyenne et atteindront environ 52 milliards de dollars d'ici à 2050 en raison des projections prévues (Deguenon et al., 2022 d'après Hallegatte et al., 2013).

Nous nous attardons dans ce premier chapitre sur les définitions, les causes naturelles et anthropiques du changement climatique et comme conséquence l'aléa élévation du niveau de la mer qui est l'un des impacts du réchauffement climatique.

## **2.- Définition du changement climatique**

Selon le GIEC, « *le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine* ». Cette définition diffère de celle figurante dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ; selon laquelle les changements climatiques désignent « *des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables* » (MATE-PNUD-FEM, 2015).

La notion de changement climatique rassemble plusieurs phénomènes (Micheau, 2012) ;

- Le phénomène du réchauffement planétaire global de longue durée (où des phases de refroidissement temporaire, et notamment des hivers particulièrement rudes, ne sont pas exclus) constaté et prédit sous la forme d'une hausse de la température moyenne globale de la terre.

---

<sup>3</sup>Le pergélisol est le mot français pour permafrost ; c'est un sous-sol gelé en permanence parfois depuis des millions d'années, situé dans les régions alpines, arctiques et antarctiques. Ses formations, persistance ou disparition, et son épaisseur sont très étroitement liées aux changements climatiques. C'est pourquoi le pergélisol est étudié en tant qu'indicateur du réchauffement. Lui-même provoqué par le changement climatique actuel, le dégel du pergélisol a pour conséquence l'augmentation du taux de gaz à effet de serre. In <https://www.insu.cnrs.fr/fr/pergelisol-et-changement-climatique>

- Le phénomène d'augmentation des perturbations climatique ; où événements climatiques extrêmes, qui lui sont associés (sécheresses, inondations, tempêtes et cyclones).
- Les conséquences de ces perturbations déjà en cours ou prévues ; dessèchement des sols, désertification, fonte des calottes glaciaires, acidification des océans, quasi-disparition des glaciers, déstabilisation de cycle de l'eau et menaces sur les réserves d'eau douce, déséquilibrent des espaces forestiers, problèmes agricoles, saturation de l'humidité dans l'atmosphère, recrudescence des maladies tropicales, diminution des superficies émergées (terres inhabitables et réfugiés climatiques), diminution de la biodiversité, etc.

### **2.1.- Les causes naturelles et anthropiques à l'origine du changement climatique**

En parallèle des travaux qui ont mis en exergue la réalité du changement climatique, d'autres ont permis de mieux identifier les causes qui sont à l'origine du changement du climat. Les chercheurs scientifiques motionnent la notion de « forçages<sup>4</sup>», lorsqu'ils évoquent les processus susceptibles d'entraîner un changement climatique.

Certains ont considéré l'origine naturelle ; tels que les variations de l'activité solaire, et l'activité volcanique, d'autres dits « anthropiques » liées aux activités humaines. Tel est le cas lorsque nos activités augmentent la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Nous devons noter que le premier rapport du GIEC, en 1990, n'a porté aucun diagnostic spécifique sur le fait que les activités humaines avaient ou non une « empreinte » qui puisse se distinguer du bruit lié à la vulnérabilité naturelle du climat.

Quant au deuxième rapport du GIEC, en 1995, parvenait à énoncer une conclusion de façon extrêmement prudente « *qu'un ensemble d'éléments suggère une influence perceptible des activités humaines sur le climat* ». C'est en 2001, lors du troisième rapport du GIEC, que les propos deviennent plus affirmatifs, de nouvelles preuves viennent confirmer que le réchauffement observé ces cinquante dernières années est due en grande partie majeure aux activités humaines. Cependant le climat peut se modifier sans que les forçages ne le soient, parce que le système climatique est le siège de variabilité dite « interne » (André et al., 2007).

---

<sup>4</sup> Processus physique qui affecte le climat de la terre.

## **2.2- Les causes naturelles des variations du climat de la terre**

### **2.2.1.- Activité solaire**

Les deux forçages naturels susceptibles d'avoir eu une influence significative au cours du dernier siècle sont la variabilité de l'activité solaire et l'effet des aérosols produit par les éruptions volcaniques. Au cours de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, les variations de l'activité solaire sont susceptibles d'avoir participé au réchauffement observé. L'avènement d'observations par satellite, à la fin des années 1970, a permis de mettre en évidence l'existence de variations périodiques de faible amplitude, associées au cycle solaire. Certaines études ont montré qu'une variation de 1% de la constante solaire augmenterait la température de 0,6°C.

Le GIEC a montré également à l'aide de simulations, que l'augmentation des températures ne peut être seulement causée par l'activité solaire (Matari, 2016). Cependant l'énergie solaire reçue par la planète subit des modifications qui touchent à sa répartition spatiale et saisonnière à l'intérieur même de l'atmosphère terrestre ; c'est grâce à la théorie émise par le mathématicien Serbe Milankovitch vers l'année 1924, qui explique l'alternance, au cours du quaternaire, des périodes glaciaires et interglaciaires par l'effet d'attraction de la lune et des planètes limitrophes de la terre qui modifient ses paramètres orbitaux. Ce mathématicien va encore plus loin et a pu déterminer et mettre en évidence trois cycles de variation des paramètres orbitaux de la terre qui sont : l'obliquité, l'excentricité et la précession, voir en annexe n° 1 (Djouder, 2018).

### **2.2.2.- Activité volcanique**

Le volcanisme implique une chute des températures à court terme mais s'avère être un puissant facteur de réchauffement sur le long terme (Niazi, 2007). Des éruptions volcaniques majeures se sont produites entre 1880 et 1920, puis entre 1960 et 1991. Ces éruptions volcaniques libèrent d'énormes quantités d'aérosols dans la stratosphère, provoquant un refroidissement qui peut être important et durer plusieurs années, comme a été le cas avec l'éruption du mont Pinatubo en 1991 (île de Luçon, Philippines) (André et al., 2007).

### **2.2.3.- L'oscillation Nord-Atlantique (NAO)**

L'oscillation nord atlantique est souvent caractérisée par un indice, cet indice relie l'intensité de la dépression d'Islande à celle de l'anticyclone des Açores. Ses fluctuations

ont des conséquences directes sur le climat de l'Europe, en particulier l'Europe de l'Ouest, les environs du nord de l'Afrique, l'Amérique du Nord et de l'est. La NAO a des effets bien plus importants en hiver qu'en été. C'est vers 1920 que deux météorologues, l'Autrichien Friedrich et l'anglais Gilbert Walker l'ont découverte. C'est un phénomène à la fois océanique et atmosphérique. Il fait référence aux mouvements de va-et-vient, selon un axe nord-sud, de masses d'air situées au-dessus de l'Arctique et de l'Islande en direction des Açores et de la péninsule Ibérique. La NOA, pour North Atlantic Oscillation, influence le climat (température, précipitations) sur tout le pourtour de l'Atlantique nord, principalement en Europe. Elle occasionne entre autres des changements de pression au sol qui conditionne directement la position et l'intensité de l'anticyclone des Açores.

#### **2.2.4.- Circulation thermohaline**

La circulation océanique joue un rôle central dans la régulation du climat et la préservation de la vie marine, en transportant chaleur, carbone, oxygène, et autres nutriments à travers les différents bassins du globe. Elle limite considérablement l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère en séquestrant le carbone et la chaleur dans l'océan profond, modulant ainsi la trajectoire du changement climatique, cependant le réchauffement anthropique agit aussi, directement sur la circulation océanique en modifiant les caractéristiques physiques qui la gouvernent<sup>5</sup>.

La circulation thermohaline, est la circulation océanique des différentes masses d'eau profondes induite par deux éléments moteurs ; le vent pour la couche superficielle, et la densité, fonction de la température et de la salinité. Elle décrit le caractère dynamique des masses d'eau océaniques qui parcourent le globe sur près d'un millier d'années. Cette dernière est très importante dans la régulation des températures planétaires, toute modification affecte sa trajectoire, ou bien les quantités transportées, impacte directement sur le climat (Djouder, 2018 ; Vidal, 1996). La circulation thermohaline a un impact aujourd'hui mal mesuré sur le climat.

#### **2.2.5- L'effet de serre.**

##### **2.2.5.1.- Effet de serre naturel**

L'effet de serre naturel est l'absorption du rayonnement infrarouge terrestre par certains gaz, dits (gaz à effet de serre de l'atmosphère). Les principaux gaz à effet de serre,

---

<sup>5</sup> Consulter le 2/10/2022, in [https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/circulation-oc%C3%A9anique\\_fichesscientifiques\\_Oct2016\\_BD\\_ppp-3.pdf](https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/circulation-oc%C3%A9anique_fichesscientifiques_Oct2016_BD_ppp-3.pdf)

qui représentent environ 1% sont la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane et le dioxyde d'azote. En raison de l'effet de serre naturel, le gain thermique de l'ensemble terre atmosphère est de 33°C, c'est-à-dire, que sans ces gaz la température moyenne du globe atteindrait seulement -18°C. Vu leurs faibles concentrations, il est normal que les émissions liées aux activités de l'homme comme le gaz carbonique (75%), le méthane (16%), le dioxyde d'azote (6%), ont une influence non négligeable. Ceci explique l'intérêt accordé par les médias et les scientifiques aux variations de la concentration des gaz à effet de serre.

En effet si dans les années 70, la tendance était le retour vers le petit âge glaciaire comme le montraient les séries observées; à partir des années 80 la communauté internationale remarque le dérèglement du climat et devient de plus en plus préoccupée par l'influence de l'homme sur le climat (Matari, 2016). La contribution de l'activité humaine a participé considérablement à l'exagération du phénomène de l'effet de serre. Considéré comme un paramètre essentiel à la vie terrestre, à celui de responsable de maux climatiques et environnementaux en peu de temps. Il annonce un avenir fastidieux fait de pénurie, et d'extinction de nombreuses espèces vivantes, primordiales pour l'équilibre de la planète (Djouder, 2018).

#### **2.2.5.2.- Effet de serre anthropique**

Les activités humaines depuis le début de l'époque industrielle ont augmenté les concentrations des gaz à effet de serre ; devant ce forçage externe le système climatique se rééquilibre en changeant sa température. Cette température d'équilibre est amplifiée ou atténuée par des rétroactions complexes positives ou négatives.

Les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté depuis 1950 à ce jour, mais plus rapidement sur les dernières décennies suite à la croissance économique et démographique. Actuellement une cinquantaine de station, à travers le globe, mesurent ces gaz à l'instar de l'Assekrem dans l'Hoggar.

L'accroissement de la température va donc dépendre de la concentration des émissions de GES, par exemple pour ne pas dépasser les deux degrés vers l'horizon 2100, l'accroissement des GES doit être limité vers les 455 ppm (Matari, 2016).

### **2.3.- Les causes naturelles et anthropiques du réchauffement climatique**

Le réchauffement climatique représente une augmentation de température à l'échelle du globe provoquée par des rejets de gaz à effet de serre générés par les activités

humaines. Depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la température moyenne terrestre s'est considérablement modifiée.

Les progrès techniques liés à l'industrialisation ont eu un impact majeur sur l'environnement. L'utilisation accrue de combustibles fossiles (charbon, gaz et pétrole), la déforestation ainsi que les pratiques agricoles intensives ont entraîné une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, qui a pour conséquence l'augmentation de la température moyenne terrestre. Selon le GIEC, les émissions totales de gaz à effet de serre produites ont augmenté de 80% depuis 1970 et de 30% depuis 1990. Les prévisions du GIEC pour l'an 2100 indiquent une hausse de 1,5 à 6°C. En 2009, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) tire la sonnette d'alarme en appelant à l'atteinte du « pic des émissions de CO<sub>2</sub> » le plus rapidement possible et à une baisse drastique des consommations d'énergie d'origine fossile. Afin de ne pas dépasser la barre des 2°C de réchauffement climatique d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle, 80% des réserves d'énergies fossiles, actuellement connues, devraient rester dans le sol et ne pas être exploitées. Autrement dit, il ne faudrait pas consommer plus de 20% des réserves d'énergies fossiles.

L'accumulation de gaz carbonique dans l'atmosphère provenant de l'utilisation des combustibles fossiles pour la production d'énergie, de la production du ciment et de la combustion en torchère, le rejet d'autres gaz, le déboisement des forêts et la modification artificielle du sol liée à l'explosion démographique et requise par une alimentation accrue, font que l'homme devient un élément perturbateur important, agissant progressivement, mais sûrement sur l'évolution du climat des prochaines décennies en modifiant le bilan radiatif du système climatique.

Les études effectuées par le GIEC sur l'évolution du climat montrent que selon les scénarios, le réchauffement global sera compris entre 1,4 et 5,8°C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Ce réchauffement serait accompagné d'une hausse du niveau de la mer et d'une intensification du cycle hydrologique (André, 2005).

### **2.3.1.- Activités humaines et climatiques**

L'explosion démographique est déjà une cause suffisante pour s'interroger réellement sur le développement et la production énergétique future. Nous sommes passés de 2,5 milliards d'habitants en 1950 à 6,5 milliards fin 2005, le seuil de 8 milliards d'humains devrait être franchi d'ici le 15 novembre 2022 (ONU). L'évolution du système

climatique et son interaction avec les activités humaines imposent de réfléchir aux technologies qui devront être utilisées de manière à ne pas perturber le système climatique.

Selon l'auteur André. (2005), ce problème peut être abordé en trois étapes : la première serait de montrer où nous sommes dans l'évolution du système climatique, la deuxième serait de placer en perspective les concentrations actuelles du CO<sub>2</sub>, quant à la troisième serait la mise en place de scénarios du futur, l'impact sur la température et le niveau moyen des mers ; enfin tirer une conclusion qui devrait être mise en place pour faire face à l'évolution future du climat.

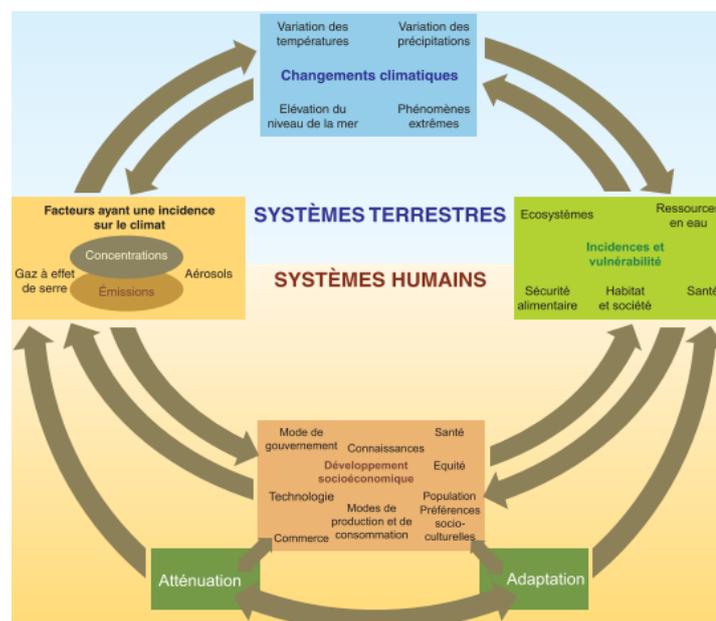


Figure 4: représentation schématique des facteurs humains de l'évolution du climat, des effets sur le changement climatique et des réponses apportées. Source : GIEC, 2007, p.26

Selon le rapport de synthèse du GIEC. (2014), depuis la parution du quatrième rapport d'évaluation du GIEC en 2007 (RE4), les éléments suggérant une influence humaine sur le système climatique sont devenus plus probants (Figure 4). Environ la moitié des émissions anthropiques cumulées de CO<sub>2</sub>, ont été rejetée dans l'atmosphère par les activités humaines entre 1750 et 2011. Les émissions de CO<sub>2</sub> en 1970, proviennent essentiellement de l'utilisation des combustibles fossiles, de la production du ciment, et de la combustion en torchère, celles découlant de la FAT (forestières et autres affectations de la terre) ont augmenté de 40%. Le total des émissions anthropiques de gaz à effet de serre a continué d'augmenter entre 1970 et 2010 ; la hausse décennale la plus marquante en valeur absolue est survenue entre 2000 et 2010, cet accroissement est attribué à 47% au secteur de

l'énergie, à 30% à celui de l'industrie, à 11% pour le transport et 3% pour le secteur du bâtiment. Les croissances économique et démographique sont les moteurs les plus importants de l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, dues à l'utilisation des combustibles fossiles.

Selon le GIEC. (2019), en combinant les contributions attribuables aux glaciers, le bilan de masse de la surface de la calotte glaciaire et l'expansion thermique, il est très probable que l'influence humaine a été le principal moteur de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer observé depuis 1971.

### 2.3.2.- Concentration atmosphérique en gaz à effet de serre

Il est primordial d'analyser l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre dans l'air. Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre ont augmenté depuis l'époque préindustrielle (figure 5) en raison de la croissance économique et démographique. Elles ont été plus élevées entre 2000 et 2010 (GIEC, 2014). Cependant le CO<sub>2</sub> de l'air n'est pas le seul élément qui est lié aux activités humaines et qui influence le climat. D'autres gaz, absorbent aussi l'énergie infrarouge émise par la surface de la terre et son atmosphère, contribuent ainsi à réchauffer d'autant plus le système climatique. Ces autres gaz à effet de serre sont ; le méthane (le gaz naturel), l'oxyde nitreux lié à la production d'engrais, l'ozone, les fréons et leur substituas actuels (André, 2005).

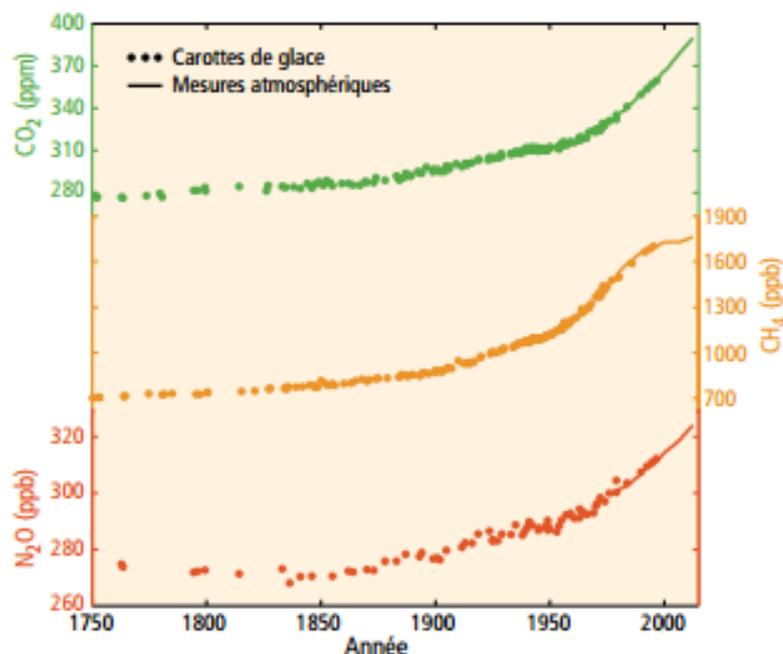


Figure 5: Moyennes mondiales des concentrations de gaz à effet de serre.  
Source: GIEC, 2014.

Les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre ont atteint des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans, les teneurs en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), en méthane (CH<sub>4</sub>) et en oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), ont toutes augmenté fortement depuis 1750 (40%, 150 % et 20% respectivement), néanmoins le CO<sub>2</sub> demeure le principal GES anthropique, représentant 76 % du total des rejets de GES anthropiques en 2010. Le CH<sub>4</sub> compte pour 16 % du total, le N<sub>2</sub>O pour 6,2 % et les gaz fluorés pour 2,0 %. Depuis 1970, les gaz autres que le CO<sub>2</sub> représentent chaque année 25 % environ des émissions anthropiques de GES (GIEC, 2014).

Le rapport du GIEC (2018) a fait suite à l'invitation telle qu'elle figure dans la décision de la 21<sup>e</sup> session de la conférence des parties (COP 21) à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques visant à adopter l'accord de Paris, afin de présenter un rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire supérieur à 1,5°C. Cela est par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émission mondiale de gaz à effet de serre dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique du développement durable et de la lutte contre la pauvreté.

Selon les estimations, les activités humaines ont provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels, avec une fourchette probable, allant de 0,8°C à 1,2°C. Il est probable que le réchauffement climatique planétaire atteindra 1,5°C entre 2030 et 2052, s'il continue d'augmenter au rythme actuel.

Quant au réchauffement climatique lié aux émissions anthropiques mondiales qui ont eu lieu depuis l'époque préindustrielle jusqu'à présent persistera pendant des siècles à des millénaires et continuera de causer d'autres changements à long terme dans le système climatique, avec des impacts associés à ces modifications. Parmi les stratégies à adopter dans ce rapport, le maintien des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> mondiales nettes négatives et /ou de nouvelles réductions du forçage radiatif autre que celui dû au CO<sub>2</sub> pourrait encore se révéler nécessaire pour empêcher un réchauffement climatique supplémentaire.

#### **2.4.- Les scénarios d'émission de gaz à effet de serre du GIEC**

Pour modéliser l'évolution du climat au fil du siècle, cela nécessite la formulation des hypothèses sur l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Afin de contraindre les modèles avec des forçages anthropiques réalistes, le GIEC a produit des scénarios d'émission anthropiques de gaz et de particules pour le XXI<sup>e</sup>

siècle, qui sont basés sur quatre grandes familles. Ces familles de scénarios se distinguent en termes de croissance démographique, économique, de progrès technologique, de préoccupations environnementales, et enfin de convergence entre régions du monde (EGIS-IAU et al., 2013).

A1 : la famille du scénario A1, décrit un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, une croissance démographique atteignant un maximum d'individus au milieu du siècle pour décliner ensuite et l'introduction rapide de nouvelles technologies plus efficaces, et enfin une convergence entre régions (réduction des différences régionales dans le revenu de l'habitat, renforcement des capacités et interactions culturelles et sociales accrues). La famille de scénarios A1, se scinde en trois sous-groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique :

A1F1 : forte intensité de combustibles fossiles.

A1T : sources d'énergie autres que fossiles.

A1B : équilibre entre les sources.

A2 : le canevas et la famille de scénarios A2, décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales, avec pour résultat accroissement continu de la population mondiale, quant à la croissance économique et l'évolution technologique par habitant ; elles sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

B1 : le canevas et la famille de scénarios B1, décrivent un monde convergent avec une population culminant au milieu du siècle comme dans le canevas A1, mais avec des changements rapides vers une économie de services et d'informations, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologie propres et utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est orienté vers une variabilité économique, sociale et environnementale, avec une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaire pour gérer le climat.

B2 : le canevas et la famille de scénarios B2, décrivent un monde où l'accent est placé sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. Ils sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, cependant ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux. La population mondiale s'accroît de manière continue mais un rythme plus fiable par rapport aux

scénarios A2, le développement économique et l'évolution technologiques est moins rapide, cependant plus diverse que dans les canevas de scénarios B1 et A1.

Afin de modéliser le climat futur, il est important de faire des hypothèses sur les changements économiques, sociaux et physiques de notre environnement qui influence le changement climatique. Dans le cinquième rapport du GIEC, le groupe international d'experts a défini quatre profils d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (GES) pour le XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà. Ces trajectoires sont nommées les RCP<sup>6</sup> ; ils ont été utilisés car l'ancien rapport spécial sur les scénarios d'émission (SRES<sup>7</sup>), défini par le GIEC en 1990 et utilisé jusqu'au 4<sup>e</sup> rapport en 2007, n'incluait pas de politique visant à limiter le changement climatique et donc ne prenait pas en compte l'atténuation du changement climatique. L'importance des scénarios d'atténuation a conduit le GIEC, ainsi que la communauté des chercheurs en climatologie à élaborer une nouvelle série de scénarios d'atténuation permettant d'évaluer les coûts et les avantages des objectifs climatologiques à long terme. Les RCP sont appelés 'trajectoires' pour souligner le fait qu'ils ne sont pas définitifs, et qu'ils peuvent être réalisés par le biais de plusieurs scénarios socio-économiques.

Afin de prendre en compte ce nouveau contexte, le GIEC depuis 2007, ont défini quatre profils représentatifs d'évolution de concentration de GES, Les RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5). Pour chacune de ces trajectoires, les experts décrivent les conditions climatiques et impacts du changement climatique. En parallèle, les économistes travaillent sur des familles de scénarios (SSP) qui se différencient par divers aspects de développements socio- économiques et diverses stratégies d'adaptation et d'atténuation. À chaque RCP peuvent être associés plusieurs SSP (Jouzel et al., 2018).

Selon Caesar et al., (2013), il n'est pas possible de comparer directement les deux ensembles SRES/RCP, en raison des différentes méthodes utilisées. Le tableau n°1 indique les similitudes entre les scénarios.

---

<sup>6</sup> Representative Concentration Pathways, profils représentatifs d'évolution de concentration de GES, d'ozone et des précurseurs des aérosols. Ils englobent un large éventail de scénarios correspondant à des efforts de réduction des émissions de GES au niveau mondial.

<sup>7</sup> SRES : Special Report on Emissions Scenarios , la réflexion démarrer d'un faisceau de futurs possibles pour notre sociétés, intégrant une vaste palette de déterminants : évolutions des économies nationales, offre technologique, choix énergétiques, démographie, comportement individuel

Tableau 1: similitudes des scénarios SERS/ RCP. source: Caesar et al., 2013

RCP	Le scénario SRES le plus similaire (en termes de température)
RCP2.6	Aucun
RCP4.5	SERS B1 (scénario à faibles émissions dans UKCP09)
RCP6.0	SRES B2 (entre les scénarios à faibles et moyennes émissions duUKCP99)
RCP8.5	SRES A1F1 (scenario d'émissions élevées dans UKCP09)

### 3.- Les rapports d'évaluation du GIEC

Le GIEC fut créé en 1988 par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (ONU environnement) et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ; il comporte 195 pays membres. Ce dernier est composé de trois groupes de travail : le premier groupe évalue les aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat, le second s'occupe des questions concernant la vulnérabilité des systèmes socio-économiques et naturels aux changements climatiques, les conséquences négatives et positives de ces changements et les possibilités de s'y adapter, quant au troisième groupe de travail, il s'occupe d'évaluer les solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et d'atténuer les changements climatiques (Djouder, 2018).

Le GIEC produit, à intervalles réguliers (5 à 8 ans), des "rapports d'évaluation" (*Assessment report*) sur l'état des connaissances sur les changements climatiques. Ils constituent le principal apport scientifique des négociations internationales sur le climat qui se déroulent sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto.

Cinq rapports d'évaluation ont déjà été publiés en 1990, 1995, 2001, 2007 et 2014, composés de plusieurs volumes, trois rapports spéciaux et un rapport méthodologique sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ont été réalisés.

À sa quarante-troisième session, en avril 2016, le GIEC est convenu que le rapport de synthèse afférent au sixième rapport d'évaluation serait achevé en 2022, à temps pour le premier bilan mondial prévu au titre de la CCNUCC. Il s'agira pour les pays d'évaluer les progrès accomplis en vue de réaliser leur objectif qui est de contenir le réchauffement mondial bien en deçà de 2 °C, tout en poursuivant l'action menée pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C. Depuis le premier rapport d'évaluation, les prévisions des scientifiques se sont affinées et prédisent désormais avec certitude le réchauffement climatique d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle.

### 3.1.- Ordres chronologique du GIEC

1988 :

- Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) créent le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC).
- L'Assemblée générale des Nations Unies approuve cette initiative du PNUE et de l'OMM.

1990 :

- Le GIEC publie son premier Rapport d'évaluation (Groupe de travail I – Évaluation scientifique de l'évolution du climat; Groupe de travail II – Incidences potentielles de l'évolution du climat; Groupe de travail III – Formulation de stratégies de parade).
- L'Assemblée générale des Nations Unies prend note des conclusions du rapport et décide d'engager des négociations en vue d'élaborer une convention-cadre sur les changements climatiques.

1992 :

- Le GIEC publie des suppléments au premier Rapport d'évaluation (Supplément 1992: Groupe de travail I – Évaluation scientifique; Groupe de travail II – Évaluation des incidences potentielles de l'évolution du climat; Changement climatique: les évaluations du GIEC de 1990 et 1992).
- La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) est ouverte à la signature lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui se tient à Rio de Janeiro.

1995 :

- Le GIEC publie son deuxième Rapport d'évaluation (Groupe de travail I – Changements climatiques 1995: Aspects scientifiques de l'évolution du climat; Groupe de travail II – Changements climatiques 1995: Analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat, mesures d'adaptation et d'atténuation; Groupe de travail III – Changements climatiques 1995:Aspects

socio-économiques de l'évolution du climat; Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC: Changements climatiques 1995 (y compris le rapport de synthèse).

1996 :

- Le GIEC publie la version révisée des lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

1997 :

- Le Protocole de Kyoto relevant de la Convention-cadre est adopté. Il entre en vigueur en 2005.

1998 :

- Le GIEC établit le Groupe de travail sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre chargé de superviser le programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Depuis 1999, le Groupe de travail reçoit le soutien du Gouvernement japonais.

2000 :

- Le GIEC publie les recommandations en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

2001 :

- Le GIEC publie son troisième Rapport d'évaluation (Groupe de travail I – Bilan 2001 des changements climatiques: Les éléments scientifiques; Groupe de travail II – Bilan 2001 des changements climatiques: Conséquences, adaptation et vulnérabilité; Groupe de travail III – Bilan 2001 des changements climatiques: Mesures d'atténuation; Bilan 2001 des changements climatiques: Rapport de synthèse).

2003 :

- Le GIEC publie les recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie.

2006 :

- Le GIEC publie les lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

2007 :

- Le GIEC publie son quatrième Rapport d'évaluation (Groupe de travail I – Bilan 2007 des changements climatiques: Les éléments scientifiques; Groupe de travail

II – Bilan 2007 des changements climatiques: Conséquences, adaptation et vulnérabilité; Groupe de travail III – Bilan 2007 des changements climatiques: L'atténuation du changement climatique; Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse).

- Le GIEC est Co-lauréat du prix Nobel de la Paix qui lui est décerné «en reconnaissance de l'action menée pour accroître et diffuser les connaissances sur les changements climatiques anthropiques et jeter ainsi les bases des politiques à mettre en œuvre pour en contrer les effets».

2009 :

- Le GIEC approuve dans leurs grandes lignes les contributions de ses trois groupes de travail au cinquième Rapport d'évaluation, attendu en 2013–2014.

2010 :

- Les trois groupes de travail ont achevé la sélection des 831 experts qui participeront au cinquième Rapport d'évaluation et amorcent les travaux d'évaluation.
- Le GIEC entreprend un examen de ses processus et procédures, qui seront achevé en 2012, sur la base des recommandations du Conseil inter-académique.

2011 :

- Le GIEC approuve le Rapport spécial sur les sources d'énergie renouvelable et l'atténuation du changement climatique, élaboré par le Groupe de travail III.
- Le GIEC approuve le Rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes et de catastrophes en vue d'une meilleure adaptation aux changements climatiques, élaboré par les Groupes de travail I et II.

2013 :

- Le GIEC approuve la contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation, intitulée Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques.
- Le GIEC approuve deux rapports méthodologiques: le Supplément 2013 aux Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre: terres humides (Supplément terres humides) et les 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol [Méthodes supplémentaires révisées et pratiques recommandées découlant du Protocole de Kyoto (2013)] (Supplément Protocole de Kyoto).

2014 :

- Le GIEC approuve les contributions des Groupes de travail II et III au cinquième Rapport d'évaluation, intitulées Changements climatiques 2014: incidences, adaptation et vulnérabilité et Changements climatiques 2014: l'atténuation du changement climatique. Le cinquième Rapport d'évaluation a été complété en novembre 2014 par la publication du Rapport de synthèse.  
2018 :
  - Le GIEC approuve le rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1.5°C par rapport au niveau préindustriels et trajectoires associées d'émissions mondial de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté (SR15).  
2019 :
    - Le GIEC approuve un rapport spécial sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres.
    - Le GIEC approuve un rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique.
    - Le GIEC approuve un rapport méthodologique : révision 2019 des lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.  
2021 :
      - Le GIEC approuve la contribution du groupe de travail I, au sixième rapport d'évaluation intitulé éléments scientifiques du changement climatique.
      - Le GIEC approuve le travail des groupes II au sixième rapport d'évaluation, intitulé : l'atténuation des changements climatiques, et celui du groupe III intitulé : incidences, adaptation et vulnérabilité.  
2022 :
        - Le sixième rapport d'évaluation a été complété en mai 2022 par un rapport de synthèse.

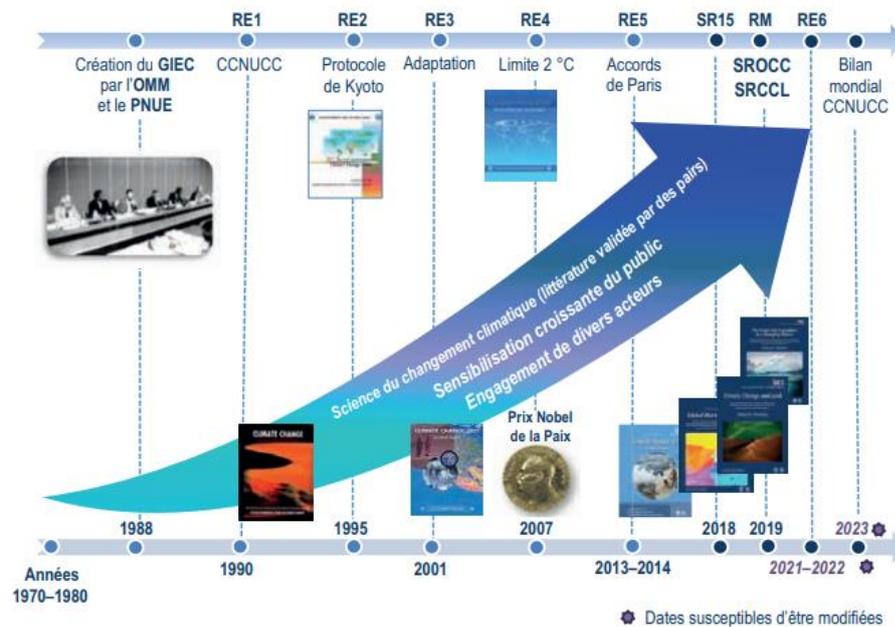


Figure 6: La contribution du GIEC à la science. Source : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_fr.pdf)

### 3.1.1.- Premier rapport de 1990

Le premier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été rédigé en 1990. Il a servi de base à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Le rapport d'évaluation est constitué de trois rapports portant sur des thèmes spécifiques et d'une synthèse complète des travaux. Les trois parties du rapport ont été réparties entre trois groupes de travail du GIEC : groupe de travail I : Évaluation scientifique du changement climatique, groupe de travail II : Évaluation des impacts du changement climatique, et enfin groupe de travail III : Stratégies de réponse du GIEC. La synthèse du premier rapport fait mention des conclusions suivantes ;

50% de l'activité humaine est responsable du réchauffement climatique, des changements climatiques modérés pourraient impacter les ressources en eau, mais aussi la faune et la flore car les changements climatiques risquent d'être trop rapides par rapport à la capacité de migration et d'adaptation de certaines espèces. Une augmentation du niveau de la mer est prévue d'ici 2100 d'environ 65 cm, ainsi qu'une augmentation des températures de +3°C d'ici 2100.

### **3.1.2.- Deuxième rapport de 1995**

Le GIEC a achevé son deuxième Rapport d'évaluation en décembre 1995. Ce rapport comprend quatre volets : le deuxième Document de synthèse du GIEC, qui présente des informations scientifiques et techniques relatives à l'interprétation de l'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Le Rapport du Groupe de travail I du GIEC – Aspects scientifiques de l'évolution du climat, accompagné d'un résumé à l'intention des décideurs. Le Rapport du Groupe de travail II du GIEC – Analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat ainsi que des mesures d'adaptation et d'atténuation, accompagné d'un résumé à l'intention des décideurs. Le Rapport du Groupe de travail III du GIEC – Aspects socio- économiques de l'évolution du climat, également accompagné d'un résumé à l'intention des décideurs.

En 1995, le Groupe Intergouvernemental sur L'Évolution du Climat (GIEC) composé de plusieurs centaines de scientifiques provenant des quatre coins du monde est venu confirmer par écrit ce qu'une majorité de scientifiques savaient déjà depuis quelques années : *«les faits observés concordent pour indiquer une influence perceptible de l'homme sur le climat»* (Bourque, 2000). Ce rapport conclut aux faits que la concentration de gaz à effet de serre continuera d'augmenter durant les siècles à venir, que les aérosols d'origine humaine ont tendance à produire un forçage radiatif négatif, que le climat a évolué depuis le siècle dernier et continuera d'évoluer, enfin une influence perceptible de l'homme sur le climat global et de nombreuses incertitudes restent pour le climat futur (GIEC, 1995).

### **3.1.3.- Troisième rapport de 2001**

Le troisième rapport du GIEC publié en 2001, confirme et approfondie les conclusions de ses deux précédents rapports sur le réchauffement climatique. Ce rapport présente une synthèse des travaux conduits avec plusieurs modèles sur 40 scénarios d'émission de gaz à effet de serre de 2050 à 2100. L'un des objectifs de ce rapport est de répondre aux objectifs de la CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), qui consiste à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Enfin le rapport examine les lacunes qui subsistent en matière d'information et de compréhension et la manière dont elles peuvent être comblées (GIEC, 2001)

### **3.1.4.- Quatrième rapport de 2007**

Le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC décrit les progrès accomplis dans la compréhension des causes humaines et naturelles des changements climatiques, le changement climatique observé, les processus climatiques et leur rôle dans ce changement, ainsi que les estimations du changement climatique futur résultant des simulations. Il est construit sur la base des évaluations précédentes du GIEC et intègre les nouveaux résultats des six dernières années de recherches. Les progrès scientifiques depuis le troisième rapport reposent sur de nombreuses données nouvelles et plus exhaustives, sur des analyses plus élaborées des données, sur des améliorations dans la compréhension des processus et dans leur simulation par des modèles et enfin, sur une exploration plus complète des fourchettes d'incertitude (GIEC, 2007).

### **3.1.5.- Cinquième rapport de 2013**

Dans cette contribution au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (RE5), le Groupe de travail I examine de nouveaux éléments concernant le changement climatique sur la base de nombreuses analyses scientifiques indépendantes d'observations du système climatique, d'archives paléo-climatiques, d'études théoriques des processus climatiques et de simulations à l'aide de modèles climatiques. Il s'appuie sur sa contribution au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (RE4) et incorpore de nouveaux résultats de recherche obtenus depuis. Composante du cinquième cycle d'évaluation, le rapport spécial intitulé Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique (SREX) représente un socle d'informations important sur l'évolution des extrêmes météorologiques et climatiques, comme résultats ; 95% de probabilité que l'activité humaine soit responsable du réchauffement climatique, risque d'une augmentation de conflits et problèmes sanitaires, et événement climatique extrêmes, risque aggravé d'extinction des espèces, une augmentation du niveau de la mer de près de 1 mètre d'ici 2100, dû à la fonte des glaciers en Antarctique et au Groenland, et enfin le rapport évoque une augmentation de + 5,5°C comme scénario le plus pessimiste (GIEC, 2013).

### **3.1.6.- Sixième rapport de 2022**

Le sixième rapport d'évaluation comprend les contributions des trois groupes de travail du GIEC et, un rapport de synthèse (SYR) qui intègre les contributions des groupes de travail et les rapports spéciaux produits au cours du cycle. La contribution du premier

groupe au sixième rapport d'évaluation porte sur la compréhension physique la plus récente du système climatique et des changements climatiques, en rassemblant les dernières avancées de la science du climat. Quant à la contribution du deuxième groupe, il évalue les impacts du changement climatiques en examinant les écosystèmes, la biodiversité et les communautés humaines aux niveaux mondial et régional. Il passe en revue les vulnérabilités ainsi que les capacités et les limites du monde naturelles et des sociétés humaines à s'adapter au changement climatique. Enfin la contribution du dernier groupe du GIEC au sixième rapport d'évaluation est de fournir une évaluation mondiale actualisée des progrès et des engagements en matière d'atténuation du changement climatique, et examine les sources d'émission mondiales. Il explique l'évolution des efforts de réduction et d'atténuation des émissions en évaluant l'impact des engagements climatiques nationaux par rapport aux objectifs d'émission à long terme (GIEC, 2022).

#### **4.- Impact du réchauffement climatique**

Les impacts du réchauffement climatique sur les systèmes humains et naturels sont déjà visibles, de nombreux écosystèmes terrestres et océaniques ont déjà changé sous l'effet du réchauffement planétaire. Bien évidemment les risques futurs liés au climat dépendent du rythme, de l'intensité et de la durée du réchauffement. Les risques seront plus importants si le réchauffement planétaire dépasse 1,5°C.

Selon les projections des modèles climatiques, les caractéristiques climatiques régionales devraient présenter des différences entre le moment présent et celui où le réchauffement planétaire atteindra entre 1,5 °C et 2 °C. Ces différences consistent notamment dans l'augmentation de la température moyenne dans la plupart des régions continentales et océaniques, des augmentations extrêmes de chaleur dans la plupart des zones habitées, des épisodes de fortes précipitations, ainsi que, la probabilité de sécheresses et de déficits de précipitations dans certaines régions.

D'après les analyses, plusieurs changements climatiques régionaux devraient se produire sous l'effet d'un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels tels qu'une hausse des températures extrêmes dans de nombreuses régions, une augmentation de fréquence, d'intensité de fortes précipitations et épisodes de sécheresse.

Selon les projections, les extrêmes de température sur les terres émergées devraient augmenter davantage que la température moyenne à la surface du globe ainsi, les extrêmes de température des journées chaudes pourraient augmenter d'environ 3 °C aux latitudes

moyennes pour un réchauffement planétaire de 1,5 °C et d'environ 4 °C pour un réchauffement de 2 °C. Les extrêmes de température des nuits froides pourraient augmenter d'environ 4,5 °C aux latitudes élevées pour un réchauffement de 1,5 °C et d'environ 6 °C environ pour un réchauffement de 2 °C ; toujours selon les projections, le nombre de journées très chaudes devrait augmenter dans la plupart des régions continentales, et c'est en zone tropicale que cette augmentation devrait être la plus marquée.

A l'horizon 2100, l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe en cas de réchauffement planétaire de 1,5°C devrait être inférieure de 10 cm environ à celle correspondante à un réchauffement de 2°C. L'élévation du niveau de la mer se poursuivra bien au-delà de 2100, et l'ampleur et le rythme dépendront des trajectoires futures des émissions de GES. La déstabilisation des secteurs potentiellement instables de la calotte polaire de l'Antarctique et/ou la perte irréversible de la calotte glaciaire du Groenland pourrait provoquer une élévation de plusieurs mètres du niveau de la mer à des échelles de temps allant du siècle au millénaire.

L'intensification du réchauffement amplifiera l'exposition des petites îles, des zones côtières basses et des deltas aux risques liés à l'élévation du niveau de la mer pour de nombreux systèmes humains et écologiques.

Le réchauffement planétaire de 1,5°C aura un impact sur la biodiversité et les écosystèmes, y compris la disparition et l'extinction de plusieurs espèces. Selon les projections, le réchauffement planétaire de 1,5°C va augmenter la température des océans ainsi que l'augmentation associée de leur acidité et la diminution de leur oxygénation. En conséquence, cela impactera la biodiversité marine, les pêches et les écosystèmes marins, y compris leurs fonctions écologiques et les services qu'ils rendent aux êtres humains.

- Le degré d'acidification des océans dû à l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> correspondant à un réchauffement planétaire de 1,5 °C devrait amplifier les effets néfastes du réchauffement et même les amplifier davantage en cas de réchauffement de 2 °C, notamment sur la croissance, le développement, la calcification, la survie et, par conséquent, l'abondance d'un grand nombre d'espèces allant par exemple des algues aux poissons.

Les risques liés au climat sur la santé, les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau, la sécurité des personnes et la croissance

économique devraient avoir plusieurs répercussions notamment, en cas de réchauffement planétaire de 1,5°C et même dans le cas d'un réchauffement de 2°C ;

- Certains peuples autochtones et les communautés locales tributaires de moyens de subsistance liés à l'agriculture et aux ressources côtières sont exposés de façon disproportionnée aux conséquences néfastes du réchauffement planétaire de 1,5 °C et plus. Les régions confrontées à un tel risque comprennent les écosystèmes arctiques, les zones arides, les petits États insulaires en développement et les pays les moins. La pauvreté et les préjudices devraient augmenter dans certaines populations à mesure que le réchauffement planétaire s'intensifie.
- selon les projections, toute augmentation du réchauffement planétaire devrait affecter la santé, avec des conséquences principalement négatives. Les risques devraient être moins importants à 1,5 °C qu'à 2 °C de réchauffement pour ce qui concerne la morbidité et la mortalité liées à la chaleur et la mortalité liée à l'ozone si les émissions nécessaires à la formation d'ozone restent élevées. Les îlots de chaleur urbains amplifient souvent l'impact des vagues de chaleur dans les villes. D'après les projections, les risques associés à certaines maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme ou la dengue devraient s'accroître avec un réchauffement passant de 1,5 °C à 2 °C, y compris par suite de déplacements potentiels de l'aire d'extension géographique de ces maladies.
- Selon l'évolution future de la situation socio-économique, la limitation du réchauffement planétaire à 1,5 °C plutôt qu'à 2 °C pourrait réduire de 50 % la fraction de la population mondiale exposée à une intensification du stress hydrique due au changement climatique. De nombreux petits États insulaires en développement devraient en outre faire face à un stress hydrique moins marqué par suite des variations anticipées de l'aridité si le réchauffement planétaire était limité à 1,5 °C plutôt qu'à 2 °C.
- D'après les projections, d'ici la fin du siècle, les risques pour la croissance économique mondiale dans son ensemble dus aux impacts du changement climatique devraient être moindres à 1,5 °C qu'à 2 °C de réchauffement planétaire. Les pays de la zone tropicale et des régions subtropicales de l'hémisphère Sud devraient faire face aux plus forts impacts du changement climatique sur la croissance économique en cas d'augmentation du réchauffement planétaire de 1,5 °C à 2 °C.

- L'exposition aux risques multiples et complexes liés au changement climatique augmente entre 1,5 °C et 2 °C de réchauffement planétaire, avec une plus grande proportion de la population exposée à ces risques et à la pauvreté en Afrique et en Asie.
- En cas de réchauffement planétaire compris entre 1,5 °C et 2 °C, les risques concernant les secteurs de l'énergie, de l'alimentation et de l'eau pourrait se chevaucher dans l'espace et dans le temps, aggravant ainsi les dangers, les expositions et les vulnérabilités actuels et créant de nouveaux risques dont un nombre accru de personnes et de régions pourraient subir les effets.

Parmi les conséquences avancées ci-dessous, seule l'élévation du niveau de la mer sera prise en compte dans ce qui suit.

### **5.- Elévation du niveau de la mer : cause et conséquences**

La commune scientifique internationale s'accorde largement à dire que le changement climatique est en train de se produire et continuera pendant les siècles à venir. Ses effets affectent déjà les systèmes naturels et humains partout dans le monde (GIEC, 2014).

L'élévation du niveau de la mer, est l'un des impacts du réchauffement climatique le plus attendu du 21<sup>ème</sup> siècle, résultant de l'expansion thermique des eaux océaniques et la fonte accrue des glaciers et calottes glaciaires. Les zones les plus touchées par ce phénomène, sont bien évidemment les zones côtières. Ces régions abritent non seulement des milliards de personnes (environ 1,2 milliard, ce qui représente 23% de la population mondiale qui vit sur les côtes), mais elles représentent les systèmes les plus productifs et les plus complexes, abritant une diversité d'espèces de plantes, de poissons et d'animaux sauvage.

L'élévation du niveau de la mer augmenterait la susceptibilité des événements d'inondations des côtes basses, l'augmentation de l'érosion des plages et intrusion saline, ce qui pourrait entraîner d'énormes dégâts entre autres ; des dommages significatifs de biens, d'humains, d'infrastructures, une perte considérable des écosystèmes côtiers, cela causerait également le déplacement de million de personnes connu sous le nom de « réfugiés climatiques » (Snoussi et al., 2010).

### **5.1.- Les tendances du niveau de la mer**

Bien que le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'accorde à travers les différents rapports publiés au cours de 1990<sup>8</sup> jusqu'à 2022, sur le fait que le niveau moyen des mers du globe continuera à s'élever tout au long du siècle et au-delà. L'incertitude demeure encore quant à l'ampleur de ce changement. Le GIEC, estime dans le cadre des scénarios du changement climatique une augmentation de 9 à 88 centimètres entre 1990 et 2100 par rapport à la période 1980-1999.

Selon une série de scénarios du GIEC. (2007), des données satellitaires combinées aux données des marégraphes, estime un taux d'élévation du niveau de la mer de plus de 3 mm par an, ce qui est supérieure à la moyenne des cinquante dernières années (Snoussi et al., 2010). On s'attend à ce que ce taux augmente de façon exponentielle au cours du 21<sup>e</sup> siècle, car les températures continuent d'augmenter.

Selon Snoussi et al. (2010), le taux d'élévation future du niveau de la mer est l'une des incertitudes cruciales dans les projections du réchauffement climatique ; il est également important de reconnaître que l'élévation du niveau de la mer se poursuivra, voir s'accélérera au cours du siècle prochain en raison du décalage entre l'augmentation de la température atmosphérique, le réchauffement des océans et la fonte des glaciers.

### **5.2.- Fluctuation du niveau de la mer au cours des temps géologique**

Le niveau marin est fluctuant à diverses échelles de temps et d'espace en fonction des conditions à long terme du climat et de la stabilité de la croûte terrestre, ou à plus court terme, selon les marées, les vagues, la pression atmosphérique et la salinité de l'eau. Afin d'obtenir la valeur du niveau moyen de la mer, il convient alors de filtrer ces mouvements périodiques et/ou aléatoire.

Dans chaque pays, cette valeur est rapportée à une base ou altitude zéro de référence (Casta et al., 2013). Au cours de l'histoire de la mer d'importantes variations temporelles et spatiales se sont produites et sont relative à la variation du niveau de la mer sur des échelles de temps divers pour les 10 000 à 20 000 dernières années (GIEC, 2001). Les variations du niveau de la mer sont contrôlées par les variations de la forme des

---

<sup>8</sup> 1990, est aussi l'année de base du protocole de Kyoto. Année de référence du protocole de Kyoto, au cours de laquelle presque toutes les nations industrialisées ont accepté un engagement de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (Rahmstorf et al., 2007). In [http://www.pik.potsdam.de/~stefan/Publications/Nature/rahmstorf\\_etal\\_science\\_2007.pdf](http://www.pik.potsdam.de/~stefan/Publications/Nature/rahmstorf_etal_science_2007.pdf)

bassins océaniques, la collision des continents, l'ouverture de nouveaux océans et formations des dorsales océaniques (Lombard, 2005).

Des modélisations des niveaux marins passés indiquent que le niveau global de la mer (le niveau eustatique) a beaucoup fluctué sur des échelles de temps divers au cours de l'histoire, il y a (-20 000 ans) lors du dernier maximum glaciaire le niveau de la mer était d'environ 120 m plus bas qu'aujourd'hui et avec la fonte des calottes glaciaires, le niveau des océans a progressivement remonté et s'est stabilisé il y a environ 6 000 ans.

Les causes des variations du niveau marin diffèrent selon les périodes considérées (Le Cozannet, 2016) :

- Pour des échelles de temps allant de quelques millions d'années à plusieurs centaines de millions d'années, les processus géodynamiques dominent. Il s'agit principalement de géodynamiques interne et externe qui peuvent jouer un rôle ; en effet, la sédimentation peut causer des variations du niveau marin allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres.
- Pour des échelles de temps de quelques dizaines à centaines de milliers d'années, les irrégularités orbitales de la terre 'le cycle de Milankovich' causent l'accumulation de glaces continentales dans l'hémisphère nord et leur fonte, faisant varier le niveau des mers de quelques dizaines à une centaine de mètres.
- Pour des échelles de temps plus courtes (quelques centaines d'années), la crue ou bien la fonte des glaciers de montagne, la dilatation ou la contraction thermique des océans, l'accumulation d'eau dans des réservoirs naturels ou artificiels peuvent devenir des processus non négligeables des variations du niveau eustatique.

L'analyse des données indique que le volume des océans a pu augmenter de 2,5 à 3,5 m le niveau moyen mondial des mers au cours des 6 000 dernières années, les déductions ne permettent pas de déterminer la source de l'eau ajoutée, mais il est probable que les sources soient les nappes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, ainsi que la contribution des glaciers et de l'expansion thermique. Quelques enregistrements du niveau de la mer à haute résolution sur la côte française, indiquent qu'une grande partie de cette augmentation s'est produite entre 6 000 et 3 000 ans environ et que le taux de progression était seulement de 0,1 à 0,2 mm/an au cours des 3 000 dernières années (GIEC, 2001). Depuis 3 000 à 5 000 ans, les résultats indiquent que les oscillations du niveau global de la mer sur des échelles de temps allant de 100 à 1 000 ans sont peu susceptibles d'avoir

dépassé 0,3 à 0,5 m (Ibid, 2001). Au cours des derniers 1 000 ans et avant le 20<sup>e</sup> siècle, le taux de variation du niveau de la mer aurait été inférieur à 0,2 mm/an (Niazi, 2007).

Enfin trois périodes peuvent être distinguées depuis le dernier maximum glaciaire selon Le Cozannet., 2016 :

- De -21 000 à -6 000, le niveau marin s'élève rapidement, son taux atteint plusieurs centimètres par an. Ces épisodes de remontée très rapide du niveau marin ont causé des retraits importants du trait de côte.
- De -6 000 au XIX<sup>ème</sup> siècle, même si cela reste difficile à démontrer, le niveau de la mer est resté stable d'environ  $\pm 25$  cm.
- La dernière période, depuis le XX<sup>ème</sup> siècle, selon les mesures marégraphiques disponibles, le niveau marin s'est élevée d'environ 20 cm.

### **5.3.- Les variations des niveaux de la mer au cours du 21<sup>ème</sup> siècle**

Selon le GIEC. (2007), le réchauffement anthropique et l'élévation du niveau de la mer se poursuivront pendant des siècles même si on parvenait à stabiliser les concentrations des GES, si le forçage radiatif devait se stabiliser et si tous les agents devaient être maintenus aux niveaux correspondant aux scénarios B1 ou AB1 en 2100, les simulations laissent entrevoir une augmentation supplémentaire de température du globe d'environ 0,5 C°.

La dilatation thermique entrainera une élévation du niveau de la mer de 0,3 à 0,8 d'ici 2030 (par rapport à 1980-1999). D'après les modèles, la perte de masse glaciaire participe à l'élévation du niveau de la mer après 2100. Si le réchauffement moyen du globe dépasse 1,9 C° à 4,6 C° par rapport à l'époque préindustrielle et que ce bilan négatif devait se maintenir, l'inlandsis groenlandais disparaîtrait pour ainsi entrainer une élévation du niveau de la mer d'environ de 7 m, un tel réchauffement devrait être comparable à la dernière période interglaciaire il y a 1250 000 ans, l'étendue des glaces terrestres avait diminué aux pôles et le niveau de la mer s'était élevé de 4 à 6 m selon les données paléo climatique disponibles.

Au cours des dernières quatre-vingts années, l'élévation du niveau de la mer moyenne était d'environ 2,4 mm/an ; au cours des 27 dernières années, cette augmentation s'est accélérée pour atteindre  $3,24 \cong 0,3$  mm/an (GIEC, 2019). A l'avenir, le niveau de la mer continuera d'augmenter. Le taux du SLR est incertain et dépend de l'ampleur du réchauffement climatique et des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que la réponse du

système terrestre à ce réchauffement climatique. Une grande incertitude existe dans les contributions des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland voir Figure 7 (GIEC, 2019 ; Timmerman et al., 2021).

Le niveau moyen mondial de la mer augmente à un rythme accéléré et continuera d'augmenter à l'avenir. Les récentes projections d'élévations du niveau de la mer sont de 0,43 m sous RCP 2.6 et 0,84 sous RCP 8.5 d'ici 2100 (GIEC, 2019). Le taux global du SLR entre 1970 et 2015, était de 2,1 mm/an, ce taux est passé à 3,6mm/an au cours de la période 2006-2015. Selon (Oppenheimer, 2019; Timmerman et al., 2021) le taux d'élévation du niveau de la mer pourrait varier de 4 à 15 mm/an d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle.

En 2018, le niveau moyen mondial de la mer était supérieur d'environ 15 à 25 cm à celui de 1990, et de 7 à 15 cm à celui de 1971. Le niveau de la mer continuera d'augmenter de 10 à 25 cm supplémentaire d'ici 2050. Les principales causes de cette élévation continue du niveau de la mer sont l'expansion thermique de l'eau de mer lorsque la température augmente, ainsi que, la fonte des glaciers et nappes glaciaires. Quant aux changements locaux du niveau de la mer, ils peuvent être plus ou moins importants que la moyenne mondiale. Partout dans le monde. Le niveau de la mer a augmenté d'environ 4 mm par an entre 2006 et 2018, soit plus du double du taux moyen enregistré au cours du XX<sup>ème</sup> siècle.

L'élévation au cours des années 1800, et au début des années 1900 était due à des facteurs naturels, tels que le rattrapage par les glaciers du réchauffement survenu dans l'hémisphère nord. Cependant, depuis au moins 1970, les activités humaines sont la cause principale de l'élévation du niveau moyen des mers, et elles continueront à l'être pendant des siècles. Que les émissions de gaz à effet de serre soient réduites ou pas d'ici 2050, le niveau de la mer devrait s'élever de 10 à 25 cm supplémentaire. Même si les émissions nettes sont nulles, l'élévation du niveau de la mer se poursuivra car les profondeurs de l'océan continueront à se réchauffer et les calottes glaciaires mettront du temps à rattraper le réchauffement causé par les émissions passés et actuelles.

Certaines projections à faibles émissions montrent que l'élévation du niveau de la mer se poursuit à mesure que l'on s'approche du niveau zéro à un rythme comparable à celui d'aujourd'hui (3-8 mm/an d'ici 2100 par rapport à 3-4 mm/an en 2015), tandis que d'autres projections montrent une accélération de cinq fois le taux actuel d'ici 2100, en particulier si les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter d'ici 2100, et que le processus qui accélèrent le retrait de la calotte glaciaire de l'Antarctique se produisent largement (GIEC, 2019).

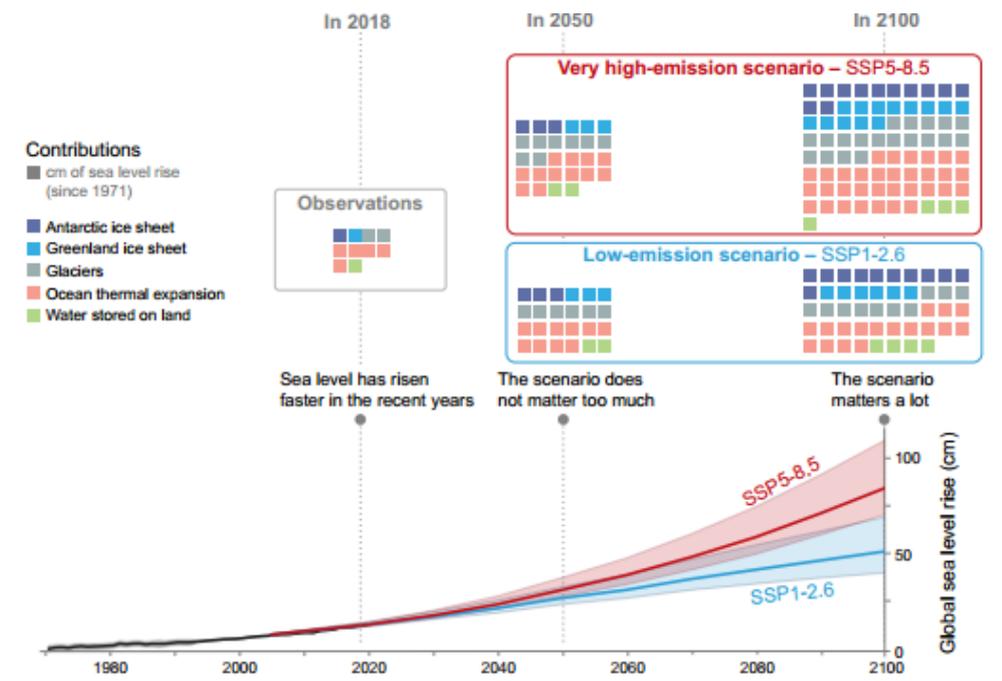


Figure 7: L'élévation moyenne mondiale du niveau de la mer observée et projetée et les contributions de ses principaux constituants. Source: GIEC, 2019, p.1319

#### 5.4.- Impact théorique de l'élévation du niveau moyen de la mer sur la dynamique côtière

Avec le processus d'érosion, notamment l'agitation marine et la position relative du niveau de la mer, les littoraux sont en ajustement permanent. La dynamique côtière (érosion ou accrétion)<sup>9</sup> est un phénomène naturel accentué par les activités humaines, un changement des conditions climatiques et une élévation du niveau marin inhérent.

Parmi les facteurs souvent évoqués pour expliquer l'ampleur de l'érosion dans le monde, la crise sédimentaire induite par l'épuisement d'un stock sédimentaire hérité de la dernière transgression marine et les actions anthropiques sont souvent avancées ; il est également admis que l'élévation future du niveau marin se traduira par une érosion accrue des côtes (figure 8).

L'élévation du niveau de la mer n'est qu'un des facteurs expliquant la mobilité des côtes, mais elle représente un facteur fort. Son influence sera particulièrement forte sur les formes d'accumulation généralement basses telles que les deltas, les baies, les estuaires et les marais maritimes, les récifs coralliens, les plages et dunes, ou encore les falaises, voir la figure suivante.

<sup>9</sup> En géologie, c'est l'accroissement d'une région continentale ou océanique par apport de matériaux.

La quantification de l'impact de la montée des mers sur l'érosion des côtes est encore très délicate. Des lois semi-empiriques telles que la loi de Bruun utilisent des paramètres géométriques d'un profil de plage pour déterminer son adaptation morphologique en cas d'une hausse du niveau moyen de la mer. Cependant, bon nombre de travaux ont mis en évidence que les résultats quantitatifs de cette loi ne correspondent pas à la réalité et ne peuvent donc pas s'appliquer à la plupart des sites côtiers (Casta et al.,

### 5.5.- Moyens de mesures et d'observation du niveau marin

Le processus de changement climatique que nous connaissons aujourd'hui est très rapide à l'échelle des temps géologique. Afin d'évaluer son ampleur et de suivre l'évolution du climat et de ses effets locaux, les scientifiques ont besoin d'une série de données historiques enregistrées sûres de longues périodes d'au moins deux décennies. À l'échelle de la planète, la montée récente du niveau de la mer peut être estimée de trois

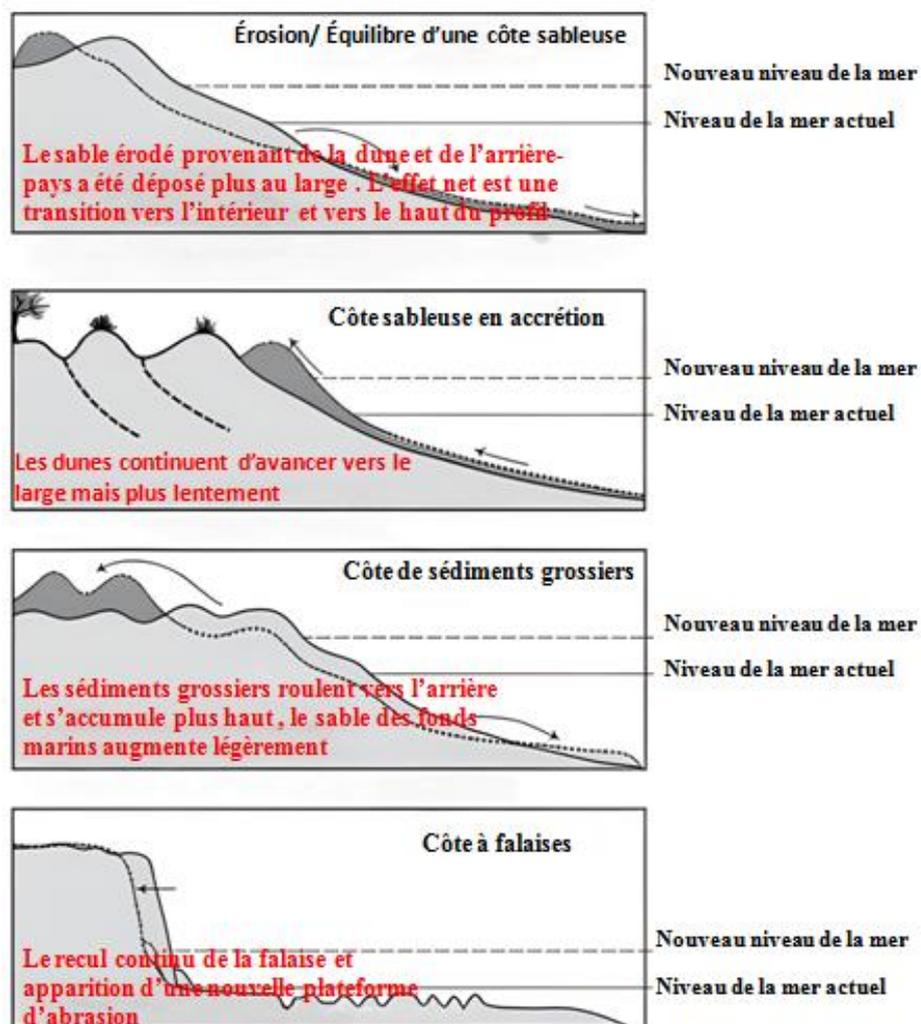


Figure 8: Impacts attendus de l'élévation du niveau de la mer sur divers types de côte. Source: auteur modifié sur la base de Coasta et al. (2013).

manières ; notamment les marégraphes pour le dernier siècle, l'analyse des différentes causes possibles de variation du volume des eaux océaniques, et les altimètres satellitaires pour la dernière décennie (Pirazzou, 2000). Les marégraphes sont utilisés depuis un siècle déjà. Fixés à la côte, ils permettent de reconstituer les variations à long terme du niveau de la mer, et de fournir une mesure du niveau de la mer relative à la croûte terrestre. Pour accéder aux variations du niveau de la mer absolu, il est indispensable de corriger ces mesures des mouvements verticaux de la croûte terrestre.

Quant aux satellites altimètres, ils fournissent des observations globales du niveau de la mer. À l'opposé des marégraphes, les altimètres mesurent le niveau de la mer absolu, par rapport au centre de masse de la terre. Ils sont opérationnels depuis une douzaine d'années (Lombard, 2005).

Dans ce qui suit nous allons détailler ces deux moyens d'observation du niveau de la mer.

### **5.5.1.- Les marégraphes**

Les enregistrements des marégraphes sont les seuls témoins d'observations du niveau marin passé, remontant près de 300 ans (Chaumillon et al., 2011). Au 18<sup>ème</sup> siècle, les premières mesures marégraphiques sont des lectures de hauteurs d'eau sur une échelle de marée simple mire graduée en bois fixée à un quai. Dès le 19<sup>ème</sup> siècle de nombreux marégraphes mécaniques automatiques se sont développés par la suite 'les marégraphes à flotteur'. Depuis les techniques se sont modernisées<sup>10</sup>, nous retrouvons 'les marégraphes à ultrasons' et 'marégraphes à pression'.

Les premières mesures du niveau de la mer par les marégraphes remontent au 18<sup>ème</sup> siècle, fournissant une longue série temporelle pour l'estimation des variations séculaires du niveau de la mer ; elles sont accessibles grâce au service permanent du niveau moyen de la mer (PSMSL : Permanent Service For Mean Sea Level). Seules une vingtaine de stations utilisables ont traversé le XX<sup>ème</sup> siècle, principalement sur les côtes d'Europe et l'Amérique du nord. Cependant les marégraphes présentent de nombreuses limitations pour l'étude des variations du niveau de la mer à long terme, notamment leur distribution spatio-temporelle faible (inhomogène et insuffisante) et leur mesure relative à

---

<sup>10</sup>« Quelque soit la technique utilisée, le marégraphe mesure le niveau instantané de la mer par rapport au niveau de référence de l'observatoire. Cette référence local est défini par rapport à des repères matériels au voisinage immédiat du socle de l'instrument, appelés repères de marée. Ces repères assurent la continuité et la cohérence des observations du niveau de la mer, notamment si elles sont effectuées par plusieurs marégraphes successifs » (Lombard, 2005, p.139).

la côte (souffrant de nombreux signaux parasites tels que les mouvements verticaux) (Djouder, 2018 ; Lombard, 2005).

### **5.5.2.- Les satellites altimètres**

Au cours de 1990, se sont développées les premières applications océanographiques de l'altimétrie grâce aux missions franco-américaines Topex/Poseidon (1992) et européenne ERS-1 (1991) et ERS-2 (1995) ; la surface des océans est sous la surveillance précise des radars embarqués sur satellite, fournissant des hauteurs d'eau à quelques centimètres près par rapport au centre des masses de la terre. Les satellites ont permis l'accès au large, difficile par les mesures *in situ*, avec une couverture spatiale dense et régulière (Chamillon et al., 2011 ; Lombard, 2005).

Depuis 1992, les satellites altimétriques (Topex /Poseidon puis Jason-1 et Jason-2) mesurent régulièrement le niveau de la mer. Les données montrent que depuis l'existence de ces satellites, le niveau moyen de la mer s'est élevé d'environ 3,3 mm/an, une valeur significative supérieure à celle calculée à partir des mesures marégraphiques sur l'ensemble du XX<sup>e</sup> siècle. Ces derniers donnent une information ponctuelle et une mesure relative alors que les satellites donnent une information pour l'ensemble de la surface de la mer. Ces mesures montrent également que l'augmentation du niveau de l'eau n'est pas uniforme d'un océan à un autre et même pas d'une partie à l'autre d'un même océan (Beltrando, 2012).

## **6.- Les principaux facteurs des variations du niveau de la mer**

L'élévation du niveau de la mer observée depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle est une conséquence du réchauffement climatique d'origine anthropique. L'océan se réchauffe et se dilate, d'autre part le réchauffement climatique cause une fonte accélérée des glaciers de montagne, tandis que celle des calottes Antarctique et Groenlandaise s'amorce. Les retenus d'eau terrestre jouent également un rôle, mais d'un ordre de grandeur inférieure aux effets cités précédemment (Le Cozannet., 2016).

Les émissions anthropiques au-delà de 2100 sont très incertaines, et cela ne permet que d'indiquer une gamme de possibilités pour le changement du niveau de la mer. À l'échelle des siècles, l'expansion thermique et les changements de la couche de glace sont probablement les processus les plus importants. Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, l'expansion thermique de l'océan et la fonte des glaciers ont été les deux principaux contributeurs à la hausse du niveau de la mer. Depuis les années 1990, la fonte des calottes du Groenland et

de l'Antarctique s'accélère, et leur part dans le bilan global augmente (GIEC, 2001 ; Le Cozannet., 2016).

Selon le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC en 2013, la dilatation thermique contribue de 30 à 55% à la hausse totale du niveau des mers, tandis que la contribution des glaciers est de 15 à 35%. Sur la calotte Antarctique, la fonte en surface restera plus au moins faible, mais les précipitations neigeuses augmenteront ce qui entrainera une contribution négative au niveau futur des mers en raison du changement du bilan de masse en surface.

Quant à l'écoulement des deux calottes glaciaires, elles contribueront probablement à hauteur de 0,03 à 0,20 m d'ici 2081-2100. Seul l'effondrement des parties marines de l'Antarctique, pourrait entrainer s'il se déclençait une hausse du niveau de la mer supérieure à l'intervalle probable pour le XXI<sup>e</sup> siècle, cette contribution ne dépasserait pas quelques dixièmes de mètre. Selon le dernier rapport du GIEC. (2019).

L'expansion due au réchauffement a causé environ 50 % de la hausse observée entre 1971 et 2018. La fonte des glaciers sur la même période a contribué à hauteur de 22% environ. La fonte des deux grandes nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a contribué à environ 13 % et 7 %, respectivement, entre 1971 et 2018, mais la fonte s'est accélérée au cours des dernières décennies, augmentant leur contribution à 22 % et 14 % depuis 2016. Une autre source est constituée par les changements dans le stockage de l'eau dans les terres : les réservoirs et les aquifères terrestres ont diminué, ce qui a contribué à une augmentation d'environ 8 % du niveau de la mer.

L'élévation du niveau de la mer présente des disparités régionales, celles-ci sont dues en premier lieu au réchauffement non homogène des couches de surface de l'océan, deuxièmement, d'autres processus jouent également un rôle, telles que les variations de salinité de l'océan et les déformations de la terre solide. Concernant ce dernier phénomène, l'effet actuellement le plus évident est l'ajustement. La fonte des calottes polaires induit également des déformations de la terre solide et du champ de gravité, mais ces effets sont inférieurs à ceux décrits avant. D'autres facteurs peuvent affecter la variation du niveau marin relative à la côte, notamment les mouvements du sol d'origine anthropique (extractions d'eaux souterraines, d'hydrocarbures...) ou naturelle (tectonique, volcanisme, autres mouvements de terrain) (Le Cozannet., 2016).

