

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme D'Ingénieur
d'État en Sciences de la Mer

Option : Gestion et protection de littoral

**Impacts du changement climatique sur le risque
d'inondation marine dû aux tempêtes extrêmes sur la
baie d'Alger**

Présenté par :

ALLAL Wafa

BOUKEDJAR Narimane

Soutenu le 16/06/2025, devant le jury composé de :

M ^{me} Mehdid Sonia	Maitre-Assistant A (ENSSMAL)	Présidente
M.Fernane Lounes	Maitre de conférences B (ENSSMAL)	Promoteur
M.Boukhennaf Abdelouahed	Maitre de conférences B (ENSSMAL)	Co-Promoteur
M.Otmani Housseyn	Maitre de conférences A (ENSSMAL)	Examinateur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, le courage et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous remercions tout particulièrement **Monsieur FERNANE.L**, notre encadreur, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement bienveillant tout au long de ce travail. Ses remarques pertinentes et son soutien constant ont été essentiels pour mener à bien cette recherche.

Nos remerciements s'adressent également à **Monsieur BOUKHENNAF.A**, notre co-promoteur, pour son soutien constant, sa patience et ses remarques constructives, qui ont permis d'enrichir notre réflexion et d'approfondir notre travail.

Nous remercions tout particulièrement **Madame MEHDID.S**, présidente du jury, pour l'attention portée à notre mémoire et pour ses remarques constructives. Nos sincères remerciements vont également à **Monsieur OTMANI.H**, examinateur de notre travail, pour ses observations pertinentes et ses suggestions qui ont contribué à améliorer la qualité de notre étude et à enrichir notre réflexion.

Nous remercions chaleureusement l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL) pour la qualité de sa formation.

Nous adressons un grand merci aux enseignants de l'ENSSMAL pour leur soutien, leur disponibilité et leurs précieux conseils tout au long de notre parcours.

Dédicace

C'est avec une grande gratitude et des mots sincères que je dédie ce modeste travail de fin d'études à :

Mes chers parents, mon papa Abdelkader et ma maman Halima, qui ont sacrifié tant de choses pour ma réussite. Leurs prières silencieuses m'accompagnent chaque jour.

J'espère qu'un jour, je pourrai leur rendre un peu de tout ce qu'ils ont fait pour moi. Que Dieu leur accorde bonheur et longue vie.

À mes sœurs, Asmaa et Kawther, et à mon frère Mohamed Abdel Fatah, pour leur présence, leurs encouragements et leur amour constant.

À toute la famille Allal et Boukhelef, pour leur soutien et leur chaleur.

À mes amis fidèles,

À toute la promo GPL, pour les moments partagés, les défis relevés ensemble et les souvenirs gravés.

Une pensée toute particulière à ma copine dans ce travail, Narimane, pour sa collaboration précieuse, son sérieux et sa belle énergie.

wafa

Dédicace

Je profite de l'occasion pour dédier ce travail à mes chers :

Parents, Mon père Madani et ma mère Assma, qui m'ont toujours soutenue et accompagnée à chaque étape de ma vie, et sont toujours la source de mon inspiration, je leur dois tout...

A mon mari Abderrahmane, Sans leur amour indéfectible et leur encouragement et soutien qui été une source de force et motivation indésirable de mon parcours.

À mes frères et mes sœurs surtout mes princesses Asil Anfal et Ania

À Toutes mes amis et surtout Chaima une amie fidèle qui a toujours été présent dans les bons comme dans les mauvais moments,

À mon binôme Wafa pour ça patience et sa compréhension pendant toutes le parcours de travail

Narimane

Table des matières

Remerciements	2
Dédicace	Error! Bookmark not defined.
Liste des figures	7
Listes des équations	9
Listes des abréviations	10
Introduction générale	12
Chapitre I : Généralités	14
I.1 Introduction	15
I.2 Le littoral.....	15
I.3 Les formes littorales	16
I.3.1. Les côtes d'ablation (ou côtes d'érosion) :	16
I.3.2. Les côtes d'accumulation (ou côtes d'accrétion) :	16
I.4 Erosion côtière	17
I.5 Aperçu sur les inondations	17
I.6 Bassin versant	18
I.7 Qu'est-ce qu'une submersion marine ?	18
I.7.1 Une tempête	20
I.7.2 Les cyclones	20
I.8 Les différents modes de submersion	21
I.9 Types de dommages dues aux submersion	21
I.10 Cadre climatologique : les changements climatiques	22
I.11 Synthèse Le 6ème rapport de GIEC.....	22
I.12 Exemple d'étude qui a été faite sur l'impact du réchauffement climatique sur les la submersion marine (le littoral de Mohammedia, Maroc).....	23
Chapitre II : Contexte général de la zone d'étude	24
II.1 Introduction	25
II.2 La situation géographique de la baie d'Alger	25
II.3 Cadre géologique	27
II.4 Cadre géomorphologique.....	29
II.5 Cadre climatologique	31
II.	

5.1 Vents.....	31
II.5.2 Température	33
II.5.3 Précipitation.....	33
II.6 Cadre hydrographique.....	34
II.6.1 Les Oueds	34
II.6.2 Les barrages	36
II.7 Cadre océanographique	37
II.7.1 La houle.....	37
II.7.2 La Marée	39
Chapitre III : Méthodologie	40
III.1 Données utilisées pour la simulation de submersion marine.....	41
Les zones à risque d’inondation	42
III.2 Méthode 1	43
III.2.1 Détermination du Niveau d’inondations marines.....	43
III.2.2 La cartographie des zones inondables	46
III.3 Méthode 2	50
III.3.1 Détermination du Niveau d’inondations marines.....	50
III.3.2 Cartographie des zones inondées.....	51
III.3.3 Evaluation de l’impact de la submersion marine sur les sites d’étude (méthode 02)	52
Chapitre IV : Discussion	55
IV.1 Interprétation des résultats.....	56
IV.1.1 Scénario de base	56
IV.1.2 Méthode 01	56
IV.1.3 Méthode 02	57
IV.2 Discussion	58
Conclusion générale.....	62
Références Bibliographique	65
.....	68
Annexes	68