Selon le même auteur, l'élévation du niveau de la mer relativement à la côte peut être vue comme la somme de trois termes (figure 9);

- Composante globale correspondant à l'élévation du niveau marin moyen, principalement causée par le réchauffement de l'océan, la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires.
- Composante régionale causée par le réchauffement hétérogène de la surface de l'océan, les variations de salinité et les déformations du sol et du géoïde<sup>11</sup> en réponse aux redistributions de masses passées et actuelles.
- Composante locale correspondant aux mouvements verticaux de surface, lorsqu'ils existent.

Des études récentes ont mis en exergue des variations du niveau des mers relativement faibles au cours des deux derniers millénaires, le taux d'élévation est resté très bas jusqu'à l'ère industrielle fin du 18<sup>ème</sup> siècle et début du 19<sup>ème</sup> siècle où la tendance à la hausse du niveau de la mer est devenue évidente (Djouder, 2018). Le niveau moyen mondial des mers, continuera à s'élever au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Selon tous les RCP, il est fort probable que cette élévation se produit à un rythme plus rapide que celui entre 1970-2010, en raison du réchauffement accru des océans et l'augmentation de perte de masse des glaciers et nappes glaciaires (GIEC, 2013).

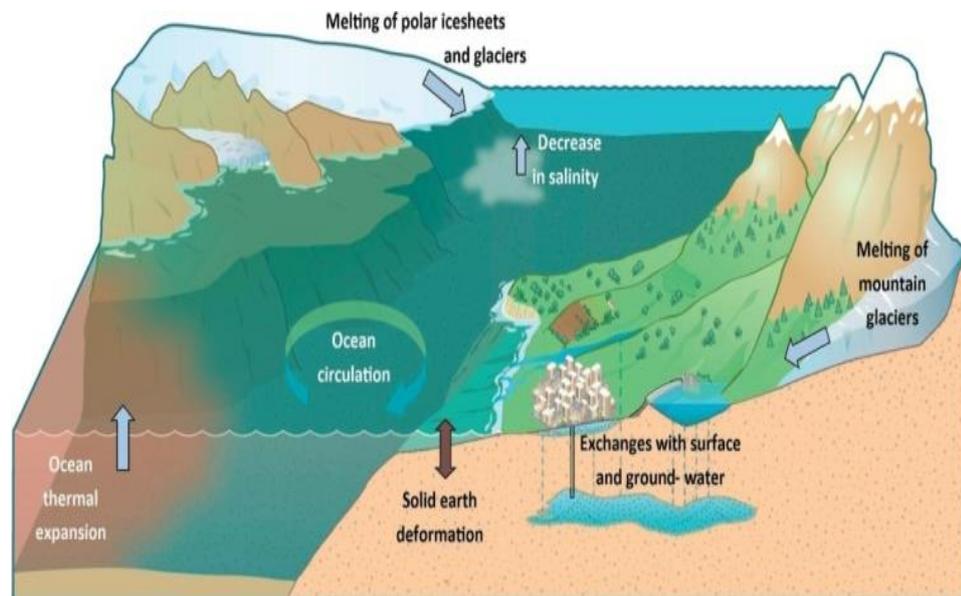


Figure 9: les principaux facteurs contribuant à la variation du niveau de la mer. Source : Cazenave and Le Cozannet., 2014. In <http://dx.doi.org/10.1002/2013EF000188>.

<sup>11</sup> Surface théorique de la pesanteur, qui correspond au niveau moyen des mers.

À côté de ces facteurs liés au réchauffement global, d'autres facteurs liés à l'action de l'homme interviennent aussi dans l'élévation ou la baisse locale ou régionale de la mer. Les aménagements sur le littoral à diverses échelles spatiales (dragage de corail pour permettre le passage des bateaux, constructions de ports, de digues, ou encore l'aménagement de barrages sur les fleuves ou la déforestation sous les basses latitudes sont autant des facteurs qui perturbent les échanges sédimentaires naturels et ont donc une influence sur le niveau de la mer (Beltrando, 2012).

### **6.1.- Dilatation thermique**

La variation thermométrique du niveau de la mer également appelée 'expansion thermique', résulte des changements de la température de l'océan. L'augmentation de la température réduit la densité de l'océan et augmente le volume par unité de masse. Les changements thermométriques contribuent à la variation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale.

Le niveau moyen mondial a augmenté plus rapidement au cours du 20<sup>ème</sup> siècle qu'au cours de tout autre siècle, avec une augmentation de 0,20 (0,15 à 0,25) m sur la période 1901-2018. L'expansion thermique et la perte de masse des glaciers ont contribué d'environ 38% et 41% de 1901 à 2018. La contribution du Groenland et de l'Antarctique à l'élévation du niveau moyen de la mer mondial a été quatre fois plus importante au cours de la période 2010-2019 qu'au cours de la période 1992-1999. En raison de la perte de masse accrue de la calotte glaciaire, la perte totale de glace terrestre a été le principal facteur contribuant à l'élévation du niveau moyen mondial de la mer au cours de la période 2006-2018 (GIEC, 2019).

### **6.2.- Fonte des glaces continentale**

Les nappes glaciaires du Groenland et l'Antarctique, sont les plus grands réservoirs d'eau douce gelée et donc potentiellement les plus grands contributeurs à l'élévation du niveau de la mer. Les fluctuations du volume de l'inlandsis résultent du déséquilibre entre l'accumulation à la surface de l'inlandsis sous les plateaux et la perte due à la sublimation (GIEC, 2019, p.1220).

La somme des contributions de la calotte glaciaire et des glaciers sur la période 2006-2015 est la principale source d'élévation du niveau de la mer (1,8 mm an<sup>-1</sup>), dépassant l'effet de la dilatation thermique de l'eau de mer (1,4 mm an<sup>-1</sup>).

En 2100, la contribution projetée de la calotte glaciaire du Groenland à l'élévation du GMSL est de 0,07 m (0,04–0,12 m) sous RCP2.6 et de 0,15 m (0,08–0,27 m) sous RCP8.5. Quant à la calotte glaciaire de l'Antarctique, elle devrait contribuer en 2100 de 0,04 m (0,01 à 0,11 m) sous RCP2.6 et de 0,12 m (0,03 à 0,28 m) sous RCP8.5. L'inlandsis du Groenland contribue actuellement davantage à l'élévation du niveau de la mer que l'inlandsis de l'Antarctique (GIEC, 2019 a).

L'élévation du niveau de la mer au XX<sup>e</sup> siècle était dominée par l'expansion thermique de l'eau océanique, désormais la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires est un contributeur annuel plus important. Des incertitudes sur la façon dont laquelle les calottes glaciaires réagiront à un réchauffement supplémentaire existent, ce qui réduit la confiance dans les projections du niveau de la mer projeté par le GIEC au XXI<sup>e</sup> siècle (Siegert et al., 2020).

## **7.- Les conséquences prévisibles de la remontée du niveau marin**

Selon les projections du GIEC, les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer entraîneront un accroissement des risques auxquels seront exposées les côtes, notamment en matière d'érosion et de submersion marine. Ces phénomènes seront amplifiés par la pression croissante qu'exerceront les activités humaines sur les zones littorales. D'ici 2080, le GIEC prévoit que plusieurs millions de personnes supplémentaires subiront chaque année les conséquences d'inondations due à l'élévation du niveau de la mer. Les terres basses très peuplées des grands deltas d'Asie et d'Afrique seront les plus touchées (GIEC, 2007).

Parmi les conséquences citées par le (GIEC, 2007) nous retrouvons :

- Augmentation des dégâts provoqués par les crues et tempêtes.
- Pertes d'environ 30% des zones humides côtières de la planète.
- Des millions de personnes supplémentaires exposées à des inondations côtières chaque année.
- Salinisation des eaux d'irrigation, des estuaires et des systèmes d'eau douce.
- Diminution de la qualité d'eau douce disponible en raison de l'intrusion d'eau salée.
- Risque accru de décès et des blessures lors des inondations effets sanitaires liés à la migration.

- Coût de la protection du littoral par rapport au coût de la réaffectation des terres, déplacement des infrastructures et des populations.

Selon Snoussi et al. (2010) l'élévation du niveau de la mer affectera les caractéristiques physiques, biologiques et biogéochimique des côtes à différentes échelles de temps et d'espaces, notamment :

- L'inondation et déplacement des terres basses et humides, érosion côtière, augmentation de la salinité des eaux, intrusion d'eau salée dans les aquifères d'eaux douces et dégradation de la qualité d'eau, changement de la marée dans les baies et rivières, modification des schémas de dépôt des sédiments, pertes d'habitats côtiers.

Ces changements biophysiques génèrent divers impacts socio-économiques dont les suivants (Ibid, 2010).

- Des dommages aux infrastructures côtières (surtout celles pour le transport et le loisir), une augmentation des pertes de biens, une augmentation des maladies, une augmentation des risques d'inondations et des pertes potentielles de vie humaine, un changement dans les ressources renouvelables et de subsistance, la perte des ressources et de valeurs culturelles, réductions du fonctionnement des systèmes de drainage et d'égouts, et enfin susceptibilité accrue à la liquéfaction en raison de l'élévation des niveaux des eaux souterraines.

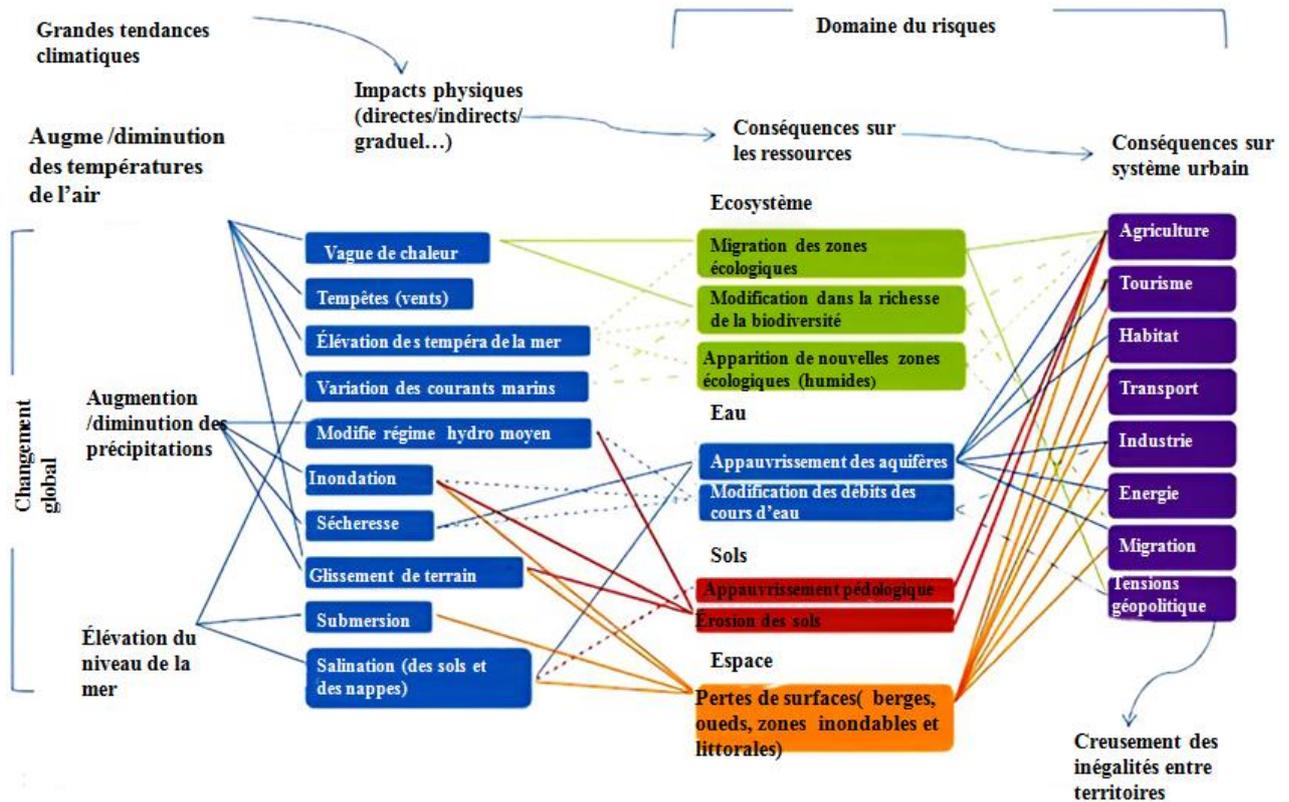


Figure 10: les différents impacts en relation avec le changement climatique. Source: Lalaoui. (2014)

## 8.- Synthèse

Nous avons constaté à travers ce chapitre que l'élévation du niveau de la mer est un phénomène inéluctable d'ici la fin du siècle dont la vitesse et l'intensité dépendent du réchauffement climatique. Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, l'expansion thermique de l'océan et la fonte des glaciers ont été les deux principaux contributeurs à la hausse du niveau de la mer (Le Cozannet, 2016), désormais la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires est un facteur annuel plus important (Siegert et al., 2020).

Il est désormais certain que la montée du niveau de la mer est d'origine anthropique et que la gouvernance des activités humaines constitue un levier d'action majeure pour son atténuation. Selon les travaux les plus récents en la matière et les différents rapports du GIEC, ce phénomène s'accélère depuis des années et ne cessera d'augmenter au cours des prochaines décennies. Il affectera d'une manière considérable les littoraux et les zones côtières un peu partout dans le monde particulièrement où se concentrent de nombreuses activités touristiques, sociales et économiques. Les zones du delta, les îles et les bandes côtières de faible altitude sont particulièrement exposées au risque de submersion marine et de dommages lors des tempêtes. L'anticipation de ce risque

est alors primordiale et constitue dès lors un enjeu majeur compte tenu des investissements considérables et nécessaire à l'adaptation des littoraux, et des populations à court, moyen et long terme (Lacroix et al., 2019).

Les effets de l'accélération de cette élévation sont déjà visibles dans plusieurs pays et régions du monde, le cas des îles Maldives menacées de submergement sont aujourd'hui un échantillon alarmant qui préfigure les risques sur les zones littorales (Aouissi, 2019). Même si l'élévation du niveau marin serait connue de manière précise les incertitudes quant aux conséquences en termes de submersion marine, érosion côtière et intrusion d'eaux salines dans les aquifères demeuraient importantes en raison de la complexité des processus morpho-dynamiques et géologiques enjeu ce qui ne facilite pas la prise de décision (planton et al., 2012).

En dépit des incertitudes qui subsistent quant aux futurs niveaux de la mer et aux impacts qui en découlent, il devient important de prendre en compte les effets de l'élévation du niveau de la mer en fournissant une évaluation préliminaire des impacts régionaux de ce phénomène (Cazenave and Le Cozannet, 2014).

Dans tous les cas, agir dès maintenant en anticipant la hausse du niveau marin via divers scénarios et en limitant le changement climatique permettra de réduire les coûts de l'adaptation littorale et de limiter les crises.

## **CHPITRE 2 : LE LITTORAL ALGEROIS, CONTEXTE LEGISLATIF, GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE**

### **1.- Introduction**

Sur les 300 millions d'habitants que compte la région MENA (Middle East and North Africa), environ 60% vivent en ville. Les villes côtières qui hébergeaient 60 millions d'habitants en 2000, devraient y compter d'après les projections démographiques jusqu'à 100 millions d'habitants d'ici 2030 (Egis Eau, IAU-IDF, BRGM, 2013 ; Ennesser et al., 2016). Ces villes représentent à la fois les lieux les plus productifs, mais aussi les plus sérieusement exposés aux impacts du changement climatique du fait de leur situation géographique côtière (AIVP, 2021).

La région MENA est très exposée aux aléas géologiques notamment les séismes, les mouvements de terrain et les inondations. Selon une étude de la Banque Mondiale, cette région sera la deuxième la plus affectée par la montée du niveau des eaux, d'autant plus que la moyenne des catastrophes naturelles dans cette région a triplé depuis 1980. L'interaction entre les catastrophes naturelles, la rareté de l'eau, le changement climatique et la pression démographique rendent ces zones côtières plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes, tels que les inondations dues à l'élévation accélérée du niveau de la mer.

Comme nous avons pu le voir à travers le chapitre 1, ce phénomène peut avoir des conséquences dévastatrices pour les villes portuaires, où sont hébergées d'importantes concentrations de populations et de richesse, mais aussi des fonctions essentielles au fonctionnement de l'économie mondiale à l'instar de la ville d'Alger et de son port. Il est donc urgent d'évaluer les risques et sources de vulnérabilités de la région afin de renforcer la résilience des villes concernées (AIVP, 2018 ; EgisEau, IAU-IDF, BRGM, 2013 ; Ennesser et al., 2016).

Pour cela une étude en deux phases a été menée entre 2009-2013, Co-piloté par la Banque Mondiale et le Groupe Caisse des Dépôts et Consignations (CDC), sous le programme « Ville et Changement Climatique ». Une étude composée d'une équipe multidisciplinaire réunie par Egis, BRGM et l'IAU-IDF, a conduit au développement d'une méthodologie applicable à l'ensemble des villes du pourtour méditerranéen qui consiste à évaluer en premier lieu les vulnérabilités des villes aux changements climatiques et aux risques naturels (inondations, glissements de terrain, tremblements de terre et

tsunamis, vagues de chaleur et de froid, submersion marine/érosion et stress hydrique), et en deuxième lieu d'élaborer des recommandations et des plans d'actions à destination des acteurs locaux pour renforcer l'adaptation des villes aux changements climatiques et aux risques naturels pour quatre sites de première importance pour le bassin Méditerranéen ; Tunisie, Alexandrie, Casablanca et enfin Alger.

Dans cette thèse de recherche nous nous intéresserons seulement à l'étude qui porte sur le périmètre de la wilaya d'Alger. Plusieurs types de menaces naturelles ont été considérés notamment : les inondations urbaines, pénurie d'eau, vague de chaleur, mouvements de terrain, séisme et tsunami, élévation du niveau de la mer, érosion et submersion marine des zones côtières dans un contexte actuel et future à l'horizon 2030 (Ennesser et al., 2016).

Nous nous concentrons essentiellement pour cette recherche sur le risque d'inondations dues à l'élévation accélérée du niveau de la mer à l'horizon 2030. L'étude portant sur le périmètre de la wilaya d'Alger a permis la conduite d'une étude intitulée « Vulnérabilité et l'Adaptation de la wilaya d'Alger au Changement Climatique et aux Risques Naturels. Phase 1, évaluation et représentation des sources de vulnérabilités. Mars 2013 ». Cette étude met en exergue la vulnérabilité de la wilaya d'Alger face aux risques naturels et aux impacts du changement climatique dans un contexte actuel et futur à l'horizon 2030, elle met en évidence également la vulnérabilité du littoral algérois face à l'élévation du niveau de la mer et la nécessité de développer des stratégies d'adaptation.

Les principales conclusions de cette étude se présentent comme suite ; le réchauffement climatique déjà observé devrait se poursuivre jusqu'à l'horizon 2030 ; il serait associé à une augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été, une baisse du cumul annuel de précipitation inférieure à 10%, la probabilité d'allongement des périodes de sécheresse, la hausse de pluies extrêmes de 10 à 30% et l'augmentation dans le futur des événements extrêmes. En dehors des risques géologiques et sismiques, les autres risques naturels seront aussi affectés par le changement climatique. Les conditions d'érosions et de submersions marines seront notamment affectées par l'élévation du niveau de la mer provoqué par le réchauffement climatique (via l'expansion thermique et la fonte des calottes polaires). Il est prévu que cette élévation entraîne des dégâts conséquents directs et indirects sur le littoral et sur les différents secteurs de l'économie, en particulier celui du tourisme en cas de tempête associé à un haut niveau d'eau (Egis-eau et al., 2013).

Elle souligne également que le PDAU d'Alger et les lois gérant le littoral ne prennent pas en considération les risques liés aux changements climatiques notamment

l'aléa submersion marine. Ceci obligera d'intervenir et de prévoir des mesures d'adaptation, d'autant plus qu'Alger recevra le long de son littorale des projets de rénovation et d'expansions urbaines à l'horizon 2030 susceptibles d'augmenter l'exposition des enjeux et la vulnérabilité du littoral d'Alger vu leurs situations dans des zones à risque.

La présence de nombreuses structures de protections contre l'érosion côtière au niveau de la baie d'Alger (figure 11), démontre le dysfonctionnement accru de ce linéaire côtier et confirme la vulnérabilité de ce littoral (Rabehi, 2018).



Figure 11: Présence de structure de protection dans la baie d'Alger. Source: Rabehi. (2018).

## 2.- La situation environnementale en Algérie

La détérioration de l'environnement naturel à cause de la production et de consommation hautement préjudiciable a fait que les États prennent des mesures afin d'infléchir cette tendance qui menace non seulement le bien-être humain mais aussi celui de la planète à long terme. L'écosystème algérien est particulièrement vulnérable aux conséquences du réchauffement climatique. Dû principalement à des caractéristiques climatiques majoritairement aride et semi-aride, une pluviométrie faible et des ressources naturelles inégalement réparties (Belfatmi, 2016). Un bref bilan de la situation environnementale en Algérie s'impose.

Le Rapport National sur l'Etat et l'Avenir de l'Environnement, qui a servi de base à l'élaboration du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), dresse un bilan alarmant dans les années 2000 (Ramdane, 2011). Après l'indépendance les décideurs n'avaient accordé aucun intérêt à ce sujet. Cependant une préoccupation environnementale avait eu lieu en 1967, le premier code communal faisant obligation de prévenir et de prendre les dispositions nécessaires pour lutter contre

les maladies épidémiques et contagieuses. C'est le plan triennal entre 1970-1973 qui reflète l'approche officielle de la protection de l'environnement.

Le secteur de l'environnement n'a pas fait l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics algériens, bien que la première loi algérienne relative à l'environnement ait été promulguée en 1983 (Belfatmi, 2016)<sup>12</sup>. C'est en fait qu'en 2001, face à la gravité des problèmes environnementaux que le gouvernement algérien a décidé de consacrer une enveloppe financière importante pour atteindre les objectifs inscrits sur le plan National d'Actions pour l'environnement et le développement durable pour une période de dix ans (Bouroumi, 2017). Cela a poussé les autorités algériennes, à s'engager dans le domaine environnemental qui s'est traduit par un renforcement institutionnel et législatif ainsi que par l'adoption de plusieurs stratégies œuvrant à la protection des principaux secteurs de l'environnement (Belfatmi, 2016).

### **3.- Conventions et accords relatifs à la protection de l'environnement ratifiés par l'Algérie**

Au niveau international, l'Algérie participe à la ratification de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer en 1996. Elle a également ratifié la convention de Ramsar, la convention de Paris relative à la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel, la convention de Barcelone pour prévenir et combattre la pollution de la mer Méditerranée et protéger et améliorer le milieu marin de cette zone, le protocole de Genève pour assurer la protection des aires marines importantes pour la sauvegarde des ressources naturelles et des sites naturels de la mer Méditerranée ainsi que la sauvegarde du patrimoine culturel de la région, la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et le protocole de Kyôto qui prévoit une réduction considérable des gaz à effet de serre (Kacemi, 2009).

Au niveau régional, elle a accordé au sein de l'Union du Maghreb une attention particulière à la question du climat compte tenu de la vulnérabilité de la région. En ce qui concerne le niveau national, l'Algérie a entrepris quelques initiatives telles que la mise en place d'un cadre législatif ambitieux mais difficile à appliquer compte tenu de l'insuffisance des capacités institutionnelles, scientifiques et techniques pour le développement d'approches intégrées et à leur mise en œuvre. Dans le cadre de la Stratégie Nationale de l'Environnement, la période 2000-2003, a connu un renforcement juridique et

---

<sup>12</sup>Son application a été retardée du fait de procédures excessivement longues et de déficiences au niveau de sa conception

réglementaire. De nombreux textes réglementaires et lois relatifs à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ont vu le jour (Bouroumi, 2017 ; Mebarki, 2013 ; Ramdane, 2011), on peut citer :

- Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- Loi n° 02- 08 du 08 mai 2002, relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement.
- Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- 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.
- Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.
- Loi n° 06-06 du 20 février 2006 portant loi d'orientation de la ville.
- Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition.

Au niveau du cadre institutionnel relatif à l'environnement en Algérie, plusieurs institutions spécialisées ont été créées dont le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable, en 1994, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en 2000. Enfin, plusieurs organismes ont été créés afin de soutenir et de poursuivre des objectifs spécifiques (Office National des Statistiques, Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable ONEDD en 2001, Commissariat National du Littoral, Agence Nationale des Déchets AND en 2002, le Centre National de Développement des Ressources Biologiques en 2003, le Centre National des Technologies de Production Plus Propres en 2002, l'Agence Nationale des Changements Climatiques en 2005 et le Conseil Intersectoriel de la Maîtrise de l'Energie en 2005 (Belkacem et Moroncini, 2018 ; Bouroumi, 2017).

Le recensement de la situation environnementale en Algérie menaçant le futur du pays a fait ressortir plusieurs problématiques notamment des ressources en eau limitées et de faible qualité, des ressources en sols et en couverture végétale en dégradation constante, des pollutions industrielles et urbaines qui sont à l'origine de plusieurs problèmes de santé publique et enfin des problématiques liées à la frange côtière.

Le littoral algérien, qui s'étend de Merset Ben-Mhidi à l'ouest jusqu'à Cap Roux à l'est, est estimé à environ à 1600 Km. Il se distingue par des paysages très diversifiés et très riches (plages, falaises, massifs forestiers, parcs naturels, etc), néanmoins l'environnement côtier algérien 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 (Belftami, 2016 ; Ramdane, 2011).

Nous verrons dans les sections qui suivent les mesures législatives prises par le gouvernement algérien pour assurer la protection et la valorisation du littoral, ainsi que ses limites.

#### **4.- La zone côtière algéroise soumise à de multiples risques naturels**

La région algéroise présente des reliefs par endroits prononcés source d'une certaine instabilité des terrains naturels. Elle est soumise à de fortes pressions d'origine naturelle tels que (les risques sismiques et de tsunamis, érosion/accrétion, intrusion d'eau salée, etc.) et d'autre part d'origine humaines telles que la perte de biodiversité, la pollution, etc. (Chaib et al., 2020). Trois types de mouvement de terrain peuvent être distingués dans cette région : les glissements de terrain superficiel à cinétique rapide pouvant se transformer en coulées de boue, glissement de terrain à cinétique lente et enfin les chutes de pierres et de blocs. Elle constitue une zone de forte sismicité où d'importants séismes dévastateurs ont eu lieu, parmi eux le séisme de 1365 à Alger, 1716 dans la Mitidja, 1790 à Oran et 1825 à Blida (Egis-Eau, IAU-IDF et al., 2013).

Selon Larara et al .(2012), trois autres séismes auraient où ont pu générer des tsunamis, considérés comme un phénomène naturel dévastateur sur les zones côtières nous retrouvons notamment celui de Jijel en 1856, celui d'Orléans ville en 1954, et d'El Asnam en 1980 et enfin celui de Zemmouri en 2003, qui est l'origine d'un tsunami au niveau des côtes européennes mais de faible amplitude. Le territoire de la wilaya est également couvert d'un réseau d'oueds assez dense, dont certains sont des cours d'eaux permanents ; ces oueds génèrent certaines risques d'inondation comme fut le cas tragique de la crue de Oued Koriche en 2001 à Bab El Oued, qui a causé d'énormes dégâts (Egis-Eau, IAU-IDF

et al., 2013). Cet évènement météorologique a fait plus de 751 victimes dont plus de 700 personnes à Alger, des dégâts estimés à 300 millions USD, plus de 2700 habitations ont été sévèrement endommagées, près de 109 routes ont aussi été endommagées et 16 autres départements ont été affectés à un degré moindre durant laquelle Alger a enregistré en quelques heures l'équivalent de la pluie totale mensuelle (Agoumi, 2003).

Le littoral algérois s'étend sur 1640 km. Comme la majorité du pourtour méditerranéen, l'espace côtier algérois est le lieu d'interaction de multitudes de variables intenses « Hommes –Environnement ». Il représente un écosystème fragile, constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière (Rabehi, 2018 ; Rabehi et al., 2019). Il présente une alternance de falaise avec ou sans plages adossées, baie rocheuse ou sableuse entre promontoire rocheux, plage, dune (Egis-Eau, IAU-IDF et al., 2013 ; Maouche et al., 2009). En fonction de la morphologie rencontrée les risques d'érosion et de submersion marine seront plus important, en moyenne la côte algéroise perdrait 2, 25 m/an, ce dernier est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs associés au déséquilibre dans le bilan sédimentaire entre la plage et la mer. Les résultats de l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger face aux impacts du changement climatique établie en mars 2013, montrent que la variabilité des évènements extrêmes ne fera qu'augmenter au futur. En dehors des risques géologiques (glissement de terrain et séisme) les autres risques naturels seront affectés par le changement climatique, en particulier les conditions d'érosion et de submersion marine, seront nettement affectées par l'élévation du niveau de la mer en 2030.

##### **5.- Le littoral algérois et l'élévation du niveau de la mer**

À l'image de la méditerranée, les zones côtières en Algérie sont le siège d'une intense activité socio-économique qui entraîne une littoralisation du développement et d'intenses échanges entre les wilayas. Les tendances du littoral algérien se présentent comme un littoral surpeuplé, et caractérisées par une concentration d'activités industrielles, environ 5242 unités industrielles y'ont implantées, ce qui représente 51 % du parc national dont 60 unités industrielles à risque majeur (Kacemi, 2011 d'après MATE, 2003).

La population vivante dans les communes littorales à progresser plus rapidement en nombre que le reste du territoire, environ les deux tiers de la population sont concentrés sur le littoral qui représente que 4% de la superficie totale du pays, tandis que 8 % de la population sont dispersées à travers le Sahara qui s'étend sur 87 % du territoire national

(Bouroumi et al ., 2017 ; Kacemi, 2009). Selon le rapport final de MREE-PAP RAC/PAM. (2015), le rythme d'accroissement de la population vivante dans les communes littorales s'est accrue au cours de la décennie 1988-1998 passants de 2,6 % à 2,8 % durant 1998-2008.

La frange littorale de 45 000 km<sup>2</sup> du territoire national concentre 37 % de la population algérienne, environ 274 hab/Km<sup>2</sup>. Le littoral algérien est un espace sensible connu par son sol à très haute valeur agricole et à forte potentialité touristique ; il est soumis à une forte pression urbanistique. À l'instar de la ville d'Alger qui s'est métamorphosé d'une capitale aérée et d'un territoire diversifié à une métropole saturée par l'urbanisation où les pouvoirs publics demeurent en difficulté en matière de gestion des flux démographiques et protection de l'environnement côtier (Rabehi et al., 2019).

Les spécialistes prédisent en raison du réchauffement climatique observé depuis les années 70 au Nord de l'Algérie et la réduction de la pluviométrie, que l'élévation du niveau de la mer entrainera des phénomènes de submersion marine des côtes basses, d'intrusion d'eau marine dans les aquifères. Cette élévation devra toucher les plages, les dunes et les cordons sableux, les lagunes et les marais. La récurrence des tempêtes sur les parties les plus vulnérables de nos côtes associées à l'érosion côtière et à l'élévation du niveau de la mer, va compromettre les infrastructures du littoral du tourisme, les installations portuaires, de dessalement et les stations électriques, etc. (MREE-PAP RAC/PAM, 2015), d'où la nécessité d'intégrer la dimension changement climatique dans les processus de planification du développement socio-économique de ces zones.

Au cours de ce siècle et même au-delà, une élévation du niveau de la mer des eaux méditerranéennes ne ferait qu'aggraver encore plus la menace existante sur le littoral algérois, compromettant ses potentialités économiques et ses équilibres écologiques (Djouder, 2018).

De nombreux travaux ont été réalisés sur les problématiques du littoral et ont traité plusieurs cas dans le monde et en Méditerranée. Cependant, les recherches sur le littoral algérien restent peu nombreuses et semblent fragmentées entre les divers champs disciplinaires. Pour la géographie, elles se limitent soit à l'analyse du milieu physique, menée par des géographes physiciens, soit à l'étude des milieux urbains et ruraux par la géographie humaine ou sociale. Par ailleurs, l'analyse des questions liée à l'environnement est effectuée soit d'une manière descriptive, relatant des éléments monographiques du milieu, soit d'une manière très détaillée mais traitant des problématiques bien spécifiques à l'écologie des espèces dans ces milieux (Ghodbani, 2009 ; 2019).

Selon Bouroumi. (2017) l'Algérie n'échappera pas aux problèmes du changement climatique. Sa position géographique, ses terres sèches et climat aride, en font un espace très vulnérable face aux phénomènes climatiques. À l'instar du littoral algérois qui d'ici 2030 se verra faire face au risque de submersion marine, selon l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger aux impacts du changement climatique, le littoral d'Alger connaîtra une élévation du niveau de la mer estimée à 20 cm. Selon les auteurs Aouissi. (2019) et Lalaoui. (2014), une bonne partie de la baie d'Alger incluant la zone portuaire risque la submersion marine voir (figure 12).

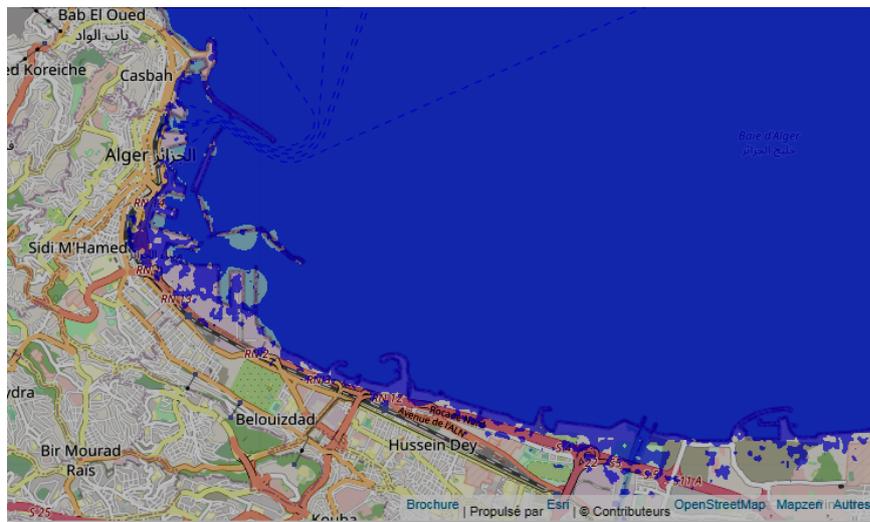


Figure 12: simulation de la submersion marine pour la partie Ouest de la baie d'Alger. Auteur sur la base de la simulation faite par Aouissi. (2019). Source : <https://www.floodmap.net/?ll=20,-10&z=3&e=397>

Plusieurs projets d'expansion urbaine sont prévus par le PDAU dans le cadre du Schéma National d'Aménagement du Territoire SNAT 2035. Prévoir de tels projets sur une zone sensible ne fera qu'augmenter le danger sur ce littoral (Amoura et Dahmani., 2022), d'où l'intérêt de prévoir des mesures d'adaptation durable, car envisager une reconversion portuaire sans apporter de solution à ce phénomène sera considéré comme un travail superflu (Aouissi, 2019).

## **6.- Les événements historiques confirmant l'exposition du littoral algérois aux ondes de tempêtes et de submersion marine**

Dans cette section, nous évoquons les événements confirmant l'exposition de la zone côtière d'Alger aux ondes de tempête entre passé et présent selon plusieurs auteurs Lalaoui. (2014), Maouche et al. (2009), Amrouche et al. (2020).

La côte algérienne est située le long des structures sismiques actives, elle est donc sujette aux inondations par tsunamis. Elle a été le théâtre de nombreux séismes et tsunamis importants. Les tremblements de terre de 1365 et 1773 ont été respectivement associés à un tsunami de 5 et 2 m. Plus récent le séisme de Zemmouri en 2003 a généré un tsunami de 1 à 2 m qui a affecté les Îles Baléares d'Espagne. Selon l'office météorologique Algérien de grosses vagues ont inondé les routes côtières et le front de mer d'Alger causant de graves dégâts et victimes, des vagues estimés de 8 à 12 m de haut causées par de forts vents de tempête du nord signalés à Skikda (1970), Oran (1985) et Alger (2001).

Les dépôts côtiers à haute énergie indiquent que la région a été affectée par des tsunamis historiques déclenchés par des tremblements de terre qui se sont produits en mer Méditerranée près de la côte algérienne. L'accumulation de rocher le long de la zone côtière d'Alger, implique l'existence d'importantes vagues de mer et peut-être catastrophique dans le passé. Les preuves montrent de gros et petits rochers dans plusieurs zones le long du littoral entre Tipaza et Dellys (Maouche et al., 2009).

Selon Amrouche et al. (2020). au cours des dernières décennies, les tempêtes marines ont causé plusieurs catastrophes sur les côtes algériennes centrales notamment économique, immobilières et humaines. Ce qui a causé des érosions côtières importantes, des dommages aux infrastructures côtières, démolition de bâtiments côtiers, des naufrages (avec des morts) et inondations portuaires ont été enregistrés. Actuellement, dans seulement 150 km de côtes, plus de 70 structures de protection côtière ont été installées ou sont en cours d'installation pour contrer la puissance des tempêtes destructrice. Plusieurs auteurs (Amrouche et al., 2020 ; Mihoubi et al., 2014 ; Rabehi et al., 2018) ont déclaré que la côte d'Alger connaît un degré élevé de vulnérabilité.

La (figure 13) montre les différentes tempêtes des deux dernières décennies sur la côte algérienne. Les photos "a1, a2, et a3" présentent une inondation catastrophique à la commune de Bab-el-Oued en 2001, "b" présente une submersion marine au port de Tipaza en 2007, "c1 et c2" présentent une énorme érosion sur la plage de Surcouf en 2015, "d1 et d2" montrent les bateaux Bechar échoués et entrés en collision avec la digue du port d'Alger en 2004, "e" montre le bateau-pilote échouée près du port d'Alger en 2014, "f" montre le port d'El-Djamila exposé à une forte tempête marine en 2016, "g1 et g2" montrent le port Tamentfoust après submersion marine en 2018 (Amrouche et al., 2020).



Figure 13: les dégâts des événements de vagues de tempêtes observés au cours des deux dernières décennies. Source: Amrouche et al. (2020)

Selon Lalaoui. (2014), l’historique des phénomènes catastrophiques dus à la houle sur le littoral algérois montre la survenue de plusieurs événements depuis le XVI siècle (tableau n°2).

Tableau 2: les événements historiques confirmant l'exposition du littoral algérois aux ondes de tempêtes et de submersion marine. Source : Lalaoui. (2014).

Date	Source	Description
25 octobre 1541	Lespes René. Le port d’Alger in : annales de géographie. 1921	« lors de l'expédition de Charles Quint à Alger, sur la plage du Hamma, en fin d'après-midi, un orage d'une violence inouïe éclate. La tempête va se déchaîner toute la soirée et même la nuit entière plus de 140 navires sont fracassés sur la côte alors que des dizaines d'autres ont coulé à pic avec hommes et biens ».
1848	<a href="http://www.larousse.fr">http://www.larousse.fr</a>	« le ressac était très violent dans le port par

		vents du Nord-Ouest et du Nord, assez fort pour briser les chaînes des navires amarrés au niveau du port d'Alger »
12 décembre 1931	<a href="http://alger-roi.fr">http://alger-roi.fr</a>	Tempêtes à Alger
3 février 1934	CIHEAM - Options Méditerranéennes	« ROUGH cite des cas extrêmes : houle de 9 m dans le port d'Alger »
25 octobre 1951	Institut national de l'audiovisuel.fr. Les Actualités Françaises	tempêtes au niveau de la baie d'Alger
12 Novembre 2004	Etude du Cadastre littoral d'Alger	tempête avec des vents très violents, la vitesse a pu atteindre les 100 à 130 km/h entraînant de multiples dommages sur deux navires qui étaient en rade dans la baie d'Alger au niveau de la plage Sablette

## 7.- Cadre législatif de la protection du littoral

L'analyse des interactions entre homme et son milieu, à travers plusieurs études ont montré la vulnérabilité de l'espace côtier face à l'action anthropique. Cette dernière prend plusieurs formes, allant de l'urbanisation jusqu'à l'exploitation des ressources naturelles, ce qui peut causer plusieurs dégradations à l'environnement dont la pollution, l'épuisement des ressources et l'artificialisation du sol.

Les déséquilibres constatés sur le littoral algérien s'expliquent par le manque d'intégration de la dimension environnementale dans les actions d'aménagement. Plusieurs cas étudiés ont montré une diversité des pressions qui ont engendré des atteintes graves aux écosystèmes littoraux au cours des dernières décennies (Ghodbani et Bougherira, 2019).

L'arsenal juridique, en matière de protection et de conservation de l'environnement côtier, s'est mis en place en Algérie dès les années 1960 notamment, à travers le décret n°63-478 du 20 décembre 1963, relatif à la protection du littoral et des sites touristiques qui reflétait déjà à cette époque, la volonté des pouvoirs publics de protéger et de gérer au mieux cette portion du territoire.

La prise en compte des zones côtières sera plus précisément évoquée dans les prochains textes de loi, notamment dans la loi n°87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire qui, à l'époque, a constitué un cadre juridique de référence pour la conservation, la préservation et l'aménagement de l'espace terrestre et l'importance de s'orienter vers une utilisation optimale du territoire national, et cela en mettant en œuvre une réelle politique nationale d'aménagement du territoire et une véritable stratégie de planification pour un meilleur équilibre entre le développement économique et la protection de l'environnement (Foury, 2017).

En Algérie, l'espace côtier est régi par 8 lois et 9 décrets promulgués, mais principalement deux lois fondatrices régissent l'espace côtier, en l'occurrence la loi littorale 02-02 du 5 février 2002, et la loi de l'urbanisme et d'aménagement du territoire 90-29 du 1<sup>er</sup> décembre 1990 (Rabehi, 2018). La loi 90-29 du 1<sup>er</sup> décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme a défini pour la première fois des dispositions particulières applicables pour une partie du territoire. Selon les articles 44 et 45 de la présente loi, le littoral englobe les îles, les îlots ainsi qu'une bande d'une largeur minimale de 800 m qui logent la mer et inclut l'intégralité des zones humides et les rivages de 300 m de largeur (Senouci, 2022). Selon l'article 45 de la loi 90-29 « *Toutes les constructions sur une bande littorale de 100 m de largeur sont frappées de servitudes de non-aedificandi, toutefois sont autorisées sur cette bande les constructions nécessitant la proximité immédiate de l'eau* ».

Toutefois cette loi n'a pas empêché la forte urbanisation qui s'est observée le long de la côte algérienne, mais aussi une dégradation des espaces côtiers a été constatée suite à une extraction du sable et une forte fréquentation du sable (Kacemi, 2011).

Nous assistons au début des années 2000, à la naissance d'une loi spécifique au littoral. Il s'agit notamment de loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral, qui a pour objectif l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique nationale spécifique d'aménagement et de protection du littoral. Cela constitue certes un progrès dans la mise en place des mesures pour le développement durable de cette partie stratégique du territoire, d'autres parts pas moins de onze articles de cette loi nécessitent l'élaboration de nouveaux textes juridiques pour leur application effectives (Kacemi, 2009).

La promulgation très lente des textes d'application, engendre un vide juridique dans la majorité des cas qui laisse place à une interprétation des dispositions en faveur de celui qui doit appliquer la loi. En l'absence de textes clairs, la loi est donc plus facilement contournée. Les textes juridiques doivent être clairs et précis et ne comportent aucune

notion floue qui engendre un contournement de la loi. Ils doivent appuyer et définir clairement les notions et les responsabilités de chacun et donner la possibilité d'adapter la réglementation aux réalités territoriales locales. Une complémentarité entre scientifiques de diverses disciplines confondues et les décideurs politiques d'autre part, associé à une large diffusion d'autre part peut constituer un nouveau rapport à la prise de décision (Kacemi, 2008). Ce manque de précision constitue un réel obstacle au processus de gestion, d'aménagement et de protection du littoral algérien, et doit, interpeller tous les acteurs concernés par cette activité (Foury, 2017).

La loi littorale au moment de sa promulgation nécessitait plusieurs textes juridiques pour son application effective, des efforts concrets ont été consentis par le MATE puisque plusieurs décrets d'application ont été établis (Rabehi, 2018 ; Kacemi, 2011), voir en annexe n°2, les principales lois et décrets en relation directe et indirecte avec la gestion de l'espace côtier

### **7.1.- Limites du cadre législatif**

La côte algérienne présente un patrimoine environnemental et écologique très riche et très varié. Cette portion du territoire avec ses 1600 KM de côtes a toujours été très fréquentée et exploitée. Elle constitue le secteur géographique le plus peuplé et le plus riche en ressources, qui sont nécessaires à l'exploitation des diverses activités économiques notamment l'industrie, la pêche, l'activité pastorale et forestière, etc. Ce qui explique une forte concentration humaine et une fréquentation de plus en plus accrue compte tenu des enjeux que représente cette côte (Ghodbani et al., 2016 ; Foury, 2017).

La mise en place d'une loi propre à la protection et à la valorisation du littoral, constitue une réelle avancée en matière de préservation et de développement équilibré de cette portion du territoire. Toutefois les dispositions sont souvent peu appliquées, ce qui est dû à une insuffisance d'interprétation des lois et à leur imprécision. Cette dernière limite considérablement la portée des textes. Ces insuffisances portent notamment sur un aspect trop général des dispositions juridiques et un manque de définitions claires et ciblées

La problématique des changements climatiques, est également un point auquel la loi littorale de 2002 n'a pas accordé beaucoup d'attention, malgré l'impact et les répercussions que peut avoir ce phénomène sur cette portion du territoire (Ibid, 2017 ; Lalaoui, 2014). Une révision de la politique nationale d'aménagement et de préservation du littoral est nécessaire.

Des efforts consentis par les pouvoirs publics algériens en ce qui concerne le développement et la gestion durable du littoral sont mis en place. Les diverses stratégies, programmes et plans côtiers témoignent de la réelle volonté des pouvoirs publics de changer et de mettre fin à la dégradation touchant les zones côtières.

Selon Foury. (2017), malgré la mise en place d'un important dispositif institutionnel et juridique, la volonté des pouvoirs publics algériens afin d'améliorer les choses est loin de répondre à un développement équitable et durable des zones côtières, ni au fondement d'une gestion intégrée et durable (GIZC), car la politique nationale du littoral demeure encore sectorielle et centralisée. Plusieurs recommandations sont proposées par cet auteur notamment ;

- Le renforcement des mesures institutionnelles à travers le rassemblement de tous les acteurs concernées par la protection du littoral visant une gestion globale et intégrée du littoral.
- Afin d'assurer la réussite de la démarche de la SN GIZC initié en 2008 par l'État algérien, il est primordial que les pouvoirs publics mettent en place des organismes ayant le rôle de coordinateur dans le but de rapprocher les divers secteurs et acteurs concernés par la problématique côtière, tels que le Commissariat National du Littoral (CNL) en élargissant leurs attributions et compétences.
- Offrir plus d'autonomie aux services décentralisés à savoir les collectivités locales, ainsi que leur implication dans le processus décisionnel en matière de gestion de cette parcelle du territoire.
- Renforcer la coopération intercommunale. Elle représente une condition nécessaire et forte pour l'aménagement harmonieux du littoral.
- Mise en place des plans, des programmes et des stratégies mettant en œuvre la gestion intégrée des zones côtières.
- Sensibilisation et information de tous les acteurs utilisateurs de l'espace côtier.
- Mise en place d'une démarche participative et renforcement des activités des associatives.

## **8.- Cadre climatique en Algérie**

L'Algérie l'un des plus grands pays de l'Afrique, situé au Sud de la Méditerranée peuplé d'environ 44 millions d'habitants en 2020 et avec une superficie de 2.381.741,00 Km<sup>2</sup> (ONS, 2020). L'Algérie se compose d'ensembles géographiques contrastés et subits

au plan climatique une double influence des systèmes tempérés et tropicaux. Sa situation géographique l'expose à une grande vulnérabilité aux impacts du changement climatique global. Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, le climat a varié et le signal du changement climatique apparaît dans les ruptures de séries pluviométriques ; les projections futures du climat risquent d'affecter sérieusement les secteurs stratégiques en Algérie, notamment celui de l'agriculture, l'économique et le social (Senouci, 2010). Pays de la région Nord-Africaine et Sud Méditerranéenne, l'Algérie est située entre 18° et 38° de la latitude Nord et entre 9° et 12° de la longitude. Les trois ensembles géographiques distincts qui composent le territoire algérien sont : le littoral du Nord qui représente la façade méditerranéenne, les hauts plateaux et la steppe compris entre l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, et enfin le Sahara (MATE-PNUD-FEM, 2015 ; Senouci, 2010 ; MATE, 2001).

### **8.1.- Caractéristiques du climat**

Le climat de l'Algérie passe d'un milieu méditerranéen humide à un milieu désertique et sec en transitant par un climat semi-aride. Le bioclimat de l'Algérie permet de distinguer les tonalités suivantes (figure 14).

- Un climat méditerranéen sur la côte et l'Atlas tellien, avec des rares gelées en hiver et des étés chauds.
- Un climat aride au Sud de l'Atlas tellien, de nature sèche et tropical marqué par une grande amplitude thermique hivernale (36 C° le jour et 5 C° la nuit). Les pluies sont plus abondantes à l'Ouest qu'à l'Est. L'influence du désert se fait sentir jusqu'à la côte par l'action du siroco (vent sec) et chaud soufflant du Sud au Nord.
- Un climat continental sur les hautes Plaines de l'Atlas Saharien, la température peut descendre au-dessous de 0 C° en hiver et excéder les 40 C° en été. Les pluies sont rares, notamment sur les hautes plaines de l'Oranie que celle du Constantinois.

- Un climat désertique avec des pluies rares et très irrégulières se produisent parfois sous forme orageuse. Le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde où les températures du jour peuvent atteindre les 50 C° par contre les nuits sont très froides, surtout en hiver où il gèle souvent.

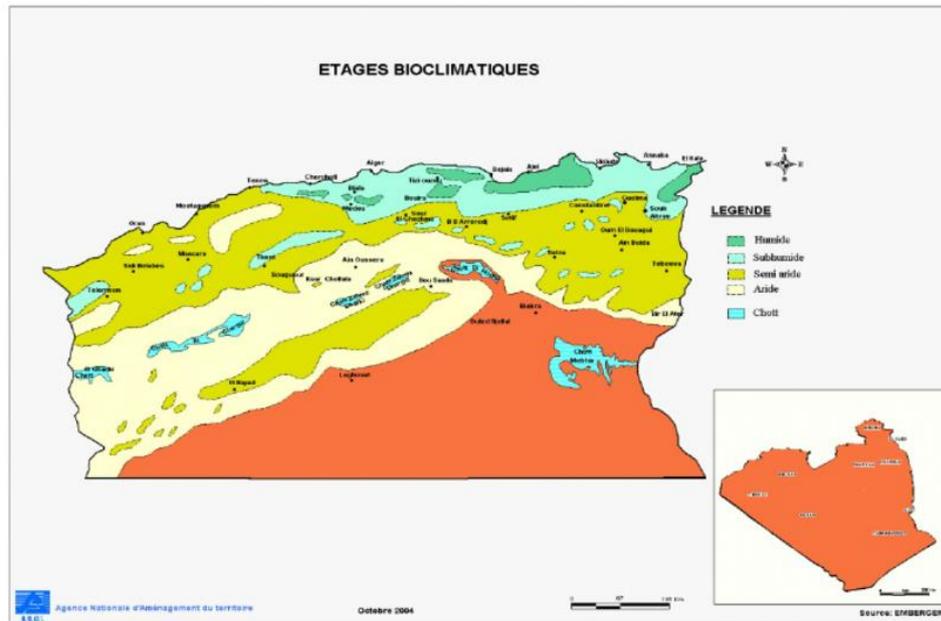


Figure 14: Etages bioclimatique de l'Algérie. Source: Agence nationale d'aménagement du territoire (ANAT, 2004).

## 8.2.- Caractéristiques des précipitations

Le régime pluviométrique marque nettement la séparation entre les différents étages climatiques (Senouci, 2010). L'Algérie étant un pays aride, la pluviométrie revêt une importance particulière. Selon (MATE-PNUD-FEM, 2015), elle se caractérise par;

- Une forte variabilité avec des précipitations variant de plus de 1000 mm/an le long des hauts reliefs côtiers de l'Est au Nord, à moins de 100 mm/an au Sud du Sahara.
- Deux saisons pluvieuses, l'une dominante en hiver, l'autre secondaire en printemps et en automne.
- Des précipitations à forte variabilité à l'échelle journalière, annuelle et interannuelle.
- Une précipitation estivale très faible.

Quant à la variation spatiale des précipitations, elle est caractérisée par un fort gradient allant du Nord au Sud et un second, allant de l'Est à l'Ouest d'une moindre importance (figure 15). Les principaux traits des précipitations se résument comme suite :

- Les précipitations varient de 400 à 900 mm/an allant de l'Ouest à l'Est le long du littoral.
- L'Atlas tellien se caractérise par des précipitations comprises entre 600 et 1000 mm/an. En ce qu'il l'on est de l'Atlas Saharien, elles sont moins importantes, et varient entre 150 et 400 mm/an.
- Les précipitations du Sahara sont faibles et disparates, elles ne dépassent guère les 150 voire les 200 mm/an.

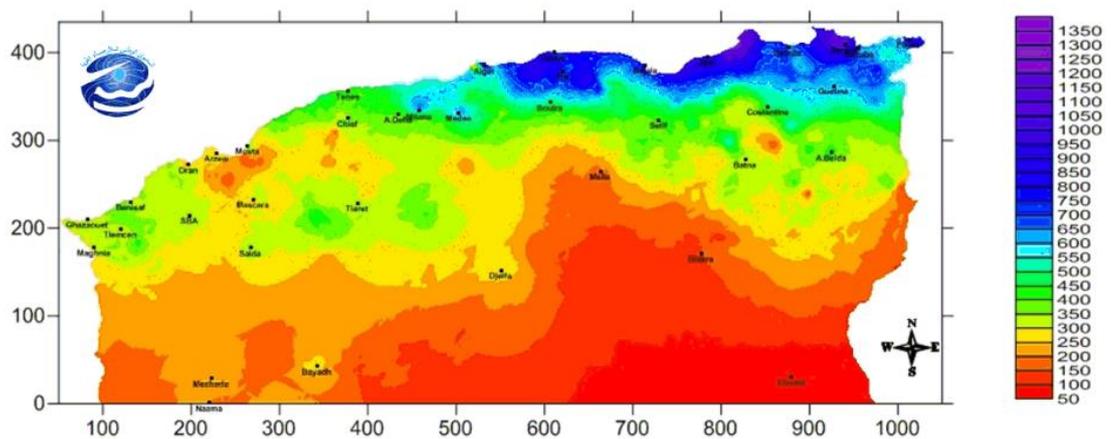


Figure 15: carte pluviométrique du nord de l'Algérie (1990-2010). Source: Mahmoud. M, 2012. ONM In <http://www.climasouth.eu/docs/PresentationONM-algerie-Lotfi-HALIMI.pdf>

### 8.3.- Caractéristiques des températures

Le régime thermique sépare les différentes régions climatiques (Senouci, 2010). Les températures suivantes sont les températures normales de quatre stations (Alger, Miliana, Djelfa et Ain Salah) représentatives des sous-ensembles (Littoral, Atlas tellien, hauts plateaux et Steppe). En hiver, les hauts plateaux et Steppe sont plus froids que l'Atlas Tellien, le littoral et le Sahara. Le mois de janvier est le plus froid de l'année, la température moyenne est de 5,0 à Djelfa, 8,5°C à Miliana, 11,3°C à Alger et 14,5 à Ain Salah ; il est à noter la grande amplitude de variation de la température (8,7°C) en allant du Nord au Sud. En été, la température avoisine, au mois de Juillet, 25,3°C à Alger, 25,7°C à Tiaret et 26,7°C à Miliana. Cependant, les températures restent assez voisines. Le mois de juillet est le plus chaud dans le Sahara central (36,9°C à Ain Salah). En été et en hiver, le

littoral jouit de l'effet adoucissant de la mer, mais cet effet s'estompe dès que l'on pénètre de quelques kilomètres à l'intérieur des terres (MATE, 2001).

#### **8.4.- Le climat en Algérie**

Selon Zerrouki. (2021), les précipitations et températures par leurs effets importants et leurs relations directes avec le climat d'une région, représentent des facteurs déterminants dans la variation locale des conditions climatiques, et ainsi dans la variation du niveau de la mer. Selon le rapport final établi par MATE-PNUD-FEM. (2015) basé sur l'étude de l'auteur Z. Nouaceur et al. (2013), qui repose sur six stations du réseau d'observation de l'Office National de Météorologie (ONM) relative à la période 1970-2012, en utilisant la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI), a permis de déceler les tendances climatiques suivantes :

- Premièrement, une tendance à la hausse des températures dès le début des années quatre-vingt ; 1984 pour les températures minimales et à partir de 1987 pour les températures maximales.
- Deuxièmement, un retour à la pluviométrie normale sur la dernière décennie suite à une forte période de sécheresse de 1987-2002.

Les tendances de cette étude ont été confirmées par la deuxième communication Nationale de l'Algérie au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), qui mentionne ce qui suit :

- Depuis les années 70 et jusqu'à nos jours, une hausse de température moyenne minimale et maximale enregistrée sur l'ensemble des stations au Nord de l'Algérie.
- Une sécheresse endémique depuis 1975, engendrant une désertification avec une dégradation de plus de 8% de la forêt, ainsi qu'une érosion éolienne et hydrique des sols.
- Une tendance à la sécheresse observée durant les 30 dernières années ; néanmoins ces tendances sont conformes à celles observées au niveau mondial et traduisent une manifestation de réchauffement climatique du territoire algérien, ainsi que, des perturbations dans le cycle des précipitations qui a démarré depuis les années 1970.

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, les analyses de longues séries de données sur le Nord de l'Algérie confirment le réchauffement climatique du territoire algérien accompagné d'une réduction sensible du régime pluviométrique à partir de l'année 1970, qui correspond au signal du changement climatique au niveau international (Senouci, 2010 d'après Mehdi et al., 2009).

À travers la Communication Nationale initiale qui s'est déroulé en mars 2001, les prévisions météorologiques en Algérie prévoient un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2 C° à 4 C° durant le 21<sup>e</sup> siècle. D'après l'Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche, il faudra également s'attendre à une accentuation des phénomènes météorologiques avec une réduction de l'ordre de 20% en termes de précipitations dans les prochaines années (Bouroumi et al., 2016). L'Algérie s'inscrit dans un processus de changement climatique et d'augmentation de température, car elle a enregistré des températures inhabituelles et très élevées sur la plupart des régions du territoire national ces dernières années (Lallaoui, 2014).

### **8.5.- Les grands traits du climat d'Alger**

Le climat d'Alger est caractéristique d'un climat de type méditerranéen, les hivers sont très doux et les étés sont chauds et secs. La période où les précipitations sont les plus abondantes s'étend d'octobre à mars. Des températures moyennes de l'ordre de 25 C° en août et 12 C° en janvier pour la ville d'Alger, et de 49 C° le jour à moins de 10 C° la nuit en région Saharienne (lalaoui, 2014). Depuis 1970, une évolution du climat vers un réchauffement est déjà observée (l'augmentation est de 0,5 C° par décennie pour les températures maximales et de 0,2 C° par décennie pour les températures minimales, accompagnée d'une baisse globale des précipitations annuelles de 17 mm sur 10 ans à Bouzareah et de 28 mm à Cap Caxine) (Egis Eau, IAU-IDF, BRGM, 2013).

### **8.6.- Les scénarios climatiques pour Alger en 2030**

Les projections climatiques à l'horizon 2030, établies par l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger face aux impacts du changement climatique, ont été réalisées sur deux zones d'étude à savoir :

- les bassins versants des barrages utilisés pour alimentation en eau d'Alger, hors barrage du Ghrib.
- La wilaya d'Alger, représentée par trois stations Dar El Beida, Bouzareah et Cap Caxine.

Une approche multi-modèle est utilisée dans l'étude établie par Egis-Eau., et al. (2013) afin de restituer l'incertitude associée aux projections climatiques à l'horizon 2030 sur Alger<sup>13</sup>.

Les figures 16 et 17 représentent la projection du cumul des précipitations et des températures annuelles à l'horizon 2030 sur Alger par rapport à la période de référence 1961-1990.

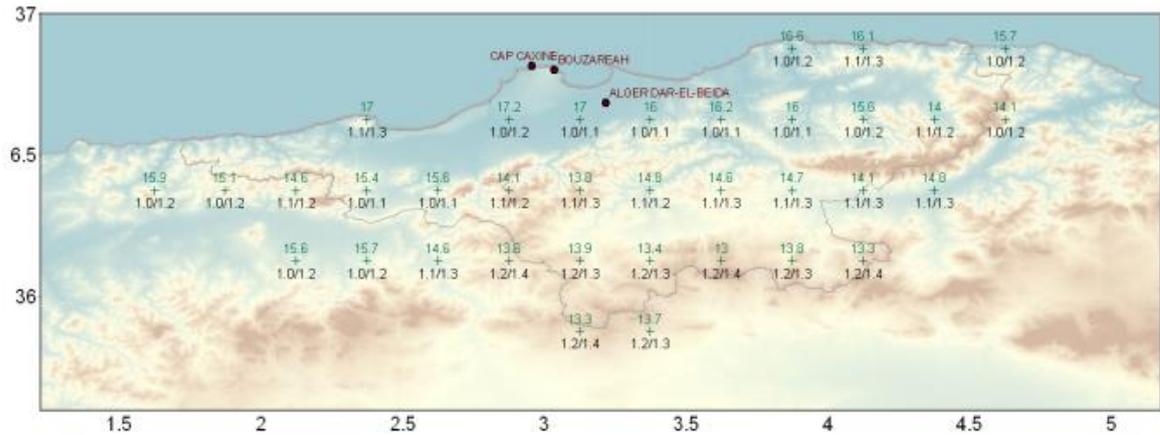


Figure 16: Projections de température moyenne annuelle. Référence modèle 1961-1990 en vert, fourchette d'incertitude de l'écart entre l'horizon 2030 et la période de référence en noir. Egis-Eau et al., 2013

En ce qui concerne la température annuelle moyenne, l'écart entre l'horizon 2030 et 1961-1990, s'étend entre 1 et 1,4°C. Il est compris entre 1 et 1,1°C au point de grille le plus proche de la baie d'Alger. Cependant que l'écart est plus important au sud de la zone avec une fourchette basse de 1,2°C et de 1,3 ou 1,4°C comme fourchette haute.

Pour les précipitations, les écarts sont donnés en pourcentage relatif. Ils correspondent à une diminution des précipitations. Les cumuls annuels moyens de précipitations calculés sur la référence modèle 1961-1990 sont compris entre 500 et 700

<sup>13</sup> L'étude utilise les sorties de 9 modèles de descente d'échelle dynamique du projet européen ENSEMBLES. Ce programme européen de R&D avait parmi ses objectifs d'affiner les projections climatiques du GIEC, avec des grilles de modèle de haute résolution (25 km), en quantifiant les incertitudes. Les simulations ENSEMBLES faisant l'hypothèse d'un scénario socio-économique A1B, elles sont complétées par les simulations d'arpège Climat, à la résolution de 50 km sur l'Algérie, associées aux scénarios A1B, B1 et A2. Développé par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), ARPEGE-Climat est l'un des 15 modèles qui ont servi de support à la rédaction du quatrième rapport du GIEC. Il s'agit d'une version du modèle de prévision météorologique spécifiquement adaptée pour les études climatiques. Pour prendre en compte toutes les composantes de la machine climatique, il est couplé, d'une part, à un modèle de surface continentale qui inclut une représentation de la végétation et, d'autre part, à un modèle océanique qui gère aussi l'évolution de la glace de mer Egis-Eau et al., 2013, p.205-206.

Les résultats de l'étude sont ainsi basés sur 12 simulations climatiques, qui permettront de rendre compte de l'incertitude liée à la modélisation du climat. 10 d'entre elles font l'hypothèse du scénario socio-économique A1B, une du scénario B1 et une dernière du scénario A2. On utilisera respectivement les notations ARPEGE Climat\_EH4 pour la simulation du scénario B1, et ARPEGE\_Climat\_EH3 pour celle de scénario A2.

mm sur la zone d'étude. D'après les résultats multi- modèles A1B, à l'horizon 2030, la zone est globalement concernée par une diminution du cumul annuel moyen de précipitations inférieure à 10%.

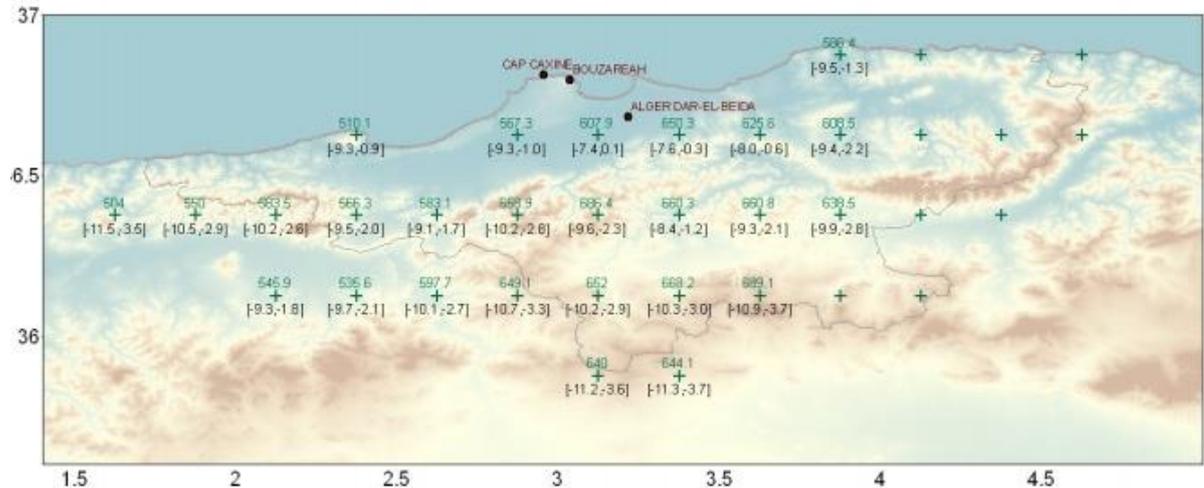


Figure 17: Figure 18: Projections à l'horizon 2030 pour le cumul annuel moyen de précipitations. Référence modèle 1961-1990 en vert, fourchette d'incertitude de l'écart (en %) entre l'horizon 2030 et la période de référence en noir. Egis-Eau et al., 2013

L'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger face aux impacts du changement climatique établie par Egis-Eau et al. (2013, p.240), s'est attachée à décrire le climat passé sur Alger mais surtout d'apporter des informations sur son climat à l'horizon 2030. Les conclusions de cette étude dégagent plusieurs points notamment ;

- Les incertitudes sur les projections climatiques sur Alger à l'horizon 2030 restent importantes mais l'approche multimodales retenue permet de donner de la robustesse aux résultats obtenus présentés avec leur fourchette d'incertitude.
- Le réchauffement déjà observé depuis 1970, devrait se poursuivre jusqu'à l'horizon 2030. Il serait également associé à une augmentation du nombre de vagues de chaleur en été.
- L'incertitude sur l'évolution des précipitations est plus importante, car l'étude révèle des différences entre les modèles. Cependant l'analyse multi-modèle du scénario socio-économique A1B révèle une baisse du cumul annuel de précipitations inférieure à 10% ; cette baisse sera plus nette en hiver.
- L'étude révèle également le probable allongement des périodes de sécheresse.

- L'étude n'est pas parvenue à ce prononcé sur l'évolution des événements de précipitations extrêmes en vue des réponses très différentes d'un modèle à l'autre. Elle insiste sur le fait de rappeler qu'Alger a été confronté dans le passé à des situations extrêmes tels que les inondations de Bab El Oued en novembre 2001, contre lesquelles il est primordial de se prémunir.

## 9.- Présentation de l'importance d'Alger

Alger capital du pays, est le centre de l'ensemble des activités et sièges des institutions politiques (ministères, ambassades, administrations, outre les implantations industrielles, universitaires et sportive). Sa position stratégique et son port, le premier du pays, contribue à faire d'elle un centre exportateur national et international. C'est le plus important nœud routier et ferroviaire du pays. La ville est entourée de nombreuses zones urbanisées, qui tendent à s'unifier via un processus d'urbanisation massive, se propageant principalement sur le linéaire côtier (Rabehi, 2018). La baie d'Alger localisée au centre de la plaine de la Mitidja ; affiche un relief espacé à l'ouest du mont Bouzaréah et relativement plat à l'Est (figure 18).

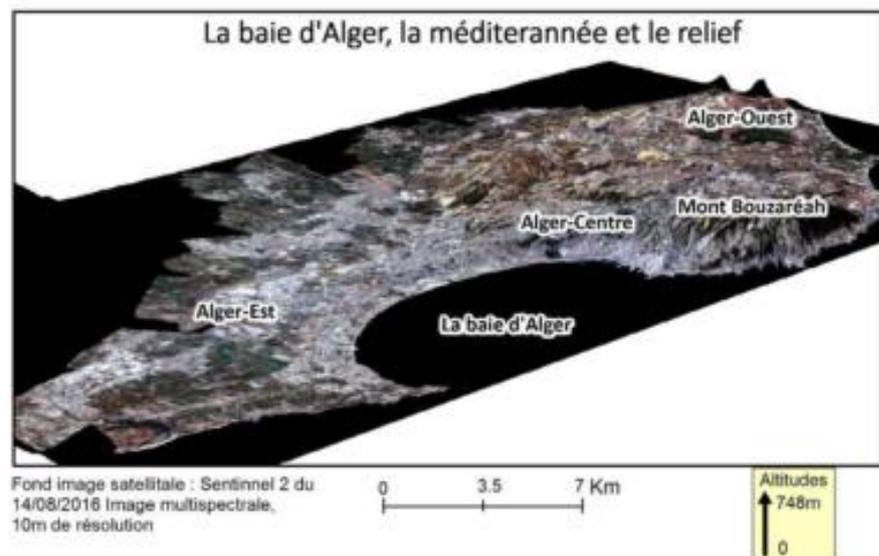


Figure 18: relief de la baie d'Alger. Source: Rabehi. (2018)

Alger composée de 57 communes, dont 20 communes sont côtières (figure 19) d'une superficie totale de 220 Km ; ces communes sont soumises à des pressions anthropiques permanentes. La "baie d'Alger" qui est le centre de l'activité économique de la capitale, abrite le port le plus important et le plus fréquenté du pays avec de nombreuses industries actives. La population urbaine a connu une croissance très rapide et a presque

doublé au cours des 21 dernières années, passant de 1,6 en 1987 à 2,6 millions en 1998 à plus de 3 millions en 2008 (Ibid, d'après, ONS, 2013).

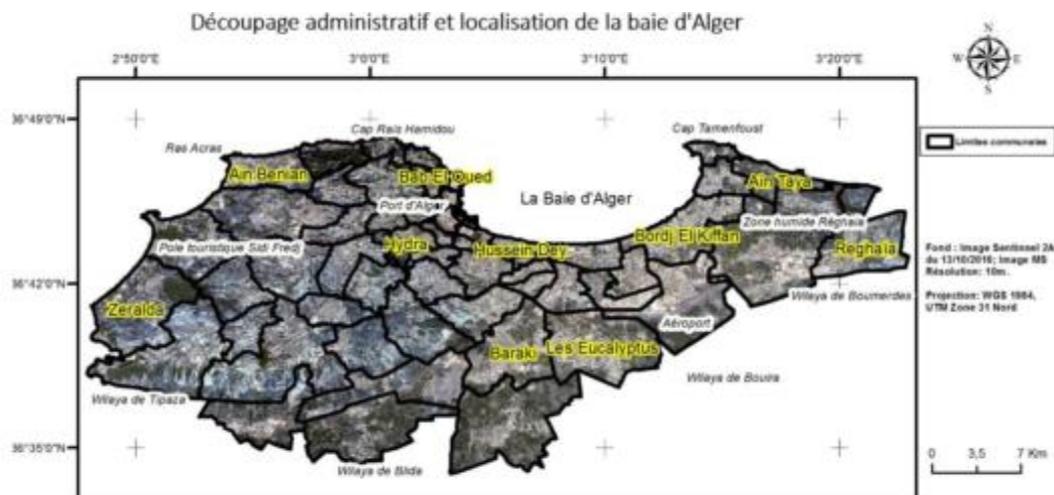


Figure 19: communes côtières de la Baie d'Alger. Source Rabehi. (2018).

### 9.1.- Présentation de la baie d'Alger

La baie d'Alger est située entre les latitudes ;  $36^{\circ} 36' 30''$  et  $36^{\circ} 49' 15''$  Nord et les longitudes ;  $02^{\circ} 49' 00''$  et  $03^{\circ} 23' 30''$  Est. De forme circulaire, elle couvre une superficie de  $180 \text{ km}^2$  délimitée à l'est par le cap Raïs Hamidou (Pointe Pescade) et à l'ouest par le cap Tamenfoust (Matifou) et par la mer Méditerranée au nord. Deux principaux Oueds la caractérisent : Oued El Harrach et Oued El Hamiz.

La baie d'Alger est historiquement le centre névralgique de la capitale, en raison de l'implantation du port d'Alger sur l'Ouest de la baie ainsi que du centre historique (Casbah, Bab El Oued, Alger-centre). Au centre de la baie, on retrouve des communes parmi les plus peuplées "Hussein Dey, Belouizdad" habités principalement par la population travailleuse et ouvrière, et dans l'arrière littoral se trouve la plupart des hauts établissements étatiques (Ministères, présidence...), en l'occurrence la couronne « El Biar, Mouradia, Hydra, Benaknoun ». On trouve aussi des communes d'arrière-pays, contenant des nouveaux noyaux urbains (ou des anciens petits noyaux de l'époque coloniale), peuplés par des populations de travailleurs en quête de foncier libre, ou de populations de wilaya limitrophes (de Zéralda à l'ouest, à Sidi Moussa Berraki ou sud, jusqu'à Rouiba, Réghaia à l'Est (Rabehi, 2018).

Comme beaucoup de littoraux du sud de la Méditerranée, la zone côtière algérienne et la baie d'Alger en particulier, est l'une des zones les plus vulnérables. En raison des pressions naturelles survenant dans la région telle que le tremblement de terre, le risque de

tsunami, érosion/accrétion, intrusion marine, etc., combiné à d'autres facteurs anthropiques comme l'étalement urbain, la pollution, la perte de biodiversité et de valeur économique, etc. Une forte dégradation de ce littoral est perceptible malgré toutes les mesures de protection apportées à ces zones, qui ont parfois accru sa vulnérabilité (Rabehi et al., 2016).

## **9.2.- Hydrologie d'Alger**

Alger est constituée de 2 bassins versants contenant une multitude cours d'eau (figure 20), dont les lacs de Reghaia à l'Est, et Sidi Abdellah à l'ouest, on retrouve également une multitude d'Oueds temporaires (souvent inondables l'hiver), et des Oueds permanents, les deux Oueds les plus importants sont (Rabehi, 2018 d'après LEM, 1998);

- Oued El Harrach : son bassin versant couvre une superficie 970 km<sup>2</sup>, son débit en période de pluie est de 1000 m<sup>3</sup>/seconde. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. À ces facteurs d'érosions, s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important. Le bilan moyen annuel des écoulements est de 5.4 m<sup>3</sup>/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger ; il provoque ainsi la rupture de l'équilibre du milieu naturel.

- Oued El Hamiz : se situe à l'est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de 160 km<sup>2</sup> ; son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (rabehi, 2018); le débit est régulé par un barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante.

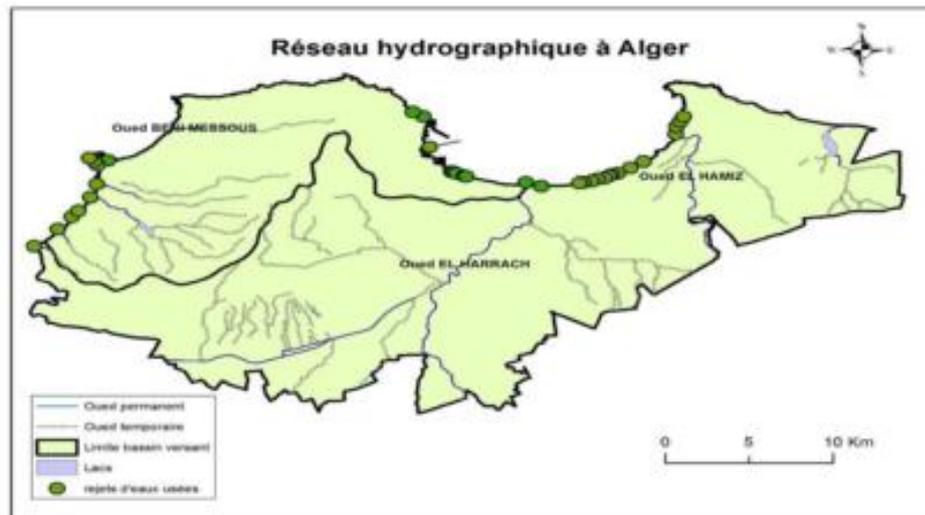


Figure 20: Hydrologie d'Alger. Source: Rabehi. (2018).

### 9.3.- Morphologie du littoral algérois

Le littoral algérois est composé principalement de littoraux sableux (Plage Palm Beach, Plage, Sidi-Fredj, Plage Le Bar, Plage Franco, Plage EDEN, Plage Lido, Plage Sablette, plage Bateau Cassé, Alger plage, Coco Plage, plage Tamenfoust), promontoire rocheux et falaise qui ne constituent que 30% du linéaire côtier. Les dunes littorales sont en quête de disparition (notamment à l'ouest Bordj el Kiffan, et à l'Ouest Ain benian, Cheragas...), en raison du manque d'apport sédimentaire et du défrichage des dunes, la baie d'Alger est sujette de phénomènes d'érosion, et d'épisode de submersion marine fréquents (Rabhei, 2018 ; Maouche et al., 2009).

### 9.4.- Population côtière de la baie d'Alger

La baie d'Alger centralise un mouvement démographique important dans sa frange littorale, en raison du fort potentiel économique (Port D'Alger, infrastructures étatiques à l'Ouest, zone résidentielle au centre, et zone industrielle à l'Est), l'évolution de la densité de la population des 11 communes côtières de la baie est synthétisée dans la (figure 21).

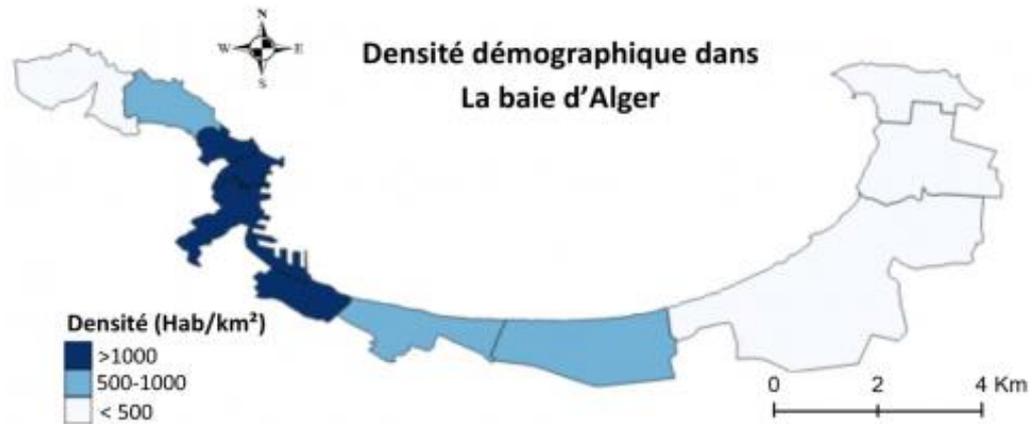


Figure 21: densité des communes côtière de la baie d'Alger. Source: Rabehi, 2018 sur la base des données statistiques BERRAH. (2015).

### 9.5.- Justification du choix du cas d'étude

La métropole d'Alger, représente le premier pôle d'activité économique hors hydrocarbures du pays et concentre les fonctions de commandement, de gouvernement, de sièges sociaux des grandes entreprises, et autres ; son importance stratégique justifie un niveau d'équipement supérieur aux autres territoriaux du pays, et justifie d'autant plus la nécessité d'une prévention efficace pour faire face aux risques naturels (PDAU, 2016), notamment le risque de submersion marine

La récurrence des tempêtes sur les parties les plus vulnérables de nos côtes, associées à l'élévation du niveau de la mer, va compromettre les infrastructures littorales celles du tourisme, les installations portuaires et de dessalement, les stations électriques ; ainsi que de l'agriculture (MATE, 2015). De plus Alger a été victime de plusieurs catastrophes naturelles dont les plus récents, l'inondation de Bab El Oued en 2001 et le séisme de Boumerdès en mai 2003. Il semble donc urgent d'évaluer les risques et sources de vulnérabilité pour renforcer la résilience d'Alger, surtout que la vulnérabilité des littoraux augmente avec l'urbanisation.

La baie d'Alger noyau stratégique de la capitale est une zone géographique présentant de nombreux aléas naturels (sismicité, bassin versant inondable, pluie torrentielle récurrente, etc.) ; elle est également de plus en plus vulnérabilisée par les pressions anthropiques grandissantes, (Rabehi, 2018). Le choix du littoral algérois se justifie par le fait que c'est un littoral fortement sollicité depuis plusieurs décennies, par les activités de développement, notamment urbain qui ont interféré avec la dynamique hydro-

sédimentaire<sup>14</sup> du système côtier et qui a causé une forte érosion des plages. L'état environnemental actuel, fortement dégradé de ce littoral, présage de difficultés majeures à s'adapter en cas d'élévation du niveau de la mer, si aucune mesure n'est entreprise pour le protéger de ce phénomène pourtant inéluctable (Egis-eau et al., 2013 ; Rabehi, 2018).

D'autant plus que de grands projets d'expansion urbaine que nous allons voir en chapitre 3, sont prévus dans les zones inondables de l'oued el Harrach et sur le littoral de la baie d'Alger. Vu l'importance stratégique de ces projets, des mesures d'adaptations importante devront être envisagées. Certes ces projets d'envergures situés le long du littoral algérois permettront sûrement d'une part de réaliser une bonne qualité constructive et d'autre part d'affirmer la volonté d'Alger de devenir une métropole moderne en tête des métropoles de la méditerranée (Aouissi et al., 2017 ; Egis, BRGM, IAU-IDF, 2013), mais ils se situeront dans des zones soumises à des risques d'inondations. Nous allons à la suite de ce chapitre citer et décrire les différents projets structurants prévus par le PDAU d'Alger à l'horizon 2030.

## **10.- Synthèse**

Les zones côtières sont les lieux de toutes pressions à savoir, démographiques, économiques, écologiques ; c'est aussi le lieu de convergence de tous les impacts du changement climatique (érosion côtière, élévation du niveau de la mer, extraction de sable, submersion marine, etc.).

Le littoral de la wilaya d'Alger présente une alternance de falaises avec ou sans plages, baies rocheuses ou sableuses entre promontoires rocheux, plages, dunes et zones humides, où les risques d'érosion côtière et de submersion marine sont plus ou moins importants. En moyenne, la côte algéroise perdrait 2,25 m/an, en raison de la combinaison de plusieurs facteurs, associés au déséquilibre dans le bilan sédimentaire entre la plage et la mer ; disparition du cordon dunaire ( presque toute la baie d'Alger), disparition de haut de plage (Chenoua, Zeralda), extraction abusive de sable de plage, du sable des oueds, aménagement d'ouvrages de protection contre nature (Sidi Frej ouest, Bou Ismail), aménagement en bordure de route, sur fréquentation estivale des plages, apparition de parkings sur le haut des plages (Chenoua, Zeralda, Réghaia), ou encore construction pieds dans l'eau (Chenoua, Sidi Fredj ouest, etc) (Egis eau et al., 2013).

---

<sup>14</sup> Dépôts qui proviennent de l'altération et la désagrégation des roches préexistantes et transporter par l'eau ou le vent.

Ce chapitre met en évidence que la zone côtière algéroise est une zone soumise à de fortes pressions anthropiques dues principalement à l'attrait socio-économique et la centralité des services de la capitale algérienne, d'autre part, la problématique des changements climatiques, en particulier l'aléa submersion marine, est également un point auquel la loi littorale de 2002 n'a pas accordé beaucoup d'attention, malgré l'impact et les répercussions que peut avoir ce phénomène sur cette portion du territoire (Foury, 2017 ; Lalaoui, 2014).

La baie d'Alger où s'implante la plus grande métropole du Maghreb avec plus de 6 millions d'habitants en 2010, subit une pression démographique et économique grandissante. La répartition des entités économiques sur le littoral algérien montre une concentration remarquable dans la wilaya d'Alger. Cette pression se traduit par des impacts conséquents sur le milieu littoral et ses ressources environnementales (défrichement des dunes côtières, artificialisation d'estuaires, érosion côtière/submersion etc.). La perturbation de l'équilibre sédimentaire et de la santé des écosystèmes avec le changement climatique accroîtra le niveau du risque sur le littoral algérois (Rabehi et al., 2018 ; Rabehi, 2018 ; Lakahal, 2019).

Le système côtier algérois subit de nombreuses pressions liées principalement au degré d'anthropisation avec un taux d'urbanisation supérieur à 50%. L'activité touristique incontrôlée, les différents épisodes (de sismicité, de sécheresse, d'érosion et de submersion) qu'a connus Alger dans le passé rendent le littoral de plus en plus fragile. Avec les différents projets (voir chapitre 3) que recevra la zone côtière d'Alger dans le cadre de l'aménagement de la baie d'Alger à l'horizon 2030 ne fera qu'accentuer la vulnérabilité de cette portion du territoire et contribuera à sa fragilisation avec les différents impacts du changement climatique attendu dans les décennies à venir si aucune mesure d'adaptation n'est prise. Devant la situation alarmante et l'état de l'écosystème côtier, il est impérativement nécessaire de protéger cet espace vulnérable (Otmani et al., 2019 ; Lakahal, 2019).

## CHAPITRE 3 : L'AMENAGEMENT DE LA BAIE D'ALGER ET PROJETS STRUCTURANTS A L'HORIZON 2030

### 1.- Introduction

Dans une conjoncture de mondialisation croissante, où l'affirmation des pays et des villes est aujourd'hui un impératif de compétitivité à l'échelle mondiale, Alger offre plusieurs atouts : une situation géographique d'excellence, une importance historique irréfutable, un charme patrimonial et architectural et une dynamique de croissance économique et financière, associée à l'importance de ses ressources naturelles. Alger devra s'affirmer dans le monde comme une ville de plus en plus cosmopolite, ouverte sur l'extérieur, et comme un centre de convergence entre l'Afrique et l'Europe. L'affirmation de son importance dans le Maghreb est fondamentale pour le renforcement décisif et impératif du rôle de l'Algérie en tant que « symbole » de la Méditerranée. Au cours des 45 dernières années, l'Algérie a connu une croissance démographique rapide, passant d'une population de 10 millions d'habitants, au moment de son indépendance (1962), à 44,6 millions aujourd'hui. La Wilaya d'Alger compte près de 8,6 % de la population du pays (2,9 millions d'habitants) et elle a connu une croissance de 15 % au cours des 10 dernières années (PDAU, 2016).

C'est à Alger que se concentrent les principales institutions de l'État, ainsi qu'une bonne partie des entreprises, des organisations, des infrastructures et des équipements les plus importants du pays, hormis celles liées aux énergies qui sont concentrées dans le sud du pays. Si on associe le rythme de la croissance de l'activité économique algérienne à une population aujourd'hui très jeune (environ 30 % est âgé de moins de 14 ans), Alger pourrait à l'avenir, assumer un rôle central, en tant que territoire précurseur d'une nouvelle dynamique de développement durable.

La baie d'Alger se déploie directement au pied des montagnes de l'Atlas tellien et la plaine côtière qui la borde n'offre qu'une extension limitée en profondeur accentuée sur la partie ouest. Cette position a fait que le terrain naturel se présente avec de fortes déclivités et descend en gradins vers la mer. Ce qui fait qu'elle est une entité paysagère à part entière qui se distingue de son voisinage grâce à son potentiel paysager qui fait son originalité et lui confère un caractère exceptionnel celui de l'une des trois plus belles baies du monde tel que le confirme l'architecte Moretti : « *Il y a trois baies plus belles que toutes les autres, ce sont Rio, Alger et Istamboul. Alger est la deuxième* » (Deluz, 2001, p. 13). La

présence de la mer, la courbure du rivage délimité par les deux pointes du cap Matifou à l'est et le cap Caxine à l'ouest et les roches escarpées du site forment cette entité paysagère qui se déploie en un vaste amphithéâtre cerné entre deux bleus azurs : la mer et le ciel. Mais le paysage de la baie d'Alger est façonné aussi par son histoire, son évolution démographique et son développement.

À l'instar des grandes métropoles méditerranéennes, Alger fait aujourd'hui, et ce depuis 2010, l'objet de plusieurs transformations urbaines, impulsées par un plan stratégique à l'horizon 2030. L'Algérie ambitionne de faire de sa capitale une des vitrines et portes de l'Afrique, une éco-métropole moderne, attractive où il fait bon de vivre et qui trouve sa place en tête du peloton des grandes métropoles méditerranéennes. Afin d'accompagner cette ambition, les autorités algériennes envisagent de grands travaux d'infrastructure, d'équipements et d'embellissement de la ville. C'est ainsi que la baie d'Alger se trouve au cœur même de ces mutations urbaines. D'autant plus que la stratégie de réhabilitation de la ville comprend, entre autres, le projet d'aménagement de sa baie avec au programme divers projets de grande envergure qui seront porteurs de transformations et de dynamique paysagère (Gaoua et Mansour, 2019).

Le projet d'aménagement de la baie d'Alger se déploie sur un territoire de pas moins de cinquante (50) km de rivage et de cinq-cents (500) mètres en profondeur (figure 22). Ce vaste projet manifeste une volonté politique d'agir vite sur Alger et surtout de procéder différemment en adoptant une démarche cohérente et globale avec des schémas à l'échelle de la ville et à l'échelle de la baie.

Il s'articule autour de trois principaux axes: la revalorisation de la façade maritime et de l'espace urbain avec une attention particulière d'amélioration du paysage urbain et de production d'un paysage, la reconquête des ports et de nouvelles polarités économiques ainsi que la re-naturalisation de la ville. L'ensemble du projet adopte le principe « du collier de perles » (figure suivante), la forme de la baie étant le collier.



Figure 22: l'aménagement de la baie qui illustre le principe de collier de perle. Source : (Gaoua et Mansour, 2019)

Par ailleurs, la nature du site et l'amphithéâtre urbain adossé au relief incitent à renforcer le principe du « balcon urbain », en mettant en scène les équipements majeurs sur la mer aux débouchés des liaisons transversales, sur lesquelles ils prennent place, contribuant ainsi à matérialiser une promenade maritime continue, rythmée par des événements majeurs.

Le projet le plus emblématique dans ce volet est la promenade de la baie qui est aménagée en continue sur l'ensemble du littoral du Cap Caxine au Cap Matifou. Les différents aménagements dont elle disposera sont entre autres (les terrasses du port, les bains naturels de Bâb l'oued, la promenade des sabelettes, etc). Ces espaces offrent des espaces de rencontre, de partage, de détente et de loisir et contribuent ainsi à la récréation du lien entre la ville et la mer et entre les algérois et la mer (Gaoua et Mansour, 2019).

À travers ce chapitre nous allons connaître la stratégie de développement d'Alger prévue à l'horizon 2035 dans le cadre de son plan stratégique, ainsi que les différents projets structurants prévus pour chaque étape d'embellissement de la ville d'Alger afin de confirmer son ambition d'être éco-métropole moderne.

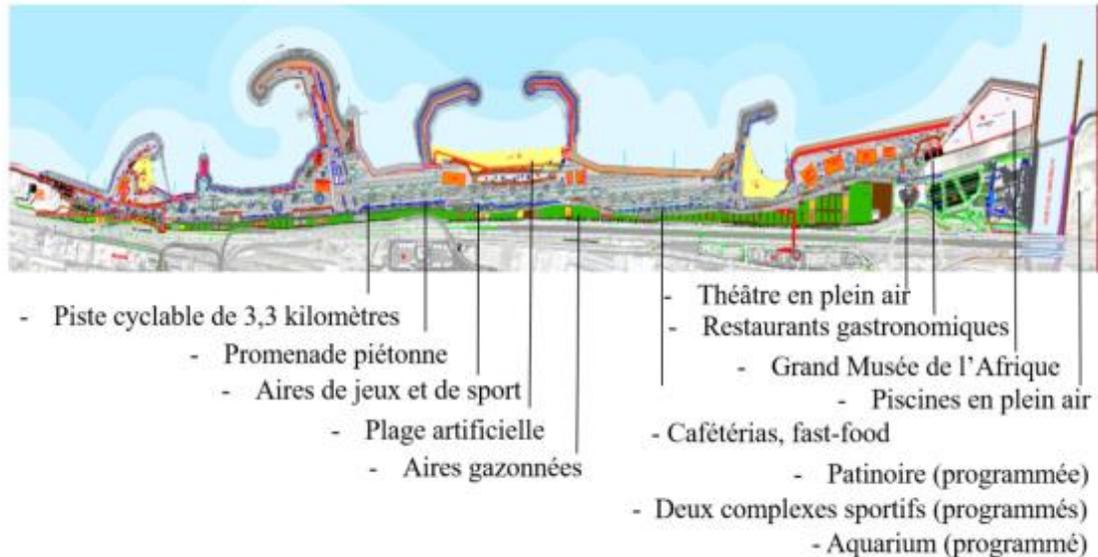


Figure 23: aménagement de la promenade coté Sablette de la baie d'Alger. Source : Gaoua et Mansour. (2019)

## 2.- Stratégie de développement d'Alger

La stratégie de développement pour l'avenir d'Alger est structurée en quatre phases fondamentales : 2009-2014, 2015-2019, 2020-2024 et 2025-2029 (PDAU, 2016). À chacune de ces phases stratégiques correspondent des objectifs qui, à leur tour, se traduisent par un ensemble de projets. La concrétisation de ces projets, au cours des quatre périodes, permettra la mise en marche d'un processus de développement urbain fort et cohérent, ainsi que la mise en œuvre des ambitions pour la capitale.

### 2.1.- Le cinquantenaire de l'indépendance : l'étape de l'embellissement 2009/2014

Dans ce contexte l'embellissement de la ville d'Alger sera la priorité immédiate. Les projets à développer apporteront une réponse à plusieurs lignes d'intervention fondamentale. La première concerne la reconquête du front de mer. La baie a été, et est toujours un emblème de l'histoire de la ville. Non seulement en termes identitaires et symboliques, mais aussi en termes socio-économiques. Il convient donc de récupérer et de réinventer cette relation.

Une deuxième ligne d'intervention, liée à la ligne précédente, est la réhabilitation du centre historique. La réhabilitation de l'âme de la ville devra passer par des opérations de renouvellement des espaces publics, ainsi que par la récupération et l'évaluation du patrimoine existant.

Une troisième ligne d'intervention comprend l'établissement de la structure verte de la Wilaya. Dans ce cas, des projets de nature et d'échelle différente, mais

complémentaire, seront développés pour améliorer l'image de la Wilaya et restaurer les équilibres écologiques.

La quatrième et la cinquième ligne d'intervention seront consacrées à la périphérie, notamment au réaménagement et au développement de quelques quartiers. Le plan lumière constitue un autre projet fondamental face aux objectifs de cette phase. En effet, c'est une action déterminante pour l'embellissement et la valorisation d'Alger, qui met en valeur la beauté des espaces publics et des bâtiments. Enfin, une dernière ligne d'intervention sera consacrée au macro-maillage. Pour des raisons de caractère fonctionnel, elle intègre aussi une ligne structurante d'intervention à cette période. Trois opérations essentielles donneront une nouvelle image à tout le front de mer algérois à travers :

### **2.2.- Les piscines de Bab-El-Oued ; protection de manière définitive Bab-El-Oued des inondations**

L'objectif est de s'appuyer sur la réalisation de cet ouvrage de protection pour réaménager qualitativement ce lieu populaire très fréquenté, notamment en été en élargissant le cordon de sable et en réalisant deux autres piscines dans le prolongement de la piscine existante, la piscine d'El Kattani qui sera en même temps couverte pour pouvoir être utilisée en hiver.

### **2.3.- La requalification du port d'Alger**

Actuellement les capacités du port d'Alger sont limitées. Même si ses capacités ne sont pas saturées en termes physiques, elles le sont en termes économiques (les coûts de fret de dépotage sont très élevés). De plus, ses activités polluent la baie et elles constituent également une menace pour la sécurité des habitants d'Alger. C'est aussi un obstacle aux investissements internationaux. La ville d'Alger et son port vivent un « clivage » qui a atteint son summum. Le port est considéré comme une source d'inconfort pour la ville et la ville comme source d'obstacles pour le bon fonctionnement du port. Cependant la ville d'Alger s'apprête à dépasser cette situation à travers une recomposition ville/port (Aouissi, 2019).

La désaffectation progressive de certaines zones du port est une opportunité unique pour Alger et l'Algérie ; jusqu'à la construction d'un nouveau port, certains secteurs, aujourd'hui désaffectés, pourront être progressivement réhabilités afin de rendre à la ville son front de mer. Les terrasses du port constituent une première opération en vue de la discontinuité du port.

### 2.3.1.- Les orientations concernant le port d'Alger

Les actions de densification du stockage des conteneurs et l'amélioration de la productivité dans les bassins de l'Agha et de Mustapha permettront de libérer rapidement des espaces du vieux port qui pourra alors s'ouvrir à la ville.

- Amorcer la promenade au bord de l'eau par l'élargissement du quai au droit de la rue d'Angkor.
- Les terrasses du port s'installent et accueillent des activités commerciales.
- Le mole El Djefna et les bâtiments de l'ancienne gare maritime sont réhabilités et réaffectés à la ville.
- La pêche artisanale modernisée s'ouvrant à la visite (la plupart des grands ports méditerranéens qui ont réhabilité leurs ports anciens, ont tenus à conserver ce type d'activité pour animer le centre-ville).
- La plaisance s'installe progressivement au pied de l'Amirauté. Le môle El Djazair et la gare maritime s'ouvrent à la croisière, et pour des raisons de sûreté et de sécurité (fonction douanière) la gare reste fermée aux promeneurs.

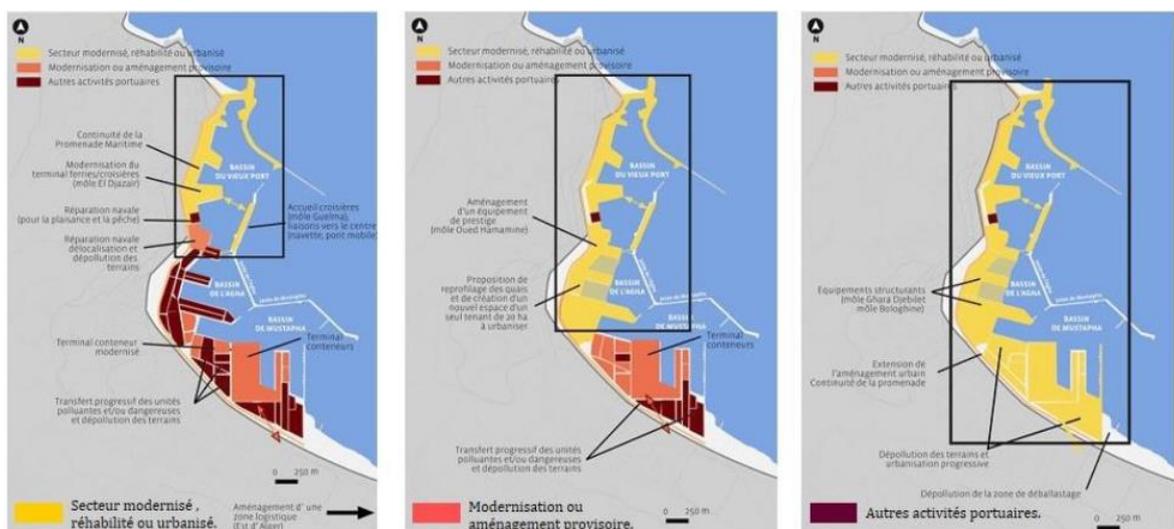


Figure 24: plan global du réaménagement du port. Source : (AGAM, 2013, p.61)

Phase 1, (2020-2022) : cette première phase concerne la première séquence de la ville, avec la basse Casbah, la pêcherie et le bassin du vieux port, sur la partie ville, l'aménagement du mémorial sur la place des martyrs. Sur la partie portuaire ; il est question de l'aménager en terrasse avec des couvertures horizontales qui pourront abriter

des activités essentiellement commerciales et de loisirs (Tahir, 2012). La gare maritime existante depuis 1451 sur le môle d'El Djazair sera délocalisée vers la partie centrale de la baie d'Alger sur le secteur d'oued El Harrach (AGAM, 2013). Les terrasses du port se veulent comme un prolongement via une desserte verticale des espaces publics qui sont mis au centre de la conception du projet, un aménagement paysager tout au long des abords constituera l'interface entre la ville et la mer.



Figure 25: l'aménagement de la première séquence des terrasses du port d'Alger. Source : PDAU. (2016)

Phase 2, (2022-2025) : cette partie concerne la séquence du bassin Agha de la partie portuaire, et de la partie sud du boulevard Mohamed Khemisti (la grande poste). Ville et port s'alignent sur le même niveau de cote altimétrique, un ensemble de projets ponctuels sont à projetés notamment: le projet de la rampe de Tafourah qui est un élément principal de liaison entre ville et port, la maison d'Alger, un palais des congrès, ainsi qu'un espace d'exposition. Ce môle vient achever la descente de la promenade de la grande-poste (un axe historique majeur d'Alger qui figure dans les priorités en matière de réhabilitation). Cependant la réflexion sur les types d'équipement qui seront projetés reste à l'étape de l'esquisse (Vies de villes n° 3 Hs, 2012).



Figure 26: aménagement de la deuxième séquence du môle Hmamine au môle Bologhine. Source : Tahir. (2012)

Phase 3, (2025- 2035) : cette partie du port plus distante de la ville et fortement séparée, un axe virtuel ponctué avec un ensemble de bâtiments d'envergure avec différentes vocations ; culturelle, institutionnelle et touristique débutant en amont de Riadh El Feth et s'achève en aval par un projet d'aquarium pour plonger dans la mer. Le projet dans sa présentation reste très abstrait, et présente très peu de détail au contrario des séquences précédentes (Aouissi et al., 2019).

### **2.3.2.- La promenade de l'indépendance**

Conçue pour accueillir de grands événements publics. Elle fera le lien entre Ryad el Feth et la mer (figure 27). Ce parcours propose des espaces thématiques, de repos et de loisir, le projet finira sur la mer où la construction d'un aquarium est prévue. Ce parcours intègre le musée des beaux-arts et le jardin d'Essai. La place où se trouvent la bibliothèque nationale et l'hôtel Sofitel sera requalifiée et embellie. Cet équipement renforcera symboliquement les liens historiques des Algériens avec la mer, et il sera un point d'accès et de rencontre avec la promenade de la baie. Il représentera un lieu scientifique et de loisir et un projet d'envergure nationale.



Figure 27: La promenade de l'Indépendance. Source : PDAU. (2016).

### 2.3.3.- La réhabilitation du centre historique

Un ensemble de mesures concertées vont renforcer l'âme de la ville, dont la beauté et la valeur se dégradent au fil du temps. Alger doit réhabiliter son centre historique. Cette réhabilitation devra suivre une stratégie qui permettra de réaliser, immédiatement, des ouvrages de rénovation de l'espace public. À cet effet, une Charte des espaces publics sera élaborée avec pour objectif d'engager les acteurs de la construction de la ville dans une architecture d'excellence qui valorise et qui requalifie les espaces urbains. Pour répondre à cette ambition et à cette volonté, il sera défini un cadre typologique d'interventions qui comprendra des indications précises sur la forme d'intervenir dans les différents types d'espace : le sous-sol, les espaces extérieurs et les bâtiments.

### 2.3.4.- Les interventions: square Port-Saïd, les promenades et les boulevards

L'option choisie est de rénover totalement dix itinéraires et une place remarquables de la capitale, qui, à l'échelle de l'opération, fonctionneront comme des catalyseurs de toute l'intervention. Trois types d'intervention ont été retenus :

- Le square Port-Saïd ;
- Sept promenades transversales qui vont des hauteurs d'Alger vers la mer : promenade de la Mémoire ; promenade de la Grande Poste ; promenade (El Kettar – Kettani) ; promenade (palais du Dey – Bastion 23) ; promenade (palais du Dey – port de pêche) ; Promenade (hôtel El Aurassi – siège de la Wilaya) ; promenade (jardin de Beyrouth - gare routière).
- Trois boulevards : Boulevard Larbi Ben M'Hidi, Boulevard Didouche Mourad et Boulevard Malika Gaïd.

## **2.4.- 2015 | 2019 Le grand événement international : l'étape de l'aménagement de la baie**

### **2.4.1.- L'aménagement de la baie d'Alger**

La délocalisation du port et de tous les projets développés lors de la période précédente créent une opportunité de renforcer l'intervention autour de la baie. Celle-ci permettra de produire les conditions nécessaires à la réalisation d'un grand événement d'ampleur internationale. Un événement de cette nature et de cette dimension est, non seulement, un coup de pression à la requalification des zones urbaines directement engagées, comme il peut aussi avoir un impact social et économique important, aussi bien au niveau local, qu'aux niveaux régional et national.

Les effets d'un événement international peuvent fortement stimuler le progrès social et économique que le projet urbain stimule. L'impact économique d'un événement de cette nature produit des effets au niveau local et national, temporaire et permanent. Ces effets permanents s'identifient, clairement, à l'échelle locale, notamment à travers la revalorisation (en particulier immobilière) des zones d'intervention, ainsi que de l'espace attenant (mise en place d'équipements nouveaux, requalification de l'espace public, création de nouvelles infrastructures, etc.), mais aussi, à plus large échelle, si nous tenons compte des effets qu'un événement international peut avoir sur l'affirmation de la ville et sur sa capacité d'attraction.

À cet effet, des interventions spécifiques de grande importance seront réalisées près de la baie. Ces projets seront développés autour de la baie à l'image d'une rangée de d'un collier de perles (figures 28 et 29).

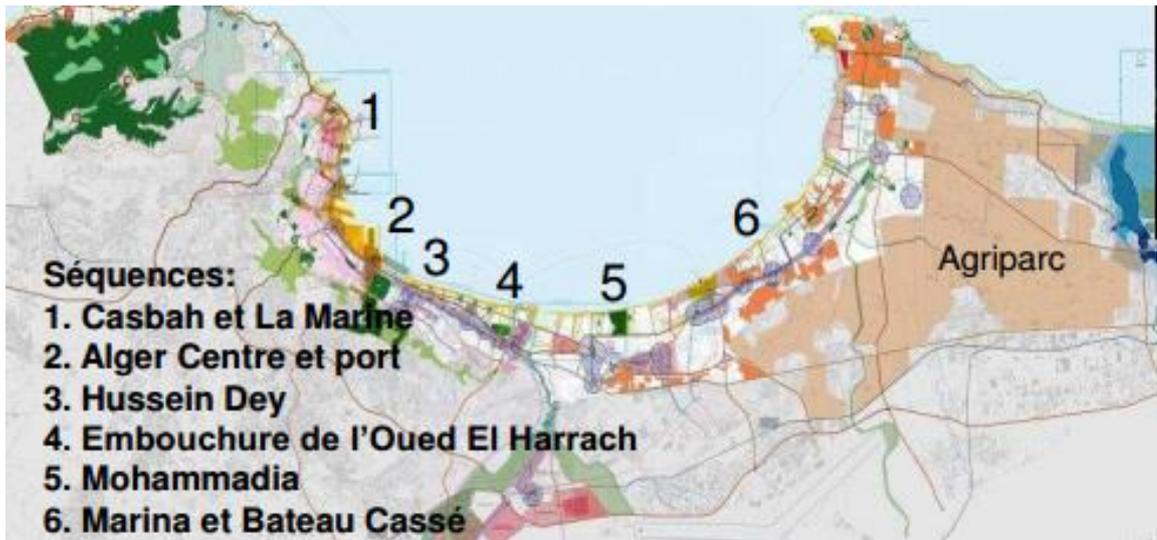


Figure 28: les différentes séquences d'aménagement de la baie d'Alger en collier. Source: Azzag. (2016)



Figure 29: plan d'aménagement de la baie d'Alger. Source: URBAB BLIDA

Ce « collier de perles » sera le symbole d'une intervention globale qui permettra à Alger d'être prête à accueillir un événement d'envergure internationale. Ce projet se fera grâce à la construction d'un nouveau port à conteneurs et industriel 'Djen-Djen' et grâce à la reconversion de certaines friches industrielles près de la côte.

Ces opérations permettront de libérer d'importants espaces pour des fonctions et des activités plus adaptées aux nouvelles ambitions, auxquelles aspirent la ville, notamment en matière de services et d'autres activités de support de la structure économique d'Alger. Les projets de la baie seront complétés par des interventions dans les zones d'aménagement des transversales, contribuant à l'établissement d'une liaison. Le boulevard urbain de la rocade renforcera cette volonté. La continuation de la

restructuration de la périphérie et la création des agri-parcs sont également prévus pour cette phase.

Les projets structurants seront développés à l'image d'une rangée d'un collier de perles autour de la baie. Au cœur de chacune de ces « perles », sera construit un équipement public de grande envergure. La localisation près de la mer de grands équipements culturels et sociaux, fonctionnant comme des ancrages, consolidera la rénovation souhaitée de toute la zone côtière et matérialisera la stratégie de renforcement de la centralité de la ville.

#### **2.4.2.- La reconquête de certaines friches industrielles**

La reconversion de certaines friches industrielles, situées au centre-ville et dans des secteurs proches de la mer, permettra d'investir des espaces avec des fonctions plus adaptées aux nouvelles ambitions de la ville. Cette intervention s'inscrit dans une stratégie de consolidation de la ville comme pôle d'attraction sociale et économique. Ce qui permettra de libérer d'importants espaces pour des fonctions et activités plus adaptées aux nouvelles ambitions auxquelles aspire la ville d'Alger. Cette intervention s'inscrit dans une stratégie de consolidation de la ville comme pôle d'attraction sociale et économique, ce qui génère les interventions suivantes ;

- Reconversion du site 1<sup>er</sup> Mai.
- Reconversion du site ETUSA.
- Reconversion du site OPLA.
- Reconversion du site Bab Ezzouar - Les Bananiers.
- Reconversion du site en face de la faculté de Médecine.
- Reconversion de la bande de Cherraga.

#### **2.4.3.- La réalisation du nouveau port en eau profonde**

Les capacités actuelles du port et sa configuration technique ne lui permettent pas d'accueillir les grands porte-conteneurs intercontinentaux. C'est là un obstacle à la captation de grands investissements internationaux. De nombreux pipe-lines et gazoducs situés en plein centre de la capitale mettent en péril la sécurité d'Alger. La pollution de la baie est considérablement aggravée par les activités portuaires notamment la pollution par métaux lourds voir (figure 30).

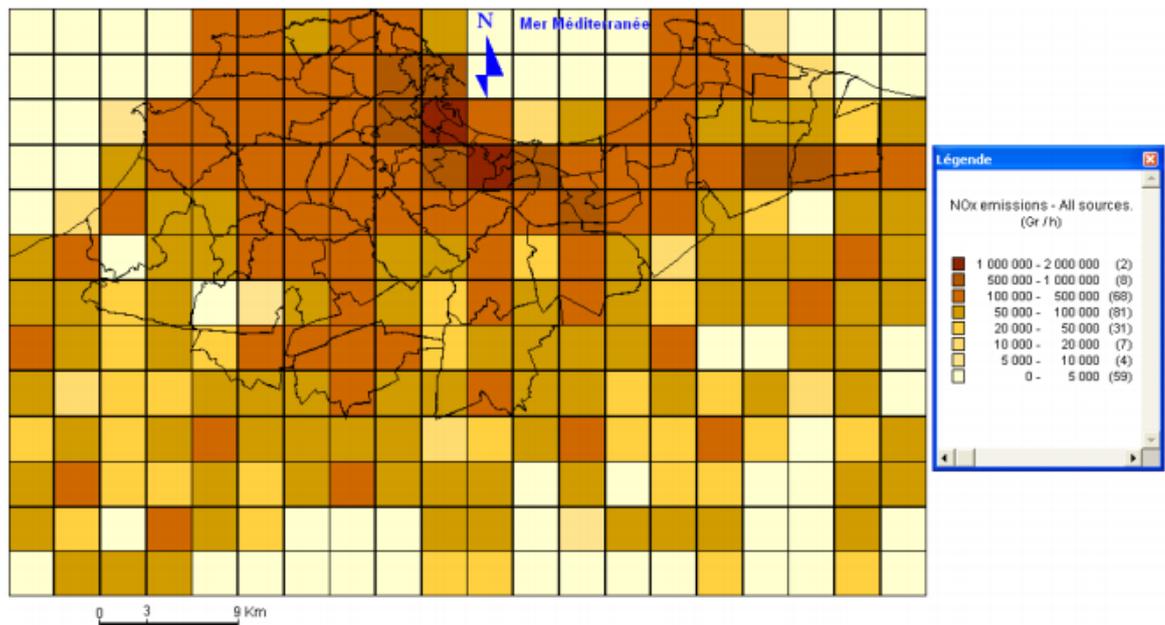


Figure 30: Emissions de NOx d'un jour ouvrable du mois de mars 2006 dans la région du grand Alger. Source: Rahal. (2015).

Le port d'Alger est considéré comme une source de risque majeur industriel pour la ville et les entités adjacentes en conséquence de la nature des activités d'entreposage (produit inflammable), de manutention et de transport de marchandises (TMD), etc. en effet l'industrie algérienne est localisée sur la côte, particulièrement dans la zone algéroise où 25% des unités industrielles du pays sont implantés (PDAU, 2016).

Plusieurs activités du port sont considérées comme sources majeurs de risque et de vulnérabilité de la ville, notamment les activités de stockage d'essence (7000 m<sup>3</sup>) qui laissent toute la partie du front de mer et la partie est courir le risque d'explosion et d'incendie de ces réservoirs ; l'entreposage des silos de céréales dans le môle de Skikda qui présente un risque d'incendie et d'explosion pour toute la partie nord d'El Hamma d'une capacité de 40.000 m<sup>3</sup> (figure 31). Enfin, la station de dessalement qui assure l'alimentation en eau d'une capacité de plus de 200.000 m<sup>3</sup>, elle expose la population algéroise au risque de contamination dans le cas de fuite de produits toxique des navires ou du port (Aouissi, 2019).

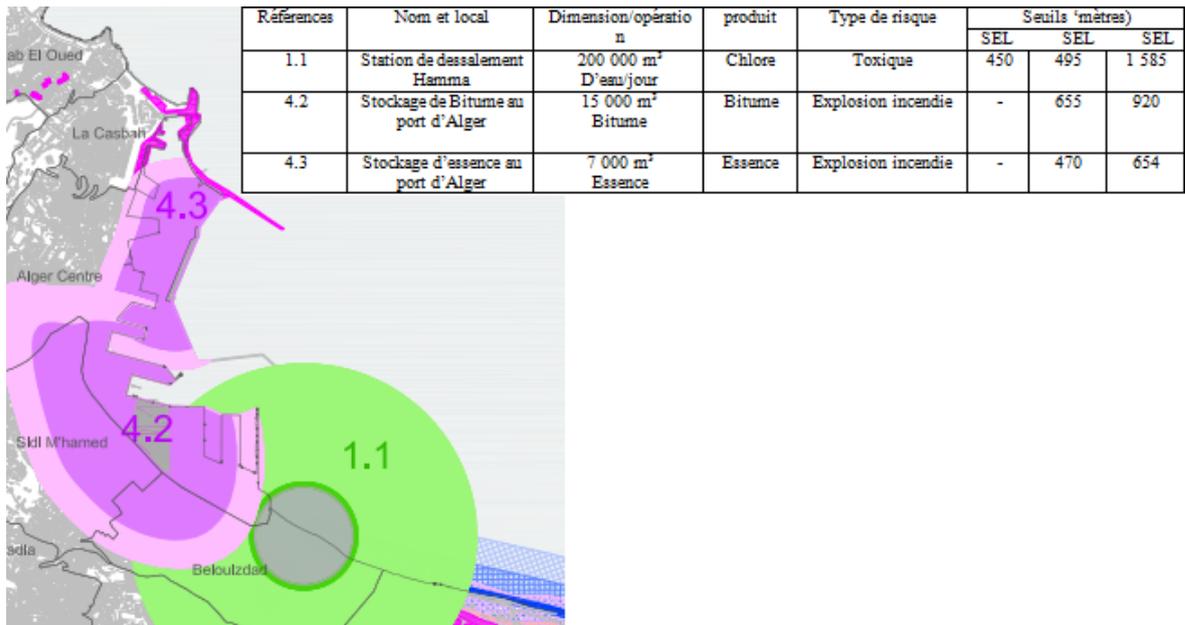


Figure 31: schéma représentant une partie des risques technologiques de la ville d'Alger. Source: PDAU. (2011)

L'important trafic routier (figure 32) engendré par le port, notamment le trafic de véhicules lourds, associé aux chargements et aux déchargements, vient s'ajouter au trafic automobile algérois. Plus de 2000 camions à remorque le côtoient quotidiennement altérant la fluidité des axes routiers de la ville, créant ainsi un véritable handicap à la mobilité des citoyens (Aouissi, 2019 ; PDAU, 2016).

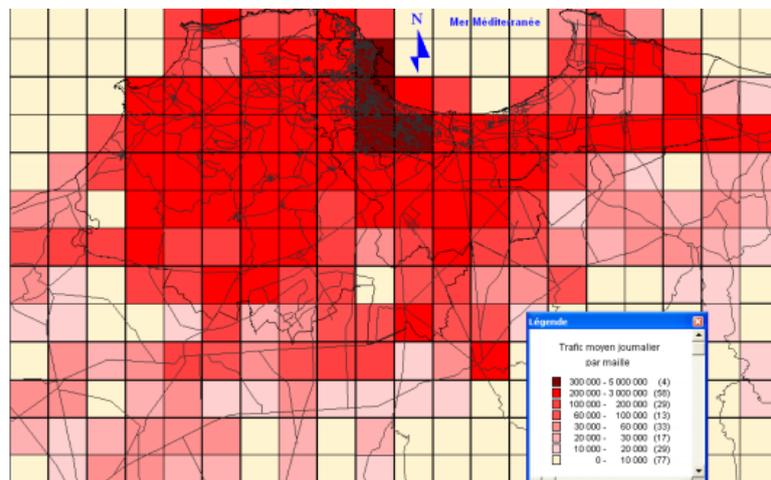


Figure 32: l'ensemble du trafic journalier du mois de mars 2006 dans la région du grand Alger. Source : Rahal. (2015)

L'ensemble de ces raisons fait que la délocalisation progressive du port d'Alger apparaît comme une opportunité exceptionnelle pour sa ville. Un nouveau port Djen-Djen sera construit (figure 33), ce dernier vise à desservir la capitale tout en se localisant hors de son territoire administratif. Cette nouvelle infrastructure servira à reconquérir les espaces occupés par le port actuel. Tous les impacts dus à son fonctionnement seront minimisés, ce qui sera une source de bénéfice non seulement pour le secteur du port mais aussi pour la ville. La délocalisation du port peut être l'occasion de promouvoir un véritable projet



Figure 33: le nouveau port d'El Hamdania à eau profonde. Source: <https://www.aps.dz/economie/118361-port-d-el-hamdania>

d'aménagement urbain qui refait le lien entre la ville et la mer. La requalification de l'espace occupé par le port initié dans les années précédentes, pourra finalement être achevée (PDAU, 2016).

### **3.- Les projets structurants**

#### **3.1.- Port d'Alger ; reconversion et réaménagement**

##### Objectifs

- Consolider la vocation tridimensionnelle du port d'Alger (tripartite selon les dimensions énergétiques, commerciales et tourisme et loisirs).
- Renforcer la vocation logistique d'Alger au niveau international, en améliorant les infrastructures et les procédures d'exportation.

##### Description

Restructuration et adaptation du port d'après un concept triparti et selon les dimensions énergétiques, commerciale et du tourisme. En ce qui concerne les

dimensions énergétiques et commerciales, il s'agit d'une transformation structurelle, à travers le réaménagement des fonctions actuelles, en éliminant les charges les plus « lourdes » et en créant de nouvelles conditions de fonctionnement. Simultanément, on désire promouvoir le tourisme nautique, y compris les croisières et la navigation de plaisance, secteurs fortement demandeurs d'infrastructures, d'équipements et de service qualifiés, dotés d'une gestion professionnelle.



Figure 34: vue sur l'aménagement des terrasses du port d'Alger. Source : PDAU. (2016)

Le montant prévisionnel de l'investissement associé à ce projet s'élève à 75.000.000.000 DZD. Ce montant est le résultat d'une procédure d'*upgrading* par rapport au *benchmarking* international réalisé, notamment parce qu'il est question ici de la profonde re-fonctionnalisation d'un des ports les plus importants du bassin méditerranéen. L'échelonnement de ce projet structurant, dans le temps. Selon les quatre phases du plan stratégique 2015/2035, il était prévu qu'il débute et qu'il soit réalisé à 50% jusqu'en 2020, l'exécution des 50% restants s'achevant pendant la période 2020-2025, chose qui n'a pas été respectée pour des raisons économiques (Aouissi, 2019).

### 3.2.- Front de mer Hussein-Dey

La requalification et reconversion du front de mer Hussein/Mohammadia, visent, fondamentalement (figure 35) à promouvoir la création d'une nouvelle centralité urbaine (en proportionnant des conditions ajustées à l'attractivité et à l'installation de fonctions urbaines modernes, compétitives et qualifiantes de la ville), à promouvoir la reconversion de zones industrielles et d'entrepôts dégradés et vétustes (y compris le renouvellement de tissus urbains déqualifiés) et à renforcer la position charnière entre la ville compacte et l'extension urbaine orientale et entre la baie et la nouvelle centralité urbaine d'El Harrach/Baraki (figure 36).

Le montant prévisionnel de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 22.000.000.000 DZD. Ce montant est le résultat d'une opération de *benchmarking* international, qui a pris comme référence le projet *Polis Costa Norte*, à Esposende, *Viana do Castelo et Caminha*, au Portugal.

### Objectifs

- Créer une nouvelle centralité urbaine, grâce à l'attractivité et à l'installation de fonctions urbaines modernes.
- Promouvoir la reconversion des zones industrielles et d'entrepôts dégradés et vétustes.
- Renforcer la position charnière entre la ville compacte et l'extension urbaine orientale entre la baie et la nouvelle centralité d'El Harrach.

### Description :

Reconversion d'une zone fondamentale de la ville qui accompagne l'avenue de Tripoli, aujourd'hui essentiellement occupée par des unités d'usines et des entrepôts inoccupés et d'autres usages déqualifiés. Dans cette zone se situe aussi la raffinerie d'Hussein-Dey caroubier, étant donné le danger qu'elle représente elle devrait être désactivée et réinstallée dans la zone de Bab-Hassan (PDAU, 2010).



Figure 35: Aménagement du front de mer Hussein-Dey. Source: Vie de villes Hors-série n°03 (Juillet 2012)



Figure 36: plan d'aménagement d'Oued El Harrach. Source : Azzag. (2016).

### 3.3.- Piscine de BEO

Ce projet prévoit de s'appuyer sur la réalisation d'un ouvrage approprié destiné à protéger Bab El Oued contre les inondations, afin de réaménager ce lieu populaire très fréquenté surtout en été. L'ouvrage de protection a été pensé d'une manière à briser la houle et a épaissi la largeur du cordon de sable. Il intègre la réalisation de deux piscines dans le prolongement de la piscine d'El Kettani (figure 37). Le marché a été attribué à l'entreprise Meditram.

#### Objectif

- Limiter les risques naturels par la réalisation d'ouvrages adaptés (mise en place d'épis de protection, suite à des simulations qui tiennent compte de grandes houles).
- Défendre le trait de côte et stabiliser le couvert de sable des plages.
- Réorganiser l'espace public du front de mer de la capitale et en faire un lieu attractif dans une logique de développement balnéaire.
  - Régler les problèmes urbains (aménager la promenade maritime, organiser les flux automobiles et piétons, partager l'espace public, réarticuler les accès depuis l'espace urbain, développer l'animation urbaine, ...).
  - Décliner un vocabulaire paysager et un mobilier urbain adaptés à la destination balnéaire du site.

### Description

Ce quartier populaire d'Alger est l'objet d'un ambitieux projet de développement à travers la réalisation d'actions prioritaires à court terme ;

- Réaménagement des plages rechargées en sable et stabilisées par des ouvrages de protection affleurant la surface de l'eau.
- Création de piscines et bains naturels s'insérant dans les rochers de la partie Nord du site.
- Reconstruction de l'ilot du Dey sous forme de plots permettant la structuration de l'espace public, avec une programmation mixte.
- Requalification des espaces publics (revêtements de sol, végétalisation et installation d'un éclairage public adapté), ainsi la plage de Bab El Oued populaire, devient un lieu de détente et de divertissement.



Figure 37: vue aérienne sur le projet de Bab El Oued. Source : Arte charpentier In Vies de Villes, n° 3 HS. (2012).

Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 1.700.000.000 DZD, ce montant correspond à l'estimation globale prévue pour l'exécution du projet dans le cadre du projet d'aménagement de la baie d'Alger. Le phasage prévoit que ce projet structurant soit achevé pendant la première phase stratégique à savoir au plus tard jusqu'en 2014.

#### **3.4.- Promenade de l'Indépendance/Mediterraneum (aquarium).**

La promenade de l'indépendance (figure 38) constituera un axe institutionnel, culturel et touristique destiné à participer au rayonnement d'Alger et à l'éclatement de sa centralité, en reliant le sanctuaire des martyrs et la mer qui organisent entre eux un lien

avec la bibliothèque nationale et le musée des beaux-arts et aussi un nouveau quartier qui intégrera l'espace des abattoirs dans une démarche cohérente de conception. La promenade de l'Indépendance fera l'objet d'un soin particulier, car elle va marquer physiquement et symboliquement la ville. Elle sera un lieu d'exaltation de l'histoire et de l'identité nationale mais aussi un lieu d'excellence et d'affirmation des potentialités de l'Algérie et des Algériens à l'avenir. Le point de départ de cette promenade est le monument de l'Indépendance. Elle intègre d'autres éléments significatifs comme le musée des Beaux-arts, le jardin d'Essai, la bibliothèque nationale et l'hôtel Sofitel. Ce parcours sera semé de quelques équipements nouveaux, qui serviront à renforcer son importance fonctionnelle.



Figure 38: vue en hauteur sur la promenade de l'indépendance. Source: PDAU. (2016).

Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 11.600.000.000 DZD ; ce montant correspond à l'estimation réalisée dans le cadre des projets prioritaires d'intervention urbaine définie par le nouveau PDAU d'Alger. L'échelonnement de ce projet structurant dans le temps, selon les quatre phases du plan stratégique 2015/2035, prévoit qu'il débute et qu'il soit achevé à 100% au plus tard en 2020.

Implantée sur un lieu avec une identité forte, cette promenade sera aussi une référence, qui établira une liaison concrète entre Ryad el Feth et la baie. Devant l'eau s'érigera un aquarium, renforçant, symboliquement, les liens historiques des Algériens avec la mer. Ce sera un lieu scientifique et de loisir, un projet d'envergure nationale qui fera le bonheur des familles algériennes. La mer constituera, donc, le point d'arrivée - physique et symbolique - de l'Indépendance et de l'évocation de l'avenir. L'aquarium d'Alger vise à doter la capitale d'un équipement de référence dans la ville et dans le bassin méditerranéen, qui promeuve les valeurs biologiques et environnementales liées à la Méditerranée en tirant parti de la localisation auprès de la baie et du point culminant d'un

axe urbain monumental et de grande importance. Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 5.000.000.000 DZD. Cette estimation prévisionnelle est le fruit d'un *benchmarking* pour lequel l'*océanorium* de Lisbonne, au Portugal, est considéré comme un équipement de référence dans toute l'Europe. Le projet de requalification de la promenade de l'Indépendance vise à atteindre les objectifs suivants :

- Poursuivre les lignes de force du jardin d'Essai et incorporer les moyens mécaniques permettant de franchir la pente et les espaces verts existants et créés.
- Dynamiser les flux transversaux, entre l'ensemble monumental (exaltation de l'histoire et de l'identité nationale) et le nouvel équipement culminant de la promenade, sur la baie.
- Promouvoir la continuité du parcours par la création d'un passage piéton en dessous de l'autoroute
- Créer un lien fonctionnel entre la ville et la mer.
- Créer de nouveaux équipements de proximité le long du parcours



Figure 39: vue en plan de la promenade de l'indépendance. Source : PDAU. (2016)

### 3.5.- Promenade de la Mémoire/ Square Port Said.

L'intervention sur la promenade de la mémoire/Square Port Said, vise essentiellement à promouvoir la valorisation de l'ensemble des vues par la création d'aires de détente, par la création de nouveaux usages pour les paliers des escaliers, par la décompression des flux existants, par la création des parcours confortables et par la suppression des zones résiduelles existantes.

L'investissement estimé pour ce projet structurant s'élève à 1.000.000.000 DZD. Il résulte du montant global budgétisé dans le cadre de l'élaboration des projets prioritaires, intégré dans la révision du PDAU d'Alger. Le phasage prévoit que ce projet structurant soit achevé pendant la première phase stratégique, à savoir au plus tard jusqu'en 2014.

La promenade de la Mémoire est située dans la zone de transition entre la Casbah et la ville historique ; elle relie le palais du Dey et le square Port-Saïd à la mer. Sa localisation et les équipements qui y sont installés confèrent à cette promenade un caractère particulier, évocateur de la mémoire de la ville.



Figure 40: aménagement du square port Saïd. Source : PDAU. (2016)

Le projet de requalification de la promenade de la Mémoire vise à atteindre les objectifs suivants :

- Valoriser l'ensemble des différentes vues, grâce à la création de lieux de détente.
- Créer de nouvelles utilisations pour les paliers des escaliers.
- Décompresser les flux existants par la création de parcours confortables.
- Supprimer les zones résiduelles existantes.
- Planter des arbres et installer du mobilier urbain.
- Promouvoir l'installation d'art urbain, qui doit avoir un rôle très important sur cette promenade.
- Aménager les zones piétonnes.
- Renouveler le marché.

### **3.6.- La place des martyres**

Ce projet dépouillé, sans construction, met en scène une série d'espaces théâtralisés racontant l'histoire d'Alger et s'enfoncent sous la place pour découvrir des strates archéologiques de son histoire. Il célèbre aussi, par l'émergence de colonnes-sculptures jaillissant du sol, le souvenir des martyrs.

La place du 8 mai est aménagée en une série de terrasses qui s'inscrivent dans la descente de la ville haute vers la ville basse. Les arcades et le port servent, de supports pour mettre en scène l'histoire de la ville et de mettre en valeur les traces archéologiques (Vies de villes n°3 Hs, 2012).

### **3.7.- Les terrasses du port**

Les terrasses du port sont un projet qui s'inscrit dans la volonté d'ouvrir la ville sur la mer et représente la création d'un lien fort entre le balcon urbain et les quais, au travers d'espaces de promenade et de déambulation, mêlant commerces et la restauration, en liant le développement de l'activité de plaisance et le développement touristique et en valorisant le patrimoine historique d'Alger (figure 41). Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 40.000.000.000 DZD.

Cette estimation est le résultat du *benchmarking* effectué dont la référence est le projet des terrasses du port, à Marseille, en France. L'échelonnement de ce projet structurant dans le temps, selon les quatre phases du plan stratégique 2015/2035, prévoit qu'il débute et qu'il soit réalisé à 100% la période 2015-2020.

Le projet de la place des martyrs et des terrasses du Port s'inscrit dans une démarche ambitieuse de renouveau du cœur historique de la capitale, inscrite au patrimoine Mondial de l'Unesco. Il vise à traiter les liaisons souterraines en utilisant les voûtes existant sous la place des martyrs, qui constitue le socle de la ville historique. La création de liaisons physiques et visuelles entre le débouché du métro, la mise en valeur des fouilles archéologiques, les voûtes et le balcon que constitue le boulevard urbain de front de mer en lien avec les terrasses du port offrira une opportunité pour Alger de se réconcilier avec son front de mer et de renouveler son centre.

#### Programme

La Place des Martyrs et les terrasses du Port s'inscrivent dans les projets dits «Prioritaires d'Alger à l'horizon 2030.». Le projet vise à revitaliser la Place des Martyrs et son souterrain en lien avec les espaces portuaires. La programmation est orientée autour du

loisir, de la détente, du commerce et de la restauration en conjuguant des espaces ouverts ou semi-ouverts. Une série de séquences rythme le projet, créant un trait d'union entre la ville, le métro et les terrasses du port :

- La séquence métro-voûtes met l'accent sur la mise en valeur des strates archéologiques du site en théâtralisant le parcours voyageur, dans une articulation efficace entre les espaces souterrains et le réseau de transport métropolitain.
- Les voûtes sont révélées et constituent un véritable écrin patrimonial pour accueillir des commerces privilégiés.
- Les arcades en balcon sur le front de mer sont réservées à de petits commerces linéaires sur deux niveaux. Elles offrent une connexion active avec les terrasses du Port et profitent d'un panorama remarquable sur la mer.
- La promenade où « Ramblas d'Alger » est pensée comme un véritable espace public; ce lieu de transition entre la façade du front de mer et les Terrasses du Port est un lieu d'échange urbain propice à la flânerie où seront regroupés des commerces permanents et temporaires.
- Les terrasses du port sont conçues comme une nouvelle destination, qui pourrait devenir un rendez-vous privilégié des Algérois en proposant diverses activités culturelles et commerciales ; ses toits en feront le nouveau lieu incontournable de la capitale. Il accueillera plus de 150 boutiques (petites et moyennes surfaces).
- La canopée est un élément unificateur et iconique, imaginé comme un voile protecteur, ou une véritable invitation au Voyage; elle se veut le symbole de la modernité insufflée sur le Vieux Port d'Alger.
- La voie rapide sera déviée par la création d'un passage souterrain entre les arcades et le port afin de permettre la reconquête piétonne de ce territoire aujourd'hui inaccessible aux Algérois.

Le projet fait ainsi la part belle à la mise en valeur du patrimoine bâti et du paysage qui constituent un élément important du territoire afin de garantir son image et son identité tout en faisant la promotion d'une architecture contemporaine de qualité.



Figure 41: vue sur les différents aménagements des terrasses du port d'Alger. source [https://www.cap-architectes.com/essential\\_grid/les-voutes-dalger-place-des-martyrs-16-alger/](https://www.cap-architectes.com/essential_grid/les-voutes-dalger-place-des-martyrs-16-alger/)

### 3.8.- Promenade de la Grande Poste

L'intervention sur la promenade de la grande poste vise à favoriser la requalification du champ de perception visuelle entre la ville haute (hôtel El Aurassi) et la ville basse (zone portuaire), par la reformulation de l'espace public existant. Il s'agit également de constituer une pièce urbaine de célébration qui lie le palais du gouvernement à l'avenue du port et de créer des «coutures» transversales avec les tissus urbains adjacents.

L'investissement estimé pour ce projet structurant s'élève à 2.100.000.000 DZD. Il résulte du montant global budgétisé dans le cadre de l'élaboration du projet prioritaire, intégré à la révision du PDAU d'Alger. Le phasage prévoit que ce projet structurant soit achevé pendant la première phase stratégique, à savoir au plus tard jusqu'en 2014.

Cette promenade débute à l'hôtel El Aurassi et se termine sur la mer, en assurant l'articulation entre le boulevard Didouche Mourad et le boulevard Larbi Ben M'Hidi. C'est l'une des plus vastes zones publiques de rencontres dans le centre-ville. Sur la promenade se situent des équipements importants, tels que le palais du Gouvernement et la Grande Poste. Cependant, ces éléments sont mal intégrés dans la structure verte piétonne de pente accentuée. L'articulation des espaces de circulation, des zones de repos à créer et des nouvelles zones ombragées de repos sera basée, au niveau du projet, sur un passage piéton dénivelé (place souterraine) situé en dessous d'une future liaison (à construire entre les deux boulevards, et qui se prolongera jusqu'à la mer).



Figure 42: promenade de la grande poste. Source : PDAU. (2016)

### 3.9.- Les autres promenades

L'intervention urbaine dans le centre historique ne va pas se limiter aux projets précédents. La continuité de cette intervention globale va se baser sur l'expérience acquise lors de la réalisation des premières promenades (figures 45 et 46).

Les prochaines promenades sont :

- Promenade 1 (El Kettar – Kettani).
- Promenade 2 (palais du Dey – bastion 23).
- Promenade 3 (Palais du Dey- porte de pêche).
- Promenade (hôtel El Aurassi-siège de la Wilaya).
- Promenade 7 (garde routière-jardin de Beyrouth).

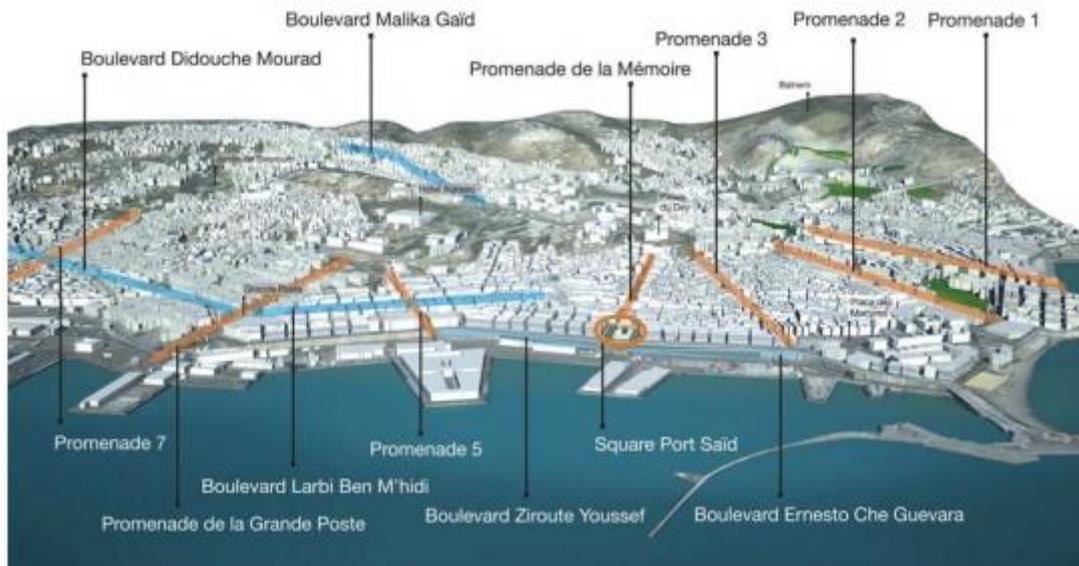


Figure 43: plan générale des interventions au centre historique. Source : PDAU (2016)

L'objectif de l'intervention au niveau de ces promenades, est tel qu'il a été défini auparavant, c'est à dire développer un ensemble d'opérations de requalification urbaine grâce au réaménagement des bâtiments, de l'espace public et des infrastructures.



Figure 44: vue en plan des séquences et promenade. Source : PDAU. (2016)

### **3.10.- L'opéra d'Alger**

L'opéra d'Alger est le projet structurant qui vise à renforcer les conditions d'intégration et de compétitivité de la ville en matière de musique érudite. Celle-ci joue, de nos jours, un rôle de plus en plus important d'affirmation culturelle et internationale des grandes capitales. Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 15.000.000.000 DZD.

Cette estimation est le résultat du *benchmaerking* qui l'a élu comme exemple programmatique similaire l'Opéra du Caire, en Égypte.

### **3.11.- Le palais des sports**

En vue de la réalisation touristique et économique de la Wilaya, l'offre d'occasions d'animation est indispensable, d'où la création d'un espace spécifiquement consacré à la réalisation d'événements sportifs et culturel, situé au sein d'un important pôle de reconversion urbaine, qui concentrera un ensemble considérable d'équipements sportifs, ludiques et culturels (l'hippodrome, le grand opéra, le port de plaisance/la marina, etc.).

Le montant estimé de l'investissement pour ce projet structurant s'élève à 15.000.000.000 DZD. Il résulte du *benchmarking* qui met en relief le pavillon Atlantico, à Lisbonne, au Portugal. Le phasage prévoit que ce projet structurant soit entièrement réalisé pendant la deuxième phase stratégique, à savoir 2020/2025.

### **3.12.- Casbah ; sauvegarde et valorisation**

Le présent projet structurant repose sur la mise en œuvre du Plan Permanent de Sauvegarde et de Mise en Valeur du Secteur Sauvegardé (PPSMVSS) et vise à favoriser la réhabilitation physique des bâtiments et d'autres éléments patrimoniaux, ainsi que la revitalisation socio-économique et l'intégration de la Casbah dans les dynamiques fonctionnelles de la ville d'Alger afin de surmonter sa triple marginalisation physique, économique et sociale.

Le montant de l'investissement associé à ce projet structurant s'élève à 300.000.000 DZD ; le montant global établi correspond à l'estimation figurant au PPSMVSS. Face à la complexité de ce contexte et à son importance pour le renouvellement du centre d'Alger, il est conseillé de réviser ce montant. L'échelonnement de ce projet structurant dans le temps, selon les quatre phases du plan stratégique 2015/2035, prévoit qu'il débute et soit réalisé à 25% au cours de la première étape (2015-2020), et que l'exécution des 75 % restants soit concentrée pendant la période 2020-2025.

#### 4.- Synthèse

À travers ce chapitre nous avons pu constater la stratégie de développement et l'ambition d'Alger de faire de sa capitale une éco-métropole moderne grâce aux divers projets d'expansions et de rénovations urbaines décrits au niveau de ce chapitre. Ces projets sont prévus d'ici l'horizon 2035 dans le cadre du schéma stratégique d'aménagement du territoire SNAT horizon (2015-2035). Pour des raisons économiques, la réalisation de ces projets structurants n'a pas encore été entreprise ; cependant l'objectif de cette thèse n'est pas de s'attarder sur le retard accumulé concernant la réalisation de ces projets en dépend de l'échéancier déjà prévu par le PDAU et observé par plusieurs auteurs notamment Aouissi. (2019), Nouri et al. (2019), mais plutôt d'estimer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur ces projets de grandes envergures.

Malgré les grandes ambitions d'Alger de faire de sa capitale une éco-métropole moderne, en tête des grandes métropoles méditerranéennes. Cette ambition est vite rattrapée par la réalité des études récentes qui ont démontré la vulnérabilité et l'impact du changement climatiques sur les villes côtières liées au risque d'élévation du niveau des mers (chapitre 1, chapitre 6).

Les villes côtières du monde entier n'échapperont pas à ce phénomène, à l'instar de la ville d'Alger qui se trouve embarquée dans cette tournure de ville littorale et devant le risque d'élévation du niveau de la mer. Etant donné la fragilisation constaté du littoral algérois ressentie sur terrain (érosions fréquentes, une remontée du niveau de la mer, inondations et séisme, etc.), et d'autres part les tempêtes auxquelles Alger a dû faire face par le passé confirme l'exposition du littoral algérois aux ondes de tempête (Amrouche et al., 2020 ; Aouissi, 2019 ; Egis-eau et al., 2013 ; Maouche et al., 2009 ; Rabehi, 2018).

Dans le rapport du GIEC publié en septembre 2019, les scientifiques soulignent que la hausse du niveau des mers s'est amplifiée ces dernières décennies. Le constat est que le rythme de l'élévation du niveau de la mer est de 2,5 fois plus élevé que ce qu'ils avaient prédit sur la période 1900-1990, alors qu'en 2013, ils prévoyaient une augmentation du niveau des mers comprises entre 30-90 cm pour 2100. Dans leurs derniers rapports publiés en 2019, les experts du GIEC ont annoncé une hausse comprise entre 60-110 cm, et prédisent que le niveau ne cessera d'augmenter à l'avenir. Ceci s'explique en raison de la dilatation thermique (Plus les océans se réchauffent plus ils occupent de volume) et la fonte des calottes polaires et glaciaires (AIVP, 2012 ; Timmerman et al., 2021).

Cela signifie que les zones côtières, où la pression démographique est également plus forte, seront encore plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes, tels que les inondations. Ce phénomène peut avoir des conséquences dévastatrices pour les villes portuaires, où sont hébergées d'importantes concentrations de population et de richesse.

Les populations côtières du monde doivent faire face à un déferlement de menace, d'élévation du niveau de la mer, d'intensification des tempêtes et épisodes de précipitations extrêmes ; c'est pour cette raison que l'objectif numéro un des villes côtières devrait être d'anticiper les conséquences du changement climatiques sur ces zones (AIVP, 2021).

De tels scénarios sont inquiétants, d'autant plus que certains pays n'en tiennent pas compte des effets de l'élévation du niveau de la mer malgré les divers avertissements. De nombreuses études sur le changement climatique et l'adaptation des villes côtières aux impacts du changement climatique, ne parle que de New York, Boston, Rotterdam, Londres, Hambourg, Amsterdam, Singapour, etc. On ne cite que les sites les plus connus, alors que pratiquement toutes les villes portuaires sont concernées, notamment la ville d'Alger où le risque de submersion marine est imminent (Aouissi, 2019 ; Lallaoui, 2014). Il serait alors judicieux d'examiner à l'avenir proche côte par côte, en fonction de la topographie et des données marégraphiques disponibles, les littoraux et les infrastructures portuaires les plus impactés par l'élévation du niveau de mer, où bien commencer par l'évaluation des terres où les enjeux sont les plus importants. Dans le cas d'Alger, comme nous l'avons pu le voir au début de ce chapitre plusieurs projets verront le jour d'ici 2035, dont la reconversion du port d'Alger. Cela augmentera sa vulnérabilité, car envisager la reconversion du port d'Alger sans apporter de solution face au phénomène d'élévation du niveau de la mer sera considéré comme un travail inachevé et de superflu car une bonne partie de la baie d'Alger incluant la zone portuaire risque la submersion marine (Aouissi, 2019).