Liste des figures

Figure 01 : Détermination de la bande littorale selon la loi 02 02". (Boukhennaf,2024).	16
Figure 02 : schéma qui montre les différentes formes des littoraux (Blond,2024).....	17
Figure 03 : Un schéma qui montre un bassin versant et ses composantes EAUFRA (2019).....	18
Figure 04 : représentations schématiques de l'inondation par submersion marine (EAUFRA,2019).....	19
Figure 05: Une image qui montre un cyclone tropical (L'info Kwezi,2025).....	20
Figure 06 : Schéma qui montre les différents modes de submersion marine par des tempête avec surcote associées (Carilot,2011).....	21
Figure 7 : Les dommages dues aux inondations. (Ziadi,2022).....	22
Figure 8 : Une Carte d'occupation des sols avec le niveau d'inondation 1m et 7 m sur . Error! Bookmark not defined.	
Figure 9 : Carte de la zone d'étude la baie d'Alger (Google Earth pro).	26
Figure 10 : Carte géologique de la baie d'Alger.	28
Figure 11 : Une carte qui montre les types des côtes de la baie d'Alger.....	29
Figure 12 : Roses des vents saisonnières et annuelles au large de la baie d'Alger (1992- 2019).....	32
Figure 13 : Distribution des températures dans la région Algéroise (wofrance, 2023).....	33
Figure 14: Distribution des températures dans la région Algéroise (wofrance, 2023).....	34
Figure 15 : Le réseau hydrographique de la baie d'Alger (Google Earth Pro.).	34
Figure 16: Carte de réseaux hydrographique de Oued El Harrach.....	35
Figure 17 : Carte de réseaux hydrographique de Oued El Hamiz.....	36
Figure 18 : Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie d'Alger (1992- 2021).....	38
Figure 19 : MNT de la zone d'étude.....	42
Figure 20 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Boukhennaf,2024).....	43
Figure 21 : Carte des zones inondables selon le scénario de base.....	46
Figure 22 : Superficie des terres inondées par les différents niveaux d'élévation d'eau.	47
Figure 23 Carte de submersion marine, méthode 01.	47
Figure 24 : Superficie des terres inondées par les différents niveaux extrêmes, méthode 01. .	48
Figure 25: L'impact de submersion marine selon scénario 2100.	49
Figure 26: L'impact de submersion marine selon scénario 2030.	49
Figure 27: L'impact de submersion marine selon scénario 2050.	49
Figure 28: Carte de la submersion marine méthode 02.....	51
Figure 29: Superficie des terres inondées par les différents niveaux extrêmes d'eau, méthode 02.....	52
Figure 29: Superficie des terres inondées par les différents niveaux extrêmes d'eau, méthode 02..... Error! Bookmark not defined.	
Figure 30 : L'impact de submersion marine selon scénario 2030	53
Figure 31 : L'impact de submersion marine selon scénario 2050	53
Figure 32 : L'impact de submersion marine selon scénario 2100	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Listes des plages de la baie d'Alger (in Boukhennaf,2024).	30
Tableau 2: Projection globales (m) de l'élévation du niveau de la mer de la période 2030 2100(in Boukhennaf,2024).	44
Tableau 3: Les Hauteurs significatives des houles associées à des périodes de retour à la zone de déferlement de la baie d'Alger (Boukhennaf,2024).	45
Tableau 4: Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.....	45
Tableau 5 : Niveaux de la mer à l'horizon 2030,2050 et 2100.	46
Tableau 6 : Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.....	51
Tableau 7 : Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.....	54

Listes des équations

Equation 1	23
Equation 2	44
Equation 3	45
Equation 4	51

Listes des abréviations

CRACC : Centre des Ressources pour l'Adaptation du Changement Climatique.

GIEC : Groupe Intergouvernementale d'Evaluation du Climat.

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtière.

IPCC : Intergouvermmmental Panel on Climat Change.

MATEV : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme.

MNT : Modèle numérique de terrains.

OMM : Organisation Météorologique Mondiale.

PNUD : Principal organisme des Nations Unies pour le Développement international.

SIG : Système d'information géographique.

SSP : Shared Socioeconomic Pathways.

UNCPIE : Union Nationale des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement.

USGS : United States Geological Survey

UTM : Universal Transverse Mercator.

WGS : World Geodetic System.

Introduction générale

Introduction générale

Le changement climatique représente aujourd'hui l'un des défis environnementaux les plus pressants à l'échelle mondiale (GIEC, 2023). L'augmentation des températures moyennes, la montée du niveau de la mer et la fréquence croissante des événements météorologiques extrêmes sont autant de conséquences directes de ce phénomène global (IPCC, 2021). Parmi les impacts les plus préoccupants, c'est l'intensification des tempêtes côtières, qui engendrent des inondations marines plus fréquentes et plus destructrices, notamment dans les zones littorales densément peuplées (Vousdoukas et al., 2018).

La baie d'Alger, cœur économique et démographique de l'Algérie, se situe à l'interface d'enjeux environnementaux, urbains et climatiques majeurs. En tant que façade maritime densément peuplée et exposée aux aléas naturels, elle est particulièrement sensible aux conséquences du changement climatique (Boualem, 2019). Les tempêtes extrêmes, accompagnées de fortes houles et de surcotes marines, y provoquent de plus en plus fréquemment des inondations qui menacent les infrastructures, les activités portuaires, les habitations et les écosystèmes côtiers (Breilh, 2014).