La côte algérienne abrite une dizaine de ports dédiés au trafic maritime (conteneurs, terminaux pétroliers, réservoirs de stockages, navires, bateaux, etc.) ; la proximité urbaine des villes et des écosystèmes marins et terres sont très exposés à un risque environnemental supplémentaire potentiellement déclenché par le tremblement de terre ou les dommages liés au glissement de terrain (Amir et al., 2017).

La figure 45, représente l'aléa submersion marine à l'horizon 2030 le long du rivage de la baie d'Alger prévue par l'étude Egis-eau et al., 2013 pour une surcote à + 2,34 m.

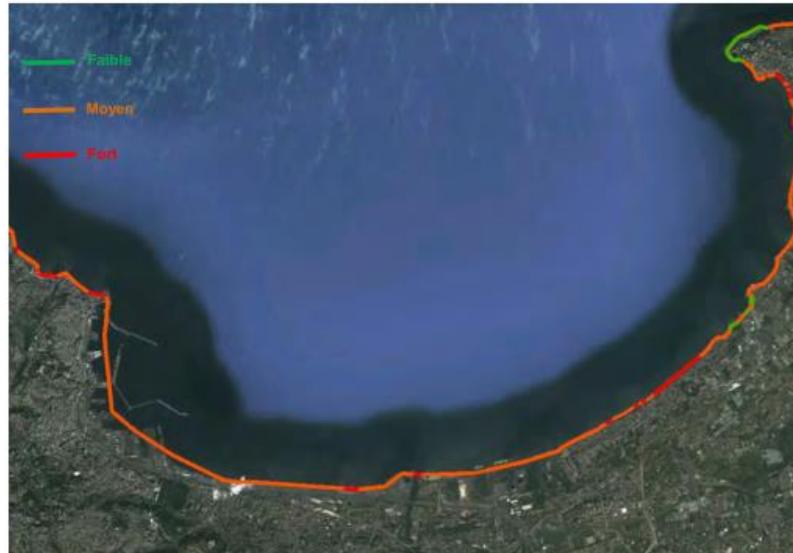


Figure 45: Aléa submersion marine à l'horizon 2030 le long du rivage de la baie d'Alger. Source : Egis BRGM IAU-IDF, 2013.

Face aux défis globaux et aux enjeux locaux, l'heure est aux prévisions des impacts du changement climatique en particulier l'élévation du niveau de la mer et aux mesures d'adaptation des villes côtières face à ce phénomène. Pour cela on s'attardera dans le chapitre 4 à définir les phénomènes de submersion marine, et processus hydrodynamiques à l'origine de cet aléa, ainsi qu'aux méthodes et outils de cartographie des terres à risques de submersion, et enfin l'application sur le cas d'étude d'Alger afin de visualiser les terres à risque d'inondations à l'horizon 20302100.

## 5.-conclusion

Cette première partie de thèse via les trois chapitres permet de mettre en évidence plusieurs points essentiels ;

L'élévation du niveau de la mer est considéré comme un phénomène inéluctable d'ici la fin du siècle causé principalement par le réchauffement climatique résultant des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine. En dépit des conséquences significatives sur les écosystèmes côtiers, les populations humaines et les infrastructures côtières, des mesures sont prises au niveau mondial pour faire face à ce phénomène, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'adaptation des infrastructures côtières et enfin la promotion de politiques de gestion des zones côtières durables. Il est important de surveiller attentivement ce phénomène, d'affiner ses prédictions pour mieux le comprendre et atténuer ses impacts.

Le chapitre 2, met en évidence la vulnérabilité de la baie d'Alger. De nombreuses études notamment l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger aux changements climatiques et aux risques naturels établie en mars 2013 a montré que certaines zones côtières d'Alger pourrait être submergées en raison de l'élévation du niveau de la mer, d'autant plus que la côte d'Alger a du faire face dans le passé à différentes tempêtes extrêmes, notamment l'inondation catastrophique de Bab-el-Oued en 2001 (résultante d'une pluie torrentielle, avec 261,6 mm en seulement 24 h, la submersion marine au port de Tipaza en 2007, l'énorme érosion sur la plage de Surcouf en 2015, les bateaux Bechar échoués et entrés en collision avec la digue du port d'Alger en 2004, le port d'El-Djamila exposé à une forte tempête marine en 2016, et enfin le port de Tamentfoust submergé en 2018 (Amrouche et al., 2020). Suite à de telles tempêtes, une évaluation du risque et le développement de mesures d'adaptation sont à préconiser.

D'autant plus que de grands projets d'envergure sont prévus le long du littoral algérois dans le cadre du PDAU d'Alger horizon 2030/2035 vu dans le chapitre 3. Les projets structurants proposés le long de la baie d'Alger permettront certes de redynamiser la vitrine maritime d'Alger, mais se situeront sur des sites à risque d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer (Egis eau et al., 2013).

## **DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE**

### **1.-Introduction**

Cette deuxième partie de la thèse comporte trois autres chapitres, dont le premier chapitre traite de la submersion marine, le second chapitre porte sur l'analyse structurelle MicMac et enfin le troisième porte sur la connaissance des stratégies d'adaptation des villes côtières face à la montée des eaux.

Le 4<sup>ème</sup> chapitre tend dans un premier temps à définir les concepts clés, à expliquer les différents processus hydrodynamiques à l'origine de la submersion, notamment (la surcote atmosphérique, la surcote des vagues, phénomène de jet de rive, etc). En deuxième lieu nous énonçons les facteurs et conséquences potentielles de la submersion marine sur les zones côtières notamment (sur la vie et la santé humaine, les biens, activités, patrimoine et l'environnement, etc.). En troisième lieu nous passons aux modèles d'évaluation des terres à risques d'inondations et nous terminons avec une application sur le cas d'étude ; la baie d'Alger.

Le 5<sup>ème</sup> chapitre tend à travers une modélisation MicMac de mettre en valeur des variables clés essentielles à l'évolution du système étudiée. Cette méthode repose sur trois étapes ; (1) recensement des variables, qui a pour objet d'identifier une liste contenant le plus possible de variables caractérisant le système. (2) la recherche des variables, grâce à un classement direct et indirect, puis grâce au classement potentiel direct et enfin le classement potentiel indirect (ce dernier est jugé comme le plus illustratif, car il permet de confirmer l'importance de certaines variables, mais dévoile certaines qui jouent un rôle prépondérant). (3) repérage des relations et interprétations des résultats, grâce au positionnement des variables par rapport au plan d'influence/dépendance; il est possible de distinguer quatre types de variables; d'entrée, Relais, résultats et exclues. La matrice MicMac a permis de mettre en valeur les critères clés sur lesquelles il faudra agir afin de minimiser les impacts du phénomène étudié sur l'interface.

Le 6<sup>ème</sup> chapitre tend à montrer l'adaptation des villes côtières face à l'élévation du niveau de la mer à travers l'analyse de trois exemples internationaux ; le projet du Dry line de New York, le projet d'Hambourg en Allemagne et enfin celui de Boston East. Ces derniers se trouvent dans le même contexte de réaménagement de leur front de mer face à l'élévation du niveau de la mer.

## CHAPITRE 4 : ETAT DE L'ART SUR LA SUBMERSION MARINE

### 1.- Introduction

Tous les territoires des pays du monde, sont affectés presque chaque année par des aléas naturels associés à la dynamique des versants, au débordement des rivières ou à la submersion marine. Ces espaces sont aménagés et occupés depuis des siècles. Les coûts financiers et les décès liés à ces aléas sont révélateurs de dysfonctionnement dans l'occupation de l'espace, mais aussi d'un accroissement de la vulnérabilité des sociétés. L'objectif de ce chapitre est de montrer comment l'approche cartographique permet une meilleure connaissance des risques « naturels », afin de maîtriser l'occupation des sols dans les territoires à risque et passer d'une gestion curative à une gestion préventive des risques. La submersion marine représente un risque majeur, susceptible d'augmenter en fonction de l'élévation attendue du niveau de la mer, de l'évolution démographique en zone littorale et de la concentration des enjeux dans ces mêmes zones (Coquet, 2019).

L'Algérie est considérée parmi les pays à fort risque due au changement climatique. Elle se situe parmi les 50 premiers pays à risque avec un indice de vulnérabilité estimé à 7,63% selon le rapport de l'université des Nations Unies pour l'environnement et la sécurité humaine (UNU-EHS) en 2014. Elle dépasse les pays à forte industrie comme l'Inde et la Chine avec un indice de vulnérabilité de 7,4 % et 6,9 % respectivement. Elle dépasse également la Tunisie avec un indice de vulnérabilité estimé à 5,47 % et le Maroc avec un taux de 6,8%. Cet indice de vulnérabilité est calculé sur la base de plusieurs critères ; les facteurs naturels (les séismes, les inondations, sécheresse, etc.) et les prédispositions du pays à être touchés par une catastrophe, les capacités à faire face et enfin les stratégies d'adaptation (Benchakal, 2021).

Vu la vulnérabilité du pays face au risque naturel et l'élévation du niveau de la mer en particulier, ainsi que la réalité des impacts du changement climatique qui pèse sur les villes côtières, l'évaluation du risque d'élévation du niveau de la mer pour le littoral algérois est primordiale. Ces résultats peuvent fournir aux décideurs des moyens afin de définir leur politique de gestion, de prévention, ainsi que leur politique d'investissement.

Dans un premier temps pour une meilleure compréhension, certains concepts méritent d'être définis

## 2.- Définition de quelques éléments

### 2.1.- Le risque

Le risque n'existe que si un évènement potentiellement dangereux « aléa » s'applique à une zone où des enjeux plus ou moins vulnérables (éléments exposés) sont présents (Mercier et al., 2013)

Il évolue en fonction du temps et des lieux et peut être exprimé par la fonction suivante:

$$\text{Risque} = f(\text{aléa} * \text{conséquences sur les enjeux}).$$

### 2.2.- L'aléa

Est défini par une probabilité d'occurrence spatiale et temporelle et par une intensité qui dépendent de facteurs de prédispositions et de facteurs déclenchant. Considéré majoritairement comme un phénomène d'origine naturelle, cependant l'action humaine peut avoir un effet sur son évolution (Coquet, 2019).



Figure 46: les composants du risque, aléas et enjeux. Source: <https://www.sdea.fr/index.php/fr/l-eau/les-inondations/les-risques-d-inondations>

### 2.3.- Probabilité d'occurrence spatiale

Correspond à la susceptibilité des terrains à un type de mouvement. C'est la possibilité qu'un mouvement se produise dans une zone sur la base de conditions locales, conditionnée par des facteurs « permanents » de prédisposition comme la pente, la géologie, l'occupation des sols.

#### **2.4.- La probabilité d'occurrence temporelle**

Dépend de la combinaison de facteurs déclenchant naturels ou anthropiques comme ; les conditions hydro-climatiques (gel, dégel, précipitation), la sismicité, l'action de l'homme (déboisement, travaux).

#### **2.5.- L'intensité**

C'est la vitesse de déplacement, les volumes mobilisés et la distance de propagation qui traduisent l'importance du phénomène.

#### **2.6.- Les éléments exposés**

Représentent les enjeux présents plus ou moins vulnérables pouvant être affectés (biens, personnes, habitations, activités économiques, infrastructures, patrimoines, milieux naturels, etc.). Les conséquences peuvent être directes ou indirectes, économiques, environnementales, humaines. Elles peuvent être exprimées par la fonction suivante :

$$* \text{ Conséquences} = f(\text{élément exposés} * \text{vulnérabilités} * \text{coût}).$$

Les enjeux peuvent être caractérisés par leurs propensions à être endommagés, ce qui renvoie à évaluer leur vulnérabilité (Coquet, 2019).

#### **2.7.- Vulnérabilité**

La littérature montre que la vulnérabilité est un terme très usité et qui reste polysémique. Cette dimension, résulte du fait que ces définitions ont été élaborés dans différents champs disciplinaires (Ferec et al., 2020 ). En matière de risque, la vulnérabilité désigne à la fois les dommages et la possibilité de subir ces dommages, à partir de 1970 la vulnérabilité désigne le degré d'endommagement dû à l'exposition et la localisation géographique des enjeux par rapport à la source de danger, ce qui revient à insister sur l'aspect spatial des enjeux et donc la cartographie de la vulnérabilité (Benchakal, 2021).

#### **2.8.- Les inondations**

Selon Tourment et al. (2019) les inondations sont des phénomènes plus ou moins exceptionnels qui se caractérisent par la submersion temporaire de terrains. Cette submersion peut avoir différentes causes :

- Les précipitations ;
- Les crues fluviales et torrentielles ;

- Les phénomènes météo-marins (surcotes, tempêtes) ;
- Les aléas technologiques (rupture de barrage) ;
- Les remontées de nappe ;
- Les séismes ou éboulements (causes de tsunamis en mer ou en milieu lacustre).

Les deux termes « inondation » et « submersion », sont considérés comme synonymes selon la définition extraite du grand dictionnaire de l'Office québécois de la langue française « *inondation : submersion par l'eau débordant du lit d'un cours d'eau ou d'autres étendues d'eau, ou accumulation d'eau provenant de drainage sur des régions qui ne sont pas normalement submergées* ». Certains auteurs emploient le terme « submersion » pour les phénomènes d'origine marine et utilisent le terme « inondation » pour les phénomènes d'origine fluviale, induisant alors une ambiguïté entre la cause et l'effet. Le tableau n°3 présente un vocabulaire en rapport avec une inondation ou submersion (sa cause naturelle, en milieu urbain, fluvial ou torrentiel).

Tableau 3: le vocabulaire en relation avec les termes inondations ou submersion. Source: Tourment et al. (2019).

Phénomène	Fluvial ou torrentiel	Maritime	Autres causes
Événement naturel	crues	Tempêtes, surcotes, tsunamis, etc.	Remontée de nappe, etc.
Impact sur les lieux habités ou occupés par l'homme	Inondation (parfois submersion)	Submersion (parfois inondation)	Inondation

## 2.9.- Aléa submersion marine

La submersion marine est décrite comme une inondation temporaire des zones côtières par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques extrêmes (un fort vent d'afflux et d'une pleine mer de vives-eaux). Elle envahit généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers, mais aussi en dessus, si des projections d'eaux marines franchissent les ouvrages de protections (Mercier et al., 2013).

Les submersions sont généralement de courte durée en raison de leur origine qu'elle soit liée à la marée ou à une tempête (sa durée peut varier de quelques heures à quelques dizaines d'heures, exceptionnellement quelques jours). Elle se traduit par l'invasion des biens bâtis ou non bâtis (terres agricoles) par des eaux salées particulièrement agressives. Les eaux marines peuvent véhiculer d'importantes quantités de sédiments, créant ainsi des « épandages de tempêtes » qui rendent les terres agricoles parfois temporairement peu

exploitables. Lorsqu'elles sont dues à une rupture du cordon dunaire, elles peuvent également entraîner des projections de sable et de galets causant des effets dommageables sur les fronts de mer urbanisés en cas de franchissement d'ouvrage de protection (Garry et al., 1997).

Un certain nombre de tempêtes ont marqué la mémoire, notamment la tempête Xynthia en 2010, la tempête Lothar en 1999. D'autres tempêtes ont motivés les côtes afin d'améliorer leurs systèmes de défenses côtières en particulier les submersions marines consécutives suite à la tempête du 1<sup>er</sup> février 1953 causant environ 2000 morts, ont motivé le plan Delta qui a permis aux Pays-Bas de renforcer ses défenses côtières (Planton et al., 2012).



Figure 47: Submersion par rupture du cordon dunaire à Montmartin-sur-Mer (à gauche) et projections de galets associés à des submersions par franchissement à Calvados. Source : F. Levoy In Garry et al. (1997).

Ce phénomène de submersion est lié à une élévation temporaire du niveau de la mer. Ce dernier pourra induire ou aggraver deux types de submersions : les submersions permanentes de zones basses (marais côtière) et les submersions temporaires (condition météorologique extrême forte dépression et vent de mer) (Planton et al., 2015), et qui peut avoir soit une origine météorologique, soit une origine géologique.

Dans le premier cas, l'élévation du niveau de la mer est la conséquence d'une surcote liée au passage d'un cyclone tropical où dû à une tempête dans les latitudes moyenne. Dans le deuxième cas, l'élévation du niveau de la mer est générée par un tsunami ayant pour origine un tremblement de terre sous-marin, une éruption volcanique, ou un glissement de terrain (Coquet, 2019). Dans cette thèse, nous nous intéressons seulement à la submersion marine générée par des facteurs météorologiques.

## **2.10.- Les aléas associés à la submersion marine**

Lors des tempêtes, le phénomène de submersion marine est souvent accompagné de vents violents, une inondation continentale liée au ruissellement où au débordement des fleuves connue sur le nom du phénomène « *inondation fluviomarine* » afin de la distinguer des inondations fluviales et des submersions marines « *pures* » (CEPRI, 2016).

Le phénomène de submersion marine tel qu'il se manifeste depuis longtemps sur le littoral, est indissociable du recul du trait de côte (érosion côtière). L'action des vagues est susceptible d'aggraver l'érosion des littoraux, conduisant à réduire le trait de côte et à détruire les dunes et ouvrages de protection favorisant la submersion des zones basses en arrière (Oliveros, 2003).

### **2.10.1- Les dépressions atmosphériques pouvant conduire à une submersion marine**

Les submersions marines d'origine météorologique sont causées par des dépressions atmosphériques. On peut distinguer deux grands types de dépressions atmosphériques pouvant induire des submersions marines, selon les latitudes dans lesquelles elles interviennent : les tempêtes de latitudes intermédiaires et les cyclones (Breilh, 2014).

### **2.10.2.- Les tempêtes de latitudes moyennes**

Une tempête est décrite comme un système de basses pressions atmosphériques (une dépression frontale). Elle est caractérisée par des vents violents générés par les forts gradients de pression. En météorologie marine une tempête correspond au minimum à la force 10 de l'échelle Beaufort, caractérisée par des vents moyens de 89 à 117 km/h et des rafales de 110 à 150 km/h (Ibid, 2014). Même si les conditions de leurs formations sont différentes, elles sont potentiellement dommageables en raison des fortes vitesses de vent et des précipitations intenses qui les accompagnent (Leone et al., 2021).

### **2.10.3.- Les cyclones**

Le terme « cyclone » désigne un objet météorologique dans lequel les vents sont en rotation autour d'un centre de basse pression. La formation d'un cyclone requiert trois conditions : une température de surface océanique supérieure à 26°C allant sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur ; une couche d'air chaud et humide de plusieurs milliers de mètres ; une distance par rapport à l'équateur d'au moins 5° de sorte que la force de Coriolis entraîne une rotation des vents (Leone et al., 2021).

En zone intertropicale, les dépressions atmosphériques très creuses sont appelées généralement « cyclones » ou encore « ouragans » lorsqu'elles interviennent dans l'Atlantique Nord et le Pacifique Nord-est, ou encore « typhons » en Asie de l'Est. Ces phénomènes tourbillonnaires de pression atmosphérique centrale très basse mesurent de 500 à 1000 km de diamètre et sont pourvus d'un centre visible sur les images satellitaires : l'œil du cyclone (Breilh, 2014).

### 3.- Les différents processus de submersion marine

Trois grands modes de submersion peuvent être distingués : la submersion par débordement, la submersion par rupture (brèche/arasement) et la submersion par franchissement discontinu de « paquets de mer » voir (figure 48). Ces types de submersions interviennent généralement soit sur une digue comme ouvrage de protections d'origine anthropique, soit sur une barrière sédimentaire naturelle (André, 2013 ; Breilh, 2004 ; Cariolet, 2011).

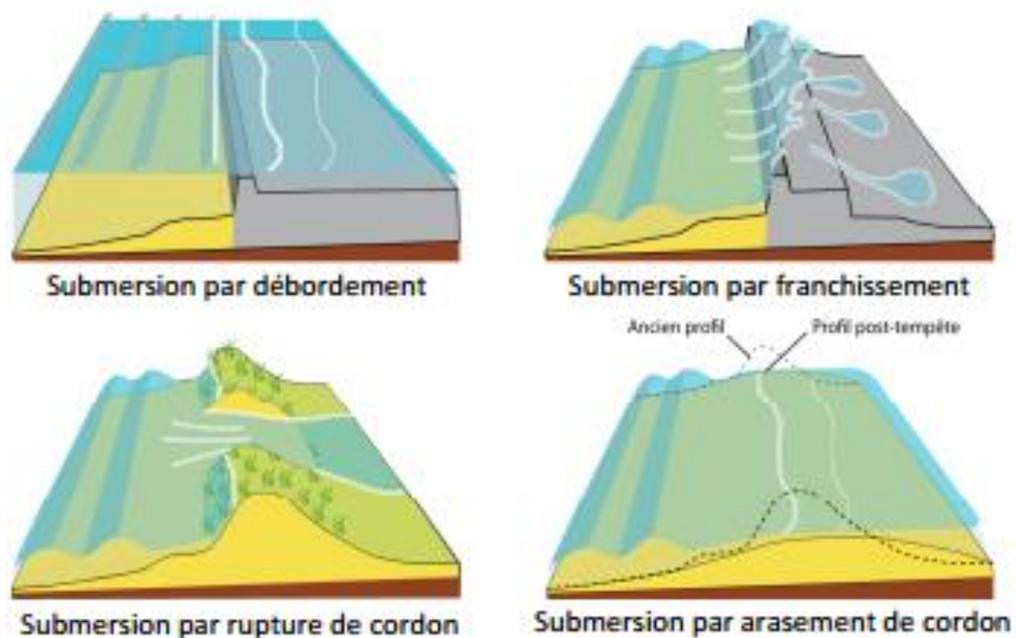


Figure 48: schémas des différents modes de submersion marine. Source: (Cariolet, 2011)

#### 3.1.- Les phénomènes d'inondation par franchissement

La submersion par franchissement (figure 49) nommé « *wave overtopping* » est générée par le déversement de paquets d'eau issus du déferlement des vagues les plus hautes lorsque le niveau moyen du plan d'eau n'atteint pas celui du cordon naturel ou soit de l'ouvrage de protection. Ces processus sont largement dépendants de la hauteur maximale atteinte par le *swash runup* qui franchit le cordon dunaire ou l'ouvrage de

protection qui fait face à la mer, et inonde les zone les plus basses en arrière (André, 2013 ; Mercier et al., 2013, p.183). Le franchissement des vagues est favorisé par al force et la direction du vent qui influe sur le jet de rive lorsque ce dernier souffle de la mer vers la terres (Breilh, 2014).

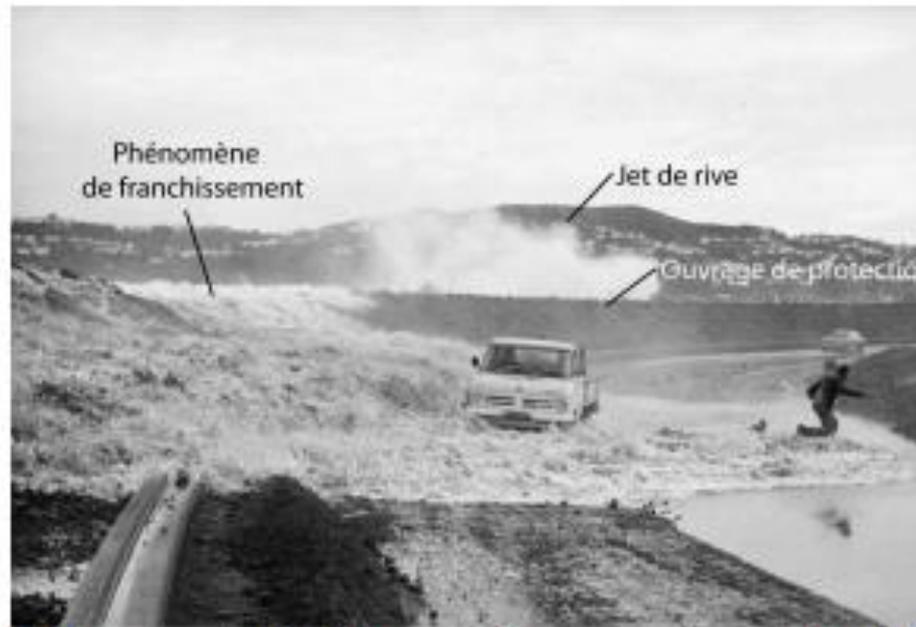


Figure 49: phénomène de franchissement d'un ouvrage de protection de la Nouvelle Zélande, 1972. Source: (Cariolet, 2011)

### 3.2.- Les phénomènes d'inondations par débordement

La submersion par débordement « *surverse* » ou « *surgeoverflowing* » intervient lorsque le niveau d'eau moyen à la côte est supérieur au bien dépasse le sommet du cordon dunaire ou de l'ouvrage de protection tel qu'une digue ou un perré (figure 50). Ces processus sont généralement commandés par un setup très important et peuvent intervenir dans des secteurs très abrités où le déferlement des vagues est pratiquement inexistant en conditions normales, comme les estuaires, les baies, les lagunes ou les ports, du fait que la latitude des barrières sédimentaires et des ouvrages de protection sont plus basses que sur les littoraux exposés (André, 2013 ; Breilh, 2014 ; Mercier et al., 2013, p.183).

Les débordements entraînent souvent un transfert de sédiments sur le revers d'un cordon naturel, un recul de l'ensemble du cordon et parfois même une rupture de l'édifice sédimentaire. Quant aux ouvrages de protection, les débordements en milieu d'agitation marine peuvent engendrer l'endommagement où la rupture des structures, comme il a été observé lors du passage de l'ouragan Katrina (Cariolet, 2011)



Figure 50: Illustration d'une submersion par débordement pendant le cyclone Katrina dans le Golfe du Mexique aux USA. Crédit photo : NOAA. Source : In (Breilh, 2004, p.14)

### 3.3.- Les phénomènes d'inondation par rupture

La submersion par rupture (figure 51) est générée généralement lors d'une tempête exceptionnelle. Elles sont le plus souvent générées par l'action combinée de la submersion de la plage intertidale (marée de tempête) et l'attaque des vagues au déferlement sur le cordon littoral ou l'ouvrage frontal. La force des vagues alliée à celle de la masse d'eau, peut mener au rasement général ou partiel du cordon dunaire (figure 52) ou de l'ouvrage de protection, formant ainsi une brèche (sorte d'ouverture) qui laisse pénétrer l'eau et envahit alors les zones basses en arrière d'une façon extrêmement rapide et puissante. Une fois la brèche ouverte, les écoulements gravitaires sont alors commandés par la simple différence altitudinale entre l'avant plage et la zone d'arrière-cordon (Breilh, 2014 ; Mercier et al., 2013).

Ce phénomène de submersion par rupture d'un cordon ou d'un ouvrage est celui qui engendre le plus de dégâts et de pertes humaines à cause de sa rapidité et sa puissance. Comme il a été observé le 29 août 2005 au sud-est des Etats-Unis lors des submersions provoquées par l'ouragan Katrina, et durant les inondations observées les 27 et 28 février 2010 par le passage de la tempête Xynthia sur les côtes de Vendée et de Charente.

Plusieurs études ont montré que pour la localisation des brèches, la bathymétrie de la côte joue un rôle très important, car avec la diffraction de houle générée par la présence de haut fond cela peut conduire à des phénomènes de concentration de l'énergie des vagues

en des points appelés « points faibles ». Ces derniers sont plus exposés à l'ouverture des brèches et à l'érosion (Criolet, 2011).



Figure 51: phénomène de submersion par rupture d'un ouvrage de protection suite à la tempête Xynthia. Source: (Breilh, 2014).



Figure 52: Illustration des phénomènes de rupture de cordon dunaire à gauche (lagune de la Belle-Henriette à la Faute-sur-Mer en Vendée, photo © BRGM) et d'arasement de cordon dunaire provoqué par débordement à droite - Réserve Naturelle du marais d'Yves en Char

Un épisode de submersion marine peut résulter de la succession de différents processus (franchissement, débordement ou rupture d'ouvrage), voire de leur occurrence simultanée, en des endroits différents. Tout d'abord, on assiste généralement lors de tempêtes à une montée progressive du niveau statique et au renforcement de l'intensité de la houle (temps 1). Au-delà d'une certaine intensité, il peut y avoir franchissement par paquets de mer, la submersion associée restant en général limitée (temps 2). Si le niveau statique continue à s'élever et dépasse la côte maximale des défenses côtières, la submersion passe alors en régime de débordement (temps 3B). Lorsque le niveau statique diminue du fait de la marée et/ou de la baisse de la surcote, on peut observer, suivant la configuration, une « vidange » partielle de l'eau accumulée à terre vers la mer ou de

nouveaux franchissements jusqu'à ce que les conditions de mer diminuent (temps 3A) (Planton et al., 2015) voir figure 53.

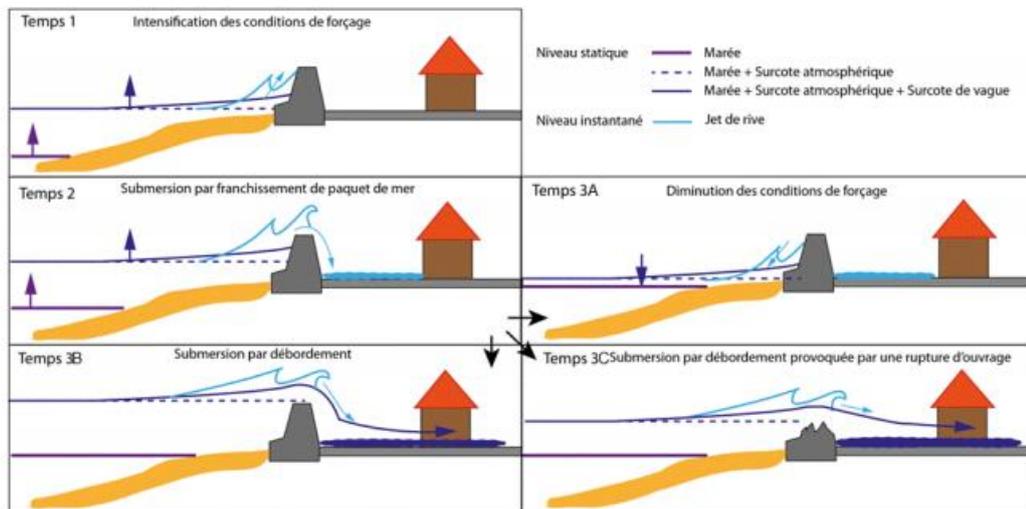


Figure 53: Exemple de chronologie possible en cas de submersion marine (franchissement par paquet de mer/débordement/dégradation). Source : BRGM In le climat de la France au XXIe siècle. Volume 5

#### 4.- Processus hydrodynamiques à l'origine de la submersion marine

Les submersions marines sont produites par des événements de tempêtes côtières qui se caractérisent par l'intensité de différents forçages, ou agents météorologiques et maritimes (André, 2013). Les niveaux d'eau à la côte dépendent avant tout d'un phénomène astronomique prévisible, la marée. En milieu macro<sup>15</sup> et megatidal, les phénomènes de submersion surviennent généralement en période de vives-eaux. Cependant certains phénomènes météo-marins, plus difficile à prévoir, peuvent provoquer une élévation du niveau d'eau à la côte et alors engendrer un niveau qualifié d'extrême s'ils sont conjugués avec une pleine mer de vive-eau.

Le phénomène de surcote (figure 54) est induit par l'action souvent combinée d'une faible pression atmosphérique et du renforcement des vents d'afflux. S'ajoute l'effet des vagues déferlantes qui génèrent une élévation du niveau d'eau à la côte (connue sous les termes de *wave setup* et *wave runup*) (Cariolet, 2011), et aussi la configuration du littoral, la topographie, la pente et la profondeur des fonds (CEPRI, 2016).

##### 4.1.- La surcote

La surcote est générée par la combinaison de deux phénomènes météo-marins : l'action d'une basse pression atmosphérique et l'action d'un vent d'afflux. Deux types de

<sup>15</sup> Zone côtière subissant des amplitudes de marée importante et supérieure à 4 m

surcote peuvent être considérée, la surcote atmosphérique et la surcote anémométrique (surcote liée aux vagues), qui peuvent aussi se combiner et amplifier la surcote totale (Cariolet, 2011).

#### 4.2.- La surcote atmosphérique

La surcote atmosphérique est divisée en deux processus : le premier processus est dû à la chute de pression provoquée par le système dépressionnaire d'une tempête ou d'un cyclone, qui entraîne une élévation du plan d'eau par effet de baromètre inverse. Le second, le *wind setup*, est dû au vent qui exerce une contrainte à la surface de l'eau, ce qui modifie les courants de surface et peut également augmenter l'élévation du niveau du plan d'eau à la côte (André, 2013).

#### 4.3.- La surcote liée aux vagues

« *Wave setup* » : quant à elle est le résultat du déferlement de la houle et la diminution de la profondeur des fonds marins en se rapprochant des côtes qui transfère l'énergie des vagues vers la colonne d'eau engendrant une élévation en plus du niveau d'eau (Ibid, 2013).

#### 4.4.- Phénomène de jet de rive

Ou *swash* se produit lors du déferlement des vagues sur une plage ou un ouvrage de protection. Ce phénomène n'affecte pas le niveau moyen du plan d'eau en soi mais définit l'altitude maximale ou *runup* que peut atteindre l'eau lors d'une submersion (André, 2013).

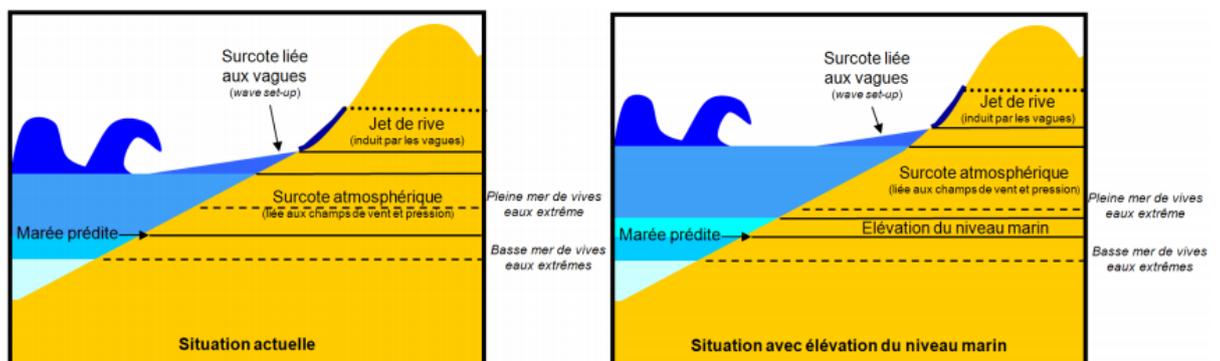


Figure 54: schéma des facteurs à l'origine de la déformation du plan d'eau à la côte. Source: Yates-Michelin et al. (2011). Rapport final BRGM/RP 59405-FR, 145p., 32 Tab, 57 fig., 5 annexes

**4.5.- Estimation de la surcote d'inondation**

D'un point de vue dynamique, la submersion marine se réalise lorsque les niveaux d'eau extrême sont supérieurs à la topographie ou l'obstacle qu'ils submergent. La relation altitudinale entre l'aléa submersion et la topo-morphologie est déterminante et peut être exprimée par l'expression suivante selon (Mercier et al., 2013 d'après ; Stéphan, 2012 ; Anselme et al., 2011) voir la ( figure 55).

$$\Delta_{Subm} = \Delta_{NMextr} - \Delta_{Ccord}$$

La submersion ( $\Delta_{Subm}$ ) intervient lorsque l'altitude du cordon littoral ou de l'ouvrage ( $\Delta_{Ccord}$ ) est inférieure au niveau d'eau extrême à la côte ( $\Delta_{NMextr}$ ), définis par la somme de plusieurs composantes.

$$\Delta_{NMextr} = \Delta_{zm} + \Delta_{Mpred} + \Delta_{hp} + \Delta_{hwind} + \Delta_{hwave} + \Delta_{hswash}$$

Où

$\Delta_{zm}$ : est le niveau altitudinal de références (zéro topographique ou hydrographique)

$\Delta_{Mpred}$  : marée astronomique

$\Delta_{hp}$ : surcote d'origine barométrique

$\Delta_{hwind}$  : surcote liée au vent d'afflux (wind setup)

$\Delta_{hwave}$  : élévation due à l'effet des vagues

$\Delta_{hswash}$  : élévation due au swach runup

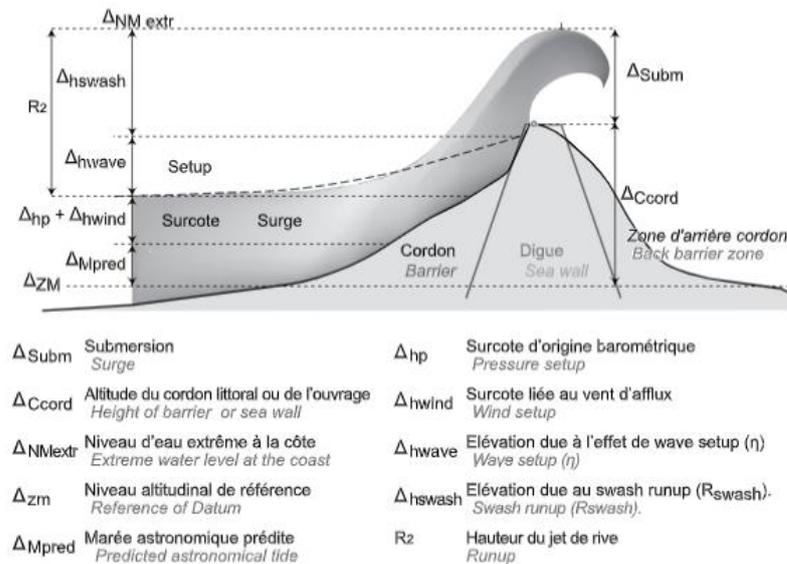


Figure 55: Phénomène de submersion marine (Mercier et al., 2013, d'après Stéphan, 2011).

#### **4.6.- Synthèse partielle**

Comme nous l'avons vu précédemment, les niveaux d'eau extrêmes à la côte sont générés par la combinaison rare de plusieurs forçages météo-marins à savoir : une basse pression, vents afflux, une agitation marine et marée de vive-eau. Les phénomènes de submersion marine interviennent lorsque le niveau d'eau à la côte dépasse la hauteur du cordon dunaire ou de l'ouvrage de protection pour franchir, débordé, rompre ou crée une brèche. La quantification des niveaux d'eau extrêmes à la côte est primordiale, car elle permet d'une part de déterminer la côte d'arase du cordon ou de l'ouvrage de protection, d'autre part de déterminer les niveaux altitudinaux de référence des zones potentiellement submersible par la mer.

Après avoir expliqué la genèse des niveaux d'eau extrêmes, les modes de submersions, nous allons nous intéresser dans la partie suivante aux conséquences potentielles du phénomène de submersion marine sur les côtes et aux méthodes d'évaluation et de cartographie des terres à risque d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer.

#### **5.- Les facteurs et conséquences potentielle de la submersion marine sur les côtes**

Plusieurs dommages sont générés par la propagation de la submersion marine dans les zones situées au-dessous de la côte atteinte par le niveau de la mer, ainsi que l'arrière-pays. Ces dommages peuvent être aggravés par plusieurs facteurs ; notamment les chocs liés à l'action des vagues, les chocs générés par les débris, objets et matériaux projetés par la mer (susceptibles de blesser des personnes et endommager les biens), la salinité de l'eau (constitue également un autre facteur d'aggravation des dommages liés aux biens et environnements), mais aussi, la configuration du littoral, la topographie la présence ou l'absence d'ouvrages de protection, de cordon dunaire, d'infrastructures et de bâtiments, vont faire que la vitesse de propagation de la submersion dans les terres va doubler de puissance entraînant encore plus de dégâts (CEPRI, 2016).

Deux évènements principaux peuvent témoigner des dommages causés liés à la submersion marine, notamment la tempête Johanna le 10 mars 2008 en Bretagne, et celle de Xynthia le 28 février 2010 en Vendée et en Charente-Maritime. Les dommages de la première tempête sont dus à l'action mécanique des vagues, tandis que la deuxième est liée à la surcote exceptionnelle atteinte par le niveau de la mer.

D'autres facteurs peuvent influencer sur les impacts de la submersion marine, notamment : la période de l'année (qui va influencer sur l'importance des résidents secondaire

et population touristiques, ainsi que sur la température de l'eau) ; le moment de la journée (si c'est en nuit, ceci pourrait limiter le nombre de personnes présentes à l'extérieur, mais augmente le risque pour les personnes surprises dans leur sommeil, ça pourrait compliquer aussi la gestion de crise) ; de la fréquence des événements et la durée de la tempête ; des prévisions météorologiques et délais de préparation ; de la cinétique de l'inondation (influence sur le psychique des habitants et gestionnaires) ; du type de bâti<sup>16</sup> qui va influencer sur la vulnérabilité humaine (peins-pied, caravanes, etc.) ; de la robustesse des réseaux, du degré de sensibilisation et préparation des habitants/gestionnaires, etc.

### 5.1- Les impacts de la submersion marine sur la vie et la santé humaine

Les submersions marines sont susceptibles de mettre en danger la population, surtout en cas de rupture d'ouvrage de protection. Une hauteur de 50 cm est considérée comme la limite de déplacement et le seuil à partir duquel un adulte est susceptible d'être en danger physique, le danger réside également dans la vitesse du courant dépassant 0,50 m/s même avec des hauteurs faibles. Pour les enfants, personnes âgées ou à mobilité réduite, ils pourront être en danger à partir d'un niveau d'eau et d'une vitesse bien inférieure (Ibid, 2016).

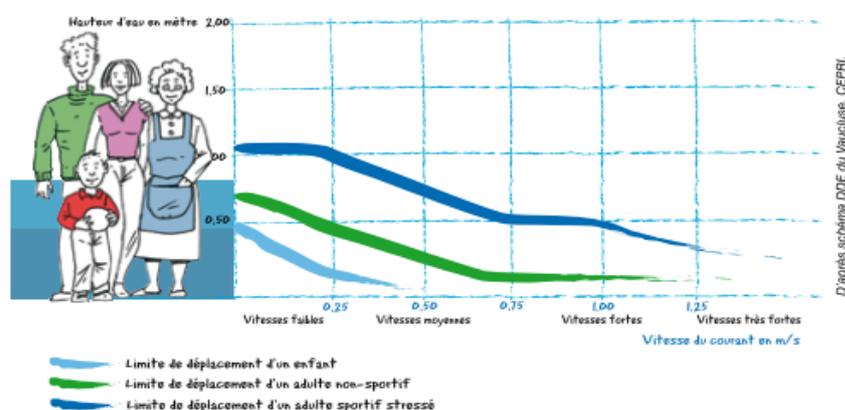


Figure 56: hauteur d'eau et vitesse du courant limite pour les usagers. Source: (CEPRI, 2016)

- Des blessures peuvent également être provoquées par la noyade, l'hypothermie, des chocs avec des objets ou matériaux projetés par la mer.

<sup>16</sup> Selon les travaux conduits par Freddy Vinet, Laurent Boissier et Stéphanie Defosse, de l'université Montpellier III, "32 des 41 personnes décédées en raison des submersions marines générées par le passage de la tempête Xynthia en France, ont péri dans des maisons de plain-pied (sans étage ou sans pièce refuge), ce qui montre un lien évident entre le type de bâti et la mortalité dans ce type de circonstances. La submersion ayant eu lieu la nuit, nombre de personnes ont été surprises à leur domicile dans leur sommeil." In (CEPRI, 2016)

- Des impacts sanitaires liés aux conditions de vie dans les logements ou centres d'hébergement provisoire devenus insalubres.
- Des dangers liés à une utilisation inadéquate de sources alternatives d'électricités ou de chauffages.
- Des pathologies liées aux maladies infectieuses peuvent avoir lieu (absorption d'eau ou aliment impropre à la consommation, exposition aux pollutions, etc.).
- La submersion marine de certaines installations peut entraîner un enchaînement de conséquences (effet domino) susceptible d'impacter la population et son environnement (incendie, explosion, pollution, etc.).
- Elle peut également entraîner des troubles d'ordre psychologique touchant victimes, témoins et intervenants.

## **5.2- Impacts de la submersion marine sur les biens, activités, patrimoine et l'environnement**

Les inondations par submersion marine au-delà de la mise en danger des personnes, peuvent également avoir des impacts importants sur les biens, les équipements et l'environnement, et ainsi générer des coûts élevés. A l'instar de la tempête Xynthia en France le 28 février 2010, les conséquences matérielles et humaines de cette tempête sont<sup>17</sup> :

- 53 morts et 79 blessés sur le territoire français.
- 1 000 maisons ont été endommagées en Vendée et 5 000 en Charente-Maritime.
- Plus de 2,5 milliards d'euros de dommages directs, dont : 1,5 milliards d'euros à la charge des assureurs.
- Plus de 500 exploitations agricoles représentant 52 000 hectares inondées par la mer (dont 192 en Vendée, correspondant à 12 000 hectares, et 350 en Charente-Maritime).
- Près de 200 km de digues à reconstruire.

---

<sup>17</sup> Fédération française des sociétés d'assurances, Groupement des entreprises mutuelles d'assurance (2011). La tempête Xynthia du 28 février 2010 – Bilan chiffré au 31 décembre 2010. <https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2018/01/2010-bilan-tempete-xynthia-2010-ffsa-gema.pdf>

### **5.2.1.- Dommages aux bâtiments et aux biens**

L'envahissement par la mer est susceptible de générer plusieurs dommages à l'intérieur des bâtiments : endommagement des sols, des plafonds, des revêtements murs, et des cloisons, érosion des fondations ou murs de soutènement, les fenêtres, baies vitrées ou bien vérandas sont également capables de se briser, etc. L'inondation peut également endommager le mobilier intérieur, dégrader voir détruire des biens à forte valeur affective, ou biens patrimoniaux, endommager les équipements (électriques, mécaniques, thermiques, et informatiques) ce qui entraînera la perte de données essentielles telles que les informations administratives, commerciales, fiscales.

A l'extérieur du bâtiment, les inondations par submersion marine sont susceptibles d'endommager les véhicules, les infrastructures routières, les exploitations agricoles, l'environnement immédiat (clôtures, piscines, équipement de jardin, terrasses), les ports et bateaux peuvent également subir de gros dommages, etc.

### **5.2.2.- Dommages aux activités**

Les inondations par submersion marine peuvent générer des dommages directs ou indirects, aux équipements, aux bâtiments, aux véhicules, aux produits et stocks des activités économiques (ces activités économiques peuvent être impactées en conséquence de l'inondation des fournisseurs ou clients). Ce qui entraînera la perturbation et l'interruption de l'activité et des fois même son arrêt durant la remise en état des infrastructures et des outils de production. L'arrêt ou bien le ralentissement des activités est susceptible de conduire à la faillite de l'entreprise et à la mise au chômage totale ou partiel des salariés. La submersion marine peut également impacter les réseaux électriques, de gaz, d'alimentation en eau potable, d'assainissement, les réseaux routiers et ferroviaires, ainsi que leurs ouvrages d'art, etc., ce qui entraînera des perturbations aussi pour les entreprises situées en dehors de la zone submergée connu sous le nom « *d'effet domino* ».

Suite à la tempête Xynthia le principal secteur victime de cette tempête est certainement l'agriculture, environ 35 000 hectares de terres agricoles ont été frappés par la tempête, soit environ 300 exploitations en Charente-Maritime et 150 exploitations en Vendée concernées en totalité, pour des pertes évaluées globalement à 71,5 millions d'euros. En Gironde, 800 hectares de terrains agricoles ont subi d'importants dégâts. Des dizaines de milliers d'hectares de terrains ont été inondés lors de la submersion marine (22 000 hectares en Charente-Maritime, 11 200 hectares en Vendée dont 9 800 hectares en

marais poitevin et 1 400 en marais breton) pendant une durée qui a pu atteindre deux semaines ; brûlées par le sel, ces terres agricoles seront infertiles pendant plusieurs années.

De nombreuses entreprises en dehors du secteur agricole ont aussi été touchées. À La Rochelle, une vingtaine d'entreprises du secteur de la construction navale ont été dévastées par cette tempête. En Vendée, le secteur de l'hôtellerie de plein air a été durement atteint (Anziani, 2010).

### **5.2.3.- Dommages aux patrimoines naturel et culturel**

L'arrivée massive de l'eau salée peut entraîner plusieurs endommagements, notamment : la disparition de certaines espèces d'eau douce, l'asphyxiant et l'arrachement de plusieurs végétaux, l'arasement ou la rupture du cordon dunaire, l'effondrement ou la disparition des enjeux en front de mer en raison du recul du trait de côte. La submersion de certains sites, biens culturels et patrimoniaux peut entraîner la fermeture au public de plusieurs sites et plages jusqu'à leur remise en état (le temps du nettoyage, de déblaiement, de reconstruction des ouvrages et/ou de ré-ensablement), avec pour conséquence un impact significatif sur l'activité économique et sur l'attractivité du territoire inondé.

Les inondations qui ont suivi le passage de Katrina ont « noyé » son moteur économique. L'impact global de la catastrophe sur l'industrie touristique est difficilement quantifiable: les pertes nettes pour le seul mois de septembre 2005 avoisinent les 800 millions de dollars. Plusieurs grands événements n'ont pu avoir lieu dont le 3<sup>ème</sup> festival le plus fréquenté par les touristes, *Southern Decadence*, mais aussi *Essence Blues Festival*, ainsi que les événements sportifs et musicaux hébergés presque chaque semaine au *Superdome*. Les artistes locaux tout comme une bonne partie des employés de l'industrie touristique ont été dispersés à travers tout le pays et il a été estimé que 70 à 80% des institutions culturelles touchées par la catastrophe n'avaient toujours pas rouvert leurs portes un an après (Hemandez, 2008).

## **6.- La gestion des risques de submersion marine**

En dehors des documents réglementaires prenant en compte la notion de risque dans le développement des territoires Français (loi littorale, SCOT, etc.) les plans de prévention de risque de submersion marine (PPR-SM) institués par la loi Barnier, reste l'outil le plus efficace jusqu'à très récemment. La mise en place des PPR-SM s'appuyait sur un ensemble de procédures préconisées en 1997 dans le cadre d'un guide méthodologique (Garry et al., 1997). Le principe reposait sur l'élaboration d'une

cartographie du risque de submersion potentiel en trois niveaux ; zones fortement, moyennement, et faiblement exposées.

Il s'agissait de superposer un niveau d'eau extrême à la côte, déduit d'une analyse probabiliste des hauteurs de pleines mers prédites et des surcotes observées pour une période de retour centennal, à la topographie issue de la BD TOPO-IGN<sup>18</sup>, ou de la BD ALTI-IGN ; la délimitation finale des zones exposées résulter d'une concertation entre les services de l'Etat et la commune, car le PPR-SM a une valeur de servitude d'utilité publique ; il est annexé au Plan Local d'Urbanisme qui encadre la délivrance des autorisations d'occupation du sol en matière de constructibilité (Mercier et al., 2013).

A la fin des années 2000, plusieurs études ont montré que la démarche méthodologique préconisée par le guide de Garry et al. (2007), sous-estimait l'aléa. De même que, le caractère « statique » de la méthode ne permettait pas de tenir compte des facteurs dynamiques, comme l'érosion du trait de côte ou l'élévation séculaire du niveau marin dans l'estimation du risque.

La tempête Xynthia en 2010 a relancé le débat sur la nécessité de réactualiser le guide méthodologique des PRPN littoraux et d'accélérer leur mise en œuvre pour l'ensemble des communes littorales (Mercier, 2012). En attendant la publication du nouveau guide, l'Etat a donné des éléments de cadrage dans la circulaire du 27 juillet 2011 publiée par le MEDDE. La cartographie des zones submersibles repose dorénavant sur un aléa définis par rapport à un niveau marin statique d'occurrence centennale (NMC), auquel ont été ajoutés 20 cm afin de tenir compte de l'élévation de la mer à court terme due au changement climatique. Ce zonage intègre également l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100 à long terme estimé à +60cm.

La cartographie réalisée au 1/5000 sur fond cadastral aboutira (figure 57) à la définition des cinq zones suivante :

- Une zone d'aléas « fort » (violet) = zones situées plus de 1 m sous le niveau marin centennal + 20cm.
- Une zone d'aléa « moyen » (orange) = zones situées entre 0,5 et 1 m sous le niveau marin centennale + 20 cm.
- Une zone d'aléa « faible » (jaune) = zone située entre 0,5 et le niveau centennal + 20 cm.

---

<sup>18</sup> La BD TOPO : est une description vectorielle 3D des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 :2000 au 1 : 50 000.

- Une zone de dissipation d'énergie (100 m) à l'arrière des « systèmes de protection » contre les submersions marines (digues ou cordon dunaire).
- Une zone d'aléa futur tenant compte de l'élévation du niveau marin d'ici 2100.

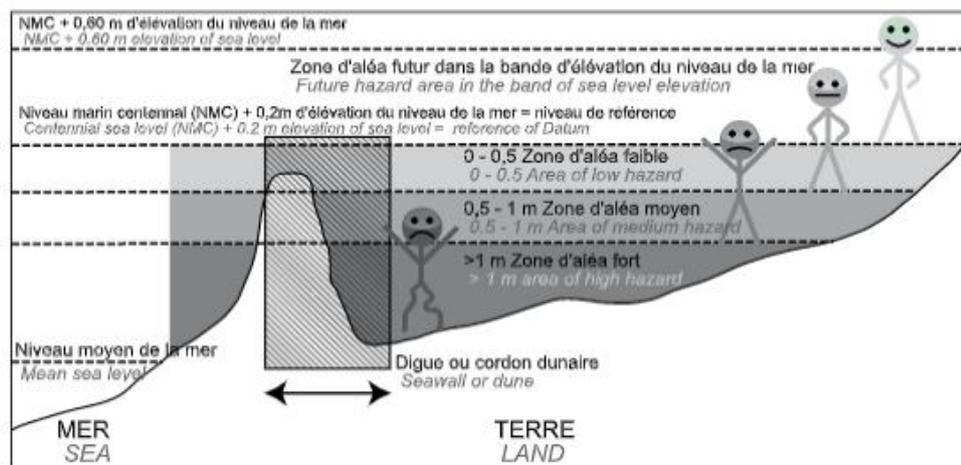


Figure 57: Méthode de cartographie des zones submersibles relative à la circulaire du 27/07/2011.  
Source : (Mercier et al., 2013)

## 7.- Modèles d'évaluation des terres à risque d'inondation

L'une des répercussions les plus sérieuses du changement climatique qui menace les zones côtières un peu partout dans le monde est l'élévation du niveau de la mer (SLR). Il est donc urgent de rechercher des stratégies face aux incertitudes actuelles concernant les processus du changement climatique et de ses conséquences. Plusieurs modèles ont été développés pour répondre aux besoins particuliers de gestion des zones côtières. Ces modèles ont pour objet la visualisation et la prédiction des terres à risque d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer, de fournir un outil d'aide à la gestion et aux décideurs politiques concernant l'adaptation des investissements dans les zones à risques afin de les protéger (Deguenon et al., 2022).

Une variété de risques côtiers menace les zones côtières, notamment la submersion persistante des terres en raison de l'élévation du niveau moyen de la mer ou de la moyenne des marées hautes, des inondations côtières plus régulières ou plus puissantes, une érosion côtière accrue et modification des écosystèmes côtiers, salinisation des sols, des eaux souterraines et des eaux de surface. Parmi tous ces phénomènes, les inondations côtières sont plus fréquentes et plus visibles que les autres. Les dommages causés par les inondations à l'échelle mondiale sont estimés à plus de 6 milliards de dollars US par an en moyenne et atteindront environ 52 milliards de dollars US d'ici à 2050 en raison des projections. Sans adaptation, la plupart des îles basses, des côtes et des villes, qu'elles

soient urbaines ou rurales, continentales ou insulaires, à n'importe quelle latitude, et quel que soit leur niveau de développement, sont confrontées à un risque grave lié à ces aléas côtiers à l'échelle d'un siècle.

Les modèles de cartographie des inondations côtières ont donc été développés en réponse au risque d'inondation. Ces modèles de cartographie côtière peuvent être utilisés pour prévoir les réactions de l'environnement aux changements du niveau de la mer, ainsi que les effets de différentes mesures de gestion sur le comportement futur des écosystèmes.

- Simulateur de niveau de la mer CoastCLIM : est une base de données pour prévoir les courbes du niveau de la mer pour n'importe quel emplacement côtier sur la terre. Il crée des taux localisés de changement du niveau de la mer à partir de prévisions du niveau moyen mondial (MCG) et des scénarios d'émission de CO<sub>2</sub>.
- *The National Oceanic and Atmospheric Administration's* (NOAA): est un outil utile pour les planificateurs. Le NOAA a développé un programme d'analyse de la fréquence des inondations. L'application utilise des enregistrements du niveau d'eau de six minutes provenant de marégraphes en corrélant les périodes et hauteurs de marée observées sur toute la durée sélectionnée. Cette étude génère des graphiques et histogrammes qui déterminent les élévations et les durées d'inondations pour chaque marée haute.
- Programme de rectification de l'élévation du niveau de la mer de l'USGS (SLRRP) : l'*United States Geological Survey* a créé le *Sea-level Rise Rectification Program* pour estimer l'élévation future du niveau de la mer à l'aide des données marégraphiques historiques et d'entrées ou sélections de MCG et de scénarios d'émissions spécifiés par l'utilisateur.
- Modèles hydrodynamiques 2D intégrés à la profondeur : sur une grille ou un maillage, la modélisation des inondations en 2D interprète les équations d'écoulement en 2D pour déterminer la profondeur de l'eau et la vitesse moyenne en profondeur. Elle décrit l'écoulement en 2D d'une inondation projetée en utilisant la modélisation numérique du terrain et la bathymétrie d'un canal d'eau dans la question.
- Système de modélisation des tempêtes côtières (CoSMos) : Le système *United States Geological Survey* a créé un système de modélisation des

tempêtes côtières qui prévoit les inondations côtières et l'altération du littoral (transformation des plages de sable et recul des falaises) dues à l'élévation du niveau de la mer et aux tempêtes côtières causées par le changement climatique. CoSMoS a été créé pour fournir des informations critiques sur les risques de tempête aux intervenants d'urgence et aux planificateurs côtiers, qui peuvent être utilisées pour améliorer la sécurité publique, prévenir les dommages physiques et mieux gérer et allouer les ressources dans les zones côtières complexes.

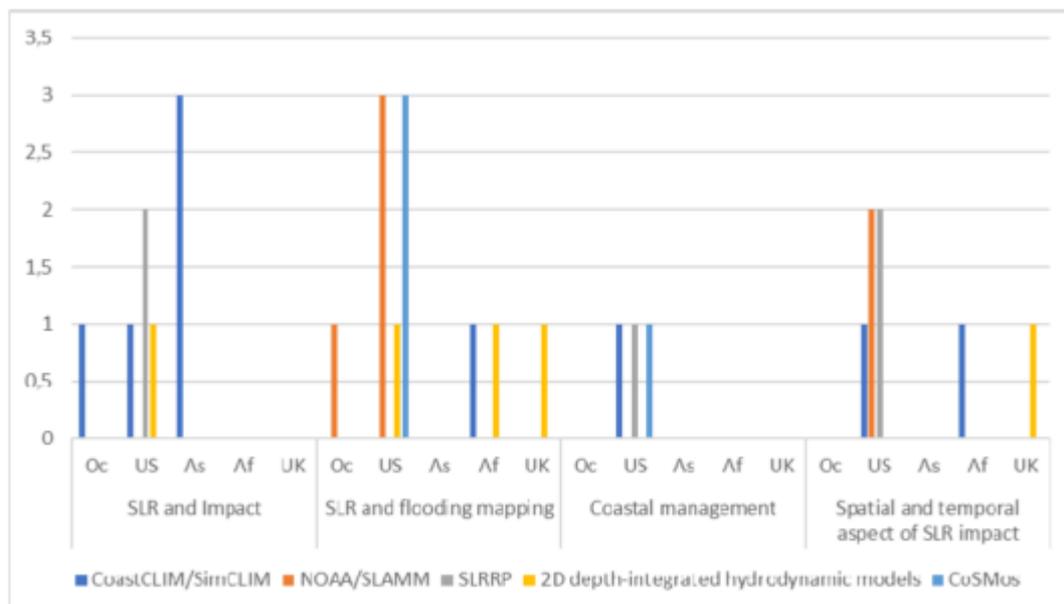


Figure 58: domaines d'application et modèles d'application selon la localisation. Source: Deguenon et al., 2022

Nous avons vu quelques modèles existants afin d'identifier les zones à risques d'inondations (Deguenon et al., 2022). Cependant si un examen rapide de l'estimation de l'élévation du niveau de la mer sur une échelle locale à une échelle mondiale est nécessaire et que les ressources humaines et financières sont limitées ; un modèle d'inondation basée sur un SIG est l'option la plus efficace. Les données d'élévations et les scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale sont librement disponibles. Elles peuvent être utilisées afin de prévoir les terres à risque d'inondations.

D'autres nécessitent un logiciel SIG et des scripts de programmation, des bases de données d'élévations et des estimations d'élévations du niveau de la mer, tandis que d'autres ont simplement besoin d'une connexion à internet. Parmi les avantages, nous citons la possibilité de créer rapidement des cartes d'inondations en utilisant des données d'élévation librement disponibles (*ETOPO 5*, *ETOPO 2*, et *Globe du National Geophysical*

*Data Center, GTOPO30 de l'USGS, la Nation Aeronautics and Space Administration SRTM, etc).*

Ce type de modélisation peut fournir des informations importantes aux planificateurs nationaux afin qu'ils les intègrent dans les plans futurs concernant les zones côtières où les paysages sont les plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer. Bien évidemment, les modèles basés sur le SIG comme (SLRRP, modèle 2D et SIMCoast), ne sont pas sans conséquence, ils peuvent soit surestimés ou sous-estimés les zones potentiellement inondables car la connectivité de l'eau n'est pas prise en compte.

Bien que les modèles d'inondation puissent donner une évaluation rapide du risque de l'élévation du niveau de la mer, leurs conclusions doivent être évaluées en tenant compte du fait que des rétroactions clés peuvent faire défaut, notamment l'absence de rétroaction entre les systèmes biologiques, écologiques et sociaux limite tous ces modèles.

### **8.- Evaluation des terres à risque d'inondation pour Alger**

Le Moyen-Orient, qui fait partie de la grande région MENA (Middle East and North Africa), comptait 60 millions d'habitants en 2010, pourrait abriter près de 100 millions de personnes en 2030. Les villes côtières en raison de leur situation en bord de mer, ils sont très exposés aux risques naturels dus aux effets du changement climatique, tels que l'érosion côtière, la sécheresse, les inondations et submersion marin, etc. (Ennesser et al., 2016).

L'élévation du niveau de la mer est l'une des conséquences majeures du réchauffement climatique, causé par le phénomène d'expansion thermique des masses d'eau et la fonte des calottes polaires ; elle représente l'un des phénomènes les plus attendus du 21<sup>ème</sup> siècle (El Hage et al., 2011). Ce phénomène est d'actualité, il s'étend à l'échelle mondiale, et affecte la majorité des villes côtières. Comme c'est le cas pour les îles Maldives menacées de submersion, elle représente un échantillon alarmant qui préfigure les risques et l'avenir des zones côtières (Aouissi, 2019). Parmi les risques côtiers auxquels sont exposés les littoraux, le risque de submersion marine est une préoccupation récurrente des États, en raison des graves conséquences sur le milieu naturel et les secteurs socio-économiques (Dwarakish et al., 2009 ; Garcinet al., 2012 ; Timmerman et al., 2021).

Selon le rapport du GIEC. (2021), le phénomène de l'élévation du niveau de la mer devient préoccupant en raison de son accélération à l'échelle mondiale, et de son augmentation au cours des prochains siècles, ce qui accentuera la fréquence et la sévérité des phénomènes extrêmes sur la côte. Sur la base d'un modèle numérique de terrain et du

système d'information géographique (SIG), il a été démontré que la visualisation des terres à risque d'inondation en raison de l'élévation accélérée du niveau de la mer, est possible et cruciale pour l'évaluation de la vulnérabilité des côtes face à ce type de phénomène (Kuhn et al., 2011).

Les simulations d'inondations constituent une méthode efficace pour promouvoir, éduquer, sensibiliser, identifier et se préparer à des événements de risques côtiers potentiels tels que l'élévation du niveau de la mer. Elles favorisent également une meilleure compréhension et une meilleure gestion des risques côtiers à l'avenir (Cariolet, 2010 ; Wadey et al, 2015).

Diverses études mondiales, régionales et locales ont été menées pour quantifier l'inondation des zones côtières due à l'élévation du niveau de la mer notamment (Al-Mutairi et al., 2021 ; Chouari, 2019 ; El Hage et al., 2011 ; Garcin et al., 2012 ; Hoque et al., 2019 ; Khan et al., 2012 ; Kuhn et al, 2011 ; Lerma et al, 2015 ; Snoussi et al., 2009).

En Algérie, nous trouvons les travaux de Chaïb et al. (2020) qui ont évalué la vulnérabilité de la baie de Bou Ismail à l'érosion côtière et à la submersion ; Djouder et Boutiba. (2017) ont évalué l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur la baie de Bejaia ; Rabehi et al. (2018) ont évalué l'indice de vulnérabilité côtière (CVI) des communes de la baie d'Alger. Malgré l'importance de la région d'Alger, peu de recherches sur le changement climatique et l'impact de l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030 pour Alger ont été menées, à l'exception des travaux de magistère de Lalaoui. (2014) et l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels à l'horizon 2030 (Egis eau et al., 2013).

Selon Ennesser et al. (2016), les projections du changement climatique à l'horizon 2030, ont été réalisées à partir d'une descente d'échelle de différents modèles-scénarios développés par le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). En raison de la disponibilité des données et de leurs précisions l'analyse diffèrent d'un site à l'autre, les incertitudes sur les conséquences des risques naturelles et du changement climatique sont considérées comme étant modérées pour Alger d'où la nécessité d'études plus approfondies.

Cette étude estime que l'élévation du niveau de la mer le long du littoral algérois de l'ordre de 20 cm aura pour conséquence, une augmentation de 7% du risque d'érosion ; elle estime également qu'une tempête associée à un haut niveau des eaux, peut engendrer une surcote marine de +2,34 m le long du rivage de la wilaya d'Alger. Cette surcote est susceptible de causer des dommages importants en 2030. Elle aura pour conséquence la

submersion des terrains les plus bas qui sont représentés le long de la wilaya d'Alger par les débouchés des oueds à l'exemple d'Oued El Harrach. Conformément à cette étude l'effet de l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030, n'induit que peu d'évolution des risques de submersion de l'ordre de 2% du littoral passant de niveau de risque moyen à un niveau de risque fort.

Les vulnérabilités futures dans cette étude ont été approchées à partir des schémas directeurs d'urbanisme disponibles, le croisement entre aléas et vulnérabilités a permis de délimiter les zones à enjeux au regard des risques. Cependant, cette étude s'est heurtée à un manque d'informations concernant la délimitation exacte des zones inondables. En l'absence de données topographiques précises du rivage (MNT), il est très difficile d'évaluer l'impact de l'élévation du niveau marin en matière de superficies littorales touchées par l'élévation du niveau de la mer pour Alger d'où la nécessité d'études plus approfondies sur ce type de risque, aussi l'hypothèse de la surcote atteinte sur le littoral algérois à l'horizon 2030 prise en considération par cette étude, ne prend pas en compte de surcote liée aux différents phénomènes existants cités au début du chapitre 4, notamment : la marées, la surcote de vague de tempêtes, la surcote climatique et surcote atmosphérique. (Egis, BRGM, IAU-IDF, 2013).

Notre étude comble ces lacunes de trois manières : Premièrement, l'acquisition de données topographiques MNT, avec une grande précision. Deuxièmement, lors de l'estimation du niveau statique à la côte, la prise en compte des ondes de tempête et de l'augmentation du niveau de la mer sous l'effet de la basse de pression. Troisièmement, l'identification des zones à risque d'inondation en 2030 ainsi que la quantification de la surface des terres inondables.

Comme nous avons pu voir à travers le chapitre 3, Alger recevra le long de son littoral dans le cadre du PDAU. (2016) des projets d'extension et de renouvellement urbain à caractère touristique, culturel et de loisirs (Nouri et al., 2019). Ces projets peuvent permettre à Alger de réaliser ses ambitions d'être une éco-métropole moderne à la tête des éco-métropoles méditerranéennes, mais ces derniers seront situés dans des zones soumises à des risques d'inondation (Egis et al., 2013). En raison de ce qui précède, les principaux objectifs de cette étude sont :

1. Cartographier les terres à risque de submersion, suite à une élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100.

2. Déterminer les impacts (étendus des inondations et des projets structuraux affectés) à l'élévation du niveau de la mer.
3. Proposer des mesures d'adaptation pour atténuer les impacts négatifs sur les communautés côtières.
4. Attirer l'attention des décideurs et des gestionnaires des zones côtières sur ce phénomène, afin d'envisager des stratégies d'adaptation et de gestion dans les zones prioritaires à risque, notamment pour la future conversion d'Alger.

### **8.1.- Cas d'étude : la baie d'Alger**

La baie d'Alger située en bordure de la mer Méditerranée, est située entre 36° 47' 22" N, et 3° 08' 28" E. Elle est délimitée par le massif de Bouzereah 'cap caxine' à l'ouest et par le 'cap matifou' à l'est de la commune d'El Marsa à l'est (figure 59), avec une densité de population de 3666 personnes/km<sup>2</sup> sur sa bande côtière (Berrah, 2011). Elle affiche un relief espacé à l'Ouest (Mont Bouzaréah) et relativement plat à l'Est. La baie d'Alger représente un écosystème fragile et menacé de dégradation en raison de la forte concentration de la population, des activités et d'infrastructures (Rabehi et al., 2019). Caractérisée par des plages sablonneuses, des promontoires rocheux et des falaises (Maouche et al., 2009) ; elle présente de manière récurrente des signes de dégradation (érosion côtière/submersion marine, inondation , risque sismique et tsunami) (Rabehi, 2018), dont l'événement le plus marquant et récent est sans doute l'inondation de Bab El Oued en 2001, qui a causé d'énormes dégâts et un millier de morts (Chaib et al., 2020 ; Egis et al., 2013).

Alger noyau économique de la capitale, concentre les fonctions de commandement (gouvernement, sièges des grandes entreprises, port d'Alger). Son importance stratégique justifie un niveau d'équipement plus élevé supérieur à celui des autres territoires du pays, ce qui rend encore plus importante la nécessité d'une prévention pour faire face aux risques naturels (Ibid, 2013).



Figure 59: localisation de la zone d'étude. Source : auteur sur la base de Google Earth

La zone d'étude sélectionnée comprend les communes de: Bab El Oued, la Casbah, Alger centre (avec la zone portuaire), Belouizdad, et enfin Hussein-Dey limitée au nord par la mer méditerranée, à l'est par Oued El Harrach, et Oued Koriche à l'ouest. Ces communes ont un indice de vulnérabilité côtière (IVC)<sup>19</sup> moyenne à élever et doivent faire l'objet de mesures préventives avant d'atteindre un seuil de vulnérabilité extrême (Rabehi et al., 2018), d'autant plus que d'importants projets d'extension et de renouvellement urbain sont prévus dans ces zones, dans le cadre du PDAU d'Alger (2015-2035), dont le port d'Alger, qui subira d'ici 2030 une reconversion portuaire, ceci justifie le choix de la zone d'étude.

## 8.2.- Méthodologie d'une étude prospective et ses données

Notre démarche s'inscrit dans le cadre d'une étude prospective. Cette étude est basée sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100. Modélisés à l'aide du logiciel QGIS3 3.10 (SIG). La méthode suivie pour la cartographie des terrains à risque de submersion marine est celle utilisée par plusieurs auteurs dont (Cariolet, 2011 ;

<sup>19</sup> Selon Rabehi et al. (2018). L'indice intègre trois sous-indices : (1) un sous indice décrivant la résilience et la susceptibilité côtière à l'érosion (2) les variables contribuant à l'érosion induite par les vagues et les marées (3) des facteurs socio-économiques décrivant les biens matériels et humains potentiellement menacés (population, réseau routier, occupation du sol, etc.)

Cariolet et al., 2012 ; Chouari, 2019 ; El Hage et al, 2011 ; Garcin et al., 2012 ; Snoussi et al., 2009).