Dans ce contexte, ce travail de fin d'études a pour objectif principal d'identifier et de cartographier les zones à risque d'inondation marine dans la baie d'Alger, en lien avec les tempêtes extrêmes amplifiées par le changement climatique. Pour ce faire, deux méthodes de cartographie seront appliquées et comparées (Hoozemans et al., 1993 ; Vousdoukas et al., 2018). L'étude vise ainsi non seulement à délimiter les zones vulnérables du littoral algérois, mais aussi à quantifier les superficies affectées selon les types d'occupation du sol. En s'appuyant sur les outils de Systèmes d'Information Géographique (SIG), cette recherche ambitionne de contribuer à une meilleure compréhension des impacts de submersion marine sur la baie d'Alger actuelles et futures, et de fournir des outils d'aide à la décision pour une gestion durable et résiliente du littoral face aux impacts du changement climatique.

Ce document s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique qui englobe une définition des termes clés liés aux submersions marines, et il présente une synthèse du cadre climatologique.

Le deuxième chapitre se focalise sur la zone d'étude, la baie d'Alger. Il décrit sa situation géographique, géologique morphologique, son climat, réseaux hydrographiques et termine avec les paramètres océanographiques.

Le troisième chapitre porte sur les données et les méthodes adoptées pour cartographier les zones inondées dans la baie d'Alger.

Enfin, le quatrième chapitre englobe la discussion des résultats obtenus.

Chapitre I : Généralités

I.1 Introduction

Ce chapitre vise à définir les principales notions abordées dans ce mémoire afin de mieux appréhender la problématique suscitée. Nous présentons d'abord la définition de la zone littorale et ses formes et la notion d'érosion côtière puis par la suite on passe à la définition des inondations, la submersion marine et le changement climatique.

I.2 Le littoral

Le terme « littoral » revêt des définitions variées, qui changent selon les disciplines et les contextes d'analyse. (Daeden, 2015 in Boukhennaf,2024).

En géomorphologie, Le littoral est défini comme étant l'interface entre la terre, la mer et l'atmosphère ; il est

Soumis aux différents processus physiques qui animent ces trois milieux. Ces processus font du littoral l'un des systèmes physiques les plus dynamiques de la planète (Crapoulet, 2015 in Boukhennaf,2024).

D'un point de vue juridique, en Algérie le littoral est défini par l'article 7 de la loi 02/02 du 5 février 2002 comme suit (Figure:01) “ le littoral englobe l'ensemble des îles et des îlots, le plateau continental ainsi qu'une bande de terre d'une largeur minimale de huit cents mètre (800 m) longeant la mer et incluant : - les versants de collines et montagnes visibles de la mer et n'étant pas séparés du rivage par une plaine littorale ; - les plaines littorales de moins de trois kilomètres (3 km) de profondeur à partir des plus hautes eaux maritimes ; - l'intégralité des massifs forestiers ; - les terres à vocation agricole ; - l'intégralités des zones humides et leurs rivages dont une partie se situe dans le littoral à partir des plus hautes eaux maritimes ; - les sites présentant un caractère paysager, culturel ou historique”.(in Boukhennaf,2024).

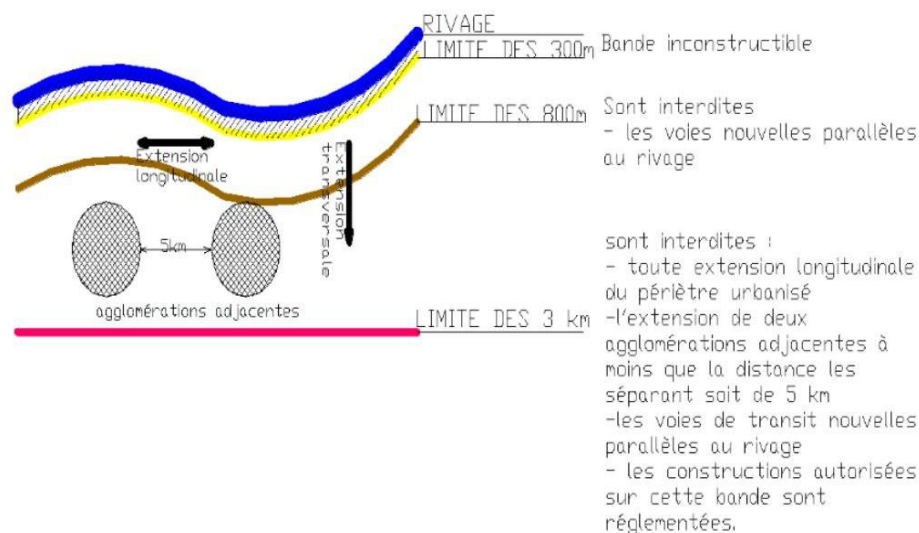


Figure 01 : Détermination de la bande littorale selon la loi 02 02". (in Boukhennaf,2024).

I.3 Les formes littorales

En géomorphologie littorale, il existe deux grands types de côtes : les côtes d'ablation et les côtes d'accumulation (Figure :02). Ces catégories sont définies en fonction des processus d'érosion et de dépôt des sédiments (Blond,2024).

I.3.1. Les côtes d'ablation (ou côtes d'érosion) : Les côtes d'ablation, aussi appelées côtes d'érosion, sont des littoraux où l'action des vagues entraîne un recul progressif du trait de côte en enlevant les matériaux du versant continental. Elles se caractérisent par des falaises abruptes exposé à l'effondrement, des côtes rocheuses et des plates formes d'abrasion façonnés par la mer. Leur formation dépend de la nature géologique des roches, de leur stratigraphie et des forces tectoniques qui modèlent le paysage côtier (Blond,2024).

I.3.2. Les côtes d'accumulation (ou côtes d'accrétion) : Les côtes d'accumulation, ou côtes d'accrétion, se forment par un apport continu de sédiments, entraînant une avancée du rivage vers la mer. Elles se caractérisent par des plages de sable, des dunes et des bancs de galets, dont la formation et l'évolution dépendent des courants marins et du vent. Ces sédiments restent mobiles et peuvent être redistribués par les vagues ou les tempêtes. (Blond,2024).

Deux grands types de littoraux d'accumulation existent :

Les littoraux meubles, composés de dunes et de plages, et les littoraux vaseux, caractérisés par une forte interaction entre sédiments marins et continentaux (Blond,2024).

Ainsi, l'évolution des côtes dépend de nombreux facteurs d'ordre naturelle : tel que les tempêtes, l'élévation du niveau de la mer et anthropique : impact des activités humaines (extraction de sable, urbanisation du littoral, etc.) (Blond,2024).

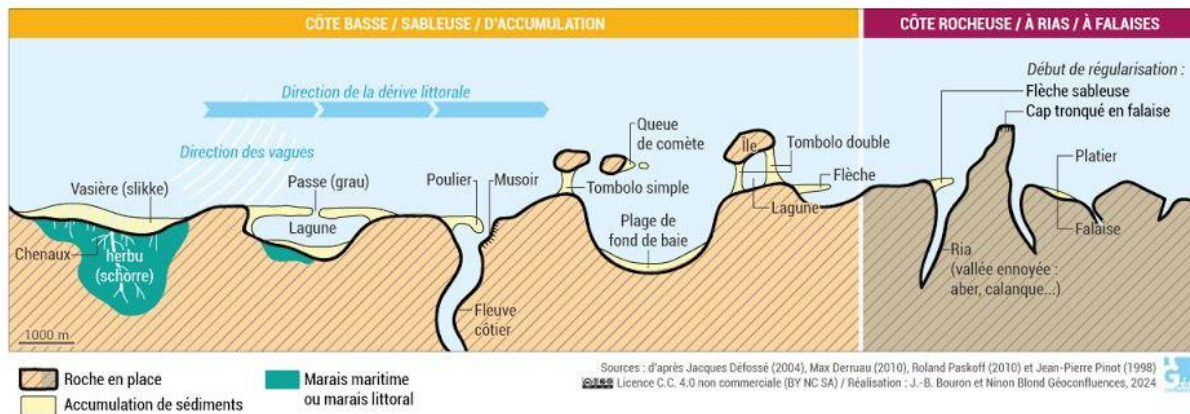


Figure 02 : schéma qui montre les différentes formes des littoraux (Blond,2024).

I.4 Erosion côtière

L'érosion côtière est la perte progressive de sédiments le long du littoral. Il s'agit d'un phénomène naturel, mais qui s'accélère avec le changement climatique. Cette érosion entraîne le recul du trait de côte (limite terre-mer) vers l'intérieur des terres (CRACC,2023). Cette érosion, allant de 1 cm/an à 10 m/an, touche près de 80 % des côtes basses (Pilkey et al, 2001). Actuellement, 70% des plages sableuses du littoral mondial sont en voie d'amaigrissement, 20% sont stables et seulement 10% s'engraissent (Appeaning et al., 2011).

L'Algérie s'intéresse ces dernières années à l'étude de l'érosion de ses côtes, car elle est devenue un problème sérieux qui menace les populations qui vivent sur le littoral, sachant que la bande littorale reçoit 80% de la population (Ayadi et al., 2016).

I.5 Aperçu sur les inondations

Les zones littorales figurent parmi les espaces les plus sensibles face aux aléas naturels (Kron, 2013). Elles concentrent une diversité d'enjeux qu'ils soient environnementaux, matériels ou socioéconomiques ce qui accroît leur vulnérabilité face aux phénomènes tels que les submersions marines (Ballesteros et al., 2018). Par ailleurs, en l'absence de politiques d'adaptation efficaces, le réchauffement climatique, en provoquant une élévation du niveau marin, pourrait intensifier la fréquence et la gravité de ces inondations dans les années à venir (Simard et al.,2015 in Amrani, 2021).

Selon Ledoux (2006), une inondation peut être définie comme l’envahissement temporaire d’une zone normalement sèche par des masses d’eau. Ces phénomènes peuvent résulter par des eaux douces, notamment lors de précipitations intenses, du débordement de bassins versants ou par des eaux salées comme la submersions marines (Gaouaoun et al, 2023).

I.6 Bassin versant

Le bassin versant est défini comme la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents délimité par lignes de partage des eaux. A l’intérieur du bassin, toutes les eaux reçues suivent une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire (Figure : 03) (ONDE ,2015).

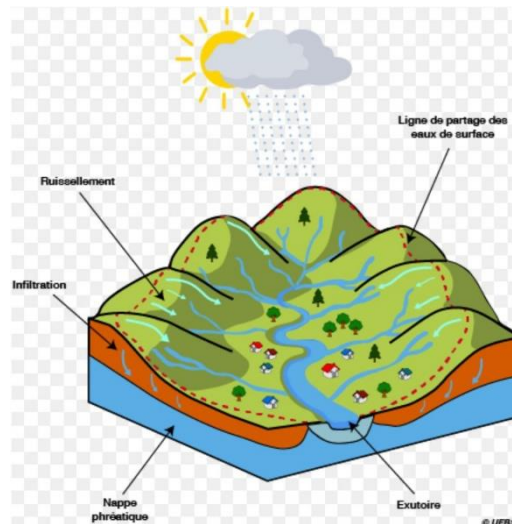


Figure 03 : Un schéma qui montre un bassin versant et ses composantes EAUFRACTANCE. (2019).

I.7 Qu’est-ce qu’une submersion marine ?

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par les eaux marines (ONDE ,2015). (Figure : 04). Ce phénomène résulte généralement d’une hausse temporaire du niveau de la mer causé par des phénomènes météorologiques comme les tempêtes ou cyclones, générant une surcote (Brelih, 2014). Dans ce mémoire, nous nous intéressons uniquement aux submersions marines causées par le réchauffement climatique.

Les surcotes ou ondes de tempêtes (« *storm surges* ») est définies comme des élévations anormales du niveau de la mer provoquées par une perturbation d’origine météorologique de courte durée, comme un cyclone ou une tempête. (Breilh,2014).