Les impacts potentiels du SLR sur les zones côtières du monde entier ont été étudiés par Ramieri et al. (2011). En utilisant une variété de méthodes, la première méthode s'appuie principalement sur le SIG pour analyser les terres côtières touchées dans le cadre de différents scénarios de SLR. Ailleurs, des recherches ont été menées par Rodríguez et al. (2009), Snoussi et al. (2009), Torresan et al. (2016), et Zanuttigh et al. (2014) en suivant la même approche. Deuxièmement, une méthode basée sur l'indice, qui évalue quantitativement et combine plusieurs variables pondérées en un seul chiffre. AlSahli et AlHasem(2016), Martínez-Grãna (2016), et Ghousein et al. (2018) sont des chercheurs qui ont utilisé cette méthode. La troisième méthode consiste à utiliser des modèles informatiques dynamiques qui évaluent les influences directes et indirectes du SLR et de la vulnérabilité des systèmes côtiers à certains processus particuliers tels que l'érosion côtière ou les inondations, ainsi que les multiples impacts du changement climatique. Brooks et Spencer (2012), Craft et al. (2008), Hinkel et al. (2010), et Kont et al. (2008) ont utilisé cette méthode pour évaluer l'impact du SLR. Enfin, les outils de visualisation, qui sont des versions plus simples des applications basées sur les SIG, ont également été utilisés pour évaluer l'impact du SLR. Ces outils sont simples à utiliser, ne nécessitent pas de formation spécialisée et sont souvent basés sur le Web (Al Mutairi et al., 2021).

### **8.3.- Choix d'une méthode d'évaluation**

Le BRGM a mis en place plusieurs méthodes permettant de choisir la meilleure approche possible pour évaluer la submersion marine à une échelle régionale en fonction des spécificités de différents types de côtes exposés à l'aléa (Garcin et al., 2012), mais aussi différentes méthodes pour cartographier la submersion marine en zone côtière des techniques classiques par SIG aux techniques plus avancées de modélisation numérique (Pedreros, 2016). Ils ont mis à disposition également un site où de nombreux rapports peuvent être consultés sur ce sujet, enfin un site qui permet de visualiser des projections du niveau de la mer du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, des scénarios définis par l'utilisateur sous l'anglet « *my scenarios* », et des scénarios optimistes du changement climatique sous l'anglet « *download low end scenario* » voir en annexe n°3.

Le choix de mise en œuvre de l'une ou l'autre de ses différentes méthodes de modélisation de l'aléa dépend de la précision nécessaire en vue de l'objectif pour lequel est

réalisée l'évaluation de l'aléa, de l'étendue de la zone d'étude et des données disponibles du cas d'étude (sur les forçages météo-marins et sur la topographie de la zone d'étude). Notre méthode implique plusieurs étapes notamment ;

#### 8.4.- Détermination du niveau d'inondation

Les méthodes d'évaluation de l'aléa submersion, dont l'intensité se définit principalement par l'étendue potentielle des terres inondées, doivent tenir compte des multiples paramètres évoqués précédemment définissant le niveau d'eau maximal à la côte, des modes de submersion possibles en fonction des systèmes de protection existants, et évidemment de la topographie des zones côtières.

L'approche statique : consiste à croiser le niveau d'eau maximal à la côte avec un modèle topographique pour estimer les hauteurs d'inondation, à l'aide par exemple d'un système d'Information Géographique (SIG). Cette méthode est valable dans les zones où les emprises inondables sont faibles, mais pas dans les zones basses très étendues pour lesquelles la durée de la submersion (conjonction tempête et marée) est trop faible pour un remplissage complet des zones situées sous le niveau de l'eau lors de la tempête (cas des larges polders<sup>20</sup>).

Dans le dernier cas, où les modes de submersion sont les plus complexes (franchissement, rupture d'ouvrage) et où la topographie, pour une raison ou pour une autre, ne permet pas la répartition uniforme de l'eau à terre, des *modèles hydrauliques* de simulation numérique doivent être utilisés. Il existe des modèles permettant d'intégrer différents niveaux de complexité, (par exemple modèles à casiers, modèles bidimensionnels, modèles vagues à vagues, etc.) (André, 2013).

Pour déterminer les niveaux d'inondation pour notre cas d'étude, nous avons utilisé la formule de Hoozemans et al. (1993).

$$D_{ft} = MHW + S + W_f + P_f$$

Où

$D_{ft}$  : est le niveau d'inondation

MHW : le niveau moyen des hautes eaux

S : la hauteur relative de la mer

$W_f$  : la hauteur de la vague

$P_f$  : la SLR due à une baisse de la pression barométrique

---

<sup>20</sup> Dans ce cas, le calcul dynamique du volume d'eau entrant est nécessaire. Il peut être réalisé à partir de formules analytiques ; le volume total calculé est ensuite réparti sur les terres inondables. (André, 2013).

### 8.5.- Scénarios d'élévation du niveau de la mer

Plusieurs facteurs sont à l'origine de l'élévation du niveau de la mer comme nous l'avons déjà vu au niveau du chapitre 1, à savoir l'augmentation de la température de l'eau de mer, les apports supplémentaires provenant de la fonte des glaciers, des calottes glaciaires et des inlandsis, etc. Pour la période 1961-2003 l'expansion thermique des eaux a contribué de 40% à l'élévation du niveau de la mer, et la fonte des glaciers terrestres et des nappes de glace a contribué de 60 % (Egis et al., 2013).

À l'horizon 2030, selon l'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger et sur la base d'une analyse critique des projections du GIEC, une valeur extrême de 20 cm peut être considérée le long du littoral d'Alger, une hypothèse impossible à affiner en absence de données marégraphiques (Egis et al., 2013).

Quant à 2100, aucune étude spécifique n'a été réalisée pour l'Algérie selon (MATE-PNUD-FEM., 2015). L'élévation moyenne du niveau de la mer projetée pour le bassin méditerranéen à la fin du 21ème siècle est estimée entre 40 et 110 cm. Cette fourchette reflète l'incertitude par rapport aux scénarios d'émissions de GES. Cependant, selon la figure suivante le littoral algérien connaîtra une élévation du niveau moyen de la mer d'environ 65 cm (Somot et al., 2016), c'est cette surcote qu'on prendra en considération pour cette étude.

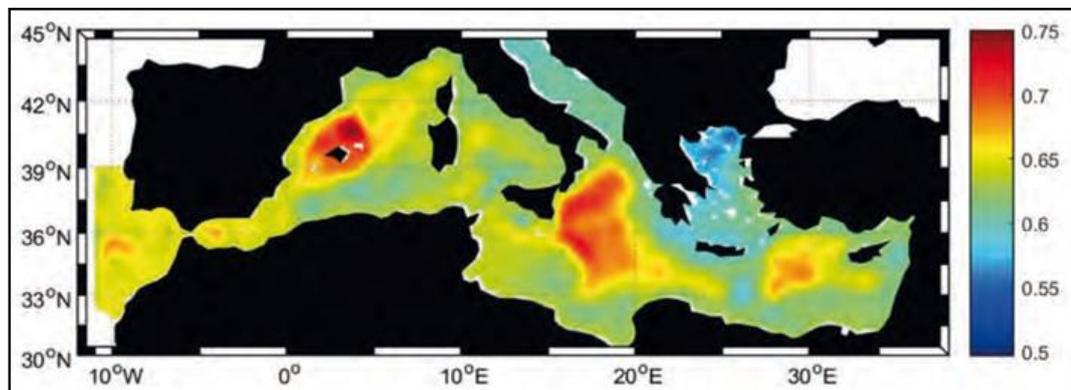


Figure 60: projection de l'élévation du niveau de la mer pour la période 2080-2100 contre la période 1980-2000. Source: Somot et al. (2016)

Le niveau moyen des hautes eaux : pour le niveau moyen des hautes eaux 0, 5 m (Djoudre et Boutiba, 2017 ; LEM, 1996).

## 8.6.- Caractéristique de la vague à la côte Ain-Benian - Port d'Alger

Quant aux hauteurs significatives des houles, nous nous sommes basés sur l'étude de l'établissement de la carte sédimentaire de la côte algérienne (1ère tranche) réalisée par le laboratoire des études maritimes (LEM) en 1996, et sur la réfraction des houles à la côte d'Alger, nommée " *Étude de l'impact de la houle sur la côte d'Alger* " (Mission 3). Wilaya d'Alger ; Ain benian-port d'Alger.". Ces données ont été obtenues auprès de *l'u.s.naval weather service command, summary of synoptic meteorological observations, mediterranean marine areas* (SSMO, volume 3). Il est à noter que les houles sont calculées en mer lorsque l'eau est très profonde, mais lorsque ces dernières arrivent à la côte où l'eau est peu profonde, les houles sont réfractées, leurs hauteurs et leurs directions peuvent changer surtout lorsque les lignes bathymétriques ne sont pas parallèles les unes aux autres (Perherin, 2007). La réfraction de la houle a pour effet, soit de conserver son énergie du large avec un fort coefficient de réfraction, soit de subir des atténuations avec un coefficient de réfraction moyen. L'étude de la houle à la côte dans la wilaya d'Alger, a porté sur deux sites :

- Premier site : la baie d'Alger.
- Deuxième site : Ain-Benian - Port d'Alger.

Pour les deux sites trois directions ont été retenues en tenant compte du tableau de fréquence des houles selon les directions. Une direction perpendiculairement à la côte, et deux autres directions de part et d'autre de cette perpendiculaire.

Les directions et périodes étudiées pour chacun de ces sites sont les suivants :

- N 360 - 6s, 8s, 10s.
- N 030 - 6s, 8s, 10s.
- N 330 - 6s, 8s, 10s.

### 8.6.1- Pour la zone d'étude 1 ; la baie d'Alger

Les résultats montrent que les houles sont réfractées avec un coefficient de (K 0.78 à 0.87). Pour la zone d'étude n° 2, les houles ayant un impact important sont celles du secteur 360° Nord ; elles arrivent à la côte avec une incidence frontale tout en gardant leur énergie du large. Ces houles sont peu réfractées avec un coefficient de (K 0.91). Quant aux deux autres directions, elles sont plus ou moins réfractées et arrivent à la côte avec une incidence frontale en conservant leur énergie de large. Elles arrivent à la côte avec un coefficient de (K 0,78 à 0,87) (LEM, 1996).

C'est pour cette raison que nous avons préférée travailler avec les hauteurs estimées sur la côte de la zone d'étude n°2 rapportée dans le tableau n°4, car elles conservent leurs énergies et leur coefficient est plus élevé que celui du site 1 de la baie d'Alger.

Tableau 4: caractéristiques des vagues au large du littoral algérois. Source: LEM

Period de retour	fréquence	360°N	45°N	300°N
Biennale (m)	2	3,75m	3,66m	3,09m
Quinquennale (m)	5	4,39m	4,20m	3,62m
Décennale(m)	10	4,87m	4,60m	4,02m
Vingtennale (m)	20	5,35m	5,01m	4,42m
Cinquantennale (m)	50	5,99m	5,54m	4,96m
Centennale (m)	100	6,46m	5,95m	5,36m

### 8.6.2- Surcharges liées à la pression atmosphérique : effet barométrique inverse

L'effet de la pression atmosphérique peut être approché par la règle du "baromètre inverse". La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est de 1013 hpa. Au-dessus de cette valeur, elle provoque une diminution locale de la hauteur de la surface, et en dessous de 1013 hpa, la pression provoque une augmentation locale de la hauteur de la surface (Breilh, 2014 ; Cariolet, 2011).

La variation du niveau de la mer liée à la pression atmosphérique est estimée selon Perherin. (2007)

$$z = 0,01 (1013-p) \text{ où}$$

1013 hPa : est la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.

P : est la pression atmosphérique en hectopascal.

Pour la pression atmosphérique nous nous sommes basés sur les données de météo en ligne accessible sur le site wofrance.fr, entre 1984 et 2020 pour Alger nord, où la pression atmosphérique varie entre 980 hPa et 1055 hPa, consultées le 22/12/2020, faisant varier le niveau de la mer entre +0.33 m et -10.5 m et entre +0,33 m et - 0,42 m (la pression atmosphérique pour Alger Nord entre, 1984).

Tableau 5: scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100

scénarios	Elévation du niveau de la mer (m)	marée (m)	Surcote des vagues (m)	Surcote atmosphérique (m)	Niveau d'inondation (m)
2030	0,20	0,50	4,87	0,33	5.9≅ 6
2100	0,65	0,50	6,46	0,33	7.9≅ 8

### 8.6.3.- Évaluation de l'élévation du niveau de la mer sur les zones d'étude

Afin d'estimer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les zones d'étude, nous avons établi trois scénarios comme suit :

- Scénario 1 : la variation correspond à la montée des eaux en 2030/2100, considéré comme le scénario de base.

- Scénario 2 : nous ajoutons à cette moyenne la valeur du coefficient de marée.

- Scénario 3 : correspond à des conditions extrêmes d'élévation du niveau de la mer (tempête).

Le tableau n°6, résume les scénarios pour les deux horizons : 2030/2100. Le premier scénario correspond à une élévation moyenne du niveau de l'eau, qui présente une situation permanente, tandis que les deux autres scénarios représentent des situations rares

Tableau 6: les trois scénarios utilisés pour l'estimation de l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur la zone d'étude

scénarios	Variation en (m)		Raisons
	2030	2100	
Scénario 1	0.20	0,65	Élévation moyenne
Scénario 2	0.70	1,15	Moyen+marée
Scénario 3	5.90	7.90	Conditions extrêmes

### 8.6.4.- Données d'élévation

Les données d'élévation sont l'un des paramètres les plus importants pour déterminer la vulnérabilité des zones côtières à l'inondation et à l'élévation du niveau de la mer (Khan et al., 2012). Pour distinguer les zones vulnérables à l'inondation et estimer l'impact de la montée des eaux sur ces zones, la création d'un modèle numérique de terrain (MNT) à haute résolution est essentielle. L'accès aux données spatiales et topographiques

est l'une des conditions les plus importantes pour cartographier les terres à risque d'inondation.

Par ailleurs, les données sur l'altitude sont essentielles pour une grande variété de problèmes d'analyse spatiale et de modélisation dans les sciences environnementales. Les données topographiques et leurs dérivés sont largement utilisés dans un grand nombre d'applications de la modélisation environnementale (notamment la détermination des zones vulnérables à l'inondation) et hydrologique, plus particulièrement, car ils conditionnent en grande partie le type d'écoulement de l'eau, sa vitesse, le tracé d'écoulement, la saturation du sol, etc. Le MNT demeure l'une des principales sources de données utilisées pour extraire bon nombre des paramètres utilisés, comme la pente, la direction du débit d'eau, l'indice topographique, etc. (Ouédraogo et al., 2014 ; Rezak, 2014 ; Rezak, 2012).

#### **8.6.4.1.- Définition du modèle numérique de terrain**

Le MNT, modèle numérique de terrain (ou DTM, *Digital Terrain Model*) est une représentation 3D de la surface de la Terre. Il est défini comme une représentation numérique et mathématique de la topographie du terrain en fonction de l'emplacement géographique, généralement constitué de la grille de cellules de taille égale, chacune avec une valeur d'élévation (Rezak, 2014). La construction peut se faire de plusieurs manières notamment, par interférométrie radar, par stéréoscopie à partir de couples d'images aériennes (photogrammétrie) ou prises par satellite, par numérisation des courbes de niveau d'une carte, par saisie directe des coordonnées (x, y, z) des points du terrain, mesurées par triangulation (géomètres) ou lasergrammétrie (technique permettant de capturer les coordonnées d'un point en x, y, z au moyen d'un laser), ou par système laser aéroporté (LIDAR).

Un MNT permet de reconstituer une vue en images de synthèse du terrain, de calculer des surfaces ou des volumes, de tracer des profils topographiques, etc. D'une manière générale, il permet de manipuler de façon quantitative le terrain étudié (Cherel, 2010). Cependant, il ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain telles les végétations et les bâtiments (Auda, 2022). La (figure 61) montre la différence entre un modèle numérique de terrain (MNT) et un modèle numérique d'élévation (MNE).

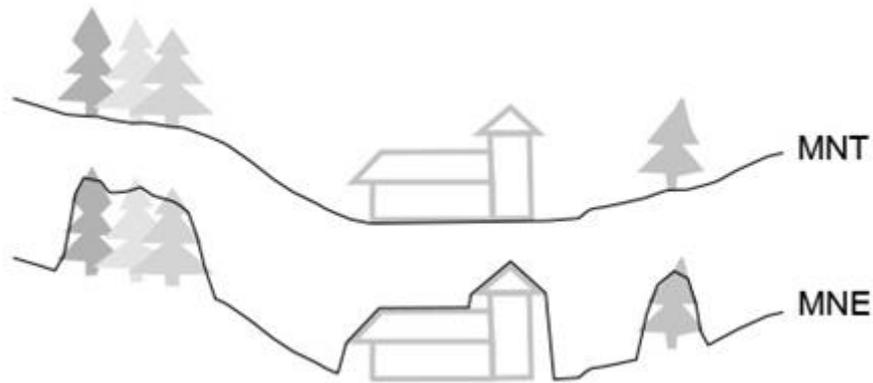


Figure 61: les éléments distinguant le MNT du MNE. Source : AUDA, 2022.

Trois formes de MNT existent (figure 62) ; GRID (grille), TIN (*Triangulated Irregular Network*) et courbes de niveau:

- Les TIN sont constitués de triangles contigus localisés dans un espace 3D ; la surface de chaque triangle est plane. La composante Z de chaque sommet identifie l'altitude.
- Les GRID sont des rasters, la valeur des pixels correspond à l'altitude.
- Les courbes de niveaux représentent le relief sur les cartes topographiques, et correspondent au tracé d'isolignes d'altitude.

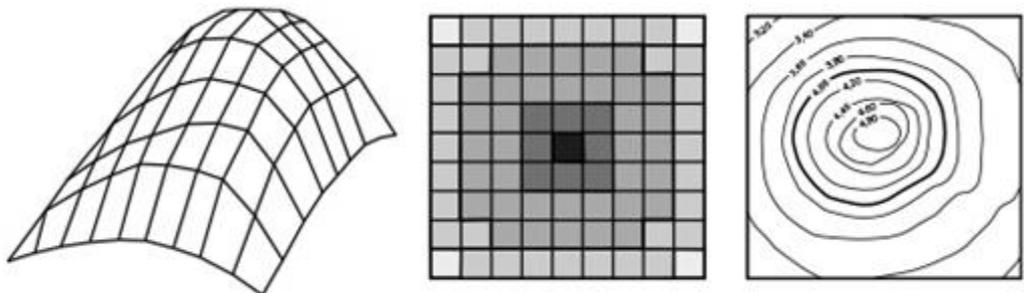


Figure 62: les TIN, GRID et courbes de niveaux. Source : AUDA, 2022.

La qualité d'un MNT s'évalue au travers de trois paramètres (Auda, 2022).

- La précision planimétrique : définit la précision de localisation du point dans le cas d'un TIN, ou du centre du pixel dans le cas du MNT grille.
- La précision altimétrique : définit la qualité de l'estimation de l'altitude.
- La résolution géométrique : correspond à la taille des pixels, elle est facile à établir dans le cas des MNT grille. Elle est cependant plus difficile à cerner pour les TIN car elle dépend de la surface des triangles.

Dans le cas de cette recherche un MNT a été créé pour modéliser la topographie de la zone d'étude ; il est utilisé pour évaluer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral algérois. Nous avons pu accéder au SRTM (*Shuttle Radar topography Mission*) flot de 1 arc-seconde avec une résolution de 30 m accessible sur *USGS Earth Explorer*. Cependant, ce type de fichier contient des erreurs qui empêchent la bonne représentation correcte des caractéristiques topographiques à l'échelle locale ou régionale. Ces erreurs<sup>21</sup> s'étendent inévitablement aux différentes applications qui l'utilisent et peuvent affecter de façon significative les résultats finaux. (Ouédraogo et al., 2014 ;Kuhn et al., 2011). La (figure 63) montrent quelques produits de MNT en libre accès.

Produit	Technique principale	Résolution géométrique (m)	Précision altimétrique (m)	Précision planimétrique (m)	Région couverte
SRTM-30	Interférométrie radar	30	20	16	Globe
GDEM Aster	Couple stéréoscopique PIR	30	20	30	Globe
ALOS PALSAR	Interférométrie radar	12,5	5	5	Globe
BD Alti 75*	Relevés terrain	75	1	10**	France

Figure 63: Quelques produits de MNT en libre accès. Source : AUDA, 2022

#### 8.6.4.2.- Modèle numérique de terrain de la zone d'étude

La topographie de la zone d'étude a été acquise à partir de la base de données de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection d'Alger (INCT). Ce référentiel topographique est obtenu à partir d'un système laser aéroporté (LIDAR). Pour une meilleure qualité de travail, un MNT de 3 m de résolution<sup>22</sup> a été constitué pour la zone d'étude (figure 64). La fiabilité des zones inondables est affectée par la qualité des données d'élévation. C'est un outil précieux pour visualiser les scénarios d'inondations (Snoussi et al, 2009).

<sup>21</sup> Généralement, les problèmes rencontrés dans un MNA et exigeant un prétraitement exhaustif sont : les dépressions et les zones plates (Rezak, 2014 ; Rezak, 2012). Plusieurs méthodes existent pour le traitement des artefacts dans un MNA. Pour plus de détails voir les travaux de Rezak Salima.

<sup>22</sup> La résolution spatiale du MNT fait référence à la taille de l'élément géométrique encore appelé « maille », utilisé pour modéliser la topographie du terrain (Ouédraogo et al., 2014).

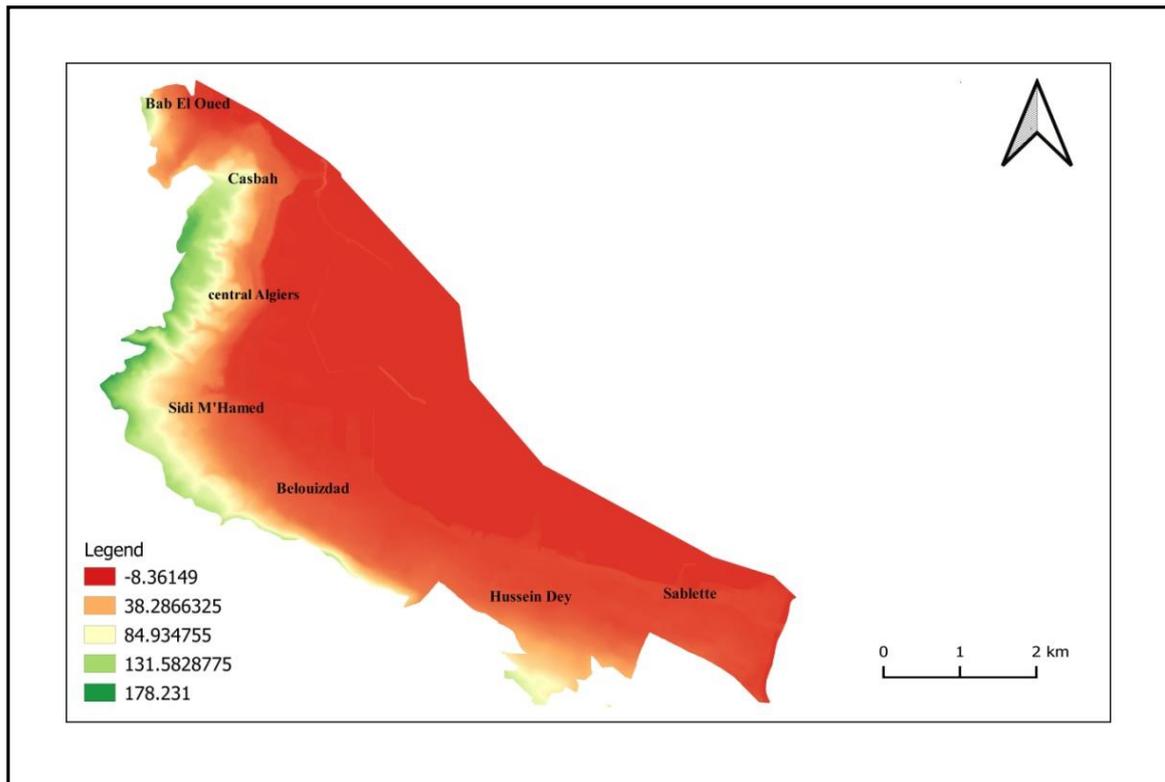


Figure 64: modèle numérique de terrain MNT 3 m. Source: INCT

## 9.- Présentation du logiciel SIG

Plusieurs définitions du (SIG) système d'information géographique peuvent être proposées et elles se distinguent par leur domaine d'application (Rezak, 2018). Devant cette multiplicité des définitions, la Société française de photogrammétrie et télédétection en 1989 définit le SIG comme un système informatique permettant de rassembler, d'organiser, de gérer et d'analyser, de combiner et d'élaborer à partir de diverses sources et de présenter des informations localisées géographiquement, contribue ainsi à plusieurs domaines notamment : l'aménagement du territoire, la gestion de l'espace, la gestion des réseaux, les gestion des risques naturels et les études démographiques, etc. il est adopté par plusieurs institutions, organismes de recherche, entreprises, école pour des raisons de formations, de recherche et pour des besoins de gestion. Les résultats sont multiples, mais la plus courante est la réalisation de cartes suite à des traitements de données complexes (AUDA, 2022).

Avec les besoins actuels, la forte demande d'utilisation du SIG et afin de réaliser des économies importantes en évitant les coûts attribués à l'utilisation de licences

commercialisés du logiciel SIG, l'orientation vers l'utilisation de logiciels open source est très recommandée. Parmi les logiciels libres accès nous avons GRASS, SAGA et QGIS, c'est ce dernier que nous allons utiliser pour notre recherche. Conçu en juin 2002 et développé par *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), il est distribué sous la licence *General Public License* (GNU GPL), ce qui permet aux utilisateurs de le partager et le modifier librement et avoir accès à un programme SIG non onéreux (Rezak, 2018).

### 9.1.- Les formats supportés par QGIS

Le SIG impose de créer des modèles pour appréhender la réalité ; il perçoit le monde par deux modèles : le modèle vecteur et le modèle raster.

Les objets dans le modèle vecteur, sont modélisés par des éléments géométriques points, polygones et lignes (figure 65). Les objets surfaciques (parcelle, territoire géographique, etc.) sont représentés sous forme de polygones, les objets ponctuels sont représentés par un simple point, les objets linéaires (route, fleuve, etc.) sont représentés par les lignes. Quant aux propriétés de ces objets, ils sont stockées dans une table nommée 'table des attributs' de type alphanumérique, ces dernières peuvent être des informations texte et/ou numérique (Auda, 2022 ; Rezak, 2018).

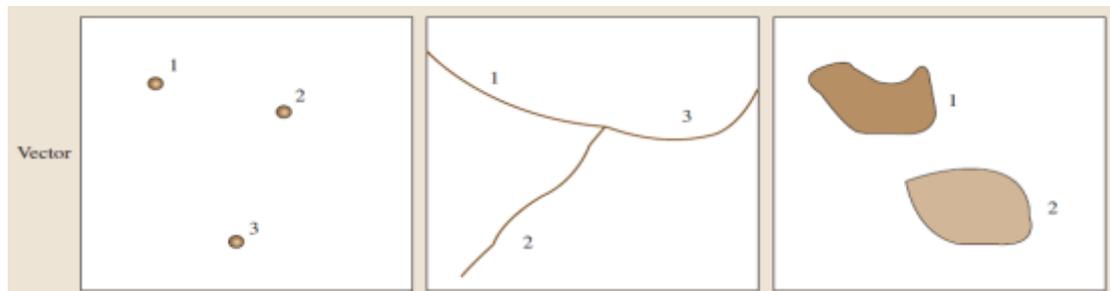


Figure 65: modèle vectoriel de gauche à droite: point, ligne et polygones. Source: Rezak, (2018) In Wolfgang et al. (2012)

Les objets dans le modèle Raster, sont modélisés par une grille dont les éléments sont appelés pixels et la valeur de chaque pixel caractérise la partie de l'objet (figure 66). Ces données sont aussi complétées par des données alphanumériques telles que le maximum, le minimum, la moyenne et la somme de grandeur géographiques.

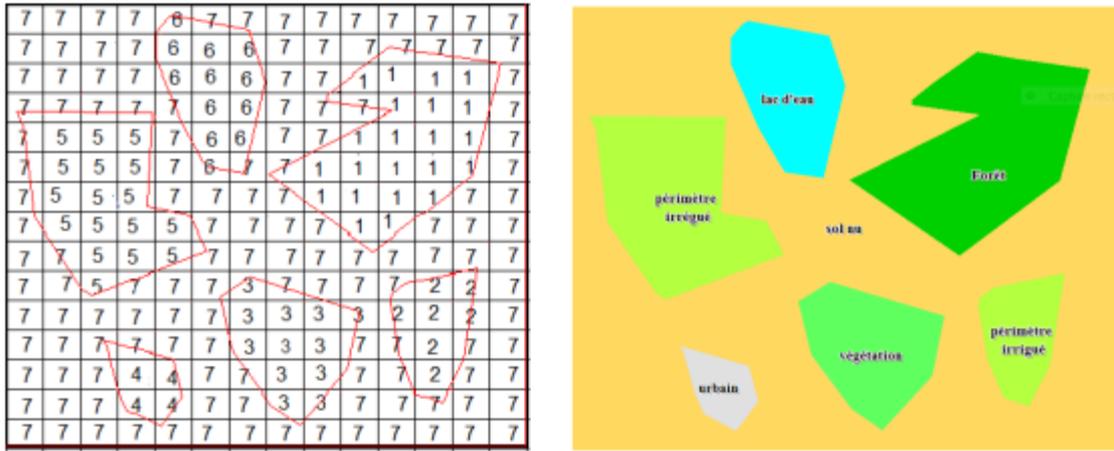


Figure 66: modèle raster pour une carte d'occupation de sol de gauche à droite: délimitation de pixel pour chaque occupation de sol en trait rouge, carte final d'occupation de sol. Source : Rezak. (2018).

### 9.2.- Structuration des couches des données SIG

La construction des cartes dans le SIG se fait selon une superposition de couches décrivant les objets utiles à sa réalisation (figure 67). Chaque couche dans le SIG ne peut contenir qu'un modèle de données vecteur ou raster et les données d'une couche correspondent généralement à une seule thématique par ex : occupation des sols, géologie, routes, cours d'eau, hydrographie, modèle numérique d'élévation, etc. QGIS permet le stockage de ces deux modèles dans une même base de données, les vecteurs et rasters constituant des couches séparées.

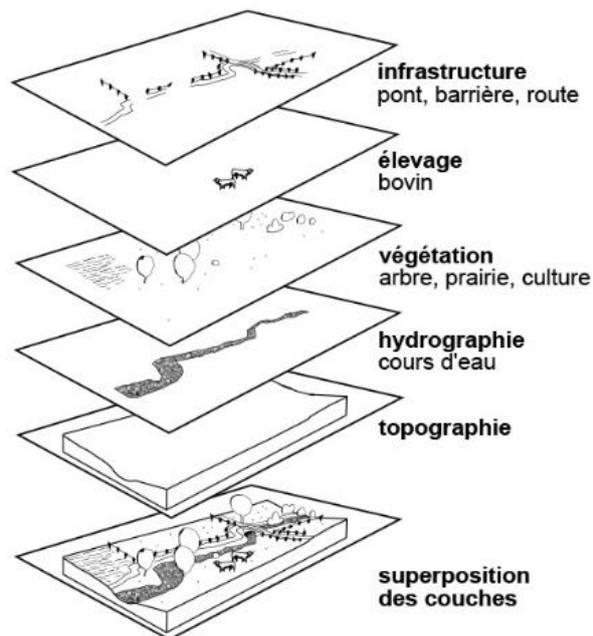


Figure 67: structuration des données des couches dans le SIG. Source: Auda. (2022).

### 9.3.- Choix du système de coordonnées référence (SCR)

La transformation des données en une projection cartographique est une étape primordiale dans un système d'information géographique " SIG ", afin de faciliter le calcul des surfaces et des longueurs par la suite. Pour cette raison, le choix du système de coordonnées de référence doit être approprié. Les SCR disponibles dans QGIS sont ceux définis par l'EPSG (*European Petroleum Search Group*) et l'Institut National Géographique (IGNF). QGIS comprend environ 2700 SCR, leur définition est stockée dans une base de données (SQLite) installée avec le logiciel open source. Cependant QGIS ne fournit pas le système de coordonnées de référence Lambert Nord Algérie, il faudra alors le définir à partir de la bibliothèque de projection (Rezak, 2014 ; 2018).

Dans cette étude, le MNT d'Alger a été projetée dans le système de projection « *Universal Transverse Mercator* ». Cette projection couvre l'Algérie d'est en ouest en quatre zones (zone 29, zone 30, zone 31 et zone 32).

Pour que la superposition des couches ait un sens, toutes les couches doivent représenter les objets dans un même référentiel spatial, c'est-à-dire utiliser le même système de coordonnées de référence. La projection utilisée correspond à celle de l'UTM WGS 84 zone 31N pour Alger. Nous avons également géo référencé nos cartes dans cette même projection (la carte d'occupation des sols et l'imagerie satellitaire).

### 9.4.- La cartographie des zones inondables

La cartographie des zones inondables est obtenue en superposant les niveaux d'eau extrêmes d'occurrence décennale et centennale sur la topographie du site d'étude (MNT), que nous avons projeté sur une image satellite géo-référencé, pour une visualisation des terres à risque d'inondation.

La (figure 68) synthétise les principales étapes suivies pour la cartographie des terres à risque d'inondation pour Alger à l'horizon 2030 et 2100.

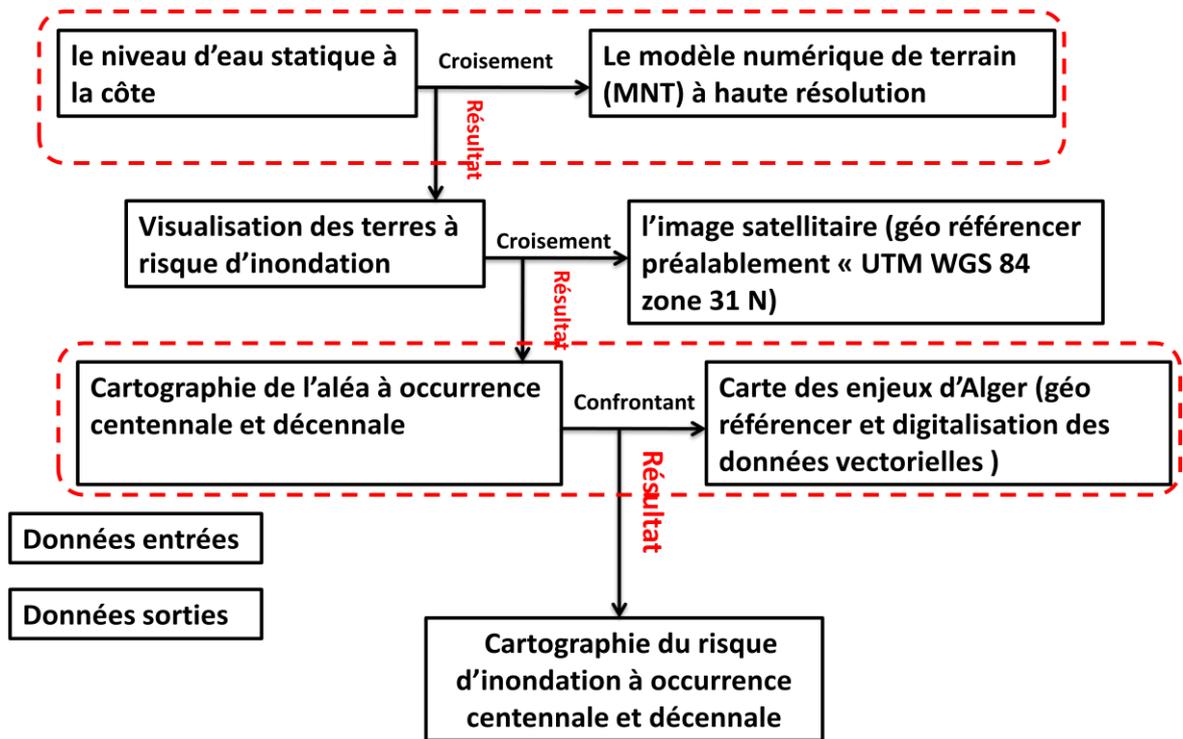


Figure 68: Méthode suivie pour la cartographie des terres à risque d'inondation

### 9.5.- Cartographie du risque

La cartographie du risque est obtenue en confrontant les cartes d'inondations à occurrence centennale et décennale avec la localisation des projets structurants. (Dwarakish et al., 2009). La localisation des enjeux est représentée par la carte d'occupation des sols d'Alger (figure 69) présentant les futurs projets structurants de la zone d'étude extraite du PDAU d'Alger 2016.

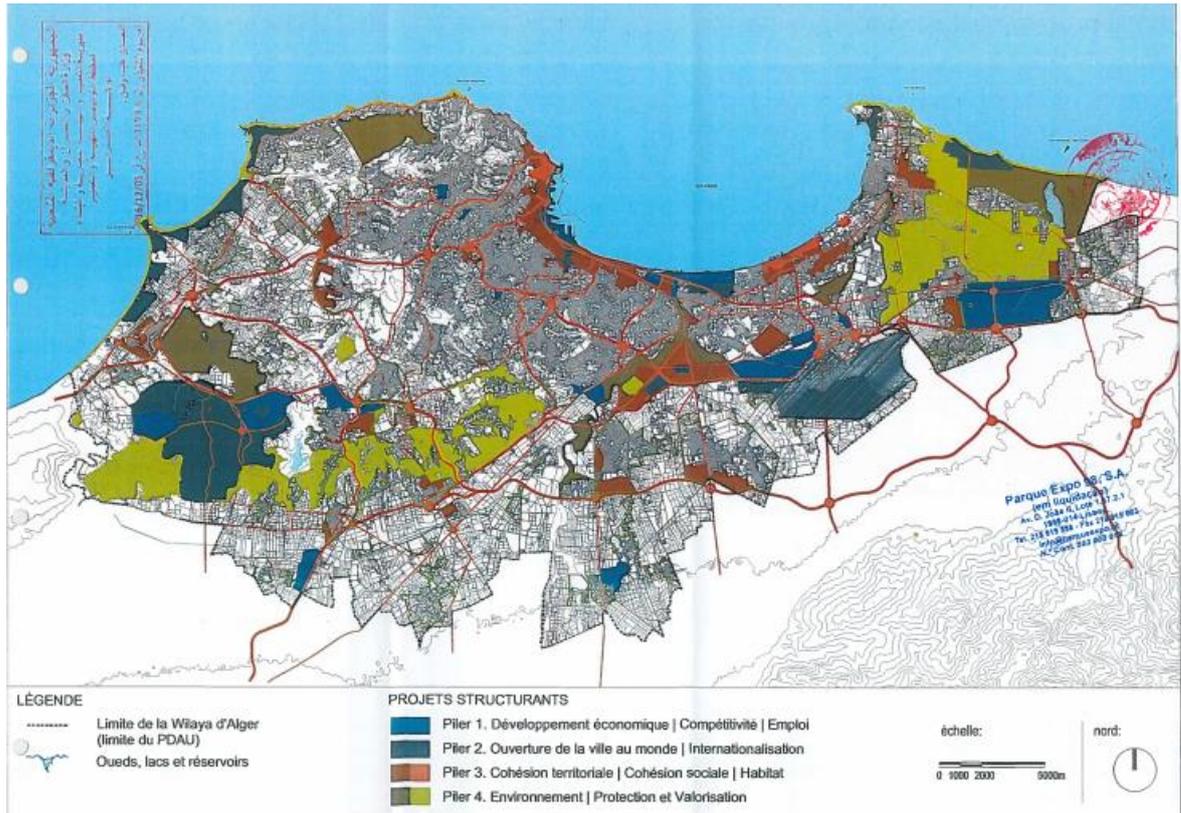


Figure 69: Répartition des projets structurants d'Alger. Source: rapport d'orientation PDAU d'Alger. (2016).

## 10.- Résultats

### 10.1.- Zones d'inondation en fonction des scénarios d'élévation du niveau de la mer

La cartographie des terres à risque d'inondations pour Alger en fonction des trois scénarios mentionnés plus haut est présentée dans les Figures suivantes.

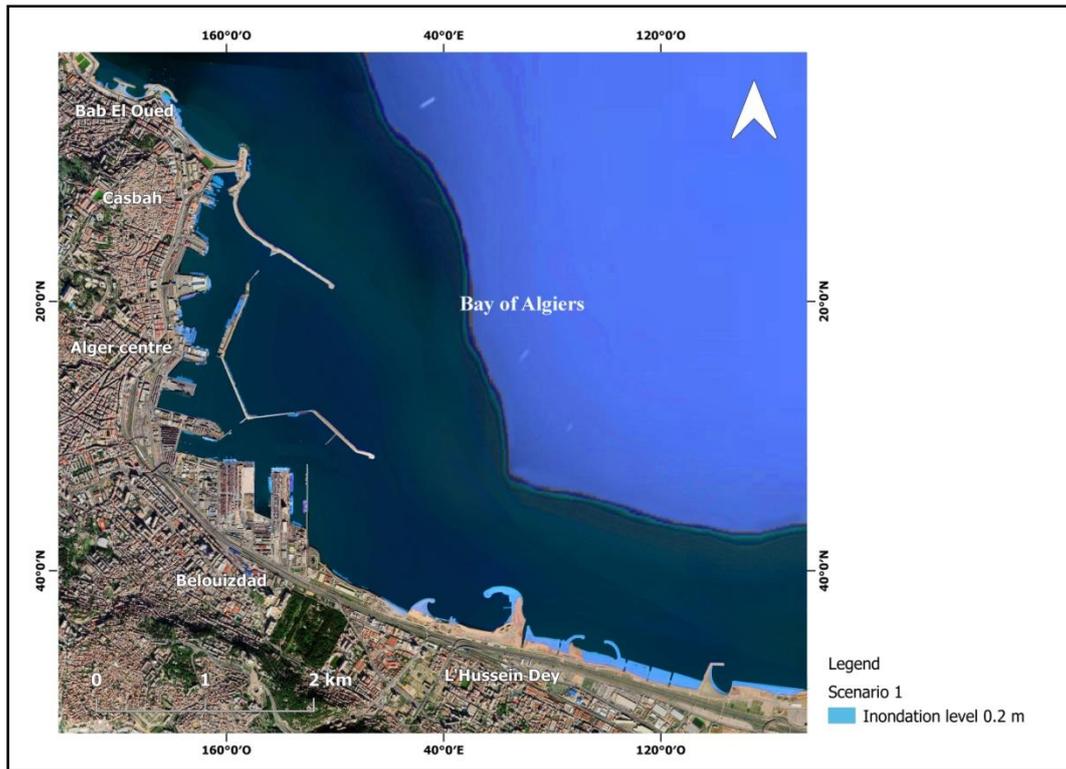


Figure 70: inondation de la zone d'étude pour le scénario 0,2 m

## 10.2.- Évaluation de l'impact de la montée des eaux

### 10.2.1- La superficie des zones inondables en fonction des différents scénarios pour 2030/2100

En 2030, la (figure 70) montrent que pour un scénario de 0,2 m seulement 2% de la zone étudiée est susceptible d'être inondée par l'élévation du niveau de la mer. La zone la plus touchée est le front de mer d'Husseïn-Dey en raison de sa morphologie basse et de son contact direct avec la mer.

Pour la (figure 71), scénario 2 estimé à 0,7 m environ 4,5 % de la zone étudiée est susceptible d'être inondées par l'élévation du niveau de la mer, les zones principalement touchées seront ; le front de mer d'Husseïn-Dey, et une partie du port d'Alger (bassin du vieux port).

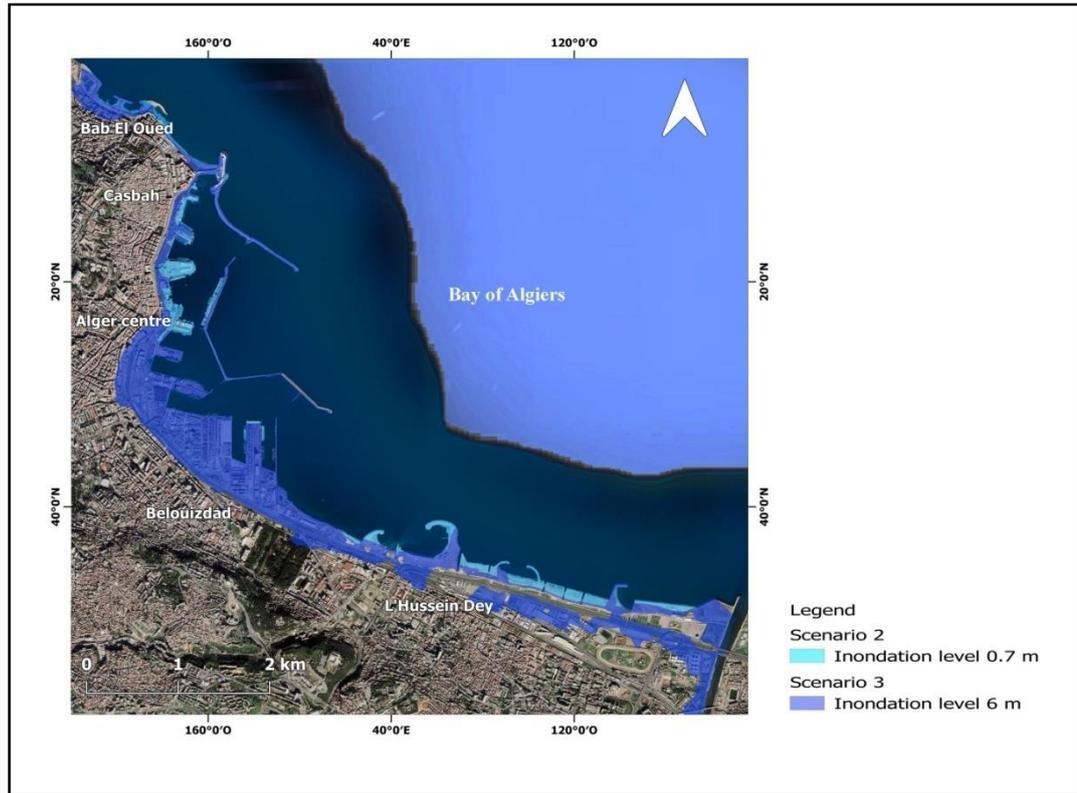


Figure 71: les zones inondables de la zone d'étude à occurrence décennale.

Pour la (figure 71), le scénario 3. Situation avec événement exceptionnel (tempête), le niveau d'inondation de 6 m conduira à une inondation de la zone étudiée estimée à 26%, les zones principalement affectées sont : l'interface portuaire d'Alger, la promenade des sabelettes et le front de mer d'Hussein Dey, ainsi que les plages de Bab El Oued. Le site Casbah n'est pas affecté en raison de son altitude plus élevée. Le tableau n°7 résume les superficies des terres inondables pour les trois scénarios cités précédemment à l'horizon 2030 pour le cas d'étude.

Tableau 7: superficie inondable en 2030

Scénarios	Variation (m)	Surface km2	Surface inondable %
Scénario 1	0,20	0,32	2 %
Scénario 2	0,70	0,50	4,5 %
Scénario 3	6	3,9=4	26 %

En 2100. Les résultats montrent dans la (figure 72) pour un scénario de 0,65 m, environ 3% du linéaire côtier étudié sera impacté par l'élévation du niveau de la mer, ce qui représente les terres les plus basses.

Pour un scénario de 1 m (figure 72), environ 5% de la zone étudiée sera submergée, les zones principalement affectées sont le port d'Alger (le bassin du vieux port et le bassin de l'Agha) et le front de mer Hussein-Dey.

Pour un scénario de 8 m d'inondation (figure 72), le linéaire côtier étudié submergée est estimé à environ 36%, à l'exception de la Casbah dont l'altitude est plus au moins élevée. Le tableau n°8 résume les superficies des terres inondables pour les trois scénarios cités à l'horizon 2100 pour le cas d'étude.

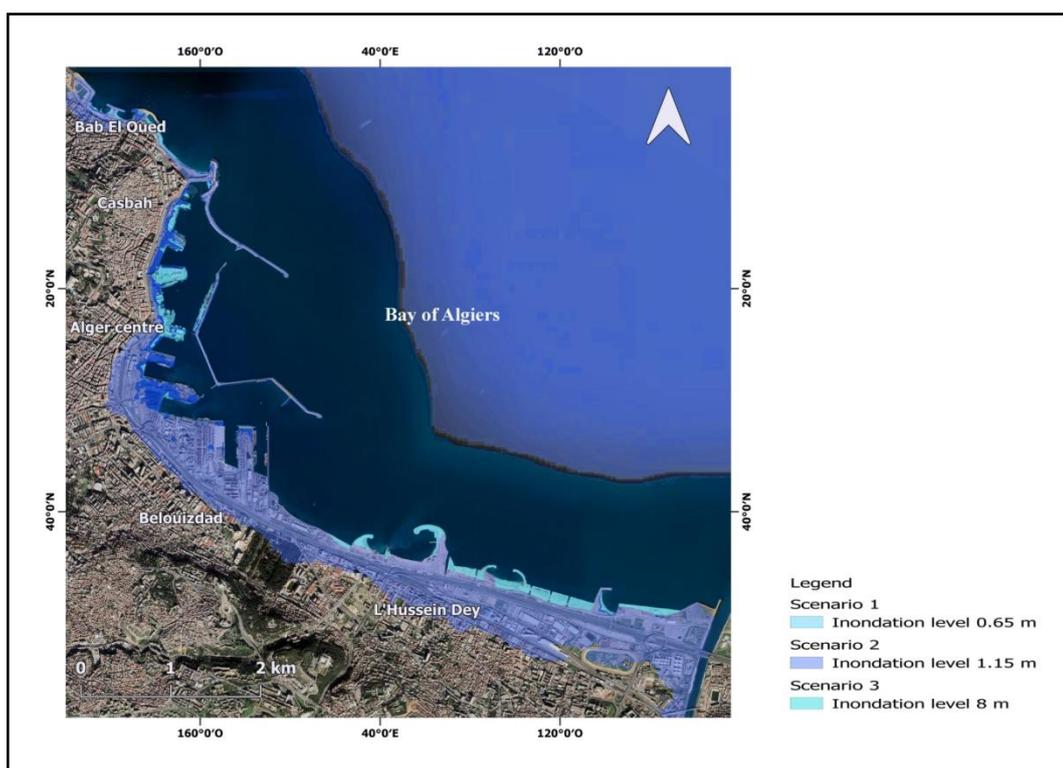


Figure 72: les zones inondables de la zone d'étude à occurrence centennale.

Tableau 8: superficie inondable en 2100.

Scénarios	Variation (m)	Superficie en km2	surface inondable %
Scénario 1	0,65	0,48	3,12 %
Scénario 2	1,15	0,76	5 %
Scénario 3	8	5,5=6	36 %

La superficie des zones inondables selon les différents scénarios pour 2030/2100 de la zone d'étude est donnée dans les tableaux n° 7 et n° 8. Les résultats montrent qu'une élévation du niveau de la mer entre 0,2 m et 1,15 m n'aura qu'un impact mineur mais deviendra significatif, en cas de conjonction avec un événement extrême.

### 10.2.2- Détermination des impacts (étendue des inondations et des projets structurels affectés) à l'élévation du niveau de la mer en 2030

Les projets structurants potentiellement inondables avec un niveau estimé à 6 m en 2030, sont présentés dans la (Fig. 73, Tableau 9).

Environ 26% de la surface totale de la zone d'étude sera menacée par inondation. Ces terrains seront principalement occupés par : la future reconversion du port d'Alger ; dont les terrasses du port, le front de mer d'Hussein-Dey, le palais des sports et l'opéra d'Alger remplacer par le musée de l'Afrique selon l'article (Nouri et al., 2019) concernant l'aménagement de la promenade la baie d'Alger.

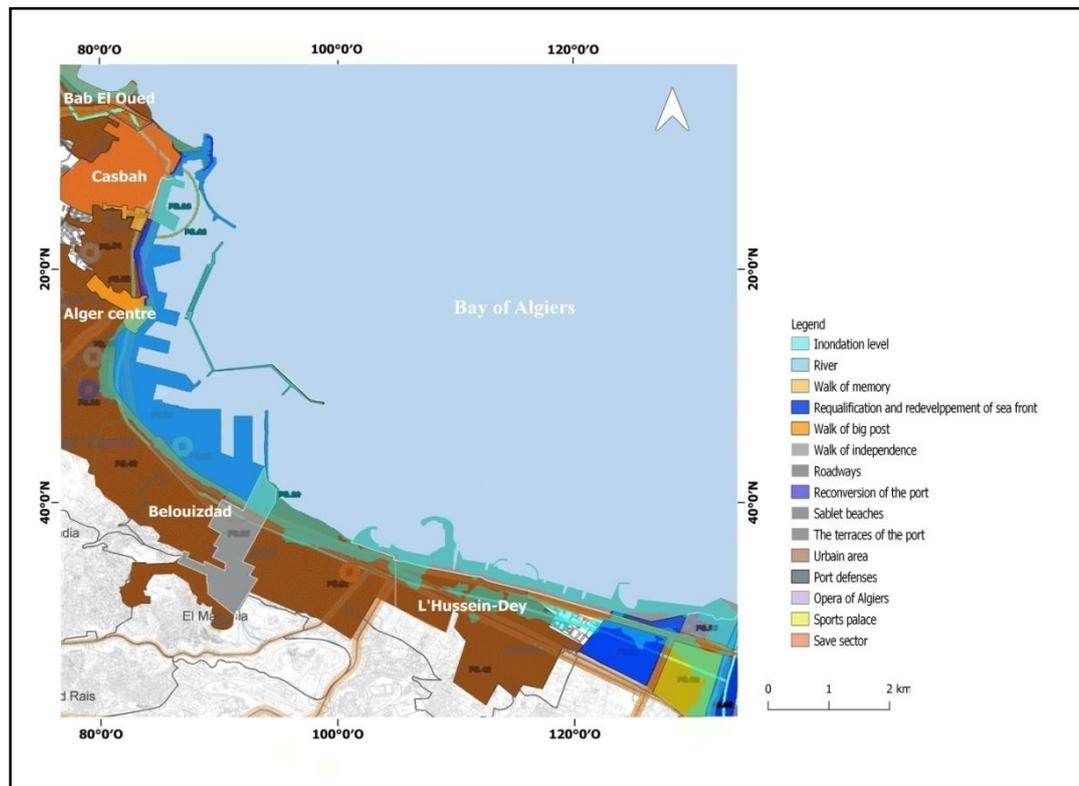


Figure 73: projets structurants affectés par un scénario d'élévation de 6 m.

### 10.2.3- Détermination les impacts (étendue des inondations et des projets structurels affectés) à l'élévation du niveau de la mer en 2100

Les projets structurels potentiellement inondables par un niveau estimé à 8 m en 2100, sont présentés dans (Fig. 74, Tableau 9).

Environ 36% de la surface totale de la zone étudiée sera inondé. En plus des zones précédemment mentionnées, le niveau de 8 m va inonder le couloir de réserve avec une estimation de (62,50%), la zone urbaine centrale à (60,13%). Quant au secteur protégé Casbah, il sera relativement préservé, car il est situé à une altitude plus ou moins élevée par rapport aux scénarios d'inondation.

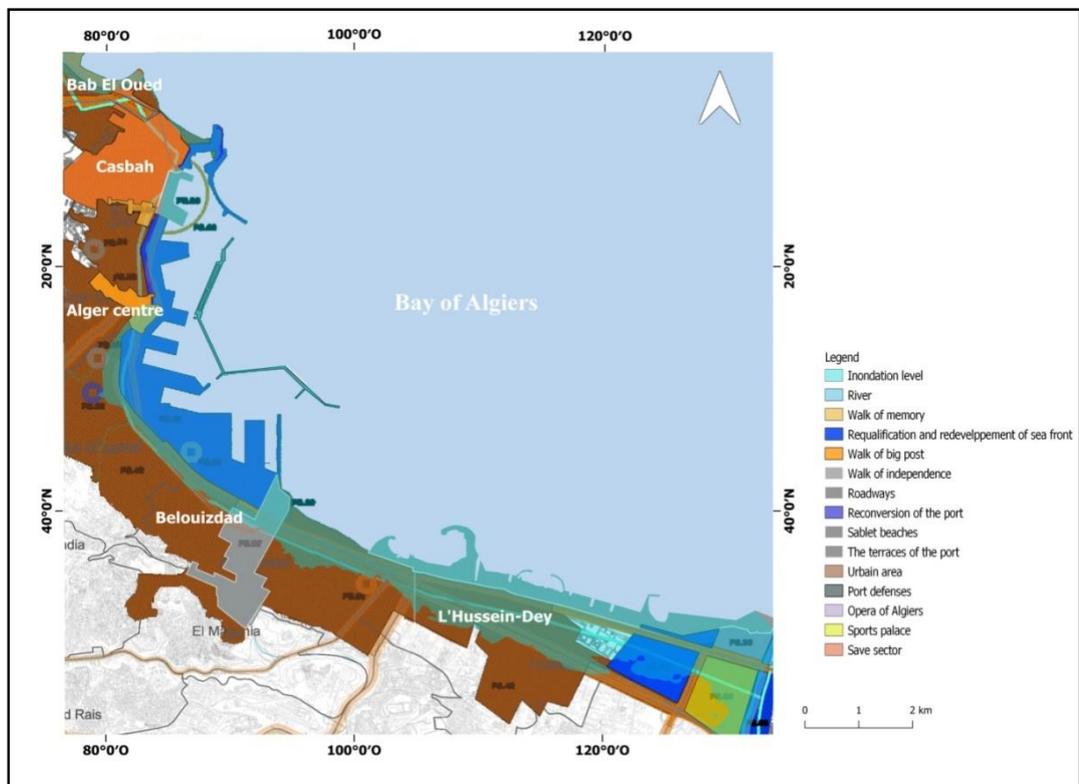


Figure 74: projets structurants affectés par un scénario d'élévation de 8 m

Tableau 9: pourcentage des superficies inondables pour les deux horizons.

Occupation du sol (projets structurants horizon 2035).	Surface km2	Les zones inondables avec un niveau d'inondation de (6 m)	Les zones inondables avec un niveau d'inondation de (8 m)
Plages Sablettes	0,77	83,00%	100,00%
Requalification et redéveloppement du front de mer	0,36	33,30%	46,87%
Les terrasses du port	0,18	90,00%	90,00%
Promenade de la grande poste	0,11	33,30%	33,30%
Promenade de l'indépendance/ aquarium	0,52	15,78%	22,80%
routes	0,48	39,58%	62,50%
Reconversion du port d'Alger	1,28	100,00%	100,00%
Zone urbaine	3,01	2,90%	60,13%
Jetées du port	0,08	75,00%	87,50%
Opéra d'Alger	0,14	78,50%	100,00%
Palais des sports	0,39	46,10%	66,60%
Secteur sauvegardé de la Casbah	0,85	11,76%	11,76%

### 10.3-Discussion des résultats de cette étude

Dans cette étude, trois scénarios d'élévation du niveau de la mer ont été adoptés, dont deux sont temporaires et de courte durée et un scénario permanent. Il a été montré qu'une élévation entre 0,2 m et 1m aura un impact minimal sur la zone côtière d'Alger, mais l'impact le plus important sera dû à la conjonction avec des événements météorologiques extrêmes, qui pourraient générer un niveau de crue de 6 m en 2030 et de 8 m à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle.

La cartographie du risque a permis non seulement de délimiter et d'identifier les zones soumises à une future élévation du niveau de la mer, mais aussi d'estimer les zones soumises aux inondations pour le centre de la baie d'Alger. Par conséquent, les projets structurants nécessitant une attention particulière de la part des gestionnaires du littoral dans le cadre de la dynamisation de la capitale Alger à l'horizon 2035, sont : la reconversion du port d'Alger entre autre (les terrasses du port, l'aquarium, la promenade des Sablettes), la requalification et le réaménagement du front de mer d'Hussein-Dey, l'opéra d'Alger ( remplacé par le musée de l'Afrique) et le palais des sports seront également très sensibles à la montée des eaux.

Dans l'étude (Egis et al., 2013), la démarche suivie pour la délimitation des zones exposées à l'élévation du niveau de la mer, est basée essentiellement sur la reconnaissance morphologique du terrain à partir de la photographie satellite Google ce qui n'a pas permis à cette étude d'obtenir une délimitation exacte.

Pour la délimitation des terrains sensibles à l'élévation du niveau de la mer, nous avons opté dans notre cas pour un modèle numérique de terrain (MNT) de haute résolution de 3 m, qui nous permet de restituer avec précision les caractéristiques topographiques de la zone étudiée d'Alger (Kuhn et al., 2011). En ce qui concerne le déferlement marin pour estimer l'impact de l'élévation du niveau de la mer à la côte en 2030/2100, en plus des scénarios d'élévation du niveau de la mer et de la marée, nous avons pris en considération deux autres valeurs, l'une concernant les vagues de tempête avec une occurrence décennale et centennale, et l'onde de tempête liée à la pression atmosphérique, par manque de données, ces deux valeurs n'ont pas été prises en compte dans l'étude réalisée en 2013.

Au niveau académique, pour la cartographie du risque lié à l'élévation du niveau de la mer, nous avons trouvé une application sur la baie de Béjaïa afin d'évaluer les terres à risque d'inondation due à l'élévation accélérée du niveau de la mer auteur (Djouder, 2018). Cette étude avait utilisé le modèle numérique de terrain (*Shuttle Radar Topography*

*Mission*) de 30m, qui semble selon la littérature contenir diverses limitations qui nécessitent sa correction avant son utilisation (Kuhn et al., 2011; Rezak et al., 2012), alors qu'une visualisation précise de l'impact de l'élévation du niveau de la mer, nécessite une résolution très fine (Garcin et al., 2012 ; Lerma et al., 2015).

Les résultats de notre étude sont très importants, car ils permettent de mettre en évidence les zones à risques exposées à l'élévation du niveau de la mer pour le littoral algérois à l'horizon 2030/2100. L'élévation du niveau de la mer aura un impact important sur la reconversion du port d'Alger et le renouvellement du front de mer de l'Hussein-Dey. Selon Labeyrie. (2015), la montée de la mer va nous obliger à restructurer les espaces, profitons de cette occasion pour mieux les gérer, en pensant à l'équilibre à long terme entre l'homme et la biosphère côtière.

La ville d'Alger depuis 2009 fait l'objet de plusieurs embellissements (Aouissi et Madani, 2017 ; Gaoua et Mansour, 2019). Le projet le plus emblématique est la promenade de la baie d'Alger ponctuée par un ensemble de projets structurants tels que les terrasses du port, la promenade des sablettes, la promenade de la grande poste et la promenade de l'indépendance/aquarium, le musée de l'Afrique et le palais des sports. La localisation stratégique de ces projets à caractère culturels, touristiques et de loisirs, les place dans un espace soumis à un risque naturel fort, et le développement de nouveaux équipements à l'horizon 2030 constituera une augmentation de la vulnérabilité face à l'élévation du niveau de la mer, d'autant plus que la baie d'Alger reste l'une des zones les plus vulnérables en raison des pressions naturelles combinées aux facteurs anthropiques (Egis et al., 2013 ; Nouri et al., 2019 ; PDAU, 2016 ; Rabehi et al., 2016). Selon Zerrouki et al. (2021), les littoraux à faible marnage (microtidal) à l'instar du littoral Algérien ont été classés comme milieux à très faible risque d'érosion, mais ces mêmes côtes sont en revanche classées parmi les plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer.

Compte tenu du coût estimatif de la réalisation de ces projets (chapitre 3) très élevé et de l'importance stratégique de ces projets en particulier le projet de reconversion portuaire estimé à 16, 28 milliards de dinars selon le budget annuel en 2019 du ministère de l'Habitat de l'Urbanisme et de la Ville, des mesures de protection devraient être envisagées par les gestionnaires du littoral pour réduire l'impact économique de la reconstruction des zones touchés par inondation. L'entame des travaux de cette reconversion devait commencer en 2015 (PDAU, 2016). Aujourd'hui et en 2023, aucun signe d'entame de travaux n'est observé (Aouissi, 2019 ; Egis et al., 2013), ceci dit cela ne

devrait pas empêcher d'évaluer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les futurs projets structurants et de prévoir des mesures d'adaptation à long terme

Les résultats de cette étude sur l'exposition de la zone côtière de la baie d'Alger ouest à l'élévation du niveau de la mer, confirment les résultats de plusieurs auteurs et études (Aouissi, 2019 ; Egis et al., 2013 ; Mihoubi et al., 2014 ; Rabehi et al., 2016, 2018). Les communes d'Hussein-Dey, Alger centre, Belouizdad et Bab El Oued, sont caractérisées par une forte vulnérabilité socio-économique : forte urbanisation, forte démographie, densité du réseau routier et caractéristiques physiques côtières qui ne feront qu'accentuer le taux de vulnérabilité (Rabehi et al., 2018).

Le creux de la baie d'Alger est très vulnérable à l'érosion côtière et à l'élévation du niveau de la mer, avec une vulnérabilité très élevée au niveau des berges de l'Hussein-Dey. Ceci est dû à sa morphologie côtière, dont la structure des plages est sableuse et alluviale, avec une pente très faible surtout au niveau de l'embouchure de l'Oued El Harrach. Une vulnérabilité élevée au niveau d'Alger centre, et de Bab El Oued, modérée au niveau de Belouizdad et faible au niveau de la Casbah par rapport à sa structure rocheuse et une altitude plus élevée (Mihoubi et al., 2014 ; Rabehi et al., 2018).

Selon le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la wilaya d'Alger PDAU (2016), les risques pris en compte sont : les risques naturels (séismes, mouvements et glissements de terrain, le risque d'inondation des crues fluviales, la surexploitation des eaux souterraines), et enfin les risques technologiques. Ce document fournit des cartes délimitant les zones d'aléas et les zones de risques naturels et technologiques, et finalement des recommandations pour la prévention et la mitigation des risques naturels et technologiques. Nous constatons donc que ce document de planification ne prend pas en compte les risques naturels liés au changement climatique tel que l'élévation du niveau de la mer et ne prévoit pas de mesures préventives pour faire face à cet aléa.

Les risques naturels et ceux liés au changement climatique ne sont pas pris en compte dans le PDAU (2016) à l'horizon 2030 ni par les lois gérant le littoral (Lalaoui, 2014 ; Foury, 2017), en raison d'un manque de cohérence avec des documents plus larges. Cela peut constituer un élément aggravant les facteurs d'accroissement de la vulnérabilité urbaine à l'horizon 2030 (Egis Eau, IAU-IDF, BRGM, 2013).

Les communes étudiées doivent faire l'objet de mesures anticipées (limitation de l'urbanisation du littoral, protection des dunes et du sable des plages), avant de passer à un autre seuil d'extrême vulnérabilité, car quoi qu'il en soit, les conséquences de l'élévation du

niveau de la mer, y compris l'inondation des terres sont potentiellement dévastatrices d'un point de vue environnemental.

Les mesures d'adaptation visant à réduire les risques liés au changement climatique en ce qui concerne les effets néfastes de l'érosion côtière et de l'élévation du niveau de la mer se concentrent principalement sur les structures lourdes telles que les digues, les infrastructures d'irrigation et les barrages qui permettent aux communautés et aux infrastructures de se développer dans les zones côtières et de tirer profit des avantages économiques qu'offre la côte. L'inconvénient des défenses dures est qu'elles tendent à attirer des investissements accrus ; elles perpétuent le besoin de maintenir et d'améliorer les défenses et les écluses dans les communautés côtières (Al-Mutairi et al., 2021 ; Kirby et al., 2021),

Les solutions futures doivent se concentrer sur une protection éco-responsable des côtes qui offrent des alternatives flexibles et rentables pour amortir les impacts du changement climatique (Soanes et al., 2021), tels que les brise-vents pour la fixation du sable, les récifs pour atténuer les impacts des courants, ou les pièges à sédiments pour récupérer les sédiments déversés par les rivières.

L'évaluation des impacts des structures de protection existantes sur les courants dominants de la baie d'Alger est aussi nécessaire et indispensable (mur du port, épis, brise-lames et jetées). Ceci permettrait d'éviter plusieurs dégâts générés par certains ouvrages de protection mal dimensionnés, comme fut le cas pour la digue du port de Tala-Ylef de Béjaïa en 2013, fracturée par une forte houle qui a provoqué l'effondrement du mur de couronnement (Djouder, 2018 ; Rabehi et al., 2018).



Figure 75: la digue du port de Béjaïa fracturé par la houle en 2013. Source: <https://www.algerie360.com/la-digue-de-protection-du-port-de-peche-de-tala-ilef-bejaia-fracturee-par-la-houle/>

Un certain nombre d'auteurs ont souligné la vulnérabilité des villes côtières du monde entier face à l'incertitude des scénarios d'élévation du niveau de la mer. Les dommages et les risques prévus pour les villes du monde entier augmenteront d'ici la fin du siècle. Ces études mettent l'accent sur le développement de stratégies d'adaptation planifiées et proactives pour faire face aux impacts sévères des scénarios d'élévation du niveau de la mer, mais aussi pour évaluer leur efficacité par rapport au changement climatique prévu (Abadie et al., 2020 ; Al-Mutairi et al. et al., 2020 ; Dwarakish et al., 2009 ; Hoque et al., 2019 ; Khan et al., 2012 ; Kuhn et al., 2011 ; Soanes et al., 2021). Ceci souligne l'importance de notre étude proposée pour la côte d'Alger ouest. Récemment, de nouvelles études tendent à évaluer les mesures d'adaptation au changement climatique (Baills et al., 2020 ; Cao et al., 2021).

Baills et al. (2020), identifie une liste de 13 mesures qui peuvent être considérées comme des mesures clés pour l'adaptation à l'érosion côtière et à l'élévation du niveau de la mer, telles que les défenses temporaires, des amovibles, les programmes de gestion des terres, la cartographie de la vulnérabilité des zones, formation sur les risques naturels et le changement climatique, sensibilisation aux risques, l'alerte précoce. Il propose également 4 autres mesures considérées comme le minimum pour mettre en œuvre une stratégie d'adaptation, (1) la création d'un réseau de surveillance, (2) la construction de bâtiments amovibles, (3) la création d'un service climatique (information des citoyens), (4) la communication à travers les médias. Cependant, cette liste tend à être représentative et non exhaustive.

Cao et al. (2021) ont quant à eux discuté des conflits sociaux qui peuvent surgir entre les différentes parties prenantes dans le processus de planification de l'adaptation. Ils recommandent tout d'abord aux villes côtières de faible altitude d'adopter une approche proactive<sup>23</sup> de la planification avant que les impacts des inondations induites par l'élévation du niveau de la mer ne se fassent sentir, en se concentrant sur un engagement efficace avec les parties prenantes pour éviter des conflits similaires à ceux vécus dans l'exemple de HCM.<sup>24</sup> Deuxièmement, des recherches sur la manière de résoudre les conflits d'adaptation entre les différentes parties prenantes de l'aménagement du territoire sont nécessaires.

---

<sup>23</sup> L'approche proactive se caractérise par la décentralisation des services vers les communautés locales avec une grande proximité entre citoyens et intervenants professionnels.

<sup>24</sup> Cette étude de cas Ho Chin Minh City montre des exemples formelle et informelle réactive et découplée qui peut fournir des idées et des leçons aux villes côtière vulnérables ailleurs sur la planète sur la façon de s'adapter à l'élévation du niveau de la mer.

L'exemple de cette ville sert de leçon à d'autres villes côtières en soulignant l'importance d'un engagement efficace entre les parties prenantes afin que la ville puisse améliorer ses plans d'adaptation.

Enfin, l'étude sur l'exposition des zones côtières de la baie d'Alger ouest à l'élévation du niveau de la mer est une aide aux gestionnaires côtiers pour prendre en compte le risque de submersion marine lors de la révision des plans d'aménagement et de gestion (PDAU, POS), afin d'anticiper les impacts de la submersion induits par l'élévation du niveau de la mer, et de prévoir des mesures d'adaptation dans un avenir proche.

Cette étude souligne la nécessité de disposer d'informations plus précises et actualisées sur l'élévation prévue du niveau de la mer selon différents scénarios aux niveaux local, ce qui permettrait une évaluation précise des impacts afin de développer des stratégies d'adaptation appropriées, mais aussi le développement d'un modèle numérique d'élévation à haute résolution du littoral algérois (MNE)<sup>25</sup> qui tiendra compte de l'aménagement de la baie d'Alger à l'horizon 2030, pourrait fournir de meilleurs résultats.

Enfin, cette étude s'est concentrée sur l'exposition des zones à risques d'inondation en raison de l'élévation du niveau de la mer, l'inclusion de variables socio-économiques dans les travaux futurs peut fournir des résultats complets sur la vulnérabilité de la zone côtière étudiée.

## 11.- Synthèse

La présente étude a été réalisée dans le but d'identifier et de délimiter les zones les plus exposées à une future élévation du niveau de la mer sur la baie d'Alger ouest, à travers l'utilisation du système d'information géographique SIG/, le logiciel open source QGIS 3.10. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

Cette étude souligne l'importance des données d'élévation à haute résolution comme outil essentiel pour évaluer l'impact de l'élévation du niveau de la mer.

La cartographie des risques a permis de visualiser les terrains exposés à une future élévation du niveau de la mer, l'identification des projets structurels les plus à risque, et le pourcentage des zones inondables.

Le SLR est susceptible d'affecter différentes parties de la baie d'Alger à des degrés de gravité variables ; il est donc urgent d'intervenir dans les zones les plus exposées, notamment dans la commune d'Alger centre et de Hussein-Dey, car ces zones vont recevoir

---

<sup>25</sup> Le MNE prend en compte le relief, ainsi que l'élévation des bâtiments. La prise en compte de ces deux données est cruciale lorsqu'on veut réaliser des simulations réalistes de submersions en milieu urbain. BRGM 2016.

des projets stratégiques pour revitaliser la capitale d'Alger en 2030. Les projets côtiers prévus doivent être révisés, en tenant compte des impacts du SLR, en particulier les plans d'aménagement proposés dans le cadre du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la ville d'Alger (PDAU).

Afin de disposer d'une étude plus détaillée, il serait judicieux par la suite de combiner ses résultats avec d'autres informations (population, infrastructures et biens) afin d'évaluer les pertes économiques qui pourraient affecter les différents types de développement dans les zones les plus exposées d'Alger, cela fournirait des informations précieuses pour la prise de décision en matière de gestion des risques côtiers. Des recherches supplémentaires qui explorent quelles actions adaptatives sont les plus efficaces devraient également être menées.

En dépit de l'importance de la région d'Alger, peu de recherches sur le changement climatique et le SLR en 2030 ont été menées dans cette région. Cette étude essaye de contribuer à la littérature dans ce domaine, mais aussi au développement de stratégies et de mesures en réponse au SLR. La méthode suivie pour cette étude peut être appliquée à d'autres zones côtières de faible altitude, en se basant sur des données (topobathymétriques, carte d'occupation des sols et la prise en compte précise des processus de risques côtiers).

## CHAPITRE 5 : ANALYSE STRUCTURELLE

### 1.- Introduction

Ce chapitre a pour objectif de proposer une démarche de modélisation devant conduire à mieux comprendre la susceptibilité de (l'interface ville/mer) à subir des dommages face à l'inondation due à l'élévation du niveau de la mer. Autrement dit, il s'agit d'appréhender le risque en s'interrogeant sur le « pourquoi » (facteurs et critères) qui rendent cet habitat vulnérable (Aviotti, 2011).

La première partie de ce chapitre se consacre aux généralités sur la prospective urbaine ; définition et évolution, idée clés de la prospective, vitalité de la prospective urbaine pour la ville du 21<sup>ème</sup> siècle. Quant à la deuxième partie du chapitre, elle se consacre à l'origine et les objectifs de l'analyse structurelle, le recensement des variables/taux de remplissage de la matrice, mais également, le repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle, la recherche des variables clés par la méthode MicMac, et enfin utilité et limites de l'analyse structurelle.

À partir de ces deux parties théoriques, la troisième section s'attache à lister un ensemble de critères, facteurs pouvant aggraver ou diminuer les dommages de notre cas d'étude face à la montée des eaux, la réalisation de la matrice, la construction et analyse du plan d'influence/Dépendance, et enfin une synthèse des résultats.

### 2.- Les origines de la prospective et la futurologie

L'anticipation a toujours été une préoccupation forte de toute société ; sa représentation a évolué dans le temps, elle s'est manifestée par l'âge des oracles, des prophéties, de l'astrologie, des utopies, des prédictions scientifiques et toute forme qui perdurent. La prospective est la forme moderne de l'anticipation, cette évolution temporelle se double d'une variation spatiale qui prend en compte la dimension culturelle des sociétés (Gonod et al., 2002).

La futurologie s'est développée dans deux contextes différents, aux États Unis d'Amérique et en France. Ces deux écoles demeurent comme les berceaux de la prospective issue de la *futurology*. (Gonod et al., 2002 ; Aouissi, 2019). C'est en 1947, qu'émerge progressivement aux États-Unis une nouvelle discipline exploratoire : la *futurology*, le projet est ambitieux, il s'agit de construire une science du futur qui est

fortement orientée vers les sciences et les techniques par l'origine de ses financements (Aouissi, 2019).

Parallèlement en France, un mouvement intellectuel nommé « prospective » s'est développé avec Gaston Berger, puis Bertrand de Jouvenel sur des bases philosophiques. La prospective selon leur vision est une façon de penser le monde et les relations entre les différents éléments qui la composent. Pour Gaston et de Jouvenel l'avenir est domaine de liberté, il n'y a pas un futur, mais des futurs possibles. Contrairement au modèle américain qui a pour objectif d'établir une vision du futur très attaché aux données du présent ; la philosophie française quant à elle s'est développée et l'évolution de son système se base sur des postulats flexibles face à l'avenir.

## **2.1.- L'évolution de la définition de la prospective**

Gaston Berger, philosophe et administrateur a établi en 1955 les fondements de la prospective et en 1959, il a proposé une attitude prospective qui s'est développée en cinq points :

- Voir loin : l'attitude prospective nous fait regarder au loin.
- Voir large : dans un monde où l'interdépendance ne cesse de croître, rien ne vaut qu'un colloque entre hommes d'expérience ayant des formations et des responsabilités différentes, afin de décrire une situation éloignée dans l'avenir.
- Analyser en profondeur : la prospective, doit se livrer à une analyse en profondeur, et rechercher des facteurs lourds et des tendances qui poussent les hommes dans certaines directions, sans forcément se rendre compte.
- Prendre des risques : la prévision n'emploie pas les mêmes méthodes que la prospective ; c'est pour cela qu'elles ne doivent pas être mises en œuvre par les mêmes hommes.
- Penser à l'homme : la prospective ne s'attache qu'aux faits humains, les événements cosmiques où les progrès de la technique ne l'intéressent que par leurs conséquences pour l'homme.

Suite aux fondements de la prospective établis par Gaston Berger, il définit la prospective en 1991 comme *«une démarche globale, interdisciplinaire qui a pour mission de rendre compte de la situation passée et présente, de formuler les questions clés du devenir, de repérer et de dessiner les futurs possibles, de les confronter avec les buts que s'assignent ceux à qui elle s'adresse et avec les contraintes existantes, de suggérer les*

*procédures et les actions appropriées pour transformer celles-ci en projets collectifs, pour permettre aux décideurs de choisir en connaissance de cause. »*

Michel Godet<sup>26</sup> en 1997, définit la prospective comme « *une attitude de l'esprit et un comportement mobilisés pour assurer la qualité et la maîtrise de l'existence présente et future. La prospective réhabilite le désir comme force productive d'avenir* ».

Quant à Hugues de Jouvenel, président de l'association futurible international, centre international d'études pluridisciplinaire et prospective, définit la prospective en 2004 comme « *l'avenir est domaine de liberté, de pouvoir et de volonté. Il est à la fois territoire à explorer, d'où l'utilité de la veille et de l'anticipation, et en particulier de la prospective dite exploratoire ; et territoire à construire, d'où l'utilité de la prospective parfois appelé normative, qui renvoie non plus à l'investigation des futurs possibles mais à celle des futurs souhaitables, aux politiques et aux stratégies qui pourraient être adoptées pour les réaliser* ».

Suite à ces définitions, la prospective se développe en France et de nouvelles définitions apparaissent, à l'instar de Michel Godet et al. (2011) : « *La prospective urbaine n'est un pas un outil pour imaginer de belle ou de mauvaise images, mais c'est un outil stratégique ayant comme objectif d'anticiper les problèmes et les enjeux à venir suivant un processus logique, d'identifier un ensemble de permanences, de germes, de tendances et de prédominances d'aujourd'hui et planifier en leurs fonctions pour combler les besoins de demain* ».

## **2.2.- L'importance de la prospective urbaine pour la ville du 21<sup>ème</sup> Siècle**

Selon Lalaoui. (2014). L'idée centrale de la prospective est que l'avenir n'est pas une fatalité, il se construit pas à pas et il est moins à découvrir qu'à inventer, et pour pouvoir le construire, il faut faire preuve d'anticipation. En même temps, la prospective et le changement climatique sont deux notions en étroite relation, car les changements climatiques en cours dans le monde imposent une vision prospective qui esquisse les futurs probables, afin de mieux les prendre en charge, les orienter et/ou infléchir dans un sens positif.

Selon Aouissi. (2019), « *La prospection urbaine a pris de l'ampleur ces dernières années avec les nombreux défis écologiques et de durabilité. Les villes font face à de multiples risques dû au changement climatique, cela rend nos espaces urbains plus*

---

<sup>26</sup> Économiste, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et titulaire de la chaire de prospective stratégique et auteur d'ouvrages économiques sur le travail et l'évolution démographique.

*vulnérable face aux risques incertains, prospecter le futur de nos villes en éclaircissant l'action présente devient indispensable.*», après plus d'un demi-siècle d'évolution, la futurologie devient un domaine préoccupant pour l'ensemble des sociétés et sur différents plans, les œuvres cinématographiques d'utopie ou de dystopie en témoignent de l'obsession universelle du futur qui devient de plus en plus justifiée dans un monde en perpétuelles mutations, et dont l'évolution prend un ordre de grandeur exponentielle. Boom démographique mondial, crises environnementales globales, risques d'épuisement de ressources naturelles, etc. Tout cela incite l'humanité à prendre en main son sort et de ne plus avoir à le subir.

Le monde de demain sera très différent de celui d'aujourd'hui, avec l'évolution exponentielle en matière d'informatique et de technologie, la croissance démographique mondiale, les risques dus aux impacts du changement climatiques, l'épuisement de ressources naturelles, la surpopulation et les conflits, etc. Tout ceci met la communauté scientifique en unanimité sur l'incertitude du futur qui attend l'humanité. L'urbanisme, ne doit pas se limiter aux dimensions spatiales, mais devrait intégrer la dimension temporelle, car les villes d'aujourd'hui deviennent des systèmes dynamiques, multidimensionnels et complexe, résultat de la mondialisation et le progrès technologique des moyens de communication.

Dans un monde où tous les indicateurs avertissent d'un avenir incertain, la prospective urbaine est censée nous permettre d'imaginer un avenir meilleur et d'aller vers ce qui est souhaitable et non pas assumer l'avenir comme un retombé. L'intérêt de la prospective urbaine pour la ville d'aujourd'hui et celle de demain, à l'ère des changements accélérés est justifiée par la vitesse de changement dont la ville fait face, et la complexification des trois sphères ; social, économique et environnemental, obligent la ville à satisfaire ses usagés, s'adapter continuellement et apporter des solutions aux problèmes et rendre le temps de réponses aux événements plus courts et plus pertinentes.

### **3.- L'analyse structurelle**

Dans un premier temps, nous rappellerons les origines et les objectifs de l'analyse structurelle puis nous présentons ses principales étapes : recensement des variables, repérage des relations et recherche des variables clés, et enfin faire le point sur l'utilité et les limites de cette méthode.

### 3.1- Origines et objectifs de l'analyse structurelle « La méthode MICMAC ; Matrice d'Impact Croisée Multiplication Appliqués à un Croisement »

Selon Godet. (2007), l'analyse structurelle s'est inspirée de la théorie des graphes et des travaux de simulation de recherche menés peu après la dernière guerre mondiale aux États-Unis, notamment à la Rand Corporation pour les besoins de l'armée américaine. Elle a été introduite en France par le professeur Wanty (1969), qui appartenait à la filiale belge du groupe *Metra International*. À partir du milieu des années quatre-vingt, l'analyse structurelle a connu un nombre croissant d'applications. L'analyse structurelle est un outil de structuration d'une réflexion collective, elle offre la possibilité de décrire un système à l'aide d'une matrice mettant en relation tous les éléments constructifs de ce système. Le principal mérite de cette approche est d'aider un groupe à mieux se poser les bonnes questions et à structurer sa réflexion collective. Cette méthode a pour objet de faire apparaître les principales variables influentes et dépendantes et par là, les variables clés essentielles à l'évolution du système étudié (Berezowska, 2012). En pratique, deux voies d'utilisation de l'analyse structurelle se sont développées :

- L'utilisation « *prospective* » : recherche des variables clés, sur lesquelles doit porter en priorité la réflexion prospective, notamment avec le développement de la méthode Micmac, ou l'importance d'une variable se mesure moins par ses relations directes que par ses relations indirectes.
- L'utilisation « *décisionnelle* » : recherche, identification des variables et des acteurs sur lesquels il faut agir pour parvenir aux objectifs que l'on s'est fixés. Ceci est l'objet de ce chapitre.

### 3.2. - Recensement des variables

Afin d'identifier une liste la plus possible de variables, caractérisant le système constitué par le phénomène étudié et son environnement, aucune voie de recherche n'est exclue, et tous les moyens de brainstorming et de créativité sont bons. Il est souhaitable de nourrir la collecte des variables par des entretiens non directifs, auprès de représentants d'acteurs présumés du système étudié, à qui l'on pose une question ouverte du type : « quels sont, selon vous, les facteurs qui vont conditionner l'évolution future de tel phénomène ? ». Afin de découvrir ces variables, il est utile d'adopter différents points de vue (politique, économique, technologique ou social, etc.) et de constituer des dossiers en organisant notamment quelques séances de réflexion collective (Berezowska, 2012).

Le recensement des variables se fait à partir d'une liste établie en vrac précédemment, en procédant à des agrégations et suppressions, de manière à obtenir une liste relativement homogène. Il est judicieux de procéder à des regroupements a priori, en distinguant des variables internes et externes ; les variables internes étant celles qui caractérisent le sous-système faisant l'objet de l'étude et les variables externes étant celles qui constituent son environnement (Godet, 2007, p.157).

Enfin on procède à l'explication des variables. Sans la création de ce langage commun, la réflexion et le repérage des relations seraient impossibles ou n'auraient pas de sens. L'explication détaillée des variables est indispensable ; elle facilite la suite de l'analyse et le repérage des relations entre ces variables, ce qui permet de constituer la base de données nécessaires à toute réflexion prospective.

### **3.3.- Le repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle**

Selon (Godet, 2007), dans une vision systémique du monde, une variable n'existe que par ses relations. L'analyse structurelle consiste à mettre en relation les variables dans un tableau à double entrée (matrice d'analyse structurelle).

#### **3.3.1- Description des relations entre variables**

Dans une vision systémique, une variable n'existe que par les relations qu'elle entretient avec les autres variables. L'analyse structurelle s'attache à repérer ces relations entre variables, comment ? En utilisant un tableau à double entrée appelée matrice d'analyse structurelle. Le remplissage est qualitatif, pour chaque couple de variable, on se pose les questions suivantes : existe-t-il une relation d'influence directe entre la variable I et la variable J ? S'il n'y a aucune influence on note 0, dans le cas contraire, on se demande si cette relation d'influence directe est faible, moyenne, ou forte, ou potentielle. Cette procédure d'interrogation systématique permet d'éviter de nombreuses erreurs dans le remplissage de la matrice.

#### **3.3.2- Le remplissage de la matrice peut se faire de deux manières**

Soit en lignes, en notant l'influence de chaque variable sur toutes les autres, soit en colonnes, en notant pour chaque variable par quelle variable est influencée<sup>27</sup>. Les valeurs

---

<sup>27</sup> On pourrait songer à utiliser les deux procédés afin de comparer les résultats en superposant les deux remplissages de la matrice et de repérer ainsi les différences et par conséquent les erreurs commises. Bien souvent cette pratique s'avérerait un luxe fastidieux que peuvent rarement s'offrir les groupes de prospective. En effet, la plupart des analyses structurelles réalisées jusqu'ici mettent en

données de 0 à P sont définies suivant le degré d'influence de l'élément, le jugement est établi suivant un raisonnement logique déductif ;

$a_{ij} = 1$  indique une influence directe faible de i sur l'évolution de la variable j.

$a_{ij} = 2$  indique une influence directe moyenne de i sur l'évolution de la variable j.

$a_{ij} = 3$  indique une influence directe forte de i sur l'évolution de la variable j.

$a_{ij} = p$  indique une influence potentielle de i sur l'évolution de la variable j.

$a_{ij} = 0$  indique une absence d'influence directe.

Cette phase de remplissage aide à se poser pour N variables N x N questions (près de 5000 pour 70 variables), dont certaines auraient été éludées faute d'une réflexion aussi systématique et exhaustive. Cette procédure d'interrogation permet, non seulement d'éviter des erreurs, mais aussi d'ordonner et de classer les idées, en créant un langage commun au sein du groupe, elle permet également de redéfinir les variables et donc d'affiner l'analyse du système. L'expérience montre qu'un bon taux de remplissage de la matrice doit se situer entre 15% et 25% suivant la dimension de la matrice. Des taux supérieurs de (30% à 35%) sont révélateurs d'un remplissage excessif, des relations induites ayant été, à tort, considérés comme directes<sup>28</sup>.

### 3.3.3- Stabilité de la matrice

Les classements des variables par motricité/influence décroissante (ou par dépendance) s'en trouvent généralement modifiés. Mais l'expérience a montré que ces classements deviennent quasi stables au bout de trois ou quatre élévations à la puissance, et ils font bien ressortir l'importance nouvelle de certaines variables en fonction de leurs influences indirectes (PNUE, 1996).

## 4.- La recherche des variables clés par la méthode MICMAC

Après avoir cherché l'exhaustivité dans la liste des variables à prendre en compte, il s'agit maintenant de réduire la complexité du système et de détecter quelles sont les variables clés qu'il faudrait étudier en priorité. L'objet de Micmac est de repérer les variables les plus influentes et les plus dépendantes (les variables clés), en construisant une typologie des variables en classement direct et indirect.

---

relation plusieurs dizaines de variables, c'est-à-dire qu'il y a plusieurs milliers de questions à se poser, ce qui représente plusieurs jours de travail assidu. (Godet, 2007)

<sup>28</sup> Pour remplir une matrice de 70 variables, il faut compter environ trois jours de travail pour un groupe de cinq à dix personnes. Au cours de la première demi-journée, souvent laborieuse, le groupe ne peut guère examiner plus de quatre à cinq variables dans leurs impacts avec l'ensemble du système.

Cette phase sert à identifier les variables clés, essentielle à l'évolution du système étudié. D'abord, grâce à un classement direct, puis grâce à un classement indirect. Ce classement indirect est obtenu après élévation en puissance de la matrice. Il faut souligner que la comparaison de la hiérarchie des variables dans les différents classements (direct, indirect et potentiel) est riche d'enseignement. Cette phase permet de confirmer l'importance de certaines variables, mais aussi de dévoiler des variables qui, du fait de leurs actions indirectes jouent un rôle prépondérant et que le classement direct ne permet pas de déceler. On distingue trois classements: direct, indirect et potentiel suivant la nature des relations prise en compte (Godet, 2007).

- Le classement direct est celui qui résulte du jeu à court et moyen terme des relations; son horizon correspond souvent à moins d'une décennie.
- Le classement indirect intègre des effets en chaîne qui prennent nécessairement du temps et renvoie à un horizon plus éloigné de moyen et long terme (dix-quinze ans).
- Le classement potentiel va plus loin que le classement indirect puisqu'il intègre des relations qui ne verront éventuellement le jour que plus tard et ne se répercuteront sur le système que dans le très long terme. Naturellement, beaucoup des résultats obtenus par ces classements ne font que confirmer des intuitions premières, mais, certains ne manquent pas de surprendre et invitent à une réflexion complémentaire.

#### Classement direct

Le total des liaisons en ligne indique l'importance de l'influence d'une variable sur l'ensemble du système (niveau de motricité directe). Le total en colonne indique le degré de dépendance d'une variable (niveau de dépendance directe).

#### Classement indirect

On décèle les variables cachées, grâce à un programme de multiplication matricielle appliquée à un classement indirect. Le classement devient stable en général à partir d'une multiplication d'ordres 3, 4 ou 5.

#### Classement direct potentiel

C'est un classement direct qui tient compte des relations potentielles (c'est-à-dire inexistantes aujourd'hui mais que l'évolution du système rend probables ou tout au moins possibles dans un avenir plus ou moins lointain).

## Classement indirect potentiel

C'est un classement indirect qui tient compte des relations potentielles. La comparaison des résultats (classement direct, indirect et potentiel) permet bien sûr de confirmer l'importance de certaines variables, mais également de dévoiler certaines variables qui, du fait de leurs actions indirectes, jouent un rôle prépondérant (et que le classement direct ne permettait pas de déceler). La comparaison de la hiérarchie des variables, dans les différents classements est alors riche d'enseignements.

### 4.1.-Classement des critères

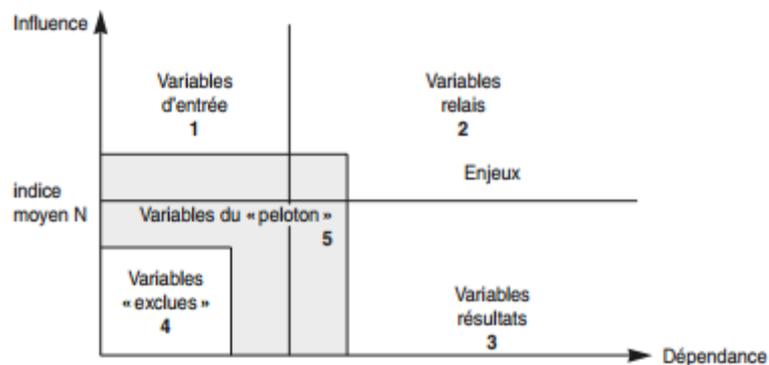


Figure 76: classement des critères. Source: (Godet M, 2007).

#### 4.1.1.- Interprétation des variables

- D'entrée (secteur 1) : les variables sont très influentes et peu dépendantes. Explicatives, elles conditionnent le reste du système.
- Relais (secteur 2) : les variables sont à la fois très influentes et très dépendantes. Par nature instables, elles sont un terrain d'action de première importance, puisque toute action sur elles, auront des répercussions sur les autres, ainsi qu'une rétroaction sur elles-mêmes. C'est dans ce secteur que se trouvent le plus souvent les enjeux du système.
- Résultats (secteur 3) : sont peu influents et très dépendants. Leur évolution s'explique par leurs relations avec les variables d'entrée (secteur 1) et relais (secteur 2).
- Exclues (secteur 4) : sont peu influentes et peu dépendantes. On trouve là des tendances lourdes, sur lesquelles les acteurs n'ont habituellement que peu de prise,

et des facteurs autonomes. Il arrive que l'on puisse agir sur ces variables, mais sans grandes répercussions sur le reste du système<sup>29</sup>.

- Peloton (secteur 5) : les variables sont moyennement influentes et dépendantes. On ne peut rien en dire a priori.

Les critères « moteurs » ont une forte valeur en ordonnées Ce sont des variables dont dépendent de nombreuses autres. Les critères « résultats » sont fortement dépendants des critères « moteurs ». Ils résultent de l'influence d'un critère moteur et d'un critère enjeu. Les critères enjeux sont à la fois moteurs pour certains critères résultats et résultats pour certains critères moteurs. Ce sont sur ces critères et enjeux qu'il est nécessaire d'agir pour modifier les comportements des critères moteurs et des résultats. Selon (Mengual, 2008), ce sont des critères intermédiaires caractérisés par un fonctionnement de type «causes entraînant des conséquences ». Enfin, les critères exclus sont des éléments mineurs du système. La comparaison des classements (directs, indirects et potentiels), permet non seulement de confirmer certaines variables, mais également de découvrir que d'autres variables que l'on pensait peu importantes, joue un rôle prépondérant du fait des actions indirectes.

### **5.- Utilité et limite de l'analyse structurelle**

L'intérêt premier d'une telle analyse est de stimuler la réflexion au sein du groupe et de faire réfléchir à des aspects 'contre-intuitifs' du comportement d'un système. Il est clair qu'il n'y a pas de lecture unique et "officielle" des résultats de Micmac, et qu'il convient au groupe de faire avancer la réflexion avec de nouvelles interprétations.. La méthode d'analyse structurelle par l'approche Micmac, a pour objectif de mettre en évidence des variables clés, cachées, ou non, de se poser les bonnes questions. Elle vise à aider les groupes de réflexion prospective, et non à prendre leur place ; elle ne décrit pas avec précision le fonctionnement du système, mais plutôt met en évidence les grands traits de son organisation. Il convient alors d'utiliser les résultats de cette analyse structurelle, tout en gardant à l'esprit les limites de l'analyse :

- La première limite provient du caractère subjectif de la liste de variables ; le nombre de variables ne peut excéder quelques dizaines de variables ; cela conduit à

---

<sup>29</sup> Ces variables constituent des facteurs relativement déconnectés du système avec lequel elles n'ont que peu de liaisons, en raison de leur développement relativement autonome ; elles ne constituent pas des déterminants de l'avenir. Aussi, on pourra même les exclure de l'analyse (Godet, 2007).

regrouper des sous variables ayant trait à une même dimension. C'est à la fois un avantage et un inconvénient.

- La seconde limite est liée au caractère subjectif du remplissage de la matrice (notation des relations). Certes l'analyse structurelle est un outil de structuration des idées et de réflexion systémique sur un problème, elle joue le rôle d'une matrice de découvert, mais elle ne représente jamais une réalité mais plutôt un moyen de la regarder comme une photographie. L'analyse structurelle montre une part de réalité, mais révèle aussi le talent du photographe et la qualité de son équipement (Godet, 2007).

## **6.-la vulnérabilité concept fondamentale d'évaluation des risques naturels**

Selon Leone et Vinet. (2006), l'évaluation des risques implique de prendre en considération à la fois les aléas, les enjeux mais aussi leur vulnérabilité. Il apparaît que la vulnérabilité peut-être évaluée de manière quantitative ou qualitative ; soit à travers la sensibilité à l'endommagement, soit à travers la caractérisation de l'endommagement, ou bien à travers la capacité de réponse à l'endommagement (cette dernière passe généralement par l'analyse de l'efficacité des actions et moyens mis en œuvre pour réduire les endommagements, en intégrant à la fois les facteurs aggravant et ceux limitant la vulnérabilité).

Selon Férec et al. (2013). La vulnérabilité d'un territoire littoral désigne au sens général du terme, l'exposition à un aléa (la submersion marine). Elle résulte de la combinaison d'aléas, d'enjeux qui y sont exposés, des pratiques de gestion mises en œuvre (ou non) pour prévenir et traiter les risques ainsi produits, ainsi que les représentations que s'en font les usagers et les gestionnaires des sites concernés.

D'après Ferc et al. (2020), la vulnérabilité exprime la fragilité d'un territoire dans son ensemble. La vulnérabilité en tant que système résulte ainsi de la combinaison de quatre composantes interdépendantes voir (figure 77); (1) les aléas susceptibles d'endommager ou de détruire les enjeux, (2) les enjeux qui sont exposés regroupent (les personnes, les biens et les activités qu'abrite un territoire). Ces deux composantes permettent de définir le risque, mais sont insuffisantes pour évaluer la vulnérabilité d'un territoire. Pour cela deux autres composantes doivent être prise en compte, à savoir (3) la gestion du risque, qui regroupe les politiques publiques de protection, de prévention, de gestion de crise et leur application par les acteurs de la gouvernance sur le terrain, et enfin

en (4) les représentations, rendent compte de la relation au risque des populations présentes sur le territoire concerné.

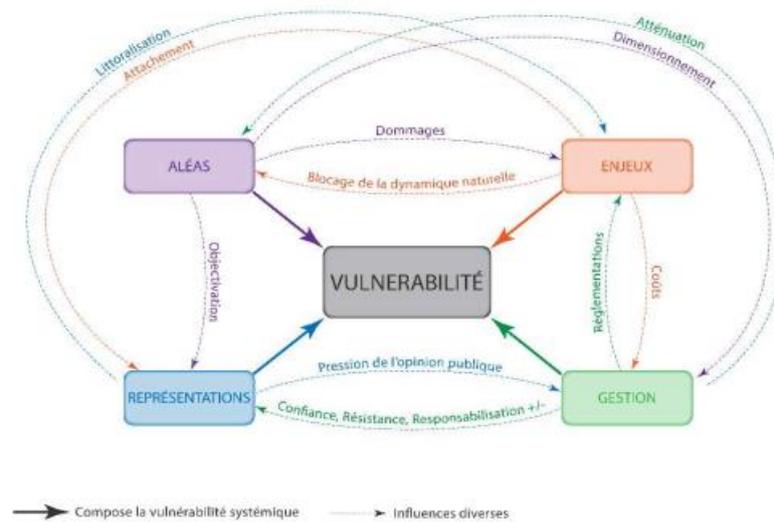


Figure 77: la vulnérabilité systémique à un moment T. source Meur-Ferec et al., 2020, adapté de Meur-Ferec et al., 2008

Ces quatre composantes se combinent pour constituer la vulnérabilité systémique d'un territoire à un moment T ; il est possible d'entrer dans le système par n'importe quelle composante, l'important étant d'étudier les quatre et de tenir compte de leurs apports respectifs à la constitution de la vulnérabilité.

La vulnérabilité systémique implique une approche intersectorielle, liant milieux académiques et professionnels, elle requiert également l'ouverture de la recherche à la sphère des praticiens, gestionnaires des territoires et permet une double finalité de recherche et de gestion. Les gestionnaires du risque (service de l'état, élus services techniques des collectivités territoriales, etc.) sont à la fois pourvoyeurs de connaissances alimentant les composantes de la vulnérabilité, mais aussi utilisateurs des résultats de l'analyse systémique. L'ambition de cette approche intégrée est d'éclairer les décisions politiques pour agir sur la vulnérabilité d'un territoire en définissant, par exemple, des priorités d'intervention pour le court et moyen terme, et des choix pour une gestion stratégique et durable des territoires côtiers.

L'approche par la vulnérabilité systémique implique donc une analyse multicritère. Elle permet aussi de déconstruire la vulnérabilité systémique d'un territoire et de pointer, les composantes contribuant le plus à la vulnérabilité globale. Selon les territoires (Ferec et al., 2020).

Selon Reghezza. (2006), la réduction de la vulnérabilité est une priorité pour les gestionnaires. Trois ensembles de solutions apparaissent ; (1) réduire le potentiel de dommage en agissant sur l'aléa (cette solution est la plus fréquente, elle fait appel à des infrastructures et de techniques de plus en plus complexe et audacieuse) ; (2) réduire l'exposition dans un premier temps grâce à des infrastructures techniques, mais aussi grâce à des politiques d'aménagement ou de réaménagement territorial, dans un second temps par le moyen de mesures ponctuelles ou plus globales qui concerne à la fois l'existant et l'avenir (surélévation des bâtiments, digues, zonages, etc.) ; (3) enfin augmenter la capacité de résistance physique et la capacité de la société à faire face connu chez les anglo-saxons par « *capacity building* », la réduction de la vulnérabilité repose alors sur l'élaboration de norme constructives et des politiques de renforcement des bâtiments, la consolidation des infrastructures critiques, l'amélioration de la transférabilité des réseaux, etc. En ce qui concerne les populations, on cherche à instaurer une culture du risque et à modifier les comportements en cas de crise, enfin l'action se concentre également sur l'amélioration des politiques de gestion de crise, des systèmes d'alertes et de prévention.

### **6.1.-Les modèles « pratiques » de vulnérabilité**

Les modèles suivants ont été réalisés pour répondre aux préoccupations des politiques publiques et des acteurs économiques. La mise en évidence des vulnérabilités de chaque enjeu d'étude aide à proposer des leviers d'action à partir desquels il est possible de réduire la vulnérabilité (Aviotti, 2011).

#### **6.1.1.- Modèle de vulnérabilité de la métropole Parisienne**

L'approche analytique utilisée par Reghezza. (2006) met en évidence les vulnérabilités des enjeux constitutifs de la métropole parisienne face à l'inondation. En se réappropriant la démarche de (GLEYZE, 2005), Regheza dégage ainsi trois types de vulnérabilités découlant de la succession des dommages occasionnés par l'impact de l'aléa sur l'enjeu d'étude. Cet « effet domino » est conditionné par un agent perturbateur : l'aléa. Ce dernier impact l'enjeu qui est exposé et provoque des dommages matériels qui dégradent la structure de l'enjeu et conduisent aux dommages structurels (figure 78).

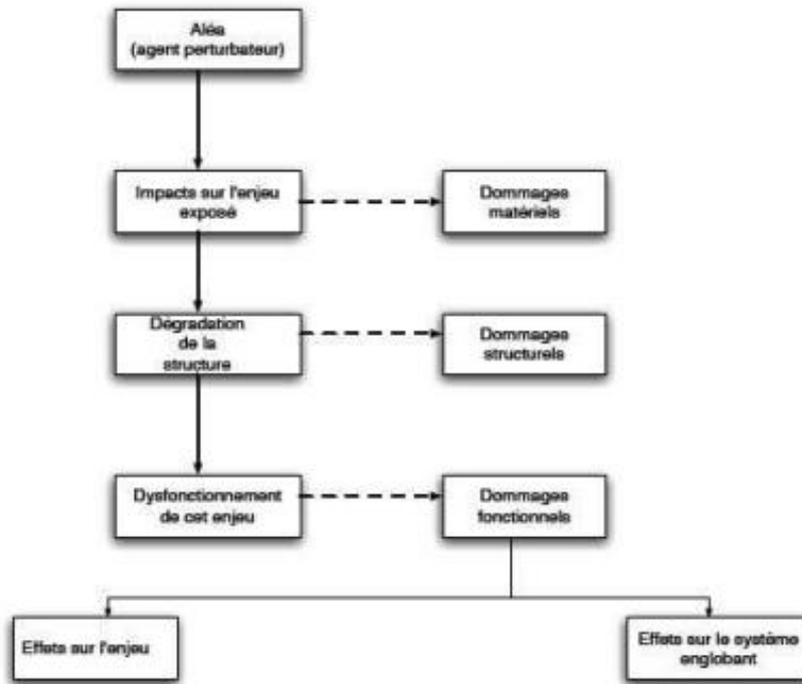


Figure 78: Dommages matériels, structurels, fonctionnels. Source : (REGHEZZA, 2006).

La combinaison des dommages matériels et structurels conduit au dysfonctionnement de l'enjeu et aux dommages fonctionnels qui eux-mêmes ont des effets sur l'environnement de l'objet d'étude.

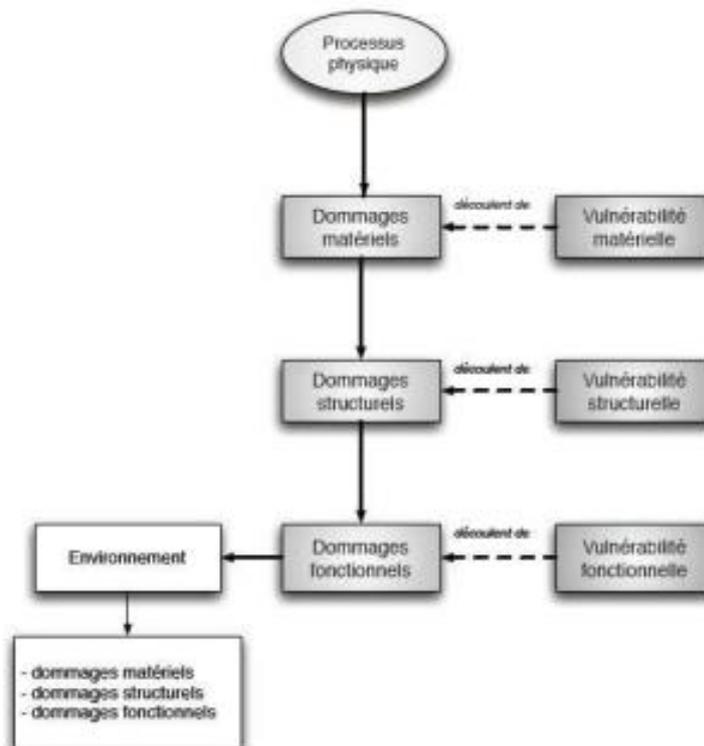


Figure 79: Vulnérabilité matérielle, fonctionnelle et organisationnelle. Source : REGHEZZA, 2006).

### **6.1.2.- Modèle de vulnérabilité des Etablissements Recevant du Public (ERP)**

Fondée sur une approche semi-quantitative, l'évaluation de la vulnérabilité des ERP (Chauviteau et Vinet 2006) a pour objectif de cibler les établissements les plus sensibles à l'inondation pour lesquels des solutions de mitigation peuvent être proposées à partir d'une hiérarchisation des priorités. Modulée en fonction des niveaux d'aléa des PPRI, l'appréciation de la vulnérabilité des ERP est réalisée à partir d'une grille d'analyse multicritères. La vulnérabilité est déclinée en quatre axes : la vulnérabilité humaine (fréquentation et perception des utilisateurs), la vulnérabilité structurelle des bâtiments, la vulnérabilité économique et la mise en place ou non de mesures de prévention et de protection.

La ville constitue un ensemble de composants en interactions, pour étudier sa vulnérabilité, elle doit être décomposée en questions ou en variables qui sont susceptibles d'influencer fortement l'avenir du système urbain. À partir de là, une représentation de l'ensemble des vulnérabilités susceptibles d'affecter l'espace urbain face aux risques d'inondations dues à une remontée accélérée du niveau de la mer à permet de lister un ensemble de variables caractérisant la vulnérabilité de l'objet étudié, que nous avons identifié et regroupé sous cinq catégories à savoir ; la vulnérabilité morphologique, structurelles, fonctionnelles, institutionnelles et humaines. La définition de la vulnérabilité retenue dans cette étude est celle proposée par Auly et al. (2012) ; elle désigne, les effets possibles d'un phénomène naturel dangereux (aléa naturel) sur les populations, les biens et l'environnement. Elle est en fonction de la densité des populations, des biens exposés et du degré de dommages possibles lors d'une catastrophe naturelle ; elle dépend aussi de la capacité d'une société à résister à la crise et à retrouver un fonctionnement normal après la catastrophe (résilience).

La question qui nous a aidés à recenser les variables de ce système est : quels sont les facteurs faisant varier la vulnérabilité du système urbain étudié face à l'élévation du niveau de la mer ? La liste des variables a été classé en 5 catégories, cette section a pour objet de lister un ensemble de facteurs et de critères sur lesquels agir pour réduire la vulnérabilité du cas d'étude.

Au gré des modèles développés par Reghezza. (2006) et Chauviteau, C et Vinet, F. (2006), il s'agira dans notre recherche d'identifier les facteurs faisant varier la vulnérabilité de notre cas d'étude face à l'élévation du niveau de la mer en 2030. Pour cela, les

vulnérabilités retenues pour notre recherche sont résumé dans le tableau n°10 : la vulnérabilité morphologique, structurelle ou organisationnelle, fonctionnelle, humaine, et enfin institutionnelle.

Tableau 10: les composantes des cinq types de vulnérabilités urbaines retenus dans notre recherche. Source : auteur sur la base des travaux Reghezza .(2006) et Chauviteau, C et Vinet, F. (2006), Lallaoui. (2014).

Type de vulnérabilité	Composante de la vulnérabilité
Vulnérabilité morphologique	Morphologie côtière et altitude du terrain urbain par rapport au niveau de la mer, pour les inondations par submersion marine.
Vulnérabilité structurelle les enjeux structurelle, qui regroupent tissu urbain, les biens immobiliers et mobiliers, les réseaux	Les infrastructures physiques (bâti, réseaux physiques, ouvrages d'arts, etc.); Dommages structurels affectant le tissu urbain, les biens immobiliers et mobiliers, les réseaux ; La vulnérabilité ou degré d'endommagement prévisible des structures C'est majoritairement le bâti qui est concerné et en particulier au regard des inondations. L'objectif est de déterminer les fragilités techniques des bâtiments ou infrastructures face au risque inondation afin d'en diminuer la vulnérabilité ou celle de leurs occupants en cas de sinistre.
Vulnérabilité fonctionnelle Les enjeux économiques qui concernent les activités commerciales, artisanales, industrielles, agricoles, Touristiques, etc.	Dommages fonctionnels perturbant les activités traditionnelles (coupures de téléphone, de gaz, eau, d'électricité, rupture des réseaux de communication moderne comme internet...) ; les fonctions et activités diverses (économiques, touristiques) supportés par les éléments précédents.-
Vulnérabilité humaine Les enjeux humains, qui regroupent tout ce qui touche à la personne	Les personnes physiques (dommages corporels) En relation directe avec la vulnérabilité structurelle et fonctionnelle: Population exposée (âge, personne handicapée, état de

	santé des personnes...) Culture du risque Information
Vulnérabilité institutionnelle Réaction avant pendant et après la période de crise	Pour les institutions; préparation, prévention et gestion. Dysfonctionnements des services et dérèglements institutionnels liés à la période de crise, développement des TIC. C'est le retour d'expérience avec la capacité de réponse des institutions face à la crise et la mise en place ou non de mesures de prévention et de protection. La vulnérabilité institutionnelle étant un facteur indirect de la vulnérabilité humaine ou sociale.

## 7.- Application de la prospective (Micmac) sur le cas d'étude

En s'appuyant sur les conclusions de la section précédente, l'objet de cette section est de mettre en évidence les différents critères et facteurs susceptibles de faire varier la vulnérabilité de notre objet d'études face à l'aléa élévation du niveau de la mer. Afin de comprendre, d'analyser et mesurer la vulnérabilité d'une PME-PMI il faut rechercher et décrire les critères et les facteurs qui caractérisent, expliquent et font varier la nature des dommages et leur taux d'endommagement (MENGUAL, 2008). Nous appliquons cette démarche à notre cas d'étude.

### 7.1.- Facteurs et critères de vulnérabilité

Cette section a pour objet de lister des facteurs et critères sur lesquels agir pour réduire la vulnérabilité. Vingt et une variables ont été identifiées, réparties selon cinq catégories :

- Vulnérabilité morphologique
  - Vulnérabilité structurelle
  - Vulnérabilité fonctionnelle
  - Vulnérabilité institutionnelle
  - Vulnérabilité humaine
- Facteurs morphologiques : les critères listés ci-dessous, renvois à l'intensité de l'aléa submersion marine, et à la morphologie basse des terrains.

- Facteurs structurels : l'ensemble des critères listés ci-dessous renvois en grande partie à la localisation des constructions (type de construction, matériaux sensibles à l'eau, altitude du plancher, présence de protections, présence de mesures d'évacuation).
- Facteurs fonctionnels : l'ensemble des critères listés ci-dessous renvois en grande partie à la localisation des biens et des équipements importants, ainsi que leur dépendance par rapport aux réseaux divers.
- Facteurs humains : l'ensemble des critères listés ci-dessous caractérisent l'état physique et psychologique des usagers, la vulnérabilité de la population (personnes âgées, enfants et handicapés), et le degré de préparation du particulier.
- Facteurs institutionnels: l'ensemble des critères listés ci-dessous, renvois en grande partie aux mesures de prévention et de gestion des crises (la capacité des institutions à répondre avant pendant et après la crise).

Le tableau n° 11 présenté ci-dessous comporte

- Intitulé long du critère
- Intitulé court du critère
- Thème du critère

Tableau 11: facteurs et critères de la matrice. Source: auteur

N°	INTITULE LONG	INTITULE COURT	THEME
1	intensité de l'aléa submersion	int-aléa	morphologique
2	topographie basse	topo basse	morphologique
3	programme de prévention et de gestion de crise	prév-crise	institutionnel
4	manque d'information et de sensibilisation	infos-sens	institutionnel
5	surveillance et système d'alerte	sys-alerte	institutionnel
6	technique d'information et de communication	TIC	institutionnel
7	réglementation d'occupation du sol en zone inondable	régle-occu	institutionnel
8	planification de l'élévation du niveau de la	plani-SLR	institutionnel

	mer		
9	localisation de fonction urbaine	loc-fon-ur	fonctionnel
10	dépendance aux services extérieurs	réseau	fonctionnel
11	présence de patrimoine naturel important	patri-natu	fonctionnel
12	type constructif des bâtiments	type-cons	structurel
13	surface habitable au même niveau de la côte du terrain	sur-habi	structurel
14	ouvrages de protection des côtes	ouvrage-pr	structurel
15	matériaux de construction sensible à l'eau	mate-sensi	structurel
16	type d'occupation du sol	occup-sol	structurel
17	densité croissante de population	densi popu	structurel
18	présence de mesure d'évacuation	mesu-d'éva	structurel
19	population vulnérable	pop-vul	humain
20	connaissance, conscience et culture du risque	cult -risq	humain
21	degré de préparation du particulier	degré-prép	humain

Un système se présente sous la forme d'un ensemble d'éléments en relation. La structure du système, (le relationnel entre ces éléments) est importante pour comprendre son évolution. L'analyse structurelle poursuit ainsi deux objectifs complémentaires: se doter d'une représentation aussi exhaustive que possible du système étudié, et réduire la complexité du système aux variables essentielles. Il s'agit désormais de hiérarchiser ces variables selon leur degré de motricité et de dépendance au regard de notre problématique : « la vulnérabilité de l'habitat à l'élévation du niveau de la mer ». Pour ce faire, La première partie de cette section a été consacrée à la réalisation d'une matrice permettant de comparer les variables entre elles. L'objet de la deuxième partie consiste à construire un plan « Influence / dépendance ». L'intérêt est de mettre en avant le degré de motricité et d'influence des critères dans notre système. L'élévation du plan à la puissance fait l'objet de la troisième partie de cette section. L'objectif est d'affiner l'extraction de ces critères. La quatrième partie conclue sur un classement de variables clés pour notre problématique.

## 7.2- Réalisation de la matrice Micmac

La matrice MICMAC, recense l'ensemble des critères identifiés précédemment. Ces critères sont listés en ligne et en colonne, puis comparés entre eux (MENGUAL, 2008). La matrice illustrée ci-dessous se lit selon : « le critère a (en ligne) influence -t-il le critère b (en colonne) ? ».

### Remplissage de la matrice

	1 : int-aléa	2 : topo basse	3 : prév-crise	4 : infos-sens	5 : surv-alert	6 : TIC	7 : régle-occu	8 : plani-SLR	9 : loc-fon-ur	10 : réseau	11 : patri-natu	12 : type-cons	13 : surfa-plan	14 : ouvrage-pr	15 : mate-sensi	16 : occup-sol	17 : densi popu	18 : mesu-d'éva	19 : pop-vul	20 : cult -risq	21 : degré-prép
1 : int-aléa	0	3	3	3	3	P	3	0	3	P	3	3	3	P	3	3	3	P	3	3	3
2 : topo basse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 : prév-crise	0	0	0	3	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	3
4 : infos-sens	0	0	3	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	P
5 : surv-alert	0	0	P	3	0	P	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
6 : TIC	0	0	3	P	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	P
7 : régle-occu	P	P	3	3	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	3	0	3	3	3	0
8 : plani-SLR	P	0	3	3	3	P	P	0	P	3	3	0	2	3	0	3	3	0	2	3	3
9 : loc-fon-ur	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
10 : réseau	P	3	3	2	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	1
11 : patri-natu	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 : type-cons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
13 : surfa-plan	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 : ouvrage-pr	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 : mate-sensi	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 : occup-sol	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 : densi popu	3	0	0	0	0	0	P	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 : mesu-d'éva	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	3	P
19 : pop-vul	3	3	3	0	0	3	3	0	0	3	0	3	3	0	0	3	0	0	0	3	3
20 : cult -risq	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	P
21 : degré-prép	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0

© LIPSOR-ERTIA-MICMAC

Les influences vont de 0 à 3, avec la possibilité d'identifier les influences potentielles :

- 0 : Aucune influence
- 1 : Faible
- 2 : Influence modérée
- 3 : Forte influence
- P : Influences potentielles

## 7.3.- Caractéristique de la matrice Micmac

L'expérience semble montrer qu'un bon taux de remplissage de la matrice doit se situer entre 15 % et 25 % suivant la dimension de la matrice. Des taux supérieurs (30 % à 35 %) sont révélateurs d'un remplissage excessif: des relations induites ayant été, à tort,

considérés comme directes (Godet, 2007). Les caractéristiques de notre matrice sont résumées dans le tableau n° 12. Le taux de remplissage de la matrice est de 26,5%.

Tableau 12: caractéristiques de la matrice. Source: auteur

INDICATEUR	VALUE
Taille de la matrice	21
Nombre d'itérations	4
Nombre de zéro	324
Nombre de un	2
Nombre de deux	6
Nombre de trois	83
Nombre de P	26
Total	117
Taux de remplissage	26,53061%

## 8.- Résultats.

### 8.1.- Construction et analyse du plan Influence/Dépendance.

À l'issue de cette analyse, les cumuls en lignes et en colonnes sont effectués puis les valeurs sont reprises pour construire un diagramme « plan Influence / Dépendance ».

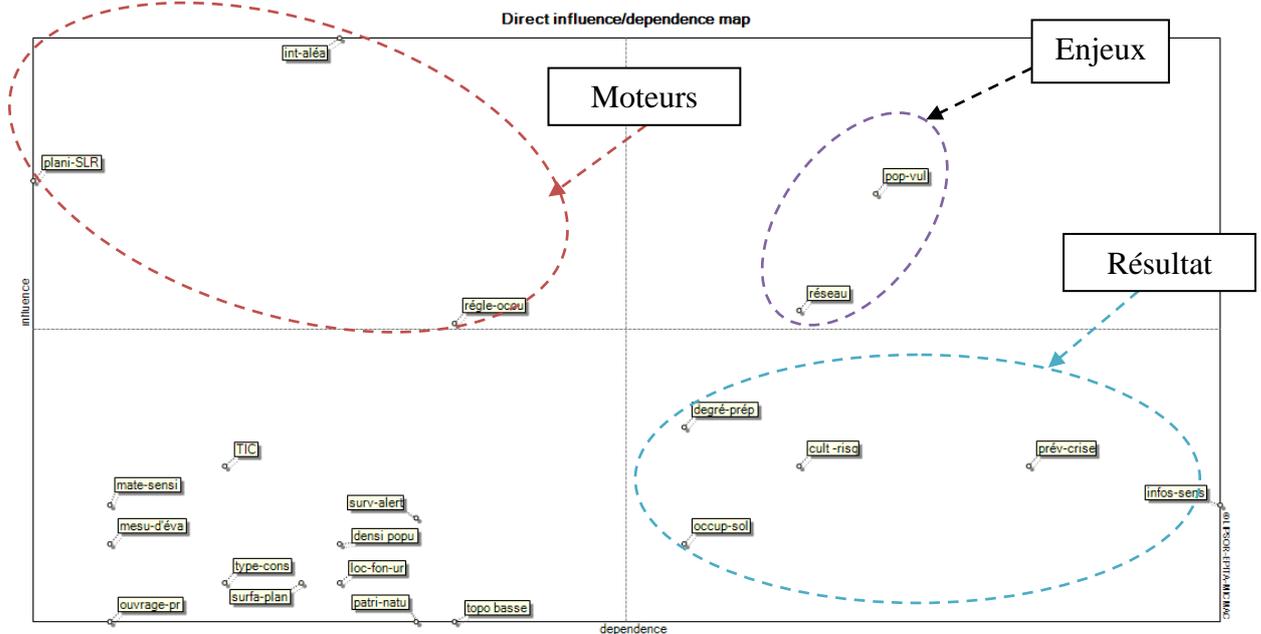


Figure 80: plan d'Influence / Dépendance Directes. / Source : Auteur avec application sur logiciel

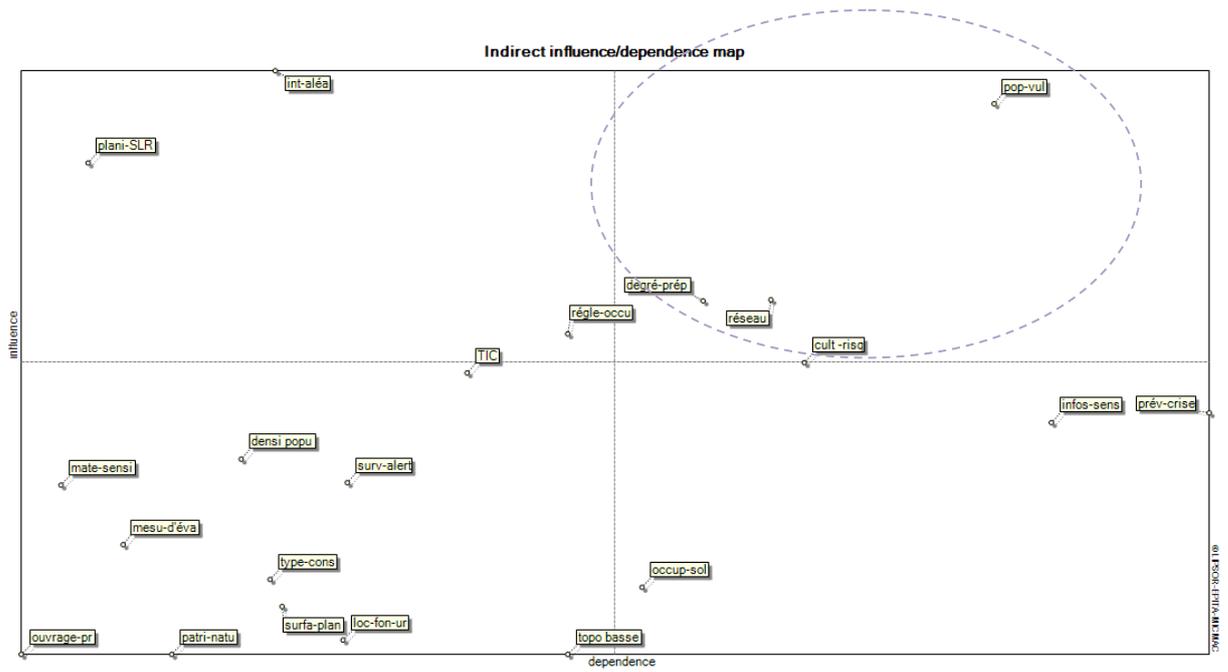


Figure 81: plan d'influence/ Dépendance Indirectes. / Source: Auteur avec application sur logiciel.

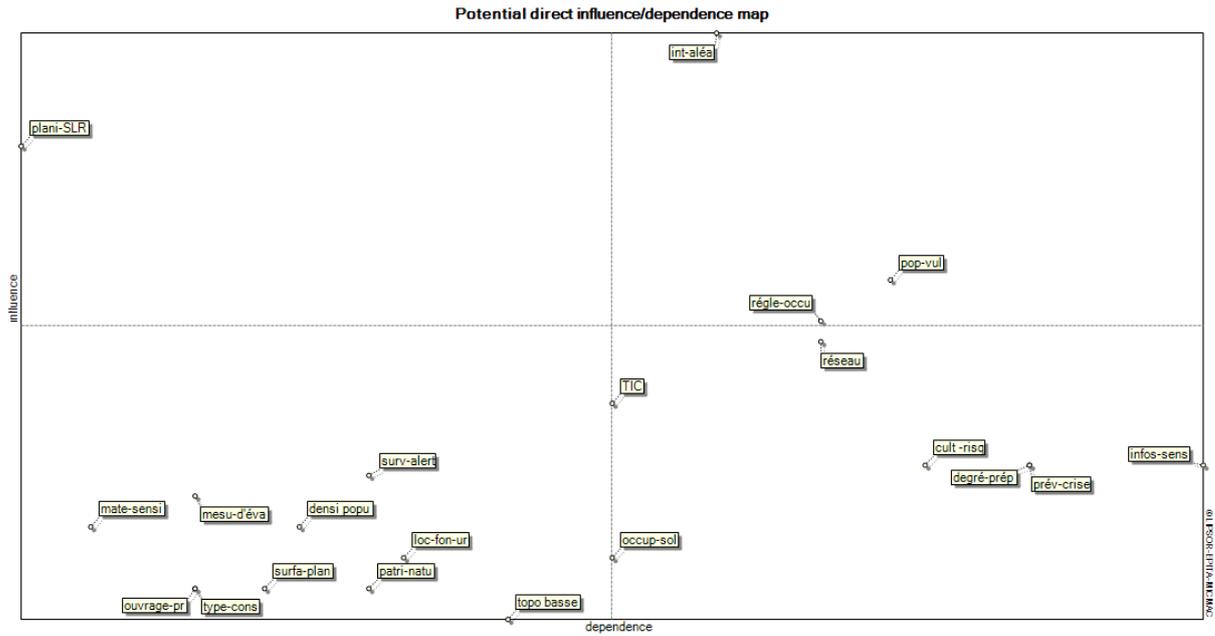


Figure 82: Plan d'Influence / Dépendance directes Potentielles. / Source : Auteur avec application sur le logiciel

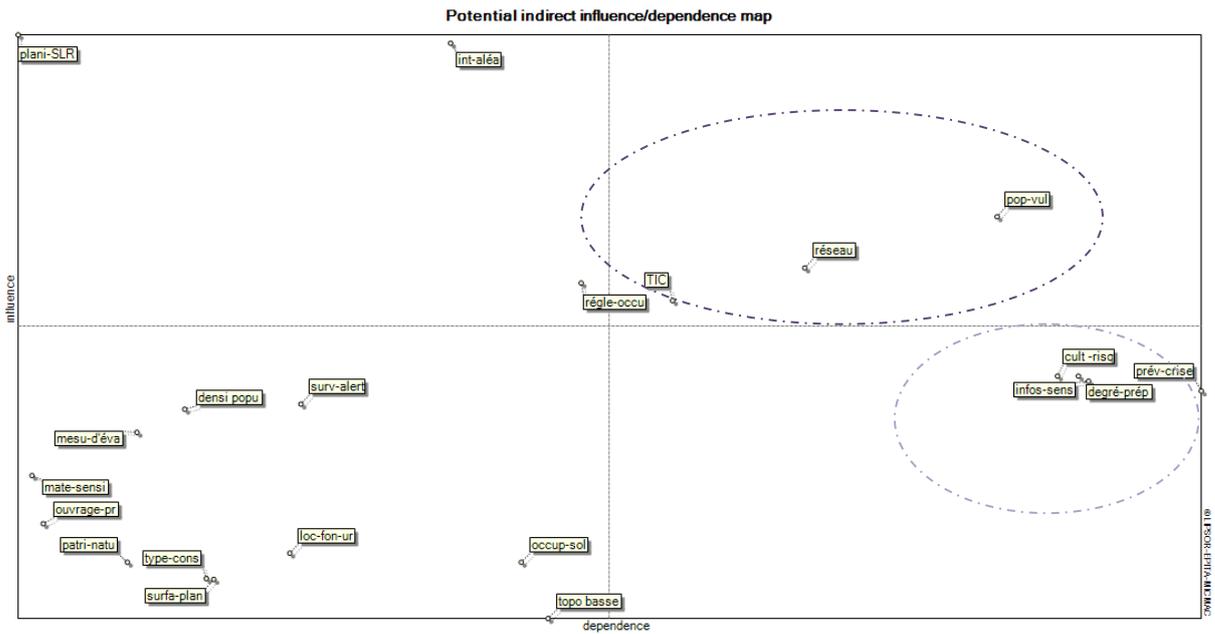


Figure 83: Plan d'Influence / Dépendance Indirectes Potentielles. / Source : Auteur avec application sur le logiciel

## 8.2.- Repérage des relations et interprétation des résultats

Avant d'entamer l'analyse et l'interprétation obtenue, il est nécessaire de comprendre les significations des classements directs, indirects, directs potentiels et indirects potentiels :

- Classement direct des variables : indique le degré d'influence d'une variable sur le système et son degré de dépendance, la lecture est faite sur le graphe et le degré d'influence dépendance est obtenu par la projection de la position de la variable sur le plan cartésien abscisse pour la dépendance et influence sur les côtes. Le point de rencontre entre la ligne de dépendance et la ligne d'influence indique une valeur nulle.
- Classement indirect des variables : l'apport du logiciel MICMAC© et l'intérêt de son usage s'illustre sur ce point. Le classement indirect permet de faire sortir les variables cachées via un programme qui permet d'étudier la diffusion des impacts par les chemins et les boucles de rétroaction entre variables.
- Classement potentiel : C'est un classement direct qui tient compte des relations potentielles (c'est-à-dire inexistantes aujourd'hui mais que l'évolution du système rend probables ou tout au moins possibles dans un avenir plus ou moins lointain).

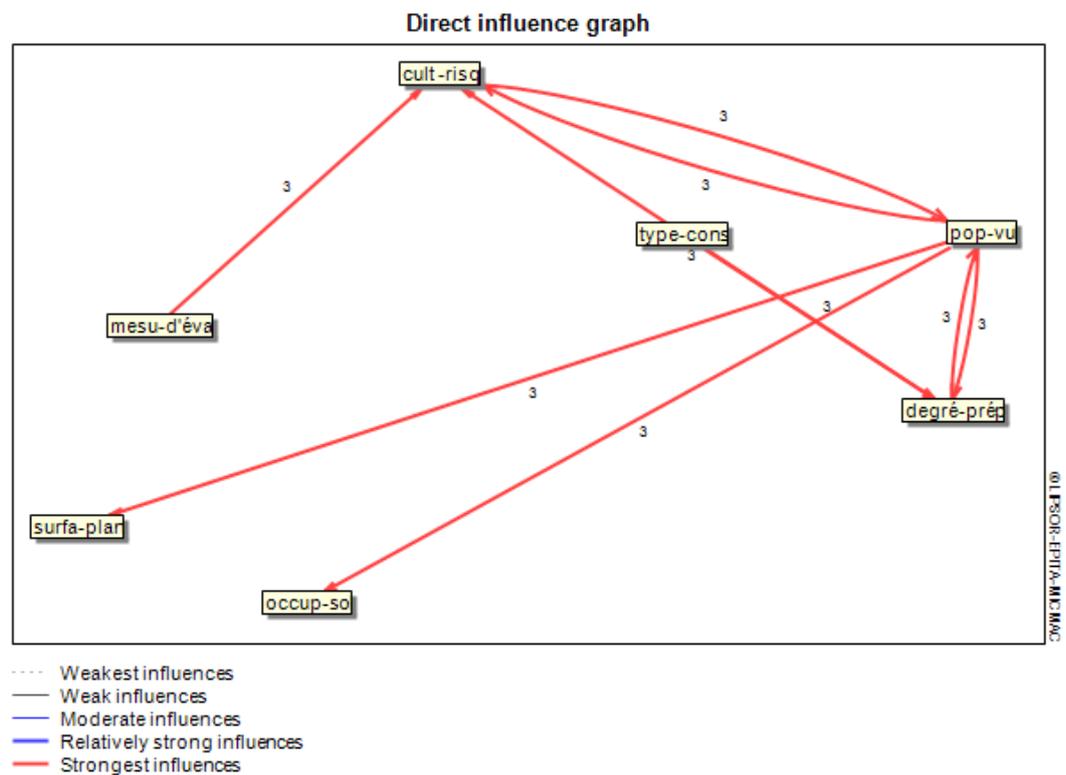


Figure 84: Graphe des influences Directes. / Source : Auteur avec application sur logiciel



### Classement par dépendance

Rank	Variable	Variable	Variable
1	4 - infos-sens	3 - prév-crise	3 - prév-crise
2	3 - prév-crise	4 - infos-sens	4 - infos-sens
3	19 - pop-vul	19 - pop-vul	21 - degré-prép
4	10 - réseau	20 - cult-risq	20 - cult-risq
5	20 - cult-risq	10 - réseau	19 - pop-vul
6	16 - occup-sol	21 - degré-prép	10 - réseau
7	21 - degré-prép	16 - occup-sol	6 - TIC
8	2 - topo basse	2 - topo basse	7 - règle-occu
9	7 - règle-occu	7 - règle-occu	2 - topo basse
10	5 - surv-alert	6 - TIC	16 - occup-sol
11	11 - patri-natu	5 - surv-alert	1 - int-aléa
12	1 - int-aléa	9 - loc-fon-ur	5 - surv-alert
13	9 - loc-fon-ur	13 - surfa-plan	9 - loc-fon-ur
14	17 - densi popu	1 - int-aléa	13 - surfa-plan
15	13 - surfa-plan	12 - type-cons	12 - type-cons
16	6 - TIC	17 - densi popu	17 - densi popu
17	12 - type-cons	11 - patri-natu	18 - mesu-d'éva
18	14 - ouvrage-pr	18 - mesu-d'éva	11 - patri-natu
19	15 - mate-sensi	8 - plani-SLR	14 - ouvrage-pr
20	18 - mesu-d'éva	15 - mate-sensi	15 - mate-sensi
21	8 - plani-SLR	14 - ouvrage-pr	8 - plani-SLR

Figure 86: Classement des variables suivant Matrice d'Influence Directe / Matrice d'Influence Indirecte / Matrice d'Influence Indirecte Potentielle. / Source : Auteur avec application sur logiciel

### 8.3.- Interprétation des résultats

Le classement des critères est fait selon leur importance dans le système et grâce au positionnement des critères par rapport au plan d'influence/dépendance ; il est possible de distinguer quatre types de variables selon Godet et Durance. (2008), que nous avons résumé dans le tableau n° 13.

Tableau 13: les quatre types de variables selon Godet et Durance. (2008)

Classement des critères selon le plan d'influence/dépendance		
Variables moteurs d'entrée  (secteur 1)	Sont très influentes et peu dépendantes. Explicatives, elles conditionnent le reste du système	Planification de l'élévation du niveau de la mer. Intensité de l'aléa élévation du niveau de la mer Règles d'occupation du sol
Variables relais (secteur 2)    Ce sont sur ces critères enjeux qu'il est nécessaire d'agir pour modifier les comportements des critères moteurs et résultats.	Sont à la fois très influentes et très dépendantes. Par nature instables, elles sont un terrain d'action de première importance, puisque toute action sur elles, auront des répercussions sur les autres – ainsi qu'une rétroaction sur elles-mêmes. C'est dans ce secteur que se trouvent le plus souvent les enjeux du système	Population vulnérable Technique d'information et de communication Dépendance vis-à-vis des réseaux
Variables résultats (secteur 3)	Sont peu influents et très dépendantes. Leur évolution s'explique par leurs relations avec les variables d'entrée (secteur 1) et relais (secteur 2)	Degré de préparation de la population Information et sensibilisation de la population Mesures de prévention et de gestion de crise Connaissance, conscience et culture du risque
Variables exclus (secteur 4)	Sont peu influentes et peu dépendantes. On trouve là des tendances lourdes, sur lesquelles	Ouvrage de protection Localisation de fonction urbaine importante

	les acteurs n'ont habituellement que peu de prise, et des facteurs autonomes. Il arrive que l'on puisse agir sur ces variables, mais sans grandes répercussions sur le reste du système	altitude planché au même niveau que la cote du terrain type de construction patrimoine naturel.
--	---	---

#### **8.4.- Les différents types de variable sur le plan d'influence et de dépendance**

Critères moteurs :

La sinistralité de la commune dépend entre autres de l'intensité de l'aléa et de la planification de l'élévation du niveau de la mer, qui sont les premiers facteurs qui influent sur le niveau de vulnérabilité, ainsi que le troisième critère qui est celui de la réglementation de l'occupation des sols en zone inondable. La réglementation de l'occupation des sols en zone inondable par l'application d'un PPRI sur la commune est avérée. En l'absence de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde obligatoires, les dommages globaux peuvent s'avérer considérables.

Critères enjeux :

La sinistralité de la commune dépend de la vulnérabilité des personnes, et du pourcentage de population vulnérable, de l'interruption des réseaux techniques et l'accessibilité aux moyens techniques d'information et de communication (TIC). De plus, l'interruption de service de certains réseaux/routes essentielles perturbe l'intervention des secours. L'isolement des services de secours ou de certains bâtiments stratégiques et sensibles, lorsque ces bâtiments sont inondés ou inaccessibles du fait de l'impraticabilité du réseau routier, aggrave la crise. Les réseaux d'infrastructure critiques(IC) (c'est-à-dire les biens et services physiques, services essentiels à la santé et la sécurité de la société) sont particulièrement vulnérables aux inondations côtières. Lorsqu'une inondation se produit, l'importance de ces systèmes devient évidente : la perturbation d'un seul service d'IC peut rapidement se répercuter en cascade sur des actifs et réseaux connectés. Ces impacts peuvent s'intensifier par effets d'entraînement, subis par les ménages, les entreprises, et d'autres systèmes d'infrastructures essentielles. Comprendre l'impact des inondations côtières sur l'IC, aujourd'hui et à l'avenir, est donc une condition préalable essentielle pour progresser vers des communautés résilientes au climat (Koks et al., 2022).

De même, le dysfonctionnement du réseau de télécommunications peut entraver la diffusion de l'information, et donc l'accessibilité aux moyens techniques d'information et de communication, qui sont indispensables à l'organisation des secours et à la gestion de la crise : annonce, alerte et évacuation.

Critères résultats :

A l'échelle de la commune, « l'information et sensibilisation de la population » sur le risque inondation dépendent du facteur organisationnel, sans diffusion d'informations, il n'y aura ni conscience, ni anticipation et gestion du risque par les particuliers. La connaissance des particuliers sur le risque inondation influence, en partie, l'ampleur des dommages matériels et humains. Si le particulier n'a aucune connaissance ou conscience du risque, aucune évolution positive de son niveau de vulnérabilité n'est envisageable. Sans une connaissance précise des préjudices et de la rentabilité des mesures de protection (et de prévention), il n'y aura pas d'anticipation et l'évènement sera subi par les particuliers. La présence (mesures de prévention et de protection) dépend, entre autres, de la connaissance des particuliers et leur effet agit sur l'ensemble du système étudié notamment sur l'ampleur des dommages et la remise en état de l'espace urbain. Sans planification des actions à réaliser avant, pendant, après une inondation, les particuliers auront plus de difficultés à faire face.

### **9.- Synthèse de l'analyse structurelle**

L'aléa et enjeux, sont deux composantes primordiales qui influencent de façon tout à fait déterminante le diagnostic global de la vulnérabilité. Par exemple, la gestion influence les enjeux en réglementant les constructions dans les zones exposées ; les représentations de la côte comme lieu de vie privilégié influencent les enjeux en accroissant la littoralisation du peuplement ; les aléas influencent la gestion en conditionnant les choix et le dimensionnement des aménagements de protection, etc. L'approche par la vulnérabilité systémique implique donc une analyse multicritère. Elle permet aussi de déconstruire la vulnérabilité systémique d'un territoire et de pointer, par exemple, les composantes contribuant le plus à la vulnérabilité globale. Selon les territoires, il peut s'agir de fort aléas (fort recul du trait de côte, zones basses exposées, etc.), d'une concentration élevée d'enjeux sur la frange côtière (habitations, installations conchylicoles, etc.), d'une faible prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme, ou (et) encore de l'absence d'intérêt des habitants, etc (Ferc et al., 220).

L'analyse a permis de mettre en évidence les critères majeurs susceptibles de faire varier la vulnérabilité de notre système face à l'élévation du niveau de la mer. En résumé, les critères moteurs, enjeux et résultat sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 14: classement des critères selon leur importance dans le système.

Classement des critères	
Critères moteurs	
Planification de l'élévation du niveau de la mer. Intensité de l'aléa élévation du niveau de la mer Règles d'occupation du sol	
Critères enjeux	Se sont sur ces critères enjeux qu'il est nécessaire d'agir pour modifier les comportements, entraînant des conséquences
Population vulnérable Technique d'information et de communication Dépendance vis-à-vis des réseaux	
Critères résultats	
Degré de préparation de la population Information et sensibilisation de la population Mesures de prévention et de gestion de crise Connaissance, conscience et culture du risque	

### Critères moteurs

La planification de l'élévation du niveau de la mer conduit non seulement à prévoir les scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale, locale et régionale pour différents horizons, mais également de prévoir l'intensité de l'aléa sur la côte étudiée, à travers l'utilisation de méthode de calcul afin de déterminer la surcote. La planification du SLR conditionne la cartographie des terres inondables, et ainsi, l'élaboration de stratégie d'adaptations pour atténuer les impacts négatifs sur la communauté côtière, autrement dit, en l'absence de toute planification du SLR, la vulnérabilité du système étudié sera plus élevée. La planification du SLR est primordiale afin d'être informé sur le risque d'inondation, pour mieux l'anticiper et le gérer.

La réglementation de l'occupation des sols en zone inondable par l'approbation d'un PPRI, conduit non seulement à contrôler les permis de construire mais également à prescrire des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde. Le PPRI conditionne l'information préventive et l'organisation des secours, autrement dit, en l'absence de tout PPRI, les particuliers sont plus vulnérables.

#### Critères enjeux

La vulnérabilité de la commune, dépend du pourcentage de population vulnérable. Ce dernier est un des critères enjeux à considérer avec plus particulièrement d'intérêt. L'incapacité de la population (âgée, handicapés, et enfants) à se déplacer conduit à augmenter la vulnérabilité de la commune face à l'aléa inondation due à l'élévation du niveau de la mer. Selon Aviotti. (2011), les enfants, les personnes âgées et les handicapés sont le plus souvent les victimes des inondations en témoignent les retours d'expérience d'évènements passés. Ces personnes ont également plus de difficulté à anticiper et faire face à l'évènement.

La remise en état des réseaux est fortement dépendante du système et agit sur les vulnérabilités fonctionnelles et organisationnelles. Les besoins fondamentaux des particuliers sont fortement dépendants de la remise en état des réseaux d'alimentation extérieure et ce dans les plus brefs délais afin de ne pas retarder l'éventuelle réintégration de l'habitat. Cette situation souligne une forte dépendance vis-à-vis des services extérieurs.