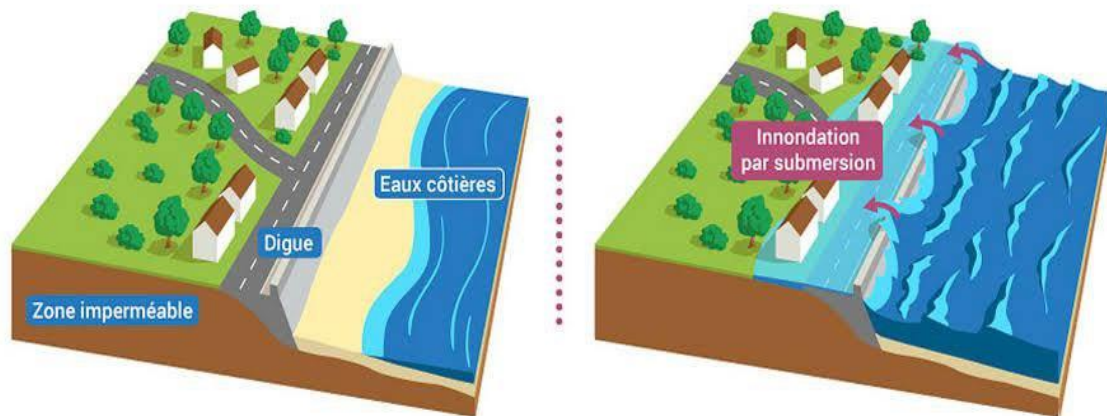


Figure 04 : représentations schématiques de l'inondation par submersion marine (EAUFRANCE,2019).

Les submersions marines liées aux conditions météorologiques résultent de la présence de dépressions atmosphériques. On peut distinguer deux grandes catégories de ces dépressions, en fonction des zones géographiques où elles se manifestent : les tempêtes des régions tempérées et les cyclones tropicaux, toutes deux susceptibles de provoquer des inondations côtières. (Breilh,2014).

I.7.1 Une tempête

Une tempête constitue un phénomène météorologique intense, marqué par des vents violents et généralement accompagné de fortes précipitations (in Bouguelmouna, 2022). Elle résulte de l'interaction entre des masses d'air chaud venant de l'océan et de l'air froid présent sur les terres, ce qui génère un mouvement cyclonique : dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord, et dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud (Bouguelmouna, 2022). En ce qui concerne la météorologie marine, une tempête est qualifiée comme telle lorsqu'elle atteint au moins le niveau 10 sur l'échelle de Beaufort, soit des vents soufflant en moyenne entre 89 et 117 km/h (Breilh, 2014)

I.7.2 Les cyclones

En zone intertropicale, les dépressions atmosphériques très intenses sont appelées généralement « cyclones » ou encore « ouragans » (Figure :05) lorsqu'elles interviennent dans l'Atlantique Nord et le Pacifique Nord-Est, ou encore « typhons » en Asie de l'Est. Ces phénomènes tourbillonnaires de dépression atmosphérique centrale 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).



Figure 05: Une image qui montre un cyclone tropical (L'info Kwezi, 2025).

I.8 Les différents modes de submersion

Il est possible de distinguer 3 grands modes de submersion (Figure : 06) : la submersion par débordement, la submersion par rupture et la submersion par franchissements discontinus de paquets de mer. Ces types de submersions peuvent intervenir soit sur un ouvrage de protection côtière d'origine anthropique comme une digue, soit sur une barrière sédimentaire naturelle comme une dune (Breilh,2014).

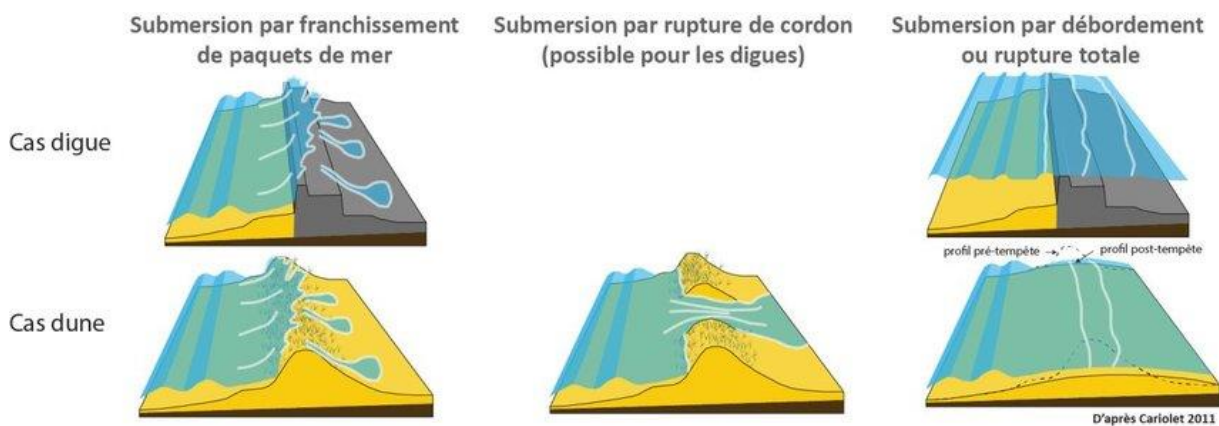


Figure 06 : Schéma qui montre les différentes modes de submersion marine par des tempête avec surcote associées (Carilot,2011).

I.9 Types de dommages dues aux submersion

D'après l'Union Nationale des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement (UNCPIE) (2014), il existe quatre types de dommages dues aux submersions (Figure :07) qui peuvent affecter les sociétés. Ces derniers sont expliqués dans la Figure ci-dessous. (Ziadi,2022).