Les techniques d'information et de communications (TIC) viendront améliorer la résilience urbaine de la ville dans un objectif de développement durable et d'absorption des urgences. La robustesse du réseau internet face aux conséquences d'une catastrophe, permet aux outils de communications numériques se basant sur ce réseau, d'assurer une forme de permanence de fonctionnement urbain (Richerd, 2016). Les technologies numériques jouent un rôle clé dans chaque phase de la gestion des risques majeurs et participent ainsi à la continuité de la vie urbaine face à une crise. L'orchestration de la continuité d'activité des villes se rattache à une connaissance quasi-temps réel des événements pouvant perturber son fonctionnement ; ceci est afin d'anticiper les conséquences d'une catastrophe et y pallier à l'avance. Par conséquent, les TIC, sont aux cœurs des stratégies de réponse aux risques majeurs (Ibid, 2016).

## Critères résultats

L'ampleur d'une crise dépend de la perception de la population face à cet événement. Le critère de la « connaissance du risque par la population » est incontestable. Si le particulier n'a aucune connaissance ou conscience du risque, aucune évolution positive de son niveau de vulnérabilité n'est envisageable. Sans une connaissance précise des préjudices et de la rentabilité des mesures de protection (et de prévention), il n'y aura pas d'anticipation et l'évènement sera subi par les particuliers. Cependant cette connaissance doit être complétée et soutenue par les moyens d'information et de sensibilisation de la population car sans diffusion d'informations, il n'y aura ni conscience, ni anticipation et gestion du risque par les particuliers. Le degré de préparation des particuliers dépend entre autre de la connaissance des particuliers sur le risque d'inondation. Sans planification des actions à réaliser, pendant et après une inondation, les particuliers auront plus de difficulté à faire face à l'adversité.

Cette prise en charge doit également s'accompagner d'une information claire et précise sur les moyens d'alerte mis en place par les autorités, les mesures de prévention et les consignes de sécurité à suivre. Le besoin de communiquer sur le risque afin d'informer et sensibiliser les particuliers sur les dommages potentiels est nécessaire pour développer et entretenir une véritable conscience du risque et mieux anticiper les actions à venir avant, pendant et après un sinistre (Aviotti, 2011).

## **CHAPITRE 6 : STRATEGIE D'ADAPTATION DES VILLE COTIERE FACE LA MONTEE DES EAUX**

### **1.- Introduction**

Les friches portuaires sont nées principalement de la relocalisation des activités portuaires liées au développement du conteneur à partir des années 80. Elles constituaient une opportunité pour la ville connue sous le nom du phénomène « reconquête des friches portuaires ». Aujourd'hui et après des années de l'apparition de ce phénomène, le questionnement sur le devenir des friches portuaires est toujours d'actualité. Même si le développement du port à l'extérieur de la ville est encore une réalité dans de nombreuses villes portuaires, on assiste de nos jours à la naissance progressive d'un nouveau vocabulaire et de nouvelles stratégies, non pas uniquement la reconquête urbaine des espaces portuaires délaissés juste pour embellir et moderniser le front de mer, mais aussi comme une portion d'un territoire propice pour le déploiement de stratégie de résilience afin d'anticiper les impacts du changement climatique et protéger les villes côtières contre la montée du niveau de la mer (AIVP, 2021).

Les villes portuaires ont été initialement implantées dans des emplacements stratégiques sans tenir compte de la problématique environnementale. Les études sur le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer ont mis en évidence la vulnérabilité des zones côtières et de nombreuses villes portuaires du monde entier (Ibid, 2021). Face aux défis globaux et aux enjeux locaux, l'heure est dès lors à proposer aux décideurs et aux acteurs du territoire ville/port un outil d'aide à la décision face aux multiples défis aux quelles l'interface ville/port devra répondre d'ici les années à venir.

Les exemples qui suivent ne prétendent pas à l'exhaustivité, mais ils se veulent comme source d'inspiration pour répondre aux défis locaux auxquelles l'interface ville/port d'Alger devra faire face, notamment l'aléa élévation du niveau de la mer. La reconversion portuaire d'Alger devrait être considérée comme un territoire propice pour le déploiement de stratégie de résilience s'inspirant des fonctionnalités de la nature.

En se basant sur les travaux les plus récents, le changement climatique en cours entraîne une montée inéluctable du niveau de la mer. Selon Labyrie (2015), elle pourrait d'ici un siècle dépasser 3 à 5 mètres. La hauteur atteinte et la vitesse de la montée dépendront de la rapidité avec laquelle l'homme réagira aux conséquences inconsidérées de son usage des énergies fossiles et de la façon dont il réaménagera les terres émergées.

Les effets de la montée de la mer seront d'autant plus graves d'ici les décennies à venir, tout le monde en subira les effets, mais les plus pauvres en souffriront le plus, d'autant plus qu'une grande partie de la population humaine est directement dépendante de la proximité de la mer, que ce soit pour son habitat, son travail, sa nourriture ou ses loisirs. Les conséquences seront plus limitées si la montée des océans est considérée dès maintenant comme un défi important pour nos sociétés, défi requérant toute notre attention et nos capacités. C'est le choix de réagir dès à présent pour planifier investissements et actions, plutôt qu'attendre les catastrophes humaines et économiques, où bien les déplacements de population et tous les effets dérivés, qui coûteront dans l'urgence beaucoup plus cher à nos sociétés.

C'est bien évidemment grâce à l'avancée des recherches scientifiques des dernières dizaines d'années que ces phénomènes ont pu être étudiés. Pendant cette période, les connaissances sur l'amplitude des changements passés du niveau de la mer, leurs causes, leurs conséquences et leurs modélisations ont grandement progressé notamment grâce aux travaux du GIEC. Cela rend possible une appréciation raisonnable de l'évolution probable dans le futur, et de ses conséquences sur l'ensemble de la population du globe.

L'objectif de ce chapitre est de faire le tour de la question en listant quelques mesures d'adaptation aux conséquences inévitables du changement climatique face à l'aléa submersion marine à l'échelle internationale, et enfin aller vers une proposition de mesure d'adaptation du littoral algérois.

## **2.- Problématiques des villes côtières**

Il est établi aujourd'hui à travers les travaux du GIEC (chapitre 1) que le réchauffement global que l'on observe est dû à une augmentation accélérée de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par les activités humaines depuis le début de l'ère industrielle environ + de 40% depuis 1975. Il est attendu que les aléas naturels directement liés aux variables (précipitations, températures, élévation du niveau de la mer, vagues) s'intensifient dans le futur et évoluent d'une manière considérable et sensible. Face au constat de la réalité du changement climatique et de ses impacts attendus sur nos villes côtières des mesures d'adaptation doivent être anticipés (Garcin et al., 2018).

Cela signifie aussi que les zones côtières, où la pression démographique est également plus forte, seront encore plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes, Ce phénomène peut avoir des conséquences dévastatrices pour les villes portuaires et leurs

infrastructures (Planton et al., 2015), où sont hébergées d'importantes concentrations de population et de richesse.

Les populations côtières du monde entier devront faire face à un déferlement de menaces d'élévation du niveau de la mer, d'intensification des tempêtes et épisodes de précipitations extrêmes, etc. C'est pour cette raison que, l'objectif numéro un des villes/ports devrait être d'anticiper les conséquences du changement climatique sur eux, en prévenant de manière conjointe Ville/port sur les phénomènes de submersion et d'inondation dans l'élaboration des documents de planification stratégique et par une politique foncière adaptée, en favorisant le rétablissement de l'environnement naturel des berges et du littoral afin de ralentir l'effet de l'érosion et l'impact des tempêtes, en mettant en place un système d'alerte précoce afin de réduire les conséquences économiques et humaines dues aux phénomènes climatiques extrêmes, en prenant en compte les autres impacts du changement climatique tels que les conséquences des sécheresses et des températures élevées, et en faisant en sorte que la résilience et la neutralité carbone deviennent une priorité dans la conception et l'exploitation des installations ville et port, etc. (AIVP, 2021).

De plus, il serait judicieux à l'avenir proche d'examiner côte par côte, en fonction de la topographie et des données marégraphiques disponibles, les littoraux et les infrastructures portuaires les plus impactés par l'élévation du niveau de mer, ou bien commencer simplement par l'évaluation des terres où des enjeux importants seront situés à l'exemple de la ville d'Alger qui prévoit plusieurs projets structurants sur son littoral et une augmentation de sa population à l'horizon 2030, comme nous l'avons vu au niveau du (chapitre 3).

## **2.1- Le phénomène de waterfront**

Aujourd'hui et après plus d'un demi-siècle d'expériences de « *Waterfront* », ces dernières ont amplement évolué par rapport aux premières expériences américaines.

Si les objectifs soulignés par les premières générations de reconversions portuaires à l'instar d'Inner Harbor' Baltimore se limiter seulement à recycler le foncier libéré par les emprises portuaires délocalisées, et revitaliser comme l'indique si bien le concept, via un remodelage de la vitrine maritime de la ville (dont l'exemple le plus marquant est les opéras de Sydney), en adoptant des activités axées sur le shopping, les loisirs et les divertissements afin d'assurer l'attractivité urbaine de ces sites et de recentrer la ville qui s'est éloignée de la mer et a perdu son image à cause des retombées négatives du clivage

ville/port vécu. Les expériences les plus récentes de reconversion portuaire incluent de nouveaux objectifs plus respectueux de l'environnement et de nouvelles thématiques plus responsables et visionnaires, dont l'objectif principal est la résilience (Aouissi, 2019).

Les villes portuaires par leurs emplacements géographiques en bord d'eau assument une grande part de responsabilité pour le futur de l'Homme, plus de 80% des grandes villes mondiales sont portuaires, et plus de 60% de la population mondiale vivent à proximité du littoral. Le réchauffement climatique, à présent n'est plus au stade de théories, ses conséquences se font de plus en plus ressentir, les villes littorales sont en premier front face aux aléas des remontées des niveaux de mers et océans, aux risques de tempêtes de grandes magnitude et des inondations.

Face à ce constat, les opérations de reconversions portuaires deviennent des outils pour développer durablement les villes côtières. Ils deviennent des portions avant-gardistes où on intègre les nouvelles expériences urbaines, technologiques ou même l'alibi pour la réception d'un évènement universel ; les jeux olympiques à Barcelone en 1992 et l'exposition universelle à Lisbonne en 1998, etc. Le recours à des architectes de renom pour ces types d'opération est devenu une tradition afin d'apporter des solutions modernes et innovantes, passant par Calatrava à Lisbonne, Fuksas à Marseille, Gehry à Bilbao, ou même plus récemment Bjarke Ingel. Dernièrement, les villes-ports cherchent un compromis entre l'urbain et le portuaire par la préservation du patrimoine portuaire, ainsi que par le billet d'activités 'douces' adaptable avec la ville comme les terminaux de croisières.

### **2.1.1.- Les nouvelles expériences de waterfront**

Les reconversions portuaires récentes se diffusent dans l'espace et évoluent dans le temps. Elles se projettent très loin dans le temps pour un usage futur et adoptent de nouveaux concepts d'écologie, de durabilité et intègrent des concepts contemporains voire futuriste comme les notions de « *Smart-Cities* », « *Dry line* », « *Eco-Cities* ». Elles anticipent aussi les problématiques futures telles que les effets du réchauffement climatique, la croissance démographiques, la protection du patrimoine portuaires, etc. (Aouissi et al., 2017).

Elles se sont montrées comme des opérations charnières pour la montée en gamme des villes portuaires comme en témoignent les exemples des villes de New York et de Boston. En vue des risques que courent les villes littorales à cause du réchauffement climatique, notamment l'élévation du niveau de la mer, les reconversions portuaires

deviennent un moyen de lutte, de protection et de modernisation de la bande côtière de la ville par des stratégies de résilience urbaines.

Même si la reconversion portuaire d'Alger est déjà anticipée par le bureau d'études Arte-Charpentier dans le cadre du PDAU d'Alger à l'horizon (2015-2035) avec le projet des terrasses du port. Cependant ce projet manque cruellement de visibilité, sa proposition date de 2009 (Tahir, 2012) et ne prend pas en considération le calendrier de l'EPAL, pour qui, le port d'Alger restera fonctionnel jusqu'à 2040 suivant le contrat signé avec DP World. Ceci affecte considérablement la faisabilité du réaménagement proposé, et le remet en cause surtout que les objectifs soulignés par ce projet en 2009 ne concordent plus avec le contexte économique du pays qui a évolué d'une manière spectaculaire ces dernières années à cause de la chute des cours de pétrole, cependant ceci n'est pas l'objectif de cette thèse

La proposition actuelle d'Alger montre ses limites d'une rénovation « *bulldozer* ». Ce phénomène a amplement évolué dans le temps, depuis les premières opérations de reconversion portuaire, les réaménagements de types « *tabula rasa* » sont dépassés laissant place à des reconversions portuaire avant-gardistes et plus respectueuse de l'environnement. La proposition faite par Arte-charpentier en 2009, dans le cadre du plan stratégique du PDAU d'Alger (2015-2035) ne prend pas en considération le risque lié à l'élévation du niveau de la mer, exception faite pour quelques aménagements côtiers contre l'érosion côtière au niveau de la Baie d'Alger, notamment l'aménagement des piscines de Bab El Oued. L'interface ville/ port d'Alger devrait donc être considéré comme l'opportunité pour le déploiement de stratégies de résilience urbaines ayant comme objectif d'embellir la vitrine de la ville d'Alger et d'autre part lutter pour que son front de mer subsiste.

La résilience urbaine est intégrée dans les processus de reconversion portuaire et réaménagement de front de mer. Le terme de résilience est un concept pluridisciplinaire emprunté de plusieurs domaines différents tels que science physique, science psychique, génie urbain, géographie, gestion du risque, écologie, génie civile etc. (Serre, 2011).

Malgré la polysémie du concept la résilience peut-être définie comme « *la capacité d'un système à absorber une perturbation et à récupérer des fonctions à la suite de cette perturbation* ». En la transposant sur la ville, la définition peut être ainsi « *c'est la capacité d'une ville à fonctionner alors que certaines composantes du son système urbain sont perturbés, d'autre part c'est la capacité de la ville à se reconstruire retrouver ses fonctions ou les adapter à la suite de cette perturbation* » (Lhomme et al., 2010). Enfin la

résilience est un concept à partir duquel il est possible de minimiser les conséquences de perturbation, et de considérer cette perturbation du système comme une opportunité pour l'aménagement urbain. Le facteur risque doit être pris comme une composante et non une contrainte du développement de la ville, car une perturbation peut créer des opportunités qu'il faut savoir mettre en œuvre. Pour cela le développement de la ville doit avoir reconnu, accepté, et intégré la possibilité de perturbations (Toubin et al., 2012).

### 2.1.2.- Adaptation des villes côtières aux impacts du changement climatiques

Nous allons maintenant nous intéresser à une série d'exemples à l'échelle mondiale pour comprendre les innovations et les solutions techniques utilisées par ces derniers face au risque d'élévation du niveau de la mer afin de mieux orienter le réaménagement de l'interface ville/ mer d'Alger en particulier sa reconversion portuaire. Pour cela plusieurs exemples s'illustrent pour Alger, car ils proposent des solutions innovantes et applicables. L'exemple du « *Dry Line* » de New York et le projet East Boston, ainsi que celui de HafenCity de Hambourg en Allemagne, se présentent comme source d'inspiration pour notre cas d'étude. Les tendances de réaménagement des fronts de mer se dotent de plus en plus de parc de manière à servir « *d'espace tampon* », en freinant l'arrivée de l'eau dans la ville en cas d'inondations à l'image du Brooklyn Bridge Park (figure 87) qui s'étale sur 35 hectares. Son objectif est de céder de l'espace à l'eau avec des aménagements urbains construits sur l'eau, une partie inaccessible freine son arrivée, tandis qu'une partie accessible intègre les fonctions d'aménagement durable (Danticikiane, 2018).



Figure 87: La première phase d'aménagement du Brooklyn Bridge Park. Source: Gras, 2011 In Gras. (2014).

### 2.1.2.1- L'adaptation de la ville de New York

La ville de New York est un symbole de ville résiliente, suite au passage de l'ouragan Sandy en octobre 2012 qualifié par certains comme « *tempête du siècle* » a causé la submersion de plus de 50 % de la ville, environ 53 morts et 19 milliards de dégâts dans l'État de New York. Cette tempête a mis en évidence la vulnérabilité de la ville et lui a permis l'émergence d'un grand nombre d'initiatives citoyennes et politiques (Dantickiane, 2018).

De nombreuses stratégies ont été mises en place dans le but d'améliorer la résilience de la ville de New York face à la submersion marine notamment : les plans du *Special Initiative for Rebuilding and Resiliency*, la publication des *Floods Maps* et le concours d'urbanisme *Rebuild by Design*.

- *Le Special Initiative for Rebuilding and Resiliency*: SIRP s'est mobilisé pour préparer les parties les plus vulnérables de la ville de New York à être plus résilientes à long terme, notamment le sud de Manhattan, le *waterfront* de Brooklyn et du Queens et la côte est de Staten Island, à travers la publication en juin 2013 d'un rapport contenant 250 initiatives urbaines pour cibler le plan d'action sur la résilience des infrastructures et bâtiments de la ville face à la montée des eaux. Quelques initiatives représentatives du rapport :
  - Initiative 2 : mise en place d'une digue polyvalente et multifonctions le long de la rive sud de Manhattan.
  - Initiative 6 : remonter les levées (murs légers de protection) dans les quartiers à basses altitudes contre les inondations à marée haute.
  - Initiative 2 bis : reconstruction et réparation des bâtiments détruits ainsi que la construction de bâtiments plus résilients.
- la publication des *Floods Maps* : la ville de New York a mis en œuvre des cartes de zones inondables (*Floods Maps*) pour la mise à jour et l'adaptation du plan d'urbanisme de la ville et afin d'informer la population sur le risque de submersion de leur logement et développer une culture du risque. Ces cartes sont accessibles sur le net et facilement compréhensibles.
- *Rebuild by Design* : cette troisième stratégie est sous forme de concours pour mettre au point des plans d'aménagement adaptés. Sur 148

participations, les six projets sélectionnés couvrent différente partie de la ville pour un coût d'un milliard de dollars. En alliant pouvoirs publics au privé et la politique aux sciences et techniques. Cette combinaison de stratégies permet de réduire l'action des vagues, retient l'eau, prévient l'érosion et participe à la reconstruction du littoral et propose des solutions alternatives pour un aménagement durable qui agira en cas de submersion. Il s'agira ici d'étudier le projet le plus représentatif qui est le Big U (figure 88.



Plan des projets sélectionnés du concours *Rebuild by Design*

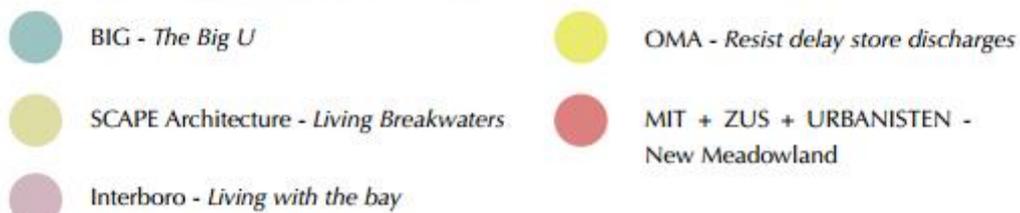


Figure 88: Plan des projets sélectionnés du concours *Rebuild By Design*. Source: Danticikane. (2018).

#### 2.1.2.1.1- Projet the Big U ou the Dry Line de New York

Élaboré par BIG (Bjarke Ingels Group) qui englobe la pointe de Manhattan. Ce projet propose de transformer le littoral en un espace de réception de l'eau en y installant des infrastructures à la fois hybrides, ludiques et attractives (figure 89). En cas d'inondation, ces aménagements joueront le rôle d'un « *mur invisible* » ; il accueillera l'eau et freinera son chemin vers la ville (Dantican, 2018). Le Big U établit un lien fort et

s'oppose aux projets de séparation entre la ville et la mer par des murs, le fondateur de l'agence Big U Bjarke Ingels affirme que les infrastructures de résilience devront être aménagés autrement qu'avec un mur séparant la ville de la mer.



Figure 89: Dry Line de New York. Source: Big U 2015

#### 2.1.2.1.2- Description du projet

Le projet du mur invisible de 16 km de long protège les immeubles et transforme les berges en un espace de vie et de loisir pour les New-Yorkais (Bjarke, 2015). L'innovation de ce projet se trouve dans le respect de l'environnement paysager, la participation au développement économique et dans la création d'espaces dédiés aux habitants.

Le waterfront est traité comme un outil de résilience contre le risque d'inondation, proposant une diversité de programme aux habitants ; ce « caméléon urbain » change d'aspect et de caractère en fonction du quartier qu'il traverse. Cette (berme ondulante) « *bridging berm* » offre une promenade ponctuée de parcs, d'équipements et d'espaces publics reliés par des passerelles et longés par des arbres et plantes résistante au sel (Grannis et al., 2016).

La proposition finale de BIG U recommandait trois projets distincts mais coordonnés, appelés "compartiments". Chaque compartiment recommandait une combinaison de structures murs d'inondations déployables (figure 90) et remblais artificiels

appelés bermes et d'approches naturelles pour réduire les risques d'inondation et ondes de tempête. Il a été envisagé que chacune des composantes de réduction des risques d'inondation serve également à créer des aménagements récréatifs et à améliorer la connectivité avec le front de mer. Certains compartiments prévoyaient également un large déploiement d'approche d'infrastructure verte pour gérer les risques d'inondation pendant les événements de fortes pluies. Chaque compartiment peut être isolé des zones adjacentes et offrirait à la fois une protection contre les inondations et des aménagements adaptés aux besoins sociaux, récréatifs et économiques de chaque quartier. Les trois compartiments indépendants mais reliés entre eux sont les suivants :

- Compartiment 1, de Montgomery à la 23<sup>ème</sup> rue y compris le parc de la rivière Est : la proposition prévoit la construction d'un système de bermes pour assurer la protection de la promenade, des campus de logements publics adjacents et du quartier environnant contre les inondations et les ondes de tempête. La berme servirait également d'espace récréatif. Dans une deuxième section nord adjacente la proposition prévoit des murs en bois déployables sous la promenade surélevée, et aussi un accès public accru au front de mer grâce à des ponts piétonniers dans la section sud. L'équipe de conception a estimé que les coûts de mise en œuvre du compartiment 1 s'élèveraient à 418 millions de dollars.
- Compartiment 2, Two Bridges/Chinatown : le compartiment Two Bridges s'est penché sur la protection d'inondation pour le quartier de Chinatown et la partie sud du *Lower East Side*, où l'espace ouvert entre le front de mer et le développement adjacent est limité. La proposition prévoit la construction de boucliers anti-tempête à usages multiples et de murs de protection anti-tempête déployables fixés sous la promenade pour protéger la communauté, tout en servant de plates-formes récréatives, de bancs et de *skate-parcs* et en assurant une meilleure connectivité du front de mer. Le compartiment irait de Montgomery Street au pont de Brooklyn. Lorsque les murs ne sont pas déployés, la proposition prévoit que ces derniers se rétractent pour offrir un plafond et un éclairage artistiquement décorés à l'East River Esplanade, ainsi qu'un espace de marché potentiel protégé du froid et de la neige pendant l'hiver. Cette zone est actuellement sombre et sous-utilisée, ce qui agit comme une barrière entre la communauté et le front de mer. Ce compartiment du projet permettrait de transformer l'espace et relierait les deux côtés de l'autoroute surélevée.



Figure 90: fonctionnement des murs anti-inondation déployables en temps normal et en inondation. Source: Grannis et al. (2016). Rebuilding with resilience

- Compartiment 3, de la batterie au pont de Brooklyn : offrirait une protection contre les inondations au Financial District, du pont de Brooklyn à la batterie, avec des bermes paysagères surélevées qui créeraient également un espace de loisirs et incluraient des pistes cyclables et piétonnes surélevées. Elle prévoit également la création d'espaces publics au bord de l'eau pour renforcer le tourisme (avec un musée maritime de la batterie, et un musée du changement climatique qui sert également de protection contre les inondations et comprend un « *aquarium inversé* » montrant aux visiteurs les niveaux d'eau et les projections de l'élévation du niveau de la mer dans le port). La proposition demandait également, en termes généraux, des améliorations aux campus de logements publics qui ont été endommagés par l'ouragan Sandy, notamment l'installation d'infrastructures vertes pour gérer les eaux de ruissellement (figure 91), rafraîchir la ville et améliorer la qualité de l'air. Les interventions proposées en matière d'infrastructure verte comprenaient des biodégradations, des jardins de pluie et des plantations dans les rues des campus. En raison des contraintes spécifiques au site en matière de protection contre les inondations dans les zones des deux ponts, la conception a également envisagé des "pieds mouillés", une stratégie d'adaptation à l'eau où le rez-de-chaussée des structures de logement public serait conçu de manière à pouvoir être inondé. La proposition prévoit également l'installation d'une centrale

de cogénération électrique dans les cités de logements publics pour fournir de l'énergie en cas de futures pannes.



Figure 91: Le déploiement d'infrastructures vertes dans l'ensemble des campus de logements publics afin de gérer les eaux pluviales et de réduire les risques d'inondation. Source : Grannis et al. (2016)

Le projet du Dry line est construit d'une façon que tous les éléments qui le compose forment un système qui protège la ville des inondations, sans créer d'obstacle « mur » mais bien au contraire, l'objectif du projet est de faire avec le risque d'inondation tout en proposant des espaces de loisirs et de rencontre aux habitants. La diversité des fonctions qui compose BIG U est très large et ne se limite pas juste à cette liste qui suit :

- D'un système de fermeture des accès d'eau des boutiques lors des inondations.
- Des murs artistiques déployables en cas de risque.
- Une surélévation du paysage isolant le parc du bruit de la voie rapide.
- Un pavillon inondable.
- Une piscine inondable.
- Du mobilier urbain sous forme de bancs géants.
- Une plateforme inclinée.

Les éléments comme les pavillons sont construits d'une manière à se fermer sur eux-mêmes et à briser les vagues en cas d'inondation.

### **2.1.2.1.3- Synthèse partielle**

Le projet BIG U montre comment les villes peuvent incorporer des défenses contre les inondations dans les terrains et les parcs urbains. Tout en améliorant les avantages récréatifs et écologiques offerts par ces espaces. Des bermes et des murs anti-inondations seront intégrés dans les parcs et les emprises, démontrant ainsi comment construire des protections contre les inondations dans des environnements urbains denses où les contraintes du site nécessitent des approches créatives en matière de conception.

Une fois construit, le projet de résilience côtière de l'East Side démontrera comment les communautés peuvent développer des approches de résilience qui à la fois réduisent les risques pendant les tempêtes extrêmes et qui offrent des avantages quotidiens aux résidents qui recherchent des loisirs, un accès à l'eau, des aménagements naturels et des lieux de rencontre.

### **2.1.2.2- Le projet de Boston (Etats- Unis)**

En 2015, la ville de Boston avait déjà organisé un concours d'idée qui se projetait à l'horizon 2100 *Living with water*, et qui partait sur trois sites spécifiques. Selon les projections du rapport *Climate Ready Boston* en 2016, le niveau de la mer progressera de 22,86 cm, ce qui vaut 9 pouces en 2030 par rapport au niveau de la mer en 2000, de 21 pouces en 2050 et de 36 pouces équivalent à 91,44 cm en 2070 (figure 92), pour y faire face la ville a dévoilé en octobre 2017 un plan d'action pour faire face à ce risque dans le but de protéger à court et à long terme les secteurs du *waterfront* les plus menacés, plus précisément le secteur d'East Boston et Chalestown deux secteurs où l'habitat est très présent, donc l'enjeu est d'une énorme importance. Pour ces deux secteurs, l'augmentation de 9 pouces signifierait que le risque actuel de 1% d'inondation chaque année serait multiplié par 4 ou 5 fois.

Ce projet a donné lieu à une large consultation de la communauté : notamment les résidents, les groupes d'intérêts, associations, organismes publics (agences régionales ou nationales, département de la ville, etc.)



Figure 92: Impact potentiel des inondations attendu dans Est Boston, les flèches montrent les points d'entrée de la mer pour le niveau d'inondation en 2030 et en 2070. Source: Rapport final, 2017. Coastal Resilience Solutions For East Boston and Charlestown.

Les stratégies proposées sont des systèmes de protection contre les inondations côtières intégrés à des espaces ouverts. Elles combinent différents éléments dans l'eau, sur le littoral et dans les hautes terres. Parmi les solutions proposées nous avons:

- La création d'espaces publics afin d'augmenter la quantité de surfaces végétalisées et perméables (figure 93). (Les parcs comprennent des éléments souples tels que des jardins d'eau pluviale, des pelouses, des terrains de loisirs et des éléments durs tels que des sièges de style amphithéâtre, qui peuvent servir de protection contre les inondations et d'espaces sociaux, enfin une infrastructure de pompage des eaux pluviales est prévue pour contrôler l'inondation des rues par des pluies extrêmes).
- La surélévation des routes, des parcs au bord de l'eau, places et promenades portuaires permettent non seulement d'atténuer d'autres effets du changement climatique tels que les fortes pluies et la chaleur, mais aussi de bloquer les points d'entrée critiques des inondations en surélevant l'altitude du parc. Ces espaces donnent lieu d'accès à un front de mer requalifié, où sont développées des activités de loisirs, d'éducation et de programmation culturelles.



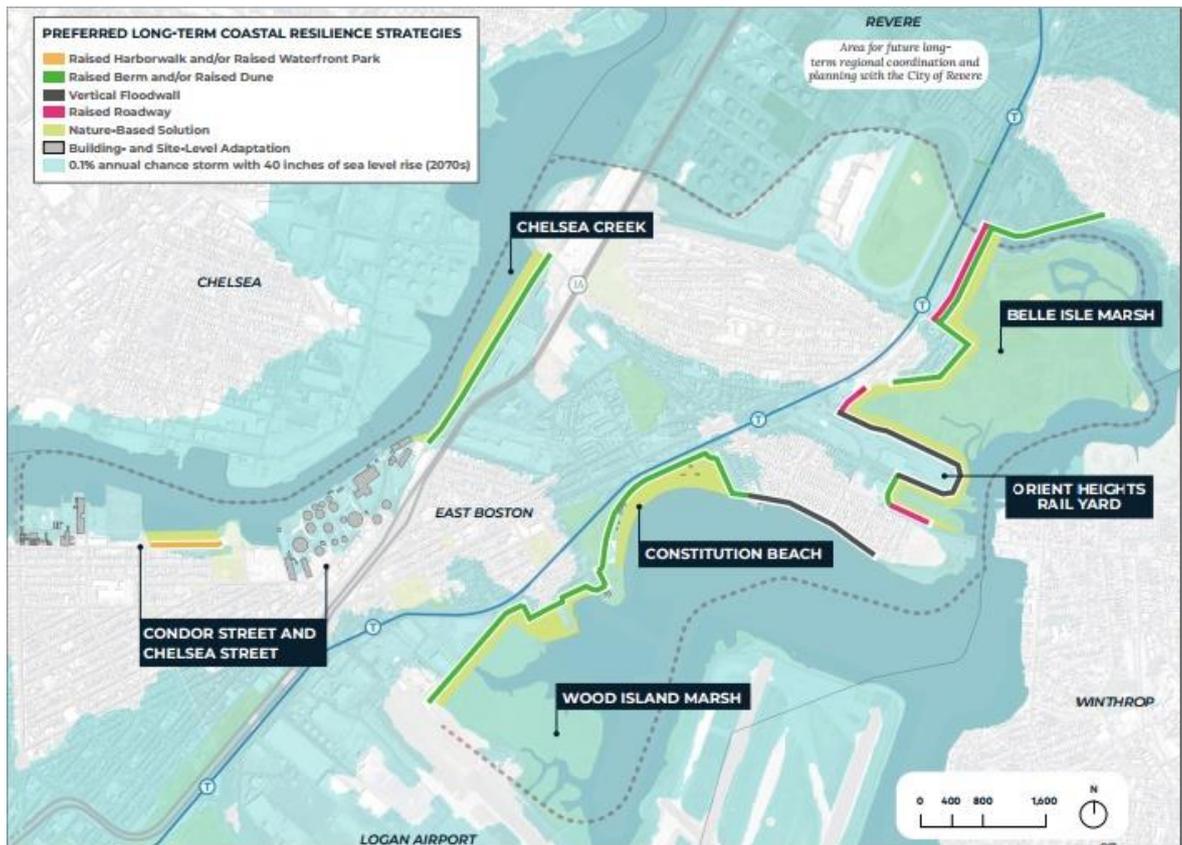


Figure 94: mesures de résilience côtière proposée pour Boston Est. Source: In coastal resilience solutions for east Boston and Charlestown (Phase 2), 2022

1. zone d'intérêt *Bennington Street and Belle Isle Marsh* : les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options à court et à long terme comme ; l'élévation des routes, les bermes, les améliorations des espaces ouverts et des écosystèmes, et les adaptations au niveau des bâtiments et des sites.
2. Chelsea Creek and Route 1 : les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options à court et à long terme comme ; l'élévation et restauration du littoral, élévation des routes, et adaptations au niveau des bâtiments.
3. Constitution Beach : les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options de bermes et de dunes surélevées qui pourraient être intégrées à la plage de constitution, des murs de protection contre les inondations dans les emprises publiques et des adaptations au niveau des bâtiments.
4. Orient Heights Rail Yard : les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options de murs anti-inondations et la restauration autour du périmètre de la gare de triage d'Orient Heights, des routes et des chemins surélevés le long de l'avenue Austin, et des adaptations au niveau des bâtiments.

5. Condor Street and Chelsea Street: les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options pour surélever le littoral le long de la rue condor, créer de nouvelles connexions et des adaptations au niveau des bâtiments et des sites pour les propriétés industrielles riveraines.
6. Wood Island Marsh : les solutions de résilience dans cette zone d'intervention comprennent des options pour l'élévation de la bordure côtière entre l'aéroport international de Logan et le marais de Wood Island.

#### 2.1.2.2.2- Schématisation des mesures adaptées

Les approches de la résilience côtière développées pour la zone d'étude de l'est de Boston s'appuient sur une boîte à outils existante d'options utilisées pour d'autres zones de Boston qui ont été étudiées dans le cadre d'efforts de planification antérieure, notamment le sud de Boston.



Figure 95: Elévation de la promenade portuaire et du parc à gauche et élévation des dunes et bermes à droite. Source: In coastal resilience solutions for east Boston and Charlestown phase 2, 2022

Les parcs et sentiers surélevés au bord de l'eau, comme la promenade portuaire bloquent les voies critiques d'inondation en augmentant l'élévation minimale dans le parc ou le long du sentier pour empêcher l'eau de s'écouler vers l'intérieur des terres (figure 95). Ils offrent également des espaces publics ouverts pour les loisirs, l'éducation et la programmation culturelle, et peuvent intégrer de nouvelles infrastructures pour atténuer d'autres impacts du changement climatique, comme les chaleurs et les précipitations extrêmes.

Les bermes et les dunes sont des monticules de sable ou de matériaux terrestres qui s'étendent le long du littoral et qui s'élèvent et s'abaissent sur une courte distance (figure 96). Elles sont construites lorsque l'espace disponible est suffisamment large pour la base de la berme ou de la dune, mais pas assez pour un parc riverain complet en raison des infrastructures, des bâtiments ou des propriétés privées existants. Dans certains cas, le sommet des bermes ou des dunes peut être suffisamment large pour offrir un accès public au front de mer et le long de celui-ci, créant ainsi des lieux de rassemblement pour les communautés tout en assurant une protection contre les inondations.

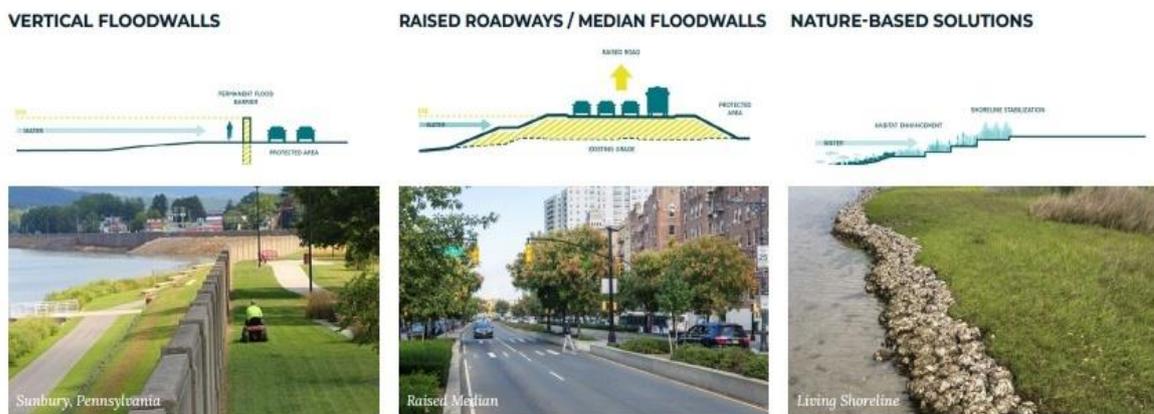


Figure 96: Murs verticaux anti-inondation, élévation des routes, et solutions naturelle (de gauche à droite). Source: In coastal resilience solutions for east Boston and Charlestown phase 2, 2022

Les murs de protection contre les inondations sont des murs spécialement conçus en béton, en planches d'acier ou en d'autres matériaux destinés à protéger les zones intérieures contre les inondations. Ces approches sont généralement utilisées dans des endroits où l'espace est très limité et où d'autres options ne peuvent pas être mises en œuvre en raison des bâtiments existants et d'autres infrastructures proches du littoral dans certains cas, lorsque l'espace est suffisant, les murs de protection contre les inondations peuvent être enterrés ou contenus dans d'autres types d'infrastructures, comme des bermes surélevées ou

des routes. Cela permet d'intégrer le mur dans le paysage et peut lui conférer des fonctions multiples.

L'élévation des routes et des terre-pleins centraux pour la protection contre les inondations au niveau d'inondation prévues. Selon la conception et l'emplacement spécifiques, cette approche peut offrir de multiples avantages, tels que le maintien de l'infrastructure de transport au sec pendant les inondations, le maintien des voies d'évacuation et de l'accès aux services d'urgence, et la protection contre les inondations côtières pour les communautés intérieures.

Les solutions fondées sur la nature font référence à une gamme de solutions qui utilisent des systèmes naturels, ou des caractéristiques qui les imitent, pour réduire les risques d'inondation et fournir d'autres avantages environnementaux et sociaux. Il peut s'agir d'actions visant à restaurer ou à améliorer des écosystèmes existants, tels que des zones humides et des marais salants, ou à installer de nouvelles caractéristiques telles que des parcs en bord de mer et des côtes vivantes. Les solutions fondées sur la nature ne sont pas réalisables ou appropriées dans tous les endroits et doivent souvent être associées à d'autres approches physiques telles que des bermes et des murs afin de fournir le niveau souhaité de protection contre les inondations côtières.

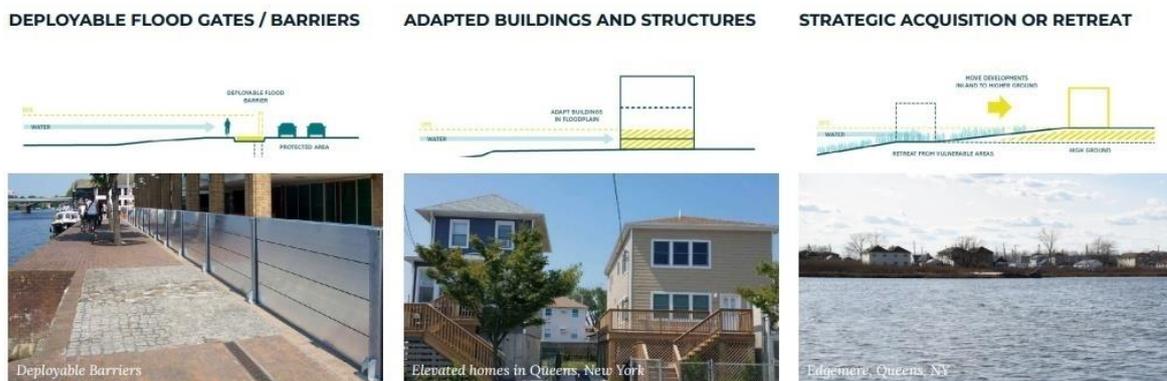


Figure 97: Barrières d'inondation déployables, structures adaptés, retrait stratégique (de gauche à droite). Source: In coastal resilience solutions for east Boston and Charlestown (Phase 2), 2022

Les barrières déployables (figure 97) sont des approches qui servent de murs de protection contre les inondations mais qui doivent être installées en prévision d'une prochaine inondation, soit manuellement, soit à l'aide de commandes automatiques. Ces types d'approches ne sont pas privilégiés parce qu'ils entraînent parfois des défis opérationnels et peuvent être compliqués à exploiter, à entretenir et à stocker.

Certaines zones nécessitent des mesures d'adaptation indépendante à l'échelle du bâtiment ou du site, comme l'utilisation de barrières anti-inondation déployables à l'entrée

ou au périmètre, les bâtiments et les sites qui doivent être protégés contre les inondations doivent faire l'objet d'une évaluation technique pour vérifier leur solidité structurelle. Les bâtiments et les structures adaptés peuvent également fournir une couche supplémentaire de résilience dans les zones protégées par une infrastructure de résilience côtière.

Le retrait stratégique est un processus progressif de suppression ou de relocalisation des bâtiments et des infrastructures existants, et de prévention de tout développement futur dans les zones vulnérables. Ces stratégies peuvent être envisagées de manière sélective lorsque la protection ou l'adaptation du périmètre ne sont pas réalisables, trop coûteuses, ou qu'elles portent atteinte à d'autres aspects essentiels de la résilience.

### **2.1.2.3.- L'exemple de Hambourg en Allemagne : la ville inondable**

Malgré les amplitudes de la montée du niveau des mers liées au changement climatique. Le risque d'inondation liée à l'élévation croissante du niveau de la mer peut être intégré en amont dans la conception des projets à l'échelle urbanistique et architecturale. Cette stratégie de résilience permettra aux équipements d'être prêts à faire face à une forte contrainte environnementale, mais aussi d'offrir la possibilité et l'opportunité d'imaginer de nouveaux espaces (Bogdanoff et al., 202 ; AIVP).

L'inondation de 1962 représente un traumatisme qui continue de marquer la ville. Les inondations dans cette année ont provoqué la destruction de 20 % de la ville, causant des centaines de morts et environ 60 digues ont cédé face à la pression. Suite à cet événement de nombreux travaux furent effectués et le risque d'inondation fut intégré dans la construction. Ainsi 103 Km de digues ont été construites d'une hauteur de 2,5 m en moyenne, quinze plaines d'inondations ont été construites en cas de crue, un travail important de communication a été fait en prévoyant des alertes par télévisions et haut-parleurs. Pourtant lors de la tempête Herwart de 2017, tous les dispositifs décrits précédemment n'ont pas complètement protégé Hambourg.

La ville d'Hambourg voulant s'affirmer comme une ville durable, elle obtient ainsi le label « *Capital verte de l'Europe* » en 2011, pour lequel elle a élaboré un plan climat, dont les objectifs sont décrits dans la (figure 98).



Figure 98: Les 13 volets du plan climat hambourgeois. Source : Bogdanoff et al. (2021)

L'inadaptation des bassins pour accueillir des navires plus grands a conduit le port de Hambourg au début des années 90, à l'image de nombreuses autres villes portuaires un peu partout dans le monde, à se déplacer pour conquérir des espaces plus vastes. Le port d'Hambourg s'est déplacé vers le secteur nord du vieux tunnel de l'Elbe, l'abandon de ce secteur de 157 hectares au bord de l'eau entouré par le fleuve et des canaux de tous les côtés a offert une opportunité de redéveloppement urbain unique pour la ville. Le master plan conçu dans les années 2000 par KCAP Architects ans Planners associé avec ASTOC Colgne avait prévu un total de onze quartiers, l'aménagement d'un quartier résidentiel pouvant accueillir jusqu'à 14000 habitants, dans 6000 à 7000 logements ainsi que la création d'environ 45 000 nouveaux emplois (42 % de bureaux, 15% pour l'éducation, la culture et l'hôtellerie, 11 % pour le commerce, service et restauration).

L'opération Hafen City à Hambourg (figure 99) est considérée actuellement comme l'un des projets de redéveloppement urbains le plus important en Europe. Avec ses dimensions, son cachet architectural et ses exigences urbanistiques et environnementales, HafenCity ambitionne de devenir une ville résiliente qui maîtrise la gestion du risque d'inondation.



Figure 99: Modélisation 3D de la proposition d'aménagement de Hafencity Hambourg. Source : Michael Korol, AIVP

L'un des objectifs du Hafencity est de s'adapter et de préparer Hambourg aux impacts du réchauffement climatique. Ce projet s'inscrit dans une politique volontariste qui puise sa source dans les inondations de 1962. Les mécanismes mis en place pour la ville incluent notamment la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> jusqu'à 50 %, se conformer à des hauts standards environnementaux dont témoigne la mise en place d'un écolabel.

L'eau présente un risque important pour Hambourg, la conception de ce quartier se veut alors résiliente. Ce secteur étant exposé régulièrement aux crues de l'Elbe, le master plan prend également en considération l'exposition au risque de submersion marine. Pour cela les concepteurs déclinent leur concept de « *Flooding City* », en combinant plusieurs



Figure 100: Position du bâti, des quais inondables et des espaces verts. Source: Berentelg. (2018)

solutions notamment :

- L'intervention sur la topographie ( figure 101) du site en mettant en place des « *terps* », c'est une sorte de dispositif destiné à surélever les bâtiments entre 8 m et 8,50 m au-dessus du niveau de la mer pour permettre l'accès des pompiers en cas de tempête.

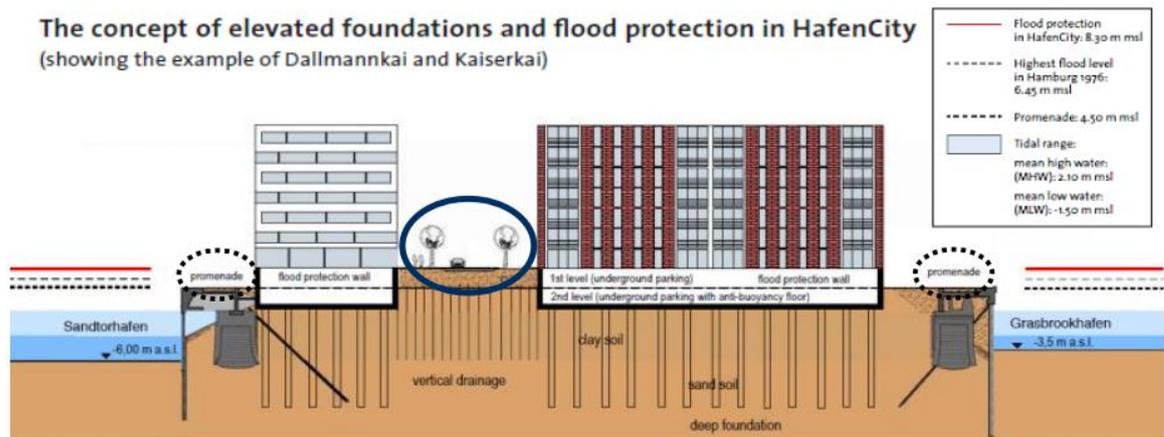


Figure 101: Principe des terps et le système de protection contre les inondations. Source: Berentelg. (2018). From good city form urban transformation.

- La conception d'un « *quai inondable* » (figure 102) afin de libérer le RDC des bâtiments pour offrir un espace utilisable comme promenade en dehors des épisodes d'inondation.



Figure 102: Vue sur le quai inondable utilisé comme promenade en dehors d'épisode de tempête. Source : Berentelg. (2018)

- L'aménagement d'espaces publics extérieurs temporairement inondables (figure 103) qui combine l'intégration d'espace de qualité et la préservation d'un paysage maritime pour certains secteurs.
- Résistance individuelle intégrée au niveau des bâtiments (portes et murs anti-inondations, etc.).
- l'institutionnalisation de Communautés de protection contre les inondations (Ils sont responsables de la préparation aux inondations, de l'alerte en temps utile en cas d'inondation et de la fermeture des murs mobiles de protection contre les inondations, etc.).



Figure 103: Vue sur les espaces publics extérieurs temporairement inondable. Source: Berentelg. (2018)

### **2.1.3.- Stratégies à adopter face au risque de submersion marine**

Contrairement aux mesures d'atténuation visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre (qui s'attaquent à la racine du changement climatique), les mesures d'adaptation tendent à limiter les impacts négatifs du changement climatique sur nos villes et sociétés. L'adaptation joue alors sur deux niveaux : en premier lieu la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes et en deuxième lieu, la réduction des niveaux d'aléas (Garcin et al., 2018).

Les réponses à l'élévation du niveau de la mer font référence à la législation, aux plans et aux actions entrepris pour réduire les risques et renforcer la résilience des zones côtières. Ces réponses vont de la protection de la côte jusqu'à l'adaptation, en passant par

le retrait de la côte, et enfin l'avancée dans l'océan par la construction en mer. Identifier la manière la plus appropriée de répondre à l'élévation du niveau de la mer dans un contexte de changement climatique n'est pas simple. C'est politiquement et socialement contestée, avec une série de défis de gouvernance (également appelés obstacles). La littérature sur les réponses à l'élévation du niveau de la mer s'est considérablement développée, Le GIEC à travers le chapitre quatre du Rapport Spécial sur l'Océan et la Cryosphère évalue les cinq grands types de réponses en fonction de six critères :

- Réponses observées : à travers les régions géographiques, décrivant où les différents types de réponses ont été mis en œuvre.
- Réponses projetées : se réfèrent à l'étendue potentielle des réponses dans le futur, telles qu'évaluées dans la littérature par le biais de la modélisation ou d'une manière plus qualitative.
- Le coût des réponses : fait référence aux coûts de mise en œuvre et de maintien des réponses.
- Efficacité des réponses : fait référence en termes de réduction des risques et des impacts qui en découlent, cela inclut les limites biophysiques et techniques au-delà desquelles les réponses cessent d'être efficaces.
- Co-bénéfices et inconvénients : fait référence aux coûts qui découlent des effets secondaires négatifs et positifs de la mise en œuvre des réponses.
- Défis (ou obstacles) liés à la gouvernance: se réfèrent aux facteurs institutionnels et organisationnels qui peuvent entraver la mise en œuvre efficace, efficiente et équitable des réponses.
- L'efficacité économique : fait référence à l'équilibre monétaire global des coûts et des bénéfices (en termes d'efficacité des réponses), des co-bénéfices et des inconvénients.

### **2.1.3.1- Les cinq grands types de réponses face à l'élévation du niveau de la mer**

La protection : réduit les risques et les impacts côtiers en bloquant la propagation ainsi que, les autres effets des niveaux de la mer moyens ou extrêmes vers l'intérieur des terres. Elle comprend soit une protection dure telle que (des digues, des brise-lames, des barrières et des barrages) pour se protéger contre l'inondation, l'érosion et l'intrusion d'eau salée, soit une protection souple basée sur les sédiments, comme le rechargement des

plages et du littoral, les dunes et enfin l'adaptation fondée sur les écosystèmes. Les trois sous-catégories sont souvent appliquées en combinaison en tant que mesures dites hybrides.

L'adaptation : comprend diverses réponses biophysiques et institutionnelles qui atténuent les risques et les impacts côtiers en réduisant la vulnérabilité des résidents côtiers, les activités humaines, les écosystèmes et l'environnement bâti, permettant ainsi l'habitabilité des zones côtières malgré l'augmentation des niveaux d'occurrence des risques. Les mesures d'adaptation à la submersion comprennent les codes de construction tels que, l'élévation des maisons (sur pilotis), l'élévation des objets de valeur à des planchers plus élevés et la mise à flot des maisons et des jardins. Les mesures d'adaptation à l'intrusion de la salinité comprennent des changements dans l'utilisation des terres (par ex ; changements dans les variétés de cultures tolérantes au sel). Les mesures d'adaptation institutionnelles comprennent les plans d'urgence, les régimes d'assurance et les zones de retrait, etc.

L'avancement : consiste à créer de nouvelles terres en construisant vers la mer, ce qui réduit les risques côtiers pour l'arrière-pays et les terres nouvellement surélevées. Cela comprend la récupération des terres au-dessus du niveau de la mer en les remplissant de sable pompé ou d'autres matériaux de remblai, en plantant de la végétation dans l'intention spécifique de soutenir l'accrétion naturelle des terres et en entourant les zones basses de digues, appelé poldérisation, qui nécessite également des systèmes de drainage et souvent de pompage.

Le recul : consiste à réduire le risque côtier en déplaçant les personnes, les biens et les activités humaines exposés hors de la zone du risque côtier. Cela comprend les trois formes suivantes : la migration, qui est le déplacement volontaire permanent ou semi-permanent d'une personne au moins pendant un an. Le déplacement, qui fait référence au mouvement involontaire et imprévu de personnes en raison d'un problème lié à l'environnement. La relocalisation, également appelée réinstallation, retrait géré ou réalignement géré, qui est généralement initiée, supervisée et mise en œuvre par le gouvernement.

Les réponses d'adaptation basées sur les écosystèmes (AEB) : fournissent une combinaison de bénéfice de protection et de progrès basés sur la conservation et la restauration des écosystèmes. Les exemples incluent la conservation ou la restauration d'écosystèmes côtiers tels que les zones humides et les récifs. Les mesures d'AEB protègent le littoral en atténuant les vagues dans le cas des zones humides, les ondes de tempête, en agissant comme des obstacles et en fournissant un espace de rétention. L'AEB est également désignée par divers autres noms en anglais, notamment Natural and Nature-based Features, Nature-based Solutions, Ecological Engineering, Ecosystem-based Disaster Risk Reduction ou Green Infrastructure.

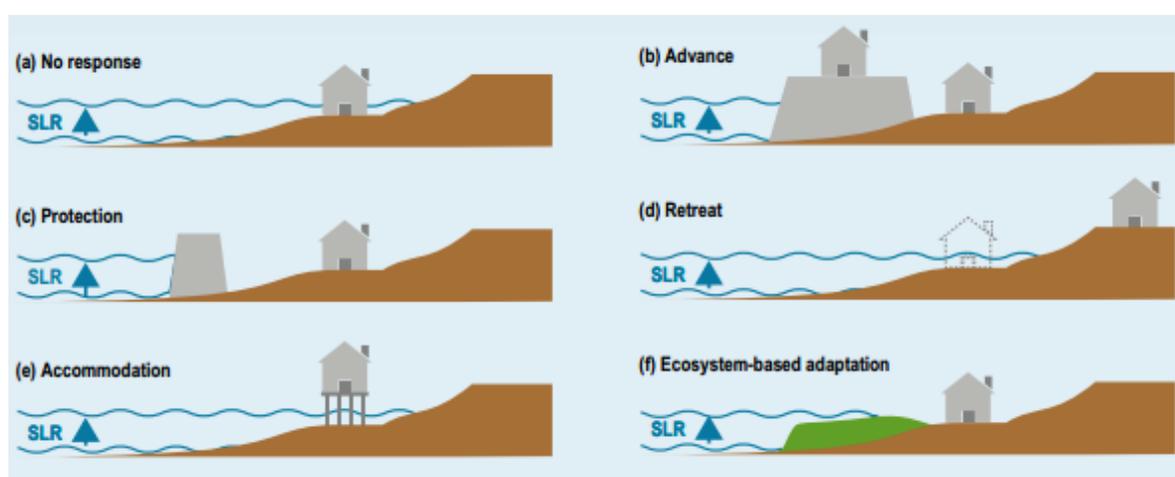


Figure 104: Différents types de réponses aux risques côtiers et à l'élévation du niveau de la mer. Source : Oppenheimer et al. (2019)

Nous allons voir à présent les actions qui peuvent découler à partir de ces cinq grands types de réponses face à l'élévation du niveau de la mer dans un contexte de changement climatique. Néanmoins il faut préciser que cette liste n'est pas exhaustive.

L'aléa submersion marine représente un risque majeur pour les zones littorales lorsque des enjeux (biens ou humains) sont présents. La concentration progressive de nombreux enjeux sur la côte entraîne une augmentation progressive du risque et en plus du réchauffement climatique attendu d'ici la fin du siècle, l'impact de l'élévation du niveau de la mer ne fera qu'accentuer la sévérité et l'intensité de ce phénomène sur les côtes. Afin de réduire l'inondation par la mer, il est possible d'agir sur l'une ou les deux composantes du risque. Les enjeux peuvent être protégés en diminuant et en prévoyant l'aléa, quant aux enjeux leur croissance peut être stoppée ou limitée par une politique de prévention et actions complémentaire (Cariolet, 2011).

### 2.1.3.2- Protection des enjeux par l'action sur l'aléa

Cette catégorie d'actions regroupe les quatre modes de gestion du littoral concernant le risque de submersion marine; l'atténuation de l'aléa, la résistance face à l'aléa, la lutte active souple et dure (Cariolet, 2011 ; Garcin et al., 2018 ).

#### L'atténuation de l'aléa submersion marine

- Plusieurs actions sont envisageables notamment : le retrait et l'abandon d'ouvrage de protection ; il s'agit d'une action délibérée de retirer ou de ne pas construire un ouvrage de protection afin de permettre parfois à la côte de rééquilibrer, ou bien lorsque l'entretien et la construction d'un ouvrage est très coûteux par rapport aux enjeux qu'il est censé défendre. En revanche, cette mesure n'est pas évidente lorsqu'une zone urbanisée se situe juste derrière un ouvrage de protection.
- La restauration des milieux humides et dépoldérisation, permet de réduire l'énergie des vagues et des marées en favorisant la dissipation de l'énergie dans la zone intertidale. Ceci réduit le pouvoir érosif des vagues et les risque d'inondations côtières en diminuant la hauteur des surcotes de tempêtes.
- Digue de second rang : les digues de second rang est une protection supplémentaire à un système de défense de première ligne. Son principe consiste à subdiviser l'enveloppe principale d'endigement afin de réduire le risque d'inondation sur les enjeux en cas de rupture d'ouvrages de première ligne et d'atténuer les écoulements en créant ainsi un deuxième rempart.

#### La résistance face à l'aléa

- Pour les côtes basses qui concentrent des enjeux, la première protection contre la mer est souvent un cordon littoral. Le maintien de ces édifices passe souvent par le rechargement sédimentaire des plages, leurs redimensionnements et renforcement. L'enrochement des cordons dunaire est un autre moyen de protéger les cordons dunaires de l'assaut des vagues. Cette technique consiste à positionner au pied et tout le long de la dune de nombreuses pierres en béton entassé les unes sur les autres. Ce moyen de protection étant très coûteux et nécessite des moyens lourds, une autre alternative moins coûteuse à mettre en place s'impose. Cette technique se

résume à positionner le long du pied de la dune un tube en géotextile injecté de sable (Géotube<sup>30</sup> et Stabiilage<sup>31</sup>).

- Dans d'autres cas les cordons dunaires ont été détruits et remplacés par une digue en béton ou un perré (ouvrage de défense longitudinale qui sépare une plage d'une zone urbanisée). Cependant ce type d'ouvrage génère des effets réfléchissants qui augmentent l'action de la nappe de retrait et entraîne un démaigrissement du haut de la plage, ce qui diminue le rôle joué par la plage dans la dissipation de l'énergie des vagues. Ils en résultent alors des phénomènes de déferlement des vagues au niveau des ouvrages de protection pouvant conduire à des processus de franchissement (surtout si le vent souffle fort) ou de rupture (ouverture d'une brèche) (voir chapitre 4).
- La résistance à l'aléa avec les digues sera efficace si elles sont bien dimensionnées par rapport au phénomène. Néanmoins le dimensionnement d'une digue est en lien avec un aléa de référence (intensité et période de retour) et donc elle ne sera pas adaptée à des événements plus rares et plus intenses. De plus dans le cas de son rehaussement afin de compenser face à l'élévation du niveau de la mer cela nécessitera alors d'augmenter son emprise au sol qui est déjà très importante. Un autre concept se présente afin de solutionner le problème des ruptures de digue, celui d'une « *super digue* », il s'agit de rehausser le niveau du sol derrière la digue à son hauteur à l'aide de remblais de sorte que la pente ne dépasse pas 3 %. Cependant cette technique n'est pas envisageable dans une zone déjà urbanisée (CEPRI, 2015).
- Les enrochements et brise-lame quant à eux ont l'avantage de pouvoir être redimensionné progressivement, et demandent moins de place qu'une digue. Les

---

<sup>30</sup> Le GEOTUBE est un système ingénieux. Sous forme de tube constitué d'une enveloppe géotextile tissé de haute résistance remplie de matériaux. La structure est réalisée in situ et remplie par pompage hydraulique avec des matériaux locaux, à l'intérieur de l'enveloppe. Ceci entraîne la création d'une structure flexible, monolithique et continue qui est très résistante aux forces de. Cette technique contribue à de nombreuses réalisations de protection des côtes contre les tempêtes, de reconstruction de plages et d'émergence d'îles artificielles pour sauvegarder les écosystèmes.

<sup>31</sup> Le STABIPLAGE est une structure multicouches conçue à partir de matériaux géocomposites développée depuis 1997 par la Société Espace Pur. C'est une réponse aux différents besoins de protection ou de revalorisation des environnements littoraux. Elle est fabriquée et implantée selon les besoins : soit au pied de la dune recouvert ou non, perpendiculairement ou parallèlement au trait de côte, immergé (buté de pied, ou brise lame). Cette technique s'appuie sur l'utilisation de structures conçues « sur mesure » et implantées suivant les caractéristiques physiques du site. Le principe fondamental de la technologie repose donc sur le captage, l'accumulation et le maintien en place des sédiments, tout en favorisant l'intégration paysagère des ouvrages (Cariolet et al., 2008) Evaluation de la technique STABIPLAGE® mise en place sur deux plages du Finistère : les Sables Blancs à Plobannalec-lesconilloctudy, et Boutrouilles à Kerlouan.

murs verticaux utilisés pour retenir les remblais ou les sédiments sont des ouvrages qui ne font que réfléchir l'énergie des vagues, ils génèrent une érosion côtière accrue conduisant à l'abaissement du niveau de la plage. Ces ouvrages bien que fort utilisés dans le passé, leur présence peut engendrer à leurs extrémités ou sur des sites voisins des effets négatifs (érosion /perturbation du dérivé sédimentaire).

- Un autre mode de protection consiste en la mise en place du système amovible (sacs de sables, batardeaux, barrières, etc.). Cette technique permet de se protéger temporairement des entrées d'eau lors d'évènements de tempête. La mise en place de barrages amovibles anti-tempête au niveau des estuaires à l'exemple du barrage de port de Rotterdam « *Maeslantkering* » Pays Bas, se présente comme un autre moyen de résistance face à l'aléa cependant sa mise en œuvre représente un fort investissement et des coûts d'entretien assez élevés, ainsi qu'un risque aux enjeux se trouvant en arrière-pays en cas de brèche ou défaillance du système d'endiguement au quelle ce dispositif est rattachée.

### **2.1.3.3- Prévention du risque par l'action sur les enjeux**

Cette catégorie d'action est liée à la réduction de la vulnérabilité. Ce mode de gestion regroupe des mesures qui vont de l'action individuelle sur un bâtiment à l'augmentation de la résilience de la société (Garcin et al., 2018).

#### **2.1.3.3.1- Action sur les constructions**

Afin de rendre les bâtiments moins vulnérables aux inondations et d'empêcher l'eau de rentrer à l'intérieur du bâtiment, il est possible d'étanchéifier l'enveloppe extérieure du bâtiment, d'autre part afin de préserver la structure du bâtiment pour un niveau d'aléa trop élevé, il est souhaitable de faciliter l'entrée et la sortie de l'eau (figure 105).



Figure 105: Bâtiments étanchéifiés en front de mer. Photo: Manuel Garcin

- D'autres actions peuvent également être privilégiées comme les bâtiments flottants expérimentés aux Pays-Bas et en Allemagne (Hambourg). Ce genre de constructions est conçu pour s'élever avec le niveau de l'eau en cas d'inondation ou de submersion. Cependant il n'est pas privilégié dans un contexte maritime ouvert car les vagues semblent être un frein à son installation.
- L'élévation du rez-de-chaussée et la construction sur pilotis sont aussi un bon moyen qui permet de réduire la probabilité d'entrée de l'eau dans les bâtiments.
- L'utilisation de matériaux de construction non ou moins sensible à l'eau et particulièrement au sel, permet de limiter les dégâts aux constructions et d'augmenter la résilience des bâtiments surtout stratégiques se trouvant en front de mer.
- La surélévation des installations électriques, des réseaux et des sorties de secours au-dessus d'un niveau d'inondation de référence maximum permet de limiter les dégâts et d'augmenter la résilience dans le cas d'une submersion marine.
- Les routes d'évacuation surélevées au-dessus du niveau maximal d'inondation attendue sont aussi recommandées pour permettre une évacuation sécurisée lors d'inondations.
- Afin d'assurer la gestion de crise et de limiter les dégâts, il est important d'accorder une attention particulière à la protection et à l'accessibilité des lieux stratégiques (caserne de pompiers, hôpital, etc.) et la protection des installations dangereuses ou polluantes (centrale nucléaire, décharge, station

d'épuration, etc.). Le niveau de protection doit être adapté à l'aléa de référence choisi.

### **2.1.3.3.2- Actions complémentaires**

Cette catégorie à caractère essentiellement social ou institutionnel, sont nécessaires pour fournir un cadre et des conditions optimales pour la mise en pratique d'une stratégie d'adaptation. Elle regroupe des mesures qui peuvent s'inscrire dans n'importe quel mode de gestion divisée en quatre sous-catégories destinées à l'amélioration de la connaissance de l'éducation, de l'information des citoyens, et la planification de l'urbanisation.

Connaissance :

- La cartographie de l'aléa est un outil d'aide à la décision pour la planification territoriale, urbaine et la prévention des risques. Afin de limiter les impacts socio-économiques des aléas sur les sociétés humaines. Les politiques de prévention se basent essentiellement sur la cartographie de l'aléa, ce qui permet de limiter la croissance des enjeux dans les zones les plus exposées. La cartographie est d'ailleurs l'une des composantes des Plans de Prévention des Risques littoraux (PPRL). Ces derniers constituent l'un des instruments juridiques essentiels de prévention des risques littoraux.
- La mise en place d'un plan de gestion des sédiments adapté à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire permet d'éviter que certaines actions sur le domaine littoral (installation d'ouvrages de défense, exploitation de granulats marins, dragages, rechargements, etc.) ne se traduisent par un déficit sédimentaire sur les segments côtiers et cellules hydro-sédimentaires adjacents.
- Afin d'encourager le partage de connaissance et d'expérience entre les acteurs de la société civile, des acteurs de la prise de décision (économiques et politiques) et scientifiques impliqués dans le domaine du changement climatique, l'organisation de conférences en lien avec la thématique du changement climatique et l'adaptation des villes côtières favoriseront le transfert des résultats de la recherche fondamentale vers des problématiques concrètes auxquelles sont confrontées les territoires de nos jours.

- La constitution d'un réseau de recherche interdisciplinaire, mêlant sciences physiques, sciences humaines et sociales (économie, sociologie, géographie, etc.), permettra également de faire émerger des solutions adaptées à la réalité des changements en cours et à venir dans nos sociétés.

#### Education :

- L'intégration à l'éducation des connaissances sur l'impact du changement climatique sur nos vies et notre environnement est une des mesures sociales nécessaires pour favoriser l'émergence d'une conscience collective sur cette thématique. Elle permet aux citoyens de s'approprier ce sujet complexe, de prendre conscience de la nécessité de l'adaptation et d'accepter plus facilement certaines mesures. Cette sensibilisation, via le cursus scolaire ou les formations, est un élément important de la stratégie d'adaptation à mettre en place dans la durée, quel que soit le mode de gestion.
- La sensibilisation des populations concernées par les risques, les aménagements ou une relocalisation est également un élément important afin de les préparer au changement.

#### Information :

- La création ou l'amélioration d'un système d'alerte précoce à la submersion, en cas de tempête, permet d'anticiper les impacts (inondation, recul du trait de côte) plusieurs heures avant l'évènement et d'enclencher éventuellement un Plan Communal de Sauvegarde et/ou d'organiser une évacuation des personnes de manière préventive.
- La création de services climatiques côtiers est aussi un élément important ayant pour objectif de rassembler des informations et prestations qui permettent d'évaluer et de qualifier le climat passé, présent ou futur, afin de fournir des éléments concrets pour entreprendre des mesures d'atténuation et d'adaptation.
- La concertation, est un outil visant à impliquer les populations dans un projet de territoire (exemple : stratégies locales de gestion de la

bande côtière en ex-Aquitaine). Il s'agit de mettre en place une gouvernance partagée entre les décideurs (État et/ou collectivités) et les citoyens afin d'élaborer un projet en adéquation avec les besoins locaux et partagé par les populations concernées. La concertation vient souvent en complément d'une étape préalable à la sensibilisation du public.

- La communication à travers les médias, (radio, TV, presse quotidienne régionale et nationale...) est un vecteur essentiel pour diffuser de la connaissance scientifique, informer et sensibiliser le public aux questions relatives aux risques littoraux et favoriser ainsi une culture partagée des risques et de leur gestion durable.

Urbanisme :

- L'élaboration des documents stratégiques de planification et d'urbanisme à l'échelle de la région où des communes est une opportunité pour prendre en compte les risques côtiers et leurs évolutions futures liées au changement climatique à (court, moyen et long termes).
- L'interdiction de construction dans les zones menacées permet de limiter l'augmentation de l'exposition des enjeux aux aléas, en particulier dans le contexte d'impacts prévisibles du changement climatique sur le littoral. Cela nécessite au préalable l'élaboration de cartes d'aléas précises et partagées par les parties prenantes, en prenant en compte les taux d'érosion de la côte et des scénarios de hausse du niveau de la mer. Cette mesure pourrait donc permettre d'éviter de nouveaux problèmes dans le futur en préservant l'intégrité à long terme des structures et des réseaux. Cependant elle ne constitue pas une solution pour les enjeux existant sur les territoires déjà urbanisés.

### **3.- Synthèse**

Environ 70 % du littoral en Europe est aménagé à l'aide d'ouvrage de protection lourde (digues, murs, brise-lames, épis, perré, etc.) contre les aléas submersions marines et/ou de lutte contre érosion côtière. Cependant ce type de défenses lourdes présentes un

certain nombre d'inconvénients, notamment des modifications des dynamiques hydro-sédimentaires qui aggravent souvent l'érosion côtière dans les zones non protégées. Elles génèrent aussi des impacts négatifs sur les écosystèmes et les paysages, en cas de rupture ces ouvrages peuvent causer un risque de submersion marine brutale et potentiellement dévastateur sur l'arrière-pays, et un coût d'aménagement et d'entretien assez élevé (CERPI, 2016).

Nous avons vu à travers les trois exemples analysés à savoir le Dry Line à New York, le HafenCity à Hambourg et enfin l'exemple de Boston East, que les mesures d'adaptation des zones côtières face à l'aléa élévation du niveau de la mer se penchent vers des solutions souples et plus respectueuses de l'environnement. Elles sont réalisables à travers la favorisation de terres végétalisées et perméables, la surélévation des constructions (principe de terps et pilotis), l'emploi de matériaux de construction étanches, l'élévation des rez-de-chaussée, des routes et des parcs, la création de quais et de piscine inondables, le renforcement des dunes, l'usage de protection anti-inondation, etc. Ces exemples développent des approches résilientes qui d'une part réduisent les risques côtiers lors de tempêtes extrêmes et d'autre part offrent des avantages quotidiens aux résidents à travers des aménagements naturels et des lieux de rencontre.

Si la protection des enjeux se montre comme l'option la plus privilégiée pour réduire le risque de submersion marine ; cependant elle ne peut plus constituer l'unique réponse de nos jours, désormais les politiques de gestion des risques naturels prônent désormais une approche globale des risques littoraux. Cette approche globale du risque se traduit par la mise en œuvre de mesures complémentaires aux actions relatives à la gestion de l'aléa, notamment : l'amélioration de la culture du risque au sein de la population, la prévision des risques submersions marines, la préparation et planification de la gestion de crise, l'adaptation des enjeux existants/futurs au risque, d'envisager une stratégie de relocalisation des biens et activités exposées dans la mesure de possible, d'aménager les espaces littoraux en prenant en compte le risque submersion dans les documents d'urbanisme, etc. (CEPRI, 2016).

De manière générale, il existe de nombreuses possibilités d'adaptation à court et moyen terme, néanmoins les travaux en lien avec, soulignent la nécessité de bien anticiper et planifier l'adaptation contre les risques côtiers, surtout pour les mesures nécessitant un délai entre la mise en place et les bénéfices attendus. L'élaboration de mesures d'adaptation devra s'adapter aux contextes géographiques locaux en premier lieu et d'autre

part s'appuyer sur des projections d'aléas plus fines afin de préciser l'horizon temporel d'obsolescence des mesures. Penser et anticiper l'adaptation aux changements climatiques dès à présent et sans attendre un contexte moins incertain sont à encourager, car il faut bien rappeler que les mesures d'adaptation font face à deux contraintes majeures, à savoir celle d'un système climatique qui implique des changements inévitables à venir, et celle d'une société qui implique que la mise en place effective des mesures d'adaptation peut prendre un temps considérable (Garcin et al., 2018).