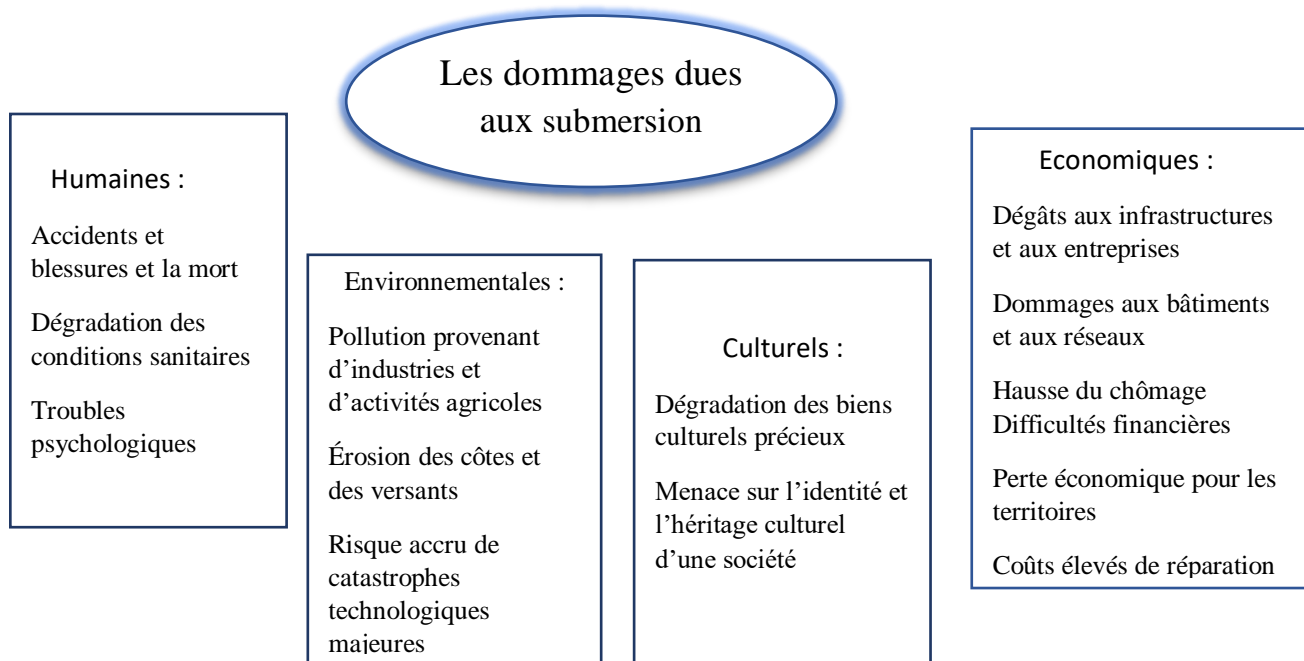


Figure 7 : Les dommages dus aux inondations. (Ziadi,2022).

I.10 Cadre climatologique : les changements climatiques

Le climat selon la définition de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), est la synthèse des conditions météorologiques (tels que la température, les précipitations et le vent) dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère. Le climat et la météo ne sont pour autant pas déconnectés, puisque ce sont entre autres les observations météorologiques qui servent de fondements aux études climatiques pour établir leurs moyennes et tendances (GAMEREN et al., 2014 in Amoura,2022).

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 ». (Amoura.2022).

I.11 Synthèse Le 6ème rapport de GIEC

Le sixième rapport du GIEC met en évidence une accélération du réchauffement climatique, avec une augmentation moyenne de +1,1 °C (Amoura,2022). Ce réchauffement principalement causé par les activités humaines, engendre une multiplication et une intensification des événements climatiques extrêmes tels que les tempêtes et inondations marines (Amoura,2022). L'un des impacts les plus préoccupants est l'élévation du niveau de la mer, due à la dilatation

thermique des océans (40 %) et à la fonte des glaciers et calottes glaciaires (60 %), observée sur la période 1961-2003 (Amoura,2022).

À l'échelle régionale l'élévation moyenne du niveau de la mer projetée pour le bassin méditerranéen à la fin du 21ème siècle est estimé entre 40 et 110 cm et à l'échelle locale notamment pour la wilaya d'Alger, les projections indiquent une hausse pouvant atteindre 20 cm d'ici 2030, ce qui accroîtrait les risques de submersions marines, d'érosion côtière et de déplacements de population (Egis Eau, IAU-IDF. BRGM. 2013). En l'absence de mesures immédiates pour réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre et adapter les territoires aux effets du changement climatique, le franchissement du seuil critique de +1,5 °C pourrait intervenir dès les années 2030, entraînant des conséquences potentiellement irréversibles, en particulier pour les pays les plus vulnérables et les moins responsables de cette crise environnementale (Amoura,2022).

I.12 Exemple d'étude qui a été faite sur l'impact du réchauffement climatique sur les la submersion marine (le littoral de Mohammedia, Maroc)

L'étude de Khouakhi et al. (2010, 2023) évalue les risques de submersion marine sur le littoral de Mohammedia (Maroc) en utilisant les SIG (Khouakhi et al,2023). Les résultats montrent que jusqu'à 27 % du littoral pourrait être inondé, impactant fortement l'industrie, les zones urbaines et la zone humide d'Oued Al Maleh. L'étude souligne la nécessité d'une gestion côtière intégrée et de mesures d'adaptation (Khouakhi et al,2023).

Chapitre II : Contexte général de la zone d'étude

II.1 Introduction

Ce chapitre présente une description de la zone d'étude, qui est la baie d'Alger. L'objectif est de mieux comprendre les éléments naturels et physiques qui rendent cette zone vulnérable aux phénomènes marins, comme les tempêtes ou les inondations marines. La baie d'Alger se situe dans une position géographique importante et accueille une population très dense, notamment à cause de son rôle politique, économique et administratif. Pour bien analyser les risques liés au changement climatique, il est nécessaire de connaître les différentes caractéristiques de cette zone. C'est pourquoi ce chapitre abordera la situation géographique, le climat, la géologie, la géomorphologie et les facteurs hydrodynamique.

II.2 La situation géographique de la baie d'Alger

Cette baie est située au cœur du littoral centre d'Alger à l'Est de la plaine de Mitidja. Elle est caractérisée par creusement naturelle formée dans le rivage entre le cap Matifou à l'Est (3°13' Est et 36°49' Nord) et le cap Caxine à l'Ouest (3°00' Est et 36°49' Nord). Sa forme ressemble à celle d'un demi-cercle presque parfait. Elle s'étend sur 15 km d'Est en Ouest et 7 km du Nord au Sud. La surface de la baie est 98,8 km² (Griche et al,2024).

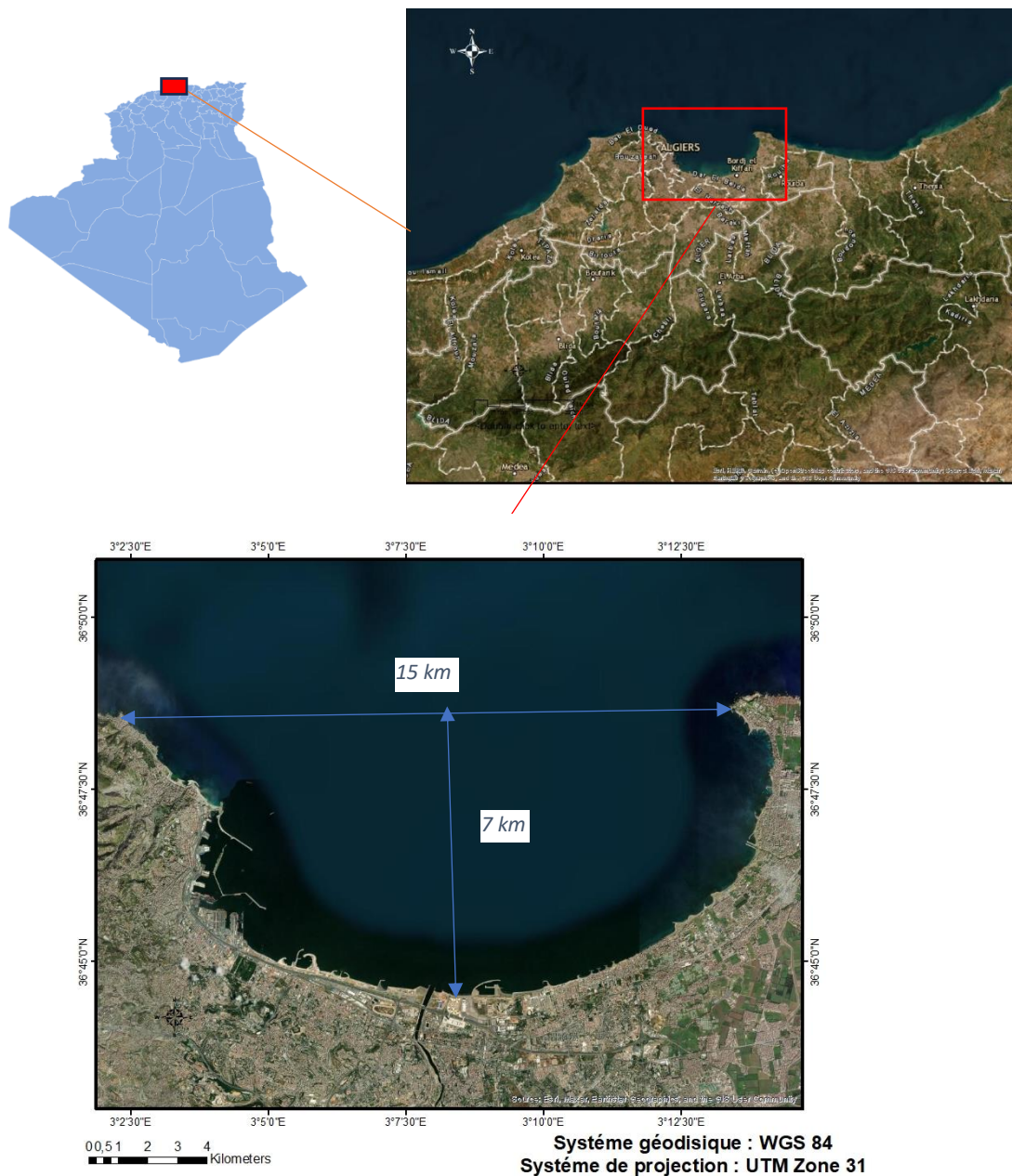


Figure 8: Carte de la zone d'étude la baie d'Alger (Google Earth pro).

II.3 Cadre géologique

La région Algéroise est composée essentiellement par un socle métamorphique (figure 09) des terrains éruptifs et de complexe sédimentaire d'âge mio-plio-quaternaire.in (Boukhennaf,2024).

Le socle : il s'agit de terrains métamorphiques primaires (figure :09) (formés principalement de schistes, micaschistes et gneiss) qui affleurent massif d'Alger et du Cap Matifou in (Boukhennaf,2024).

Les terrains volcaniques : Il s'agit de roches volcaniques qui se composent principalement de roches basaltiques et plutoniques (granite et diorite) (figure :09), on les trouve au Cap Matifou in (Boukhennaf,2024).

Le Miocène : représenté par des faciès argileux (figure :09), au niveau de Cap Matifou in (Boukhennaf,2024).

Le Pliocène : cette formation est composée principalement de conglomérats, marnes bleues et grès (figure :09). On les trouve essentiellement au niveau de sahel d'Alger in (Boukhennaf,2024).

Le quaternaire : il couvre la majeure partie de la zone d'étude baie d'Alger Les masses d'alluvion sableuses et caillouteuses, les limons, les graviers et les argiles du bassin de Mitidja forment le quaternaire (figure :09) (Boukhennaf,2024).

II.4 Cadre géomorphologique

La baie d'Alger composée essentiellement de plages de poche, de promontoires rocheux et de falaises (Cap Caxine et Cap Matifou) (Figure :10) qui subit une érosion significative (MAOUCHE *et al.*, 2009) in (Rabehi et al.,2018).