#### **4.-Vers une proposition de mesures d'adaptation d'Alger face à l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100**

Les mesures d'adaptation que nous allons proposer pour Alger afin de faire face à l'aléa élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100 dans cette sous-section sont d'ordres généraux. En effet pour des mesures d'adaptations contextuelles et pour l'appréciation d'une mesure, de nombreux critères d'évaluation des mesures d'adaptation sont à prendre en compte au niveau local entre autres (l'impact sur l'environnement, l'impact paysager, l'impact sur l'économie locale, co-bénéfices, efficacité de la mesure, avantages et inconvénients, défis de la gouvernance, flexibilité/réversibilité, synergie avec l'atténuation ou la surproduction de GES) (Garcin et al., 2018 ; GIEC, 2019).

L'identification des besoins découlant des risques et des vulnérabilités climatiques constitue une base pour le choix des options d'adaptation. Au fil des ans, un certain nombre de catégories d'options ont été identifiées. Ces options comprennent un large éventail d'actions qui sont organisées généralement en trois catégories à savoir : catégories structurelles/physiques, sociales et institutionnelles. Afin de conserver un lien avec les pratiques internationales, nous avons préféré classer les mesures d'adaptation pour le cas d'étude selon la classification proposée par le GIEC dans leur cinquième rapport, la classification des mesures d'adaptation est faite selon leur nature (Noble et al., 2014).

- Les mesures structurelles ou physiques : regroupent des solutions techniques, technologiques et d'ingénierie basées sur les écosystèmes ou des services. Exemples : ouvrages de protection, rechargement de plage, etc.
- Les mesures sociales : cette classification incluent des solutions d'éducation, d'information et des solutions comportementales. Il peut s'agir de sensibilisation de la population et des gestionnaires aux risques,

communication à travers les médias, intégration de risque dans l'éducation, etc.

- Les mesures institutionnelles : cette classification est basée sur la législation, les politiques publiques ou encore l'économie, les Plans de Préventions des risques, etc. Ces mesures peuvent jouer sur différents niveaux : national, régional et local.

Cependant comme nous avons vu dans le (chapitre 5) à travers l'analyse multicritères MicMac, c'est sur les facteurs institutionnels, sociaux, fonctionnels, et structurels qu'il faudra agir de manière générale en insistant particulièrement sur les facteurs institutionnels et sociaux. Afin de limiter la vulnérabilité de l'interface ville/ mer d'Alger face aux inondations due à l'élévation accélérée du niveau de la mer. Ces facteurs représentent un terrain d'actions de première importance puisque toute action sur eux, aura des répercussions sur les autres facteurs qui composent le système. Cependant nous n'allons pas nous attarder dans cette sous-section à réexpliquer l'impact de ces critères sur la diminution de la vulnérabilité et de l'exposition de l'interface ville/mer face à l'aléa élévation du niveau de la mer, chose qui a été faite au niveau du chapitre 5. Nous allons donc procéder à la proposition de mesures d'adaptation en relation avec ses facteurs essentiels, qui permet à la fois la classification des mesures d'adaptation, l'identification du mode de gestion auquel elles sont rattachées et leurs caractéristiques, ce qui informe sur aussi sur les moyens nécessaires à leur mise en œuvre

En dernier, nous voudrions faire rappeler que la sélection et la hiérarchisation des mesures d'adaptation sont importantes car elles ne sont pas toutes faisables en raison de plusieurs contraintes, en particulier l'insuffisance des ressources et des capacités des pouvoirs publics. La variabilité des options d'adaptations dépendra de l'échelle du temps (l'horizon) du scénario climatique et des critères d'évaluation. Ceci souligne également que le choix des options d'adaptations est un processus itératif, qui peut s'avérer difficile en raison d'incertitude due aux impacts cumulatifs du changement climatiques (GIEC, 2014). Enfin nous tenons à préciser que les mesures d'adaptation proposées dans le tableau ci-dessous n°15 n'ont pas pour prétention d'être exhaustives, particulièrement pour les mesures de la catégorie « actions complémentaire ». Celles-ci peuvent être extrêmement diversifiées et dépendent fortement du contexte économique, politique et législatif déployer.

Tableau 15: Classement des mesures d'adaptation proposés pour le cas d'étude face au risque de submersion marine (Auteur sur la base de Garcin et al., 2018 ; MREE-PAP RAC/PAM, 2015 ; Egis Eau et al., 2013).

Mode de gestion	Mesures d'adaptation proposée	Caractéristiques des mesures d'adaptation		
		Structurelle/physique	sociale	institutionnelle
Réduction de la vulnérabilité (Actions sur les constructions)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Constructions étanchéifiées où la circulation d'eau est facilitée.</li> <li>➤ Matériaux de construction non/ où moins sensibles à l'eau et au sel.</li> <li>➤ Favoriser les constructions sur pilotis.</li> <li>➤ Rez-de-chaussée élevé (favoriser les quais inondables).</li> <li>➤ Positionnement des réseaux (électricité, gaz, etc.), routes et sorties de secours au-dessus (adaptés au niveau d'aléa).</li> <li>➤ Normes de construction adaptée au risque.</li> <li>➤ Surélévation artificielle des bâtiments.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">×</p>		<p style="text-align: center;">×</p> <p style="text-align: center;">×</p>
Actions sur l'aléa (Résistance face à l'aléa submersion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ajustement/surélévation/installation des défenses dur</li> <li>➤ Murs et murets</li> <li>➤ Enrochement</li> <li>➤ Brise lame</li> <li>➤ Digue, super digue</li> <li>➤ Mise en place de moyen de défense temporaire</li> </ul>	<p style="text-align: center;">×</p>		
Actions sur l'aléa	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Retrait</li> </ul>	<p style="text-align: center;">×</p>		

(Atténuation de l'aléa submersion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Favoriser les surfaces végétales</li> <li>➤ Restauration de milieux humides</li> <li>➤ Digue de second rang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> <li>×</li> </ul>		
Actions complémentaire (Information)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mise en place d'un dispositif de veille-alerte précoce aux événements climatiques et météorologiques extrêmes.</li> <li>➤ Elaboration d'un programme national de recherche dédiée au climat (plateforme dédiée à la modélisation et élaboration de scénarios d'impacts des changements climatiques en lien avec l'élévation du niveau de la mer.</li> <li>➤ Communication à travers les médias.</li> <li>➤ Favoriser la concertation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> <li>×</li> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> </ul>
Actions complémentaire (Urbanisme)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboration de plans d'actions locales d'adaptation des littoraux face aux changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer.</li> <li>➤ Intégration de la dimension changement climatique dans les processus de planification des zones côtières à risque d'inondation.</li> <li>➤ Prise en compte des risques côtiers et de leurs évolutions futures en lien avec le changement climatique dans les documents d'urbanisme.</li> <li>➤ Mise en place d'un observatoire des</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> <li>×</li> <li>×</li> </ul>

	<p>risques côtiers (permettra de suivre les phénomènes côtiers en se basant aussi bien sur des observations <i>in situ</i> que sur les simulations des aléas côtiers).</p> <p>➤ Prise en compte du risque de submersion marine par la loi du littoral 02-02 du 05 février 2002.</p>			×
<p>Actions complémentaire (Education)</p>	<p>➤ Formation dédiées aux risques liés au changement climatique et en particulier le risque de submersion marine.</p> <p>➤ Conférences et réseaux de recherche.</p> <p>➤ Sensibilisation des populations concernées par les risques, des aménagements, ou une relocalisation, ou autres.</p>		×	×
<p>Actions complémentaire (connaissance)</p>	<p>➤ Cartographie d'aléa et de vulnérabilité.</p> <p>➤ Améliorer les connaissances pour mieux lutter contre les effets adverses du changement climatique, notamment le risque submersion marine.</p> <p>➤ Conférence et réseau de recherche.</p> <p>➤ Réseau de surveillance et/ou d'observation</p>	×	×	×

## 5.- conclusion

Cette deuxième partie de la thèse composé du 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> chapitres a met en évidence plusieurs points essentiels ;

Chapitre 4 : les inondations côtières peuvent se produire en raison de plusieurs facteurs, tels que les marées hautes, les tempêtes, les ouragans ou les tsunamis. Les régions côtières basses sont particulièrement vulnérables aux inondations côtières, étant donné les conséquences significatives sur les communautés, l'environnement et l'économie. Les simulations d'inondations basées sur un SIG, des scénarios d'élévation du niveau de la mer et données d'élévations sont un moyen d'identifier, de sensibiliser et de se préparer aux événements de risque côtier.

Chapitre 5 : le chapitre 5 à met en évidence les variables influentes et dépendantes et par là les variables clés essentielles à l'évolution du système étudié sur lesquelles il faut agir pour parvenir aux objectifs fixés. C'est sur les variables enjeux qu'il faudra agir en premier lieu car elles sont à la fois très influentes et très dépendantes, par nature instables, elles sont un terrain d'action de première importance, puisque toute action sur elles, auront des répercussions sur les autres, ainsi qu'une rétroaction sur elles-mêmes. C'est dans ce secteur que se trouvent le plus souvent les enjeux du système.

Chapitre 6 : enfin ce chapitre souligne l'importance que la régénération de l'interface ville /mer d'Alger doit donc être considérée comme l'opportunité pour le déploiement de stratégies de résilience urbaines afin d'embellir la vitrine et de ramener la métropole au rang de ses concurrentes méditerranéennes comme fut exprimée par le SNAT et lutté pour que le front de mer algérois subsiste. Pour faire face à ce risque, de nombreuses mesures de gestion des inondations côtières doivent être mise en place, notamment la construction de digues ou de barrages, la mise en place de système de drainage et de pompage pour évacuer l'eau, l'aménagement des terres pour créer des zones tampons, l'élaboration de plans d'urgence et de système d'alerte pour informer les populations locales des risques imminents. Enfin, le choix des mesures d'adaptation est un processus itératif en raison de plusieurs contraintes. Le recoure à des mesures d'adaptation éco-responsable sont à privilégier afin d'assurer la résilience des communautés côtières face à ces événements.

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail de thèse porte sur l'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière d'Alger face à l'élévation du niveau de la mer, en se basant sur un modèle numérique de terrain (MNT) de 3 m de résolution et sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030/2100. Les résultats de cette recherche sont destinés à apporter une aide aux gestionnaires côtiers pour prendre en compte le risque de submersion marine lors de la révision des plans d'aménagement et de gestion du territoire (PDAU, POS). Cela dans un but d'anticiper les impacts de la submersion marine induits par l'élévation du niveau de la mer, d'autre part de prévoir des mesures d'adaptation dans un avenir proche pour les zones prioritaires à risque, notamment la future reconversion portuaire d'Alger prévue en 2030 par l'échéancier du PDAU d'Alger. L'application de la méthode de la cartographie du risque suivie pour cette étude, nous a permis une première estimation des zones à risques d'inondation due à l'élévation du niveau de la mer, et à montré également l'utilité et l'importance d'un modèle numérique de terrain (MNT) à haute résolution, qui constitue un outil précieux pour délimiter avec exactitude les zones à risque d'inondation. Cette thèse met en évidence plusieurs points importants que nous avons pu montrer à travers les six chapitres et que nous allons faire rappeler ci-dessous via cette section :

En premier lieu à travers le chapitre 1, nous pouvons pu prendre conscience que la montée du niveau de l'océan apparaît comme une des pressions majeures de ce siècle. Son ampleur et ses effets à long terme sont difficiles à identifier et à anticiper. Toutefois, même si, les impacts de cette élévation sont encore faibles aujourd'hui notamment sur le littoral algérois (Egis Eau et al., 2013), les premiers effets sont déjà observables sous diverses formes et sur de nombreux sites à travers le monde. Les projections portent à penser que l'élévation du niveau de la mer va s'accroître et que ses conséquences risquent d'être considérables en matière de changement du trait de côte, d'habitat, d'infrastructures, d'agriculture, de tourisme, etc. (Lacroix et al., 2019). L'élévation du niveau de la mer est un phénomène inéluctable d'ici la fin du siècle dont la vitesse et l'intensité dépendront principalement du réchauffement climatique. Selon les travaux les plus récents en la matière et les différents rapports du GIEC. Ce phénomène s'accroît depuis des années et ne cessera d'évoluer au cours des prochaines décennies. Il affectera d'une manière considérable les littoraux et les zones côtières partout dans le monde, particulièrement où se concentrent de nombreuses activités touristiques, économiques et populations. A l'instar

de la ville d'Alger qui recevra d'ici l'horizon 2030, de nombreux projets à grandes envergures le long de son littoral dans le cadre d'un plan stratégique.

Les conclusions du GIEC sont sans appel, avant la fin du siècle, les grandes marées et les surcotes de tempête dépasseront systématiquement le niveau des quais, des jetées, des routes en bord de mer et autres ouvrages de protection de l'activité et de l'habitat côtiers (Labeyrie, 2015). En dépit des incertitudes qui subsistent quant aux futurs scénarios d'élévation du niveau de la mer et aux impacts qui en découlent, il devient important de prendre en compte cet aléa en fournissant une évaluation primaire de ces impacts.

Le chapitre 2 a mis en évidence la vulnérabilité mais aussi la fragilité du littoral algérois face aux impacts du changement climatique. Les villes côtières du monde entier n'échapperont pas au phénomène d'élévation du niveau de la mer, à l'image d'Alger qui se retrouve embarquée dans cette tournure, étant donné la fragilisation de son littoral ressentie sur le terrain (des érosions fréquentes, une remontée du niveau de la mer, inondations et séisme, etc.), d'autre part les tempêtes auxquelles Alger a dû faire face dans le passé. Les services civils mentionnent que 1/3 des communes côtières algériennes sont susceptibles d'être inondé en partie ou en totalité, causant d'énormes dégâts humains et matériels. Les dommages dus à l'élévation du niveau de la mer affecteront non seulement les équilibres écologiques, mais aussi de manière conséquente le budget du pays. En 2019, l'Institut de gouvernance pour le développement durable en France évalue le coût de l'adaptation des villes côtières à l'augmentation des océans à 400 milliards de \$ pour la construction des digues dans les 20 années à venir (Tourment, 2019). D'où la nécessité de prévoir des mesures d'adaptation. Les épisodes d'érosions côtières et d'élévation du niveau de la mer associée à la récurrence des tempêtes sur les parties les plus vulnérables de nos côtes, vont compromettre les infrastructures littorales du tourisme, les installations portuaires, de dessalement, ainsi que les stations électriques, etc. (MREP-PAP RAC/ PAM, 2015). En outre les scénarios pessimistes quant aux impacts futurs du changement climatique sur les zones côtières à l'échelle mondiale et plus précisément à l'échelle nationale en Algérie, imposent de prendre en considération ces effets. L'adaptation face aux risques côtiers due aux changements climatiques apparaît comme un défi auquel sont confrontées les villes côtières algériennes à l'instar d'Alger capitale nationale.

Le chapitre 3, a montré l'ambition ainsi que la stratégie prévue pour le développement de la capitale. Alger capital national (1962), fait l'objet de plusieurs

transformations et ce depuis 2010 impulsé par un plan stratégique à l'horizon 2030. Elle ambitionne de faire de sa capitale une des vitrines et portes de l'Afrique, une éco-métropole moderne en tête des éco-métropole méditerranéenne où il fait bon vivre. Afin d'accompagner cette ambition, les autorités algériennes envisagent de grands travaux d'infrastructure, d'équipement et d'embellissements, et c'est ainsi que l'aménagement de la baie d'Alger se retrouve au cœur même de ses mutations urbaines. Le projet d'aménagement de la baie d'Alger se déploie sur un territoire de pas moins de cinquante (50) km du rivage et de cinq cents (500) mètres en profondeur, avec au programme divers projets structurants déployé sous forme « de collier de perles ». Ce vaste projet s'articulera autour de trois principaux axes: la revalorisation de la façade maritime et de l'espace urbain, la reconquête des ports et de nouvelles polarités économiques ainsi que la renaturalisation de la ville. Cependant, malgré les grandes ambitions d'Alger de faire de sa capitale une éco-métropole moderne, cette aspiration est très vite rattrapée par la réalité des études à l'échelle internationale et méditerranéenne récente qui ont démontré la vulnérabilité et l'impact du changement climatiques sur les villes côtières liées au risque d'élévation du niveau de la mer.

Le chapitre 4 a permis dans un premier temps de valider l'hypothèse selon laquelle, un modèle d'inondation basée sur un SIG peut constituer une option efficace et rapide pour la visualisation des terres à risque d'inondations dues à l'élévation accélérée du niveau de la mer en l'absence et limite de moyen financier. Il a permis aussi à travers l'application de la méthode d'évaluation du risque d'inondation due à l'élévation du niveau de la mer sur le cas d'étude de déterminer que les zones les plus vulnérables à l'inondation pour les deux échéanciers 2030/2100 sont; le port d'Alger avec ces jetées, les plages de l'Hussein Dey, la zone urbaine centrale et le couloir de réserve, tandis que le secteur sauvegardé est préservé en raison de son altitude et un faible indice côtier de vulnérabilité (Rabehi *et al.*, 2018). Ces résultats mettent en évidence la vulnérabilité des zones urbaines littorale le long de la baie d'Alger centre, ils pourront être utilisés pour orienter l'aménagement futur dans les zones exposées.

À travers l'analyse structurelle MicMac dans le chapitre 5, nous avons pu mettre en évidence les facteurs clés faisant varier la vulnérabilité de l'interface ville/mer face à l'élévation du niveau de la mer. Le classement indirect potentiel a permis de mettre en valeur les variables clés sur lesquelles il faudra intervenir dans un avenir proche afin de réduire la vulnérabilité de cette portion du territoire. Il est préconisé d'agir sur l'ensemble

des variables composant le système mais d'une manière spécifique sur les facteurs institutionnels, sociaux et structurels car ils sont un terrain d'action de première importance, puisque toute action sur eux aura des répercussions sur les autres, ainsi qu'une rétroaction sur eux-mêmes

Quant au chapitre 6, il a permis de voir dans un premier temps qu'il existe plusieurs manières de se protéger contre l'élévation du niveau de la mer en privilégiant des mesures d'adaptation douce et éco-responsables. Il met en lumière aussi l'avancé des opérations de reconversions actuelles. Depuis plus de deux décennies et avec l'émergence du concept du développement durable et la réalité amère des impacts du changement climatique, en particulier l'élévation du niveau de la mer, les opérations de reconversions portuaires deviennent des moyens de lutte pour le déploiement de stratégie de résilience. Aujourd'hui les territoires des villes portuaires sont en première ligne pour l'adaptation au changement climatique (Aouissi, 2019 ; AIVP, 2021). Nous avons donc voulu montrer à travers ce travail que la reconversion portuaire d'Alger devrait non seulement, se présenter comme l'opportunité de promouvoir, et de ramener la métropole au rang de ses concurrentes méditerranéennes afin d'atteindre l'objectif exprimé par le SNAT d'inscrire Alger dans les « top five » des villes méditerranéennes, mais aussi comme l'opportunité de protéger les côtes algéroises d'un risque imminent (Aouiss, 2019), à l'image du « *Dry Line* » de New York ou de la reconversion du Boston East (vu dans le chapitre 6).

Afin de réduire les effets négatifs du changement climatique aussi bien sur la composante naturelle que sur le devenir des services sociaux et économiques des zones côtière, il est primordial d'anticiper sur l'élévation de la température de l'eau et l'élévation du niveau de la mer. Ce constat requiert donc l'intégration de la dimension « *changement climatique* » et du risque « *submersion marine* » dans les processus de planification du développement socio-économique de cette zone en s'appuyant sur différents types d'actions complémentaires notamment : l'évaluation de la vulnérabilité d'Alger face aux risques climatiques (l'aléa élévation du niveau de la mer), l'élaboration de plans d'action locales d'adaptation du littoral au risque de submersion marine à travers la mise en place de plans de prévention du risque (PPRS), le développement des SIG spécifiques à la cartographie des terres à risque de submersion marine à horizon actuel et futur en se basant sur des modèles numériques de terrain ou d'élévation (MNT ou MNE) à haute résolution et sur des données hydrodynamiques précises, la mise en place de veille-alerte précoce aux

événements climatiques et météorologiques extrêmes à travers un réseau d'observation météo-marine, etc. (MREP-PAP RAC/ PAM, 2015).

Enfin le recours à des mesures d'adaptation de protection côtière éco-responsable sont à privilégier au niveau de l'interface ville/mer d'Alger afin de ne pas augmenter la vulnérabilité du territoire exposé. Ces mesures d'adaptation devraient s'inscrire dans une double orientation, celle d'embellir la vitrine et la façade maritime d'Alger tout en luttant pour que le front de mer subsiste aux différents aléas côtiers (Rabehi et al., 2018 ; Aouissi, 2019). Comme nous avons pu voir précédemment dans le chapitre 6, il existe plusieurs manières d'agir face à l'élévation du niveau de la mer (cependant il ne faut pas oublier qu'il est nécessaire d'investir dans d'autres initiatives qui contribuent à atténuer les effets du changement climatique et de ses impacts, en misant par exemple sur la transition énergétique vers des carburants durables (AIVP, 2021).

Le phénomène de submersion marine représente un risque majeur pour nos villes côtières, susceptible d'augmenter en fonction de l'élévation du niveau de la mer, de l'évolution démographique et de la concentration des enjeux (Coquet, 2019). Cette étude souligne la nécessité de disposer d'informations plus précises et actualisées sur l'élévation prévue du niveau de la mer dans le cadre de différents scénarios aux niveaux régional et local, ce qui permettrait une évaluation précise des impacts afin de développer des mesures d'adaptation appropriées et contextualisées. Le développement d'un modèle numérique d'élévation à haute résolution du littoral algérois (intégrant la proposition de l'aménagement de la baie d'Alger faite par Art charpentier en 2009) pourrait fournir une meilleure évaluation de l'exposition des enjeux face à l'élévation du niveau de la mer et donc de meilleurs résultats à l'avenir utiles aux gestionnaires. L'intégration de variables socio-économiques dans des travaux futurs pourrait fournir également de meilleurs résultats sur la vulnérabilité de la zone côtière étudiée.

Actuellement, les études récentes en lien avec la thématique du changement climatique et l'élévation du niveau de la mer au niveau des interfaces tendent à classer et à évaluer les mesures d'adaptation afin de faire face aux aléas côtiers notamment le risque de submersion marine en estimant dans un premier temps le rapport (coût-efficacité) des stratégies d'adaptation (Creach et al., 2019). Pour le littoral algérois, le coût de l'adaptation peut également être évalué et peut-être comparé à celui des dommages attendus en cas d'inondation à condition de disposer et avoir accès aux données essentielles à cette

évaluation. Cela facilitera entre autre la prise de décision qui obéit souvent à des considérations économiques.

Pour conclure, cette étude propose que les projets côtiers prévus sur l'interface ville/mer d'Alger à l'horizon 2030, soit revus en tenant compte des impacts de l'élévation du niveau de la mer (SLR), en particulier les plans de développement proposés dans le secteur les plus à risque. Au sein de ces environnements où se concentrent de nombreux enjeux urbains, économiques et touristiques, des études complémentaires sont nécessaires pour non seulement permettre une meilleure acceptation du risque par la population, une amélioration de la gestion opérationnelle des risques (Lerma et al., 2015), mais aussi afin d'identifier les politiques appropriées pour minimiser les effets de la montée des eaux et évaluer les pertes économiques susceptibles d'affecter différents types de développement dans les zones vulnérables d'Alger.

Nous recommandons vivement d'autres recherches pour déterminer quelles sont les mesures d'adaptation les plus efficaces pour faire face à ce phénomène. Malgré l'importance de la région d'Alger peu de recherches sur le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer ont été menées dans cette région à l'horizon 2030. Cette étude comble cette lacune et contribue à la littérature dans ce domaine, elle peut également contribuer à l'élaboration de stratégies et de mesures en réponse au SLR dans les travaux à venir.

Par ailleurs, cette étude ouvre la voie à des recherches complémentaires, qui doivent être réalisées en collaboration avec d'autres spécialistes, notamment dans les axes suivants :

- La propagation de la submersion marine est conditionnée par plusieurs facteurs, notamment ; (1) les éléments topographiques et structurants qui peuvent bloquer les écoulements, (2) l'occupation des sols qui se traduit en termes d'état de surface du terrain et de "résistance à l'écoulement", (3) les connexions hydrauliques pouvant faciliter ou bloquer le passage d'obstacles à l'écoulement. Ces diverses particularités géométriques et surfaciques doivent être prises en compte via: les caractéristiques des surfaces bâties extraites du Modèle Numérique d'Élévation (MNE), les éléments structurants (murets de front de mer) ou lignes de contraintes et leurs caractéristiques à partir de levés au GPS différentiel, les principales

connexions hydrauliques et leurs caractéristiques géométriques (hauteur, largeur de section, fonctionnement), un coefficient de rugosité en fonction du type de sol rencontré (pelouse, béton, zone arborée, etc.) (Lerma et al., 2015).

- L'utilisation de modèles hydrodynamiques pour une meilleure modélisation numérique de l'inondation, notamment le modèle MARS-SWAN (qui permet de simuler les variations des niveaux d'eau en tenant compte des interactions avec les conditions de vagues et d'intégrer l'ensemble des phénomènes susceptibles de contribuer à la surélévation du niveau d'eau à la côte lors des tempêtes).
- L'évaluation de la population à risque.
- la perception du risque de la submersion marine par les habitants des communes littorales est aussi une piste de recherche qu'il faudra exploiter dans les recherches futures, en se basant sur les travaux de (Hellequin et al., 2014).
- Enfin l'évaluation de la résilience des réseaux techniques est également une piste à considérer dans les futurs travaux de recherche (considéré comme propagateur des risques en milieu urbain).

En effet, dans un contexte où le monde devient de plus en plus incertain, notamment à cause du changement climatique, combiné avec la concentration des biens et des personnes en milieu urbain, laisse présager des événements dévastateurs pour les années à venir. Les scientifiques présagent que le risque d'inondation devrait augmenter de manière significative durant les décennies à venir, avec un coût économique pouvant atteindre 100 milliards d'Euros par an dans le monde d'ici la fin du siècle. Aujourd'hui, les réseaux techniques urbains face à ses défis deviennent très sensibles. Le fonctionnement de la ville dépend en grande partie du fonctionnement de ces réseaux identifiés par plusieurs auteurs comme vulnérables au risque d'inondation et comme point d'entrée des défaillances (Serre, 2015 ; Lhomme, 2012 ; Serre, 2011). La moindre défaillance de ces réseaux peut avoir des conséquences en cascade sur le fonctionnement urbain de la ville. De la même manière, que la défaillance des réseaux techniques d'une ville, peut avoir des conséquences à l'échelle planétaire.

L'enjeu aujourd'hui est alors de rendre les réseaux techniques urbains plus sûrs au cours du 21<sup>ème</sup> siècle afin d'augmenter la résilience de la ville face aux impacts du

changement climatique. Les réseaux constituent donc l'un des systèmes sur lesquels doivent se focaliser les mesures techniques et de gestion afin de concevoir une ville adaptée aux risques.

Enfin évaluer la résilience des réseaux techniques urbains apparaît donc comme une phase importante pour augmenter la résilience des villes, et pour orienter les réponses à mettre en place afin de diminuer les effets des aléas en ville. Il s'agira donc d'évaluer la capacité de ces réseaux à fonctionner en mode dégradé (pendant l'aléa) et leur capacité à être remis en service, pour améliorer l'efficacité de la ville à récupérer ses fonctions dépendantes de ses réseaux (Serre, 2015).

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**ANAT** : Agence National d'Aménagement du Territoire.

**AGAM** : Agence d'urbanisme de l'Agglomération de Marseille.

**AIVP**: Association Internationale Ville et Port.

**BIG** : Bjarke Ingels Group.

**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

**CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

**CDC**: Caisse des Dépôts et Consignations.

**CEPRI** : Centre européen de prévention des risques d'inondation.

**CNL** : Commissariat National du Littoral.

**FEM** : Fonds pour l'environnement mondial.

**GES** : Gaz à Effet de Serre.

**GIEC** : Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

**GIZC** : Gestion Intégrée des Zones Côtières.

**IAU** : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme.

**INCT** : Institut National de Cartographie et de Télédétection.

**LEM** : Laboratoire des Etudes Maritime.

**LIDAR**: Light Detection and Ranging.

**l'USGS**: l'United States Geological Survey.

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

**MEDDE** : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie.

**MICMAC** : Matrice d'Impacts Croisés, Multiplication Appliquée à un Classement

**MNEA**: Middle East and North Africa.

**MNT** : Modèle Numérique de Terrain.

**ONEDD** : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.

**ONS** : Office National des Statistiques.

**PDAU** : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (Algérie).

**PNAE-DD** : Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable.

**PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement.

**POS** : Plan d'Occupation des Sols (Algérie).

**PPPI** : Plan de Protection et Prévention des Inondations.

**PRPN** : Plan de Prévention des Risques Naturels.

**QGIS** : Quantum Geospatial Information.

**RCP** : Profils Représentatifs d'Evolution de Concentration.

**SCR** : Système de Coordonnées Référence.

**SIG** : Système d'Information Géographique

**SLR**: Sea Revel Rise

**SNAT** : Schéma National d'Aménagement du Territoire (Algérie).

**TIC** : Technique d'Information et de Communication.

**URBAB** : Centre d'Etudes et de Réalisation en Urbanisme de Blida.

**WGS**: World Geodetic System.

## REFERENCES

1. Abadie, L. M., Jackson, De Murieta, E.S., Jevrejeva, S., Galarraga, I., 2020. Comparing urban coastal flood risk in 136 cities under two alternative sea-level projections: RCP 8.5 and an expert opinion-based high-end scenario. *Ocean & Coastal Management* 193: 105249. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105249>.
2. AGAM, 2013, Atlas des villes portuaires, 2e rapport de mission.
3. Agoumi, A., 2003. Vulnerability of North African countries to climatic changes: adaptation and implementation strategies for climate change. International Institute for Sustainable Development
4. AIVP, 2015. Guide de bonnes pratiques, faire la ville avec le port
5. AIVP, 2021. Dossier thématique. Adaptation au changement climatique. 47pp.
6. Akpınar, A., Bingolbali, B., Van Vledder, G.P., 2017. Long-term analysis of wave power potential in the Black Sea, based on 31-year SWAN simulations. *Ocean Eng.* 130, 482–497. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2016.12.023>.
7. Al-Mutairi, N., Alsahli, M., El-Gammal, M., Ibrahim, M., Abou Samra, R., 2021. Environmental and economic impacts of rising sea levels: A case study in Kuwait's coastal zone. *Ocean & Coastal Management* 205: 105572. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105572>
8. AlSahli, M.M., AlHasem, A.M., 2016. Vulnerability of Kuwait coast to sea level rise. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography* 116 (1), 56–70.
9. Amarouche, K., Akpınar, A., Çakmak, R.E., Houma, F., Bachari, N.E.I., 2020. Assessment of storm events along the Algiers coast and their potential impacts. *Ocean Eng* 210, 107432. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107432>.
10. Amir, L. A., Theilen-Willige, B., 2017. Coastal risk and water flow analysis in eastern Algeria (Western Mediterranean). *Univ J Geosci*, 5(4), 99-111.
11. Amoura, R., Dahmani, K., 2022. Visualization of the spatial extent of flooding expected in the coastal area of Algiers due to sea level rise. *Horizon 2030/2100. Ocean & Coastal Management*, 219, 106041. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106041>
12. André, C., 2013. Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance : perspectives apportées par les tempêtes Johanna (2008) et Xynthia (2010). Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2013. Français. ffnnt : 2013BRES0044ff. fftel-00961315ff.
13. André, J. C., Balstad, R., Boucher, O., Brasseur, G., Chahine, M. T., Chanin, M.L et al., 2007. Comprendre le changement climatique.
14. Anziani A., 2010. Les conséquences de la tempête Xynthia. Rapport d'information du Sénat n° 647. 205 p. + annexes. Tome 1. <https://www.senat.fr/notice-rapport/2009/r09-647-1-notice.html>.
15. Aouissi, K. B., Madani, S., 2017. Alger: Prospection de scénarii pour sa reconversion portuaire *Cinq Continents*, 7(16), 151–172. <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/63426>.
16. Aouissi, K. B., 2019. Alger ; Prospection d'une reconversion portuaire comparée. Thèse, Ferhat Abbas université de Sétif 1, p.283.

17. Auda, Y., 2022 Systèmes d'information géographique. Avec les logiciels libres GRASS et QGIS. 212 pages. URL : <https://www.cairn-sciences.info/systemes-d-information-geographique--9782100834013.htm>.
18. Auly, T., Laymond, P., Prat, M. C., & Veiga, J., 2012. Petit vocabulaire des risques et des catastrophes d'origine naturelle. Éd. Confluences.
19. Aviotti, A., 2011. Characterize the vulnerability of households to flooding: towards a selfdiagnostic tool. Architecture, aménagement de l'espace. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Français. <NNT : 2011ENMMP0081>. <pastel-00687154>.
20. Baills, A., Garcin, M., Bulteau, T., 2020. Assessment of selected climate change adaptation measures for coastal areas. Ocean & Coastal Management 185: 105059. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105059>.
21. Belfatmi, M, S., 2016. La fiscalité environnementale en Algérie : un état des lieux, 65-85pp.
22. Beltrando, G., 2012. Élévation du niveau marin dans les îles intertropicales des océans Pacifique et Indien. Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Territory in movement Journal of geography and planning, 14-15, 120-137. <https://doi.org/10.4000/tem.1783>.
23. Bentchakal, M., 2021. Impact des risques d'origines climatiques sur le milieu naturel.
24. Berentelg, J, B., 2018. From good city form to urban transformation-co development of urbanity, sustainability and resilience inspirations from HafenCity Hamburg, Germany.
25. Berezowska, A, E., 2012. Projet urbain: Comprendre la démarche du projet urbain. Edition Synergie, Alger.
26. Berezowska, E. A, .2016. Le PDAU d'Alger à l'horizon 2035: comment enclencher la dynamique de développement avec le Baromètre d'Alger.
27. Berger, A., 2005. Le réchauffement climatique au XXIe siècle. Causes et conséquences. Bulletin de la Classe des sciences. Académie royale de Belgique, 16(7), 323-339. <https://doi.org/10.3406/barb.2005.28496>
28. Berrah, K., 2011. Armature urbaine - RGPH 2008, Collections statistiques, n°163/2011 (Série S) : Statistiques Sociales, Office National des Statistiques. [https://www.ons.dz/IMG/pdf/armature\\_urbaine\\_2008.pdf](https://www.ons.dz/IMG/pdf/armature_urbaine_2008.pdf).
29. Birraux, C., Le Déaut, J. Y. L'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables. Chapitre 1. In [https://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-off/r3415-11.asp#P513\\_40229](https://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-off/r3415-11.asp#P513_40229).
30. Bogdanoff, E, A., Delattre, J., Le Saout, O., Lobry,F., Michel, B., Schlesinger, T., 2021. La résilience des territoires : l'exemple de Hambourg et du Schleswig-Holstein.
31. Bouroumi, M, T., Beghdoud, L,K., et Hamma, W.,2017. The Algerian coastline between degradation and protection of the heritage: the case of the coastal town of ain el turck. urbanism. architecture. constructions/urbanism. arhitectura. constructii, vol. 8, no 3.
32. Bourque, A., 2022. Bourque, A. (2000). Les changements climatiques et leurs impacts. VertigO, Volume 1 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4042>.
33. Breilh, J. F., 2014. Les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne : les enseignements de la tempête Xynthia. Sciences de la

- Terre. Université de La Rochelle. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01174997/>.
34. Brooks, S.M., Spencer, T., 2012. Shoreline retreat and sediment release in response to accelerating sea level rise: measuring and modelling cliffline dynamics on the Suffolk Coast, UK. *Global Planet. Change* 80, 165–179
  35. Cao, A., Esteban, M., Onuki, M., Nguyen, K., Nguyen, D.T., Trung Le, V., 2021. Decoupled formal and informal flooding adaptation and conflicts in coastal cities: A case study of Ho Chi Minh City. *Ocean & Coastal Management* 209: 105654. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105654>.
  36. Cariolet, J. M., 2010. Use of high water marks and eyewitness accounts to delineate flooded coastal areas: The case of Storm Johanna (10 March 2008) in Brittany, France. *Ocean & Coastal Management* 53(11): 679-690. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.09.002>.
  37. Cariolet, J.M., 2011. Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne; vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météoro-océaniques et des paramètres morpholo-sédimentaires. Océon, Atmosphère. Université de Bretagne occidentale- Brest, 2011. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00596426>
  38. Cariolet, J.M., Suanez, S., Meur-Férec, C., Postec, A., 2012. Cartographie de l'aléa de submersion marine et PPR : éléments de réflexion à partir de l'analyse de la commune de Guissény (Finistère, France). *European Journal of Geography* . DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.25077>
  39. Cazenave, A., Cozannet, G.L., 2014. Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future* 2, 15–34. <http://dx.doi.org/10.1002/2013EF000188>.
  40. CEPRI, 2015. Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation.
  41. CEPRI, 2016. Les collectivités territoriales face aux risques littoraux. Élaborer et mettre en œuvre une stratégie de réduction du risque de submersion marine. Accessible en ligne : <https://www.oieau.fr/eaudoc/notice/Les-collectivites-territoriales-face-aux-risques-littoraux-%C3%A9laborer-et-mettre-en-oeuvre-une>.
  42. 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). *Arabe J Geosci* 13, 420 . <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05407-6>
  43. 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, Hors-série* 9. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10947>.
  44. Chauviteau, C., Vinet, f., 2006. La vulnérabilité des établissements recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliquée dans le Bassin de l'Orb (Hérault), *Ingénieries*, n°46, p. 15-33., s.l.: s.n.
  45. Cherel, J. P., 2010. Création d'un Modèle Numérique de Terrain sous tntmips. Support de cours M1 SIIG3T - Traitement d'images.
  46. Chouari, W., 2019., A methodological approach for mapping Tunisia's lower coast's risk of submersion: the case of the coastal sabkhas of Sidi Khelifa and Halq El Menjel (Central-East Tunisia). *Journal of African Earth Sciences* 162. 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103726>
  47. Coquet, M., 2019. La perception du risque de submersion marine par les habitants de communes littorales françaises. Les cas de Barneville-Carteret, Saintes-Maries-

- de-la-Mer, Châtelailon-Plage et Sainte-Anne (Guadeloupe). Thèse de doctorat. Université de Nantes.
48. Costa, S., Suanez, S., Anthony, E., Héquette, A., Goslin, J., Morhange, C., et al., 2013. 10. Les littoraux et l'élévation du niveau des mers. Dans : éd., Géomorphologie de la France (pp. 143-156). Paris: Dunod.
  49. Craft, C., Clough, J., Ehman, J., Joye, S., Park, R., Pennings, S., Guo, H., Machmuller, M., 2008. Forecasting the effects of accelerated sea level rise on tidal marsh ecosystem services. *Front. Ecol. Environ.* 7 (2), 73–78.
  50. Creach, A., Bastidas, A.E., Pardo, S., Mercier, D., 2019. Adaptation of residential buildings to coastal floods: Strategies, costs and efficiency. In *Climate adaptation engineering* (pp. 245-270). Butterworth-Heinemann.
  51. Dantcikian, R., 2018. Changement climatique et urbanisme entre vulnérabilité et résilience des villes.
  52. Deguenon, S. D. D. M., Adade, R., Teka, O., Aheto, D. W., & Sinsin, B. (2022). Sea-level rise and coastal flooding: A review of models for coastal policy and management. *Research Square* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2222893/v1>
  53. Deluz, J. J., 2001. Alger chronique urbaine, édition Bouchene.
  54. Djouder, F., 2018. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer méditerranée sur le littoral du Golf de Bejaia. PhD thesis, University of Béjaia p.290. <https://repository.usthb.dz/handle/123456789/7004>.
  55. Djouder, F., 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, 14. DOI 10.1007/s12517-017-3062-5.
  56. Dwarakish, G.S., Vinay, S.,A., Natesan, U., Asano, T., Kakinuma, T., Venkataramana, K., et al., 2009. Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udipi coastal zone of Karnataka state, west coast of India. *Ocean & Coastal Management* 52(9), 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.07.007>
  57. Egis-BRGM-IAU-IDF., 2013. Etude 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, Caisse des Dépôts et Consignations (CDC), CMI, 516 p.
  58. Egis-BRGM-IAU-IDF., 2013. Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels, Phase 2 – Elaboration de plan d'actions. 307 p.
  59. El Hage, M., Faour, G., Polidori, L., 2011. L'impact de l'élévation du niveau de la mer (2000-2100) sur le littoral libanais une approche par teledetection et cartographie diachronique. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 194, 2. 36-44.
  60. Elco, E. K., Le Bars, D., Essenfelder, A.H., Nirandjan, S., Sayers, P., 2022. The impacts of coastal flooding and sea level rise on critical infrastructure: a novel storyline approach, *Sustainable and Resilient Infrastructure*, DOI: 10.1080/23789689.2022.2142741.
  61. Ennesser, Y., Terrier, M., Said, V., 2016. Les grandes villes côtières d'Afrique du Nord face au changement climatique et aux risques naturels. *Géosciences* 21. 50-57.
  62. Foury, N., 2017. La politique nationale d'aménagement et de protection du littoral. Analyses chroniques et réflexions.

63. Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G.S., Drijfhout, T. L., Edwards, N. R., 2021. Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 1211–1362, doi:10.1017/9781009157896.011.
64. Gaoua, L. F., Mansour, L. A., 2019. Le paysage urbain au profit de l'attractivité touristique des villes, accessed on October 23, 2021. <http://revue-rimec.org/le-paysageurbain-au-profit-de-lattractivite-touristique-des-villes/>.
65. Garcin, M., Baills, A., Bulteau, T., 2018. Evaluation des dispositifs d'adaptation aux risques naturels face au changement climatique en Aquitaine, 131pp. Report BRGM/ RP-67419-FR. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35904.38400>.
66. Garcin, M., Lerma, A.M., Pedreros, R., 2012. Evaluation de la submersion marine maximale à l'échelle régionale. Rapport final. BRGM/RP-62259-FR, p.97, fig.40, tabl.9, ann4. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61656-FR.pdf>.
67. Garry, G., E. Graszka, M. Toulemont et F. Levoy., 1997. Plan de prévention des risques littoraux (PPR), Guide méthodologique. Paris, La Documentation française, 54p, ISBN : 2-11-003883-7.
68. Ghodbani, T., 2009. Environnement et littoralisation de l'Ouest algérien, thèse de doctorat en géographie, Université d'Oran et Université de Paris 8.
69. Ghodbani, T., Bougherira, A., 2019. Le littoral algérien entre protection de l'environnement et impératifs du développement, Enjeux et Perspectives. Geo-Eco-Trop, vol. 43, no 4, p. 559-568.
70. Ghodbani, T., Kansab, O., Kouti, A., 2016. Développement du tourisme balnéaire en Algérie face à la problématique de protection des espaces littoraux. Le cas des côtes "mostaganemoises", *Études caribéennes* <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.9305>.
71. Ghousein, Y., Mhawej, M., Jaffal, A., Fadel, A., El Hourany, R., Faour, G., 2018. Vulnerability assessment of the South-Lebanese coast: a GIS-based approach. *Ocean Coast Manag.* 158, 56–63
72. GIEC, 1995. Changement 1995 de climat : La Science du changement de climat. Contribution de groupe de travail I au deuxième rapport d'évaluation du panneau intergouvernemental sur le changement de climat [Houghton, J.J., L.G. Meiro Filho, B.A. Callander., Cambridge et New York, 584 pp: Pression d'université de Cambridge..
73. GIEC, 2001. The scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, s.l.: Cambridge University Press.
74. GIEC, 2007. Bilan des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. 103 pages. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf).
75. GIEC, 2007. Résumé à l'intention des décideurs. Changements climatiques 2007; les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
76. GIEC, 2013: Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge

- University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
77. GIEC, 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.
  78. GIEC, 2019 a : Résumé à l'intention des décideurs. Dans : Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat changeant [H.-O. Pörtner, DC Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, NM Weyer ( éd.)]. Dans la presse.
  79. GIEC., 2015. Rapport sur l'évolution du climat.  
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/2nd-assessment-fr.pdf>.
  80. Godet, M., 2007. Manuel de prospective stratégique-Tome 2-3ème édition-L'Art et la méthode. dunod.
  81. Godet, M., Durance, P., 2008. La Prospective stratégique pour les entreprises et les territoires. Paris, Dunod.
  82. Godet, M., Durance, P., 2011. La prospective stratégique-2e éd.: Pour les entreprises et les territoires. Dunod.
  83. Gonod.P.F., Gurtler, J. L., 2002. Prospective et recherche agronomique.
  84. Grannis, J., 2016. Rebuilding with resilience. Lessons from the Rebuild by Design Competition After Hurricane Sandy. 102p.
  85. Hellequin, A. P., Flanquart, H., Meur-Ferec, C., Rulleau, B., 2013. Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien: contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière. *Natures Sciences Sociétés*, 21(4), 385-399.
  86. Hernandez, J., 2008. Le tourisme macabre à La Nouvelle-Orléans après Katrina : résilience et mémorialisation des espaces affectés par des catastrophes majeures » URL : <http://journals.openedition.org/norois/2208>.
  87. Hinkel, J., Nicholls, R.J., Vafeidis, A.T., Tol, V.R., Avagianou, T., 2010. Assessing risk of and adaptation to sea level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitig. Adapt. Strategies Glob. Change* 15 (7), 703–719.
  88. Hoozemans, F.M.J., Marchand, M., Pennekamp, H.A., 1993. Sea level rise. A global vulnerability assessment. Delft Hydraulics, Delft / Rijkswaterstaat, The Hague, 184 pp.<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A651e894a-9ac6-49bf-b4ca-9aedef51546f>.
  89. Hoque, M.A., Ahmed. N., Pradhana. 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: 104898. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104898>.
  90. IPCC, 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
  91. IPCC, 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfeld, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi: 10.1017/9781009157896.
92. Jouzel, J., Planton, S., Delmotte, V.M., Soussana, J.F., Hourcade, J.C., 2018. Mieux comprendre le GIEC. In [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC\\_Livret\\_Mieux\\_comprendre\\_le\\_GIEC\\_2018.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Livret_Mieux_comprendre_le_GIEC_2018.pdf).
  93. Kacemi, M., 2008. La loi de protection et de valorisation du littoral en Algérie: un cadre juridique ambitieux toujours en attente le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran- Algérie).
  94. Kacemi, M., 2009. Protection du littoral en Algérie entre gestion et législation. Le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran, Algérie). *Droit et société*, no 3, p. 687-701.
  95. Kacemi, M., 2011. Protection et valorisation du littoral en Algérie : législation et instruments : Le cas des communes littorales d'Oran », *Études caribéennes*, n° 20, URL : <URL : <http://etudescaribeennes.revues.org/5959>>.
  96. Khan, A. S., Ramachandran, A., Usha, N., Punitha, S., Selvam, V., 2012. Predicted impact of the sea-level rise at Vellar–Coleroon estuarine region of Tamil Nadu coast in India: Mainstreaming adaptation as a coastal zone management option. *Ocean & Coastal Management* 69, 327-339. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.08.005>.
  97. Kirby, J. A., Masselink, G., Essex, S., Poate, T., Scott, T., 2021. Coastal adaptation to climate change through zonation: A review of coastal change management areas (CCMAs) in England. *Ocean & Coastal Management* 215: 105950. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105950>.
  98. Kont, A., Jaagus, J., Aunap, R., Ratas, U., Rivas, R., 2008. Implications of sea level rise for Estonia. *J. Coast Res.* 423–431.
  99. Kuhn, M., Tuladhar, D., Corner, R., 2011. Visualising the spatial extent of predicted coastal zone inundation due to sea level rise in south-west Western Australia. *Ocean & Coastal Management* 54, 796-806. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.08.005>.
  100. Labeyrie, L., 2015. Préface, dans : *Submersion*. Odile Jacob, « Hors collection », 2015, p. 7-9. URL: <https://www-cairn-sciences-info.snd11.arn.dz/--9782738132420-page-7.htm>.
  101. Lacroix, D., Mora, O., de Menthère, N., Bethinger, A., 2019. La montée du niveau de la mer: conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective. Rapport d'étude (Doctoral dissertation, AllEnvi; INRA).
  102. Lakahal, F., 2019. La gestion intégrée des zones côtières, quelle perspective pour la protection de l'environnement? *revue algérienne d'économie de gestion*, vol. 13, no 02.
  103. Lalaoui, L., 2014. La prospective urbaine face aux enjeux des changements climatiques ; Cas des communes littorales d'Alger, Mémoire de magister en architecture et urbanisme, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), Algérie. (Document non publiée en ligne).
  104. Larara, M., Nedjari, A., Maouche, S., Benhamouche, A., & Meghraoui, M., 2012. Littoral algérien et risques de Tsunamis. *Bulletin du service géologique national*, 23(3), 241-251.
  105. Le Cozannet, G., 2016. Les conséquences de l'élévation du niveau marin pour le recul du trait de côte. *Géographie*. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I. Français. ffnNT : 2016PA01H036ff. fftel- 01661291.
  106. LEM., 1996. Etude de l'impact de la houle sur la sédimentologie (Mission 3). Wilaya d'Alger, site ; Ain benian-port d'Alger.

107. Leone, F., De Richemond, N.M., Vinet, F., 2021. Aléas naturels et gestion des risques. Presses Universitaires de France, 288 p, 978-2-13-057432-3. fhal-03279213.
108. Leone, F., Vinet, F., 2006. La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels. La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. *Analyses géographiques*, 9-25.
109. Lerma, N.A.A., Paris, F., Elineau, S., Balouin, Y., Lecacheux, S., Durand, P., et al., 2015. Modélisation numérique de l'aléa de submersion appliquée à l'élaboration des plans d'évacuation et à la gestion de crise, exemple de la commune de Leucate, pp. 219–224. <https://doi.org/10.5150/cmcm.2015.043>.
110. Levrard, B., 2005. Cycles de Milankovitch et variations climatiques : dernières nouvelles. In <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/milankovitch2005.xml>.
111. Lhomme, S., 2012. Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain- Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine (Doctoral dissertation, Université Paris-Diderot-Paris VII).
112. Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., Laganier, R., 2010. Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine. *Bulletin de l'association des géographes français*, pp. 487-502.
113. Lombard, A., 2005. Les variations actuelles du niveau de la mer: Observations et causes (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
114. 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>
115. Martínez-Grana, A.M., Boskib, T., Goya, J.L., Zazoc, C., Dabriod, C.J., 2016. Coastal flood risk management in central Algarve: vulnerability and flood risk indices (South Portugal). *Ecol. Indicat.* 71, 302–316.
116. Matari, A., 2016. Climat et changement climatique. Numéro spécial. *Journal Algérien des régions Arides (JARA)*.
117. MATE., 2001. Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques.
118. MATE-PNUD-FEM., 2015. Rapport final Etude diagnostique sur la Biodiversité et les changements climatiques en Algérie. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/DZA/Rapport%20final%20Biodiversit%C3%A9%20et%20CC.pdf>.
119. Mebarki, N., 2013. Le développement durable en Algérie : un état des lieux. *Revue des sciences économiques et de gestion* (13), 61-92pp.
120. MENGUAL, P., 2008. La réduction de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations.. Collection Sciences du Risque et du Danger (SRD). Editions Tec & doc éd. Lavoisier, Paris: s.n.
121. Mercier, D., Maquaire, O., Suanez, S., Costa, S., Vinet, F., Lissak, C., Fressard, M. & Thiery, Y. (2013). 12. Géomorphologie et risques naturels. Dans : éd., *Géomorphologie de la France* (pp. 173-186). Paris: Dunod. URL : <https://www-carin-science-info.sndll.arn.dz/-9782100588046-page-173.htm>.
122. Meur-Ferec, C., Berre, I. L., Cocquempot, L., Guillou, É., Henaff, A., Lami, T., Le Dantec, N., Letortu, P., Noûs, C, M, P., 2020. Une méthode de suivi de la

- vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, 11(1).
123. Meur-Ferec, C., Lageat, Y., Hénaff, A., 2013. La gestion des risques côtiers en France métropolitaine: évolution des doctrines, inertie des pratiques? *Géorisques*, 4, 57-67.
  124. Meur-Ferec, C., Philippe, D., Morel, V., Longuépée, J., 2009. La vulnérabilité des territoires côtiers à l'érosion. Vers une prise en compte des risques dans la GIZC.
  125. Micheau, B., 2012. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA PRESSE MAGAZINE : EXPLIQUER LA MENACE, IMPLIQUER LES INDIVIDUS, PRÉDIRE LA CATASTROPHE. In <https://www.cairn.info/revue-communication-et-langages1-2012-2-page-27.htm>.
  126. Mihoubi, M. K., Belkessa, R., Latreche, M. A., 2014. Study of the Vulnerability of Coastal Areas of the Algerian Basin with the GIS. *International Journal of Environmental Science and Development* 5, 6. 522-526. DOI: 10.7763/IJESD.2014.V5.538
  127. MREP-PAP RAC/ PAM., 2015. Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie.
  128. Nedjraoui, D., bédrani, S. La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *VertigO*, 2008, vol. 8, no 1, p. 15.
  129. Niazi, S., 2007. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan : Vulnérabilité et adaptation. Doctorat es-sciences Univ. Mohammed V-Agdal (Maroc), 296pp.
  130. Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A., 2014. Adaptation needs and options. 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. 833-868.
  131. Nouaceur, Z., Laignel, B., Turki, I., 2013. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? », *Physio-Géo* Volume 7. <http://journals.openedition.org/physio-geo/3686>.
  132. Nouri, L., Farhi, A., Monnet, J., 2019. De l'aménagement des promenades de la baie d'Alger à l'évolution des pratiques ludiques. *Enjeux et société*, 6(2), 55-79. <https://doi.org/10.7202/1066693ar>.
  133. Oliveros, C., 2003. Etude des phénomènes de submersion marine sur le littoral de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer. BRGM/RP-52747-FR, 46p., 5fig., 1 pl.hors texte, 2 ann.
  134. Oppenheimer, M., Glavovic, B.C., Hinkel, J ., van de Wal, R., Magnan, A.K. ., Abd-Elgawad, A et al., 2019. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
  135. Otmani, H., Belkessa, R., Bengoufa, S., Boukhediche, W., Djerrai, N., Abbad, K., 2020. Assessment of shoreline dynamics on the Eastern Coast of

- Algiers (Algeria): a spatiotemporal analysis using in situ measurements and geospatial tools. Arab. J. Geosci. 13 <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5069-6>.
136. Ouchene, B., Moroncini, A., 2018. De l'économie socialiste à l'économie de marché : l'Algérie face à ses problèmes écologiques. *VertigO*, 18(2).
  137. Ouedraogo, M., Degré, A., & Debouche, C., 2014. Synthèse bibliographique: le modèle numérique de terrain de haute résolution, ses erreurs et leur propagation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(3).
  138. Paranunzio, R., Guerrini, M., Dwyer, E., Alexander, P. J., & O'Dwyer, B., 2022. Assessing Coastal Flood Risk in a Changing Climate for Dublin, Ireland. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1715.
  139. PDAU, 2010. Stratégie et schéma de développement économique d'Alger, pp.62-54.
  140. Pedreros, R., 2016. Etat des connaissances sur la dynamique et la cinétique de la submersion marine et des méthodologies d'évaluation. BRGM/RP-66197-FR.
  141. Perherin, C., 2007. Contribution à l'analyse des phénomènes de surcotes et de submersions marines. Secteur du Pertuis Breton (Vendée). Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État, Rapport de stage, p.94.
  142. Pirazzou. A.P., 2000. L'élévation récente du niveau de la mer et les prévisions pour le XXI<sup>e</sup> siècle. In Actes du colloque d'Arles 12 et 13 octobre 2000. le changement climatique et les espaces côtiers, l'élévation du niveau de la mer : risque et réponses.
  143. Planton, S., Cazenave, A., Delecluse, P., Dorfliger, N., Gauffrès, P., Idier, D et al., 2012. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. *Evolution du niveau de la mer Volume 3*.
  144. Planton, S., LE COZANNET, G., CAZENAVE, A., Costa, S., Douez, O., Gauffrès, P et al., 2015. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. *Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle Volume 5*.
  145. PNUE., 1996. Méthodes et outils pour les études systémiques et prospectives en Méditerranée.
  146. Rabehi, W., Guerfi, M., Mahi, H., 2016. Remote Sensing Data for Coastal Zone Vulnerability Assessment – The Bay of Algiers Case, *Proceedings of Living Planet Symposium*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016ESASP.740E.261R/exportcitation>
  147. Rabehi, W., Guerfi, M., Mahi, H., 2018. Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. Approche socio-économique et physique de la côte. Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens*. <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>.
  148. Rabehi, W., Guerfi, M., Mahi, H., 2019. La baie d'Alger, un espace côtier prisé, entre pressions d'urbanisation et gouvernance territoriale. *Geo-Eco-Marina*, [SI], v. 25, p. 113-130. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3609744>.
  149. Rahal, F., 2015. Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger. Thèse de doctorat en science, U.S.T.O, Algérie, pp. 88-95.
  150. Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J. A., Hansen, J. E., Keeling, R. F., Parker, D.E., et al., 2007. In [http://www.pik.potsdam.de/~stefan/Publications/Nature/rahmstorf\\_etal\\_science\\_2007.pdf](http://www.pik.potsdam.de/~stefan/Publications/Nature/rahmstorf_etal_science_2007.pdf).
  151. Ramdane, A., 2011. La politique de protection de l'environnement en Algérie: réalisations et échecs. 13, 1-16. Disponible sur: <http://elwahat.univghardaia.dz>.

152. Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Santos, F.D., Gomes, A., Hilden, M., Laihonon, P., Marinova, N., Santini, M., 2011. Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. ETC/CCA Technical Paper 1/2011. European Environment Agency.
153. Rapport final, 2017. Coastal Resilience Solutions For East Boston and Charlestown.
154. REGHEZZA, M., 2006. Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale, s.l. s.n.
155. Reghezza, M., Léone, F., Vinet, F., 2006. La vulnérabilité: un concept problématique. , La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques, Montpellier, PULM, coll. Géorisque, 1, 35-40.
156. Rezak, S., 2014. Hydrologie algérienne : synthèse des apports de crues sur SIG. Thesis, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, p.143.
157. REZAK, S., 2018. Les Systèmes d'Information Géographique Mise en applications sous le logiciel Open Source: QGIS.
158. Rezak, S., Laborde, J.P., Errih . M., 2012. Validation d'un modèle numérique de terrain adapté à la modélisation hydrologique régionale sur l'Algérie du Nord. Hydrological Sciences Journal 57, 5. 928-941. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.685742>.
159. Richard, P. H., 2016. Crise et ville intelligente au prisme de l'éthique appliquée à la sécurité civile (Doctoral dissertation, Troyes).
160. Rodríguez, I., Montoya, I., Sanchez, ' M.J., Carreno, ~ F., 2009. Geographic information systems applied to integrated coastal zone management. Geomorphology 107 (1–2), 100–105.
161. Senouci, M., 2010. Changement climatique en Algérie : évolution future du climat, enjeux et perspectives. Changement climatique : enjeux et perspectives aux Maghreb.
162. SENOUCI, R., 2022. Évolution spatio-temporelle du Littoral de Mostaganem: Morphologie, Occupation du sol et Identification des sites à géorisques côtiers. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis.
163. Serre, D., 2011. La ville résiliente aux inondations Méthodes et outils d'évaluation. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est. fftel-00777206.
164. Serre, D., 2015. Concevoir la résilience urbaine : un défi face à des complexités. EDP Sciences. Complexité et désordre Éléments de réflexion.
165. Siegert, M. J., Alley, R. B., Rignot, E., Englander, J., & Corell, R. W. (2020). Twenty-first century sea-level rise could exceed IPCC projections for strong-warming futures. One earth, 3(6), 691-703. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.11.002>.
166. Snoussi, M., Ouchani, T., Khouakhi, A., Niang-Diop, I., 2009. Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay, Geomorphology 107, 1-2. 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.07.043>.
167. Soanes, L. M., Pike, S., Armstrong, S., Creque, K., Norris-Gumbs, R., Zaluski, S et al., 2021. Reducing the vulnerability of coastal communities in the Caribbean through sustainable mangrove management. Ocean & Coastal Management 210: 105702. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105702>

168. Somot, S., Jorda, G., Harzallah, A., Darmaraki, S., 2016. Sub-chapter 1.2.3. The Mediterranean Sea in the future climate projections, in : *The Mediterranean region under climate change*, IRD Éditions, pp.93-104. DOI : 10.4000/books.irdeditions.22908.
169. Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–35.
170. TAHIR, A., 2012, Garder l'image forte des strates d'Alger et imaginer son futur, Vie de villes Hors-série n°03 (Juillet 2012), pp. 364-385.
171. The atmospheric pressure for North Algiers between 1984 and 2020. <https://www.weatheronline.co.uk/Algeria/Algiers.htm> (accessed on December 22, 2020)
172. Timmerman, A., Haasnoot, M., Middelkoop, H., Bouma, T., McEvoy, S., 2021. Ecological consequences of sea level rise and flood protection strategies in shallow coastal systems: A quick-scan barcoding approach. *Ocean & Coastal Management* 210, 105674. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105674>.
173. Torresan, S., Crittoa, A., Rizzi, J., Zabeo, A., Furlan, E., Marcominia, A., 2016. DESYCO: a decision support system for the regional risk assessment of climate change impacts in coastal zones. *Ocean Coast Manag.* 120, 49–63
174. Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R., 2012. La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 3(1).
175. Tourment, R., Beullac, B., Berthelier, E., Boulay, A., Maurin, J., & Queffelec, Y., 2019. Inondations-Analyse de risque des systèmes de protection-Application aux études de dangers (p. 356). Lavoisier.
176. Vidal. L., 1996. Thèse de Doctorat de l'Université PARIS 6. Spécialité : Océanologie, Météorologie, Environnement. Hydrologie des eaux de surface et circulation thermohaline au cours de la dernière période glaciaire. In <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/28/012/28012623.pdf>.
177. Vies de villes, 2012. Les projets qui transforment Alger. Chapitre 4.
178. Wadey, M, P., Cope, S, N., Nicholls, R, J, McHugh, K., Grewcock, G., Mason, T., 2015. Coastal flood analysis and visualisation for a small town. *Ocean & Coastal Management* 116, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.07.028>.
179. Wadey, M, P., Cope, S, N., Nicholls, R, J, McHugh, K., Grewcock, G., Mason, T., 2015. Coastal flood analysis and visualisation for a small town. *Ocean & Coastal Management* 116, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.07.028>.
180. Walsh. 2017. Final report. Coastal resilience solutions for east Boston and Charlestown.
181. Wilaya d'Alger., 2016. Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme d'Alger (PDAU). Rapport d'orientation. Alger.
182. Yates-Michelin, M., G. Le Cozannet, Y. Krien, Y. et N. Lenôtre., 2011. Amélioration de la méthode RNACC : caractérisation des incertitudes relatives à la quantification des impacts de l'élévation du niveau marin. Rapport final BRGM/RP 59405-FR, 145p., 32 Tab, 57 fig., 5 annexes.

183. Zanuttigh, B., Simcic, D., Bagli, S., Bozzeda, F., Pietrantoni, L., Zagonari, F., Nicholls, R. J., 2014. THESEUS decision support system for coastal risk management. *Coast Eng.* 87, 218–239.
184. ZERROUKI, C., HEMDANE, Y., 2021. The study of low-frequency sea-level oscillations: case of Algiers harbor (Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, p. 1-5.

Sites internet:

1. <https://www.insu.cnrs.fr/fr/pergelisol-et-changement-climatique>
2. <https://www.techno-science.net/definition/6586.html>. Consulté le 6/10/2022.
3. [https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim1/biblio/pigb15/06\\_oscillation.htm](https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim1/biblio/pigb15/06_oscillation.htm).
4. [https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/circulation\\_oc%C3%A9anique\\_FichesScientifiques\\_Oct2016\\_BD\\_ppp-3.pdf](https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/circulation_oc%C3%A9anique_FichesScientifiques_Oct2016_BD_ppp-3.pdf).
5. <https://www.techno-science.net/definition/1101.html>, consulté le 02/10/2022
6. 20 fiches thématiques après le pétrole. Dérèglement climatique et transition énergétique. [https://www.halleauxsucres.fr/fileadmin/Halle\\_aux\\_sucres/Documents/Publications/apres-le-petrole.pdf](https://www.halleauxsucres.fr/fileadmin/Halle_aux_sucres/Documents/Publications/apres-le-petrole.pdf).
7. Selon l'office national des Nations Unies ONU In. <https://news.un.org/fr/story/2022/07/1123492>. Consulté le 11/10/2022.
8. <https://www.ipcc.ch/>. Consulté le 6/10/2022.
9. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_what\\_ipcc\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_fr.pdf).
10. <https://www.goodplanet.org/fr/ca-sest-passe-il-y-a-31-ans-le-1er-rapport-du-giec/>.
11. <https://www.floodmap.net/>.
12. <http://www.climasouth.eu/docs/PresentationONM-algerie-Lotfi-HALIMI.pdf>.
13. <https://www.aps.dz/economie/118361-port-d-el-hamдания>.
14. [https://www.cap-architectes.com/essential\\_grid/les-voutes-dalger-place-des-martyrs-16-alger/](https://www.cap-architectes.com/essential_grid/les-voutes-dalger-place-des-martyrs-16-alger/).
15. <https://www.sdea.fr/index.php/fr/l-eau/les-inondations/les-risques-d-inondations>.
16. <https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2018/01/2010-bilan-tempete-xynthia-2010-ffsa-gema.pdf>
17. <https://www.aivp.org/bonnes-pratiques/boston-usa-mieux-vivre-avec-leau/>.
18. <https://www.aivp.org/bonnes-pratiques/hambourg-allemande-la-ville-inondable/>

## ANNEXES

### Annexe n°1

- L'obliquité : caractérise l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à l'écliptique. Par définition, c'est l'angle entre l'axe de rotation et la perpendiculaire au plan orbital (ou plan de l'écliptique) moyen de la terre, qui varie entre  $21,5^{\circ}$  et  $24,5^{\circ}$  selon une période de 41000 ans. En ce qui concerne les répercussions sur le climat terrestre, cela induit des variations des saisons, à cause de l'incidence changée des rayons solaires et les variations de la distribution de cette énergie reçues aux différentes latitudes (Djouder, 2018 ; Matari, 2016).
- L'excentricité : l'attraction du soleil donne un mouvement elliptique à la terre, mais c'est l'attraction gravitationnelle des autres huit planètes qui déforme cette ellipse, et contribuent à faire varier légèrement l'excentricité de la terre au cours du temps. L'excentricité de l'orbite terrestre est faible de l'ordre de 0,017 sur une période de 100.000 et 400.000 ans (Levrard, 2005).
- Précession: la précession des équinoxes est l'un des nombreux mouvements que la terre réalise. Ce phénomène correspond au lent changement de direction de l'axe de rotation de la terre. Ce changement de direction est provoqué par le couple qu'exercent les forces de marées de la lune et du soleil sur le renflement équatorial de la terre et qui a pour résultat que l'axe de la terre décrit un cône dont un tour complet est effectué en environ 25 800 ans.

## Annexe n°2

Les principaux lois et décrets en relation directe et indirecte avec la gestion de l'espace côtier. Source: Rabehi. (2018)

Année	Nature	Contenu
1990	Loi	La loi 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme est le premier texte ayant défini l'espace littoral dans les «dispositions particulières applicables à certaines parties du territoire»
2001		La loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
2002		La loi n°02-08 du 25 Safar 1423 correspondant au 8 mai 2002 relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement.
2002		La loi 02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral a pour objet l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique nationale spécifique d'aménagement et de protection du littoral
2004		la loi n° 04-03 du 05 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la protection des zones de montagnes dans le cadre du développement durable.
2004		La loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
2006		La loi n°06-06 du 21 Moharram 1427 correspondant au 20 février 2006 portant loi d'orientation de la ville.
2010		La loi n° 10-02 du 16 Rajab 1431 correspondant au 29 juin 2010 portant approbation du schéma national d'aménagement du territoire.
2004		Décret exécutif n° 04-113 du 23 Safar 1425 correspondant au 13 avril 2004 portant organisation, fonctionnement et missions du

		Commissariat National du Littoral
2004	Décret promulgué	Décret exécutif n° 04-273 du 02 septembre 2004 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-113 intitulé « fonds national pour la protection du littoral et des zones côtières
2005		Décret exécutif n° 05-416 du 22 Ramadhan 1426 correspondant au 25 octobre 2005 fixant la composition, les missions et les modalités de fonctionnement du conseil national de l'aménagement et de développement durable du territoire
2006		Décret exécutif n°06-351 du 05 octobre 2006 fixant les conditions de réalisation des voies carrossables nouvelles parallèles au rivage.
2006		Décret exécutif n° 06-424 du 22 novembre 2006 fixant la composition et le fonctionnement du conseil de coordination côtière.
2007		Décret exécutif n° 07-206 du 30 juin 2007 fixant les conditions et les modalités de construction et des occupations 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 aedificandi.
2009		Décret n° 09-114 du 07 avril 2009 fixant les conditions d'élaboration du plan d'aménagement côtier, son contenu et les modalités de sa mise en œuvre.
2011		Décret exécutif n°11-137 du 23 Rabie Ethani 1432 correspondant au 28 Mars 2011 portant création de l'Agence Nationale à l'Aménagement et à l'attractivité des Territoires « ANAAT ».
2012		Décret exécutif n° 12-94 du 8 Rabie Ethani 1433 correspondant au 1 <sup>er</sup> mars 2012 fixant les conditions et modalités d'élaboration du schéma directeur d'aménagement de l'aire métropolitaine et de son approbation

## Annexe n°3

Figure 1: Site du BRGM afin de visualiser des projections du niveau de la mer du 5ème rapport du GIEC, avec l'onglet my scenario et download scenario.

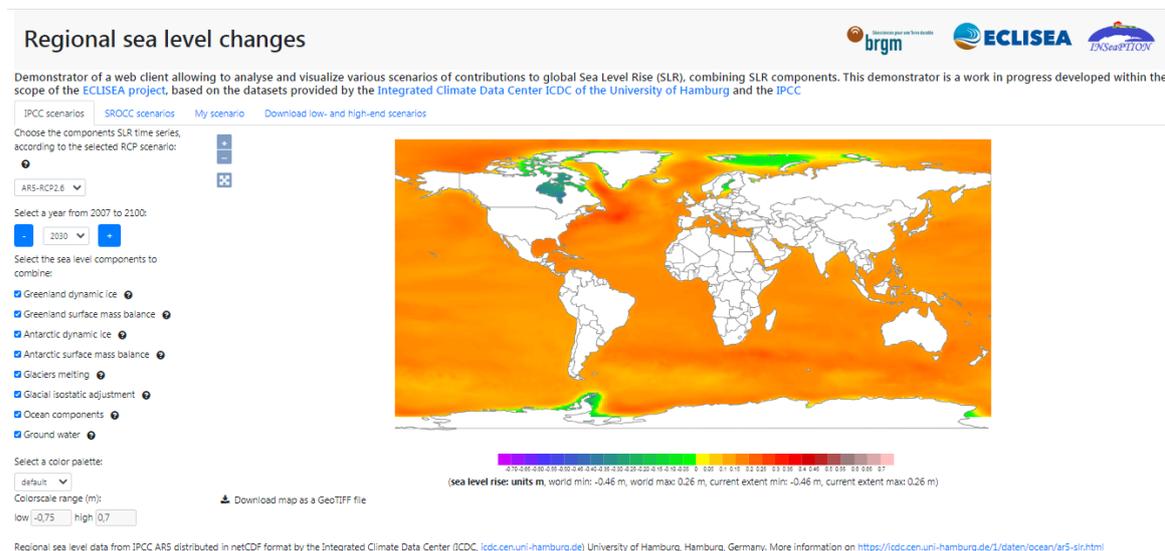


Figure 2: Site du BRGM contenant plusieurs rapports en lien avec le risque de la submersion marine.

ACTUALITÉS | A PROPOS D'INFOTERRE | BESOIN D'AIDE ?

InfoTerre

Géosciences pour une Terre durable  
brgm

VISUALISER LES DONNÉES | RECHERCHER DES DONNÉES | DONNÉES ET SERVICES | THÉMATIQUES | MOBILES

Accueil > Données > Accéder aux données

Affinez votre recherche

Source de Données

Banque de données (1996962)

- Points d'eau ADES (361199)
- BASIAS (322993)
- Géologie Marine (63859)
- BSS (905937)
- Carrières et matériaux (104726)

Accéder aux données ...

Recherche globale | Recherche spécifique

Ma sélection : 0

Quoi ? Où ?

Dans Toutes les données

Rechercher

## Annexe n°4

Esquisse de plan d'actions à court, moyen et long terme pour le port d'Alger. Source : Vies de Villes n°3 Hs, 2012, p.119