Les plages de la baie d'Alger sont sablonneuses et sont actuellement artificialisées par des ouvrages de protection (épis, brise-lames, digues, etc.) (Tableau 01) in (Boukhennaf,2024).

Par la comparaison de la carte géologique détaillée (Document consulté : feuille d'Alger, carte géologique au 1 :50000, réalisée entre 1948 et 1962) et de l'image Google Earth Pro montre que toutes les dunes côtières ont disparu du fait de l'urbanisation in (Boukhennaf,2024).

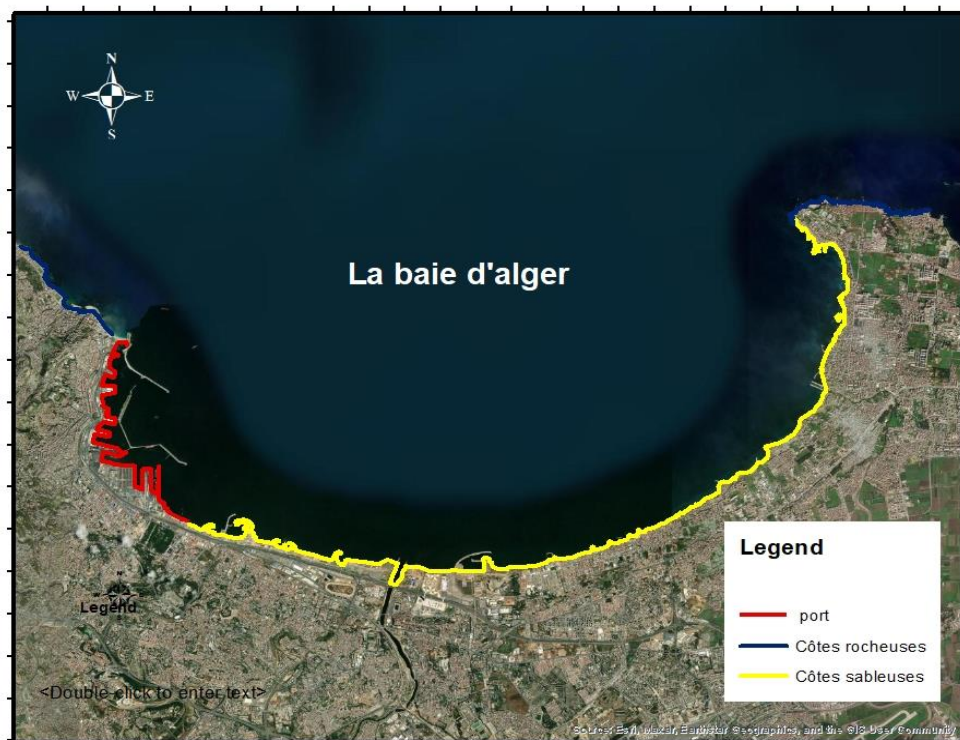


Figure 8 : Une carte qui montre les types des côtes de la baie d'Alger

Tableau 1 : Listes des plages de la baie d'Alger (in Boukhennaf,2024).

Nom de la plage	Caractéristiques	Commune	X	Y
Sablette et Piquet Blanc	Ce littoral long de 5060m, situé Entre le port d'Alger à l'ouest et L'oued El Harrach à l'est, il est Totalement artificialisé.	Bel Ouizdad	3.0854713°	36.7498254°
Mazela	Longue de 1170m, cette plage est en Cours d'aménagement (Rechargement en sable, des Constructions d'épis, de digue, Alger médina).	Mohammadia	3.14243015°	36.7415511°
Pins Maritime	Longueur de 800 m et largeur Réduite, il est protégé par un épi à L'ouest et un épi en forme de L à L'est.	Mohammadia	3.1737866°	36.744805°
Sirène I et II	Découpé en deux plage Sirène I et Sirène II. Recouvre 1420 m de long Et protégée par quatre brise-lames et Un épi en forme de L	Bordj El Kifane	3.186109°	36.748243°
Verte Rive	1700m de long. Ce littoral est Protégé par une digue sur 1400 m de long.	Bordj El Kifane	3.206238°	36.756697°
Bateau Cassé	900m de long, largeur variable D'ouest en est. Elle est constituée de Sable moyen	Bordj El Kifane	3.220922°	36.766631°
Stamboul	610m de long et 35m de large, sable Moyen.	Bordj El Kifane	3.230605°	36.774916°
Coco Plage	400m de long, limitée au sud par L'Oued El Hamiz et au nord par le Petit Port.	Bordj El Kifane	3.231042	36.779209
La Frégate	700m de long, protégé par une Digue	Bordj El Kifane	3.23361639514	36.7864261411
Alger Plage	100m de long, limitée au nord par Marina Palm	Bordj el bahri	3.236145	36.791362
Les Ondines Sud	410m de long et de largeur variable, Limitée au sud par Marina Palm. Elle constituée de sable moyen.	Bordj el bahri	3.235774	36.79439
Les Ondines Nord	100m de long et 10m de large.	Bordj el bahri	3.23683	36.797603

II.5 Cadre climatologique

II.5.1 Vents

Le régime et la vitesse des vents au large de la baie d'Alger peuvent être résumés dans les roses des vents suivantes (Figure :12), dont on distingue les principales directions dominantes en fonction des saisons :

- En été, les vents dominants proviennent des secteurs NE et E, avec des fréquences respectives de 23% et 17%, et une vitesse moyenne de 8 à 13 m/s.
- En hiver, ce sont les vents venant des secteurs SW et W qui prédominent, avec des fréquences de 22% et 13% et des vitesses allant de 18 à 20 m/s.
- En automne et au printemps, les vents de secteur NE et SW sont les plus fréquents, avec des fréquences respectives de 16% et 13% au printemps et de 11% chacun en automne, et des vitesses variant entre 12 et 16 m/s.

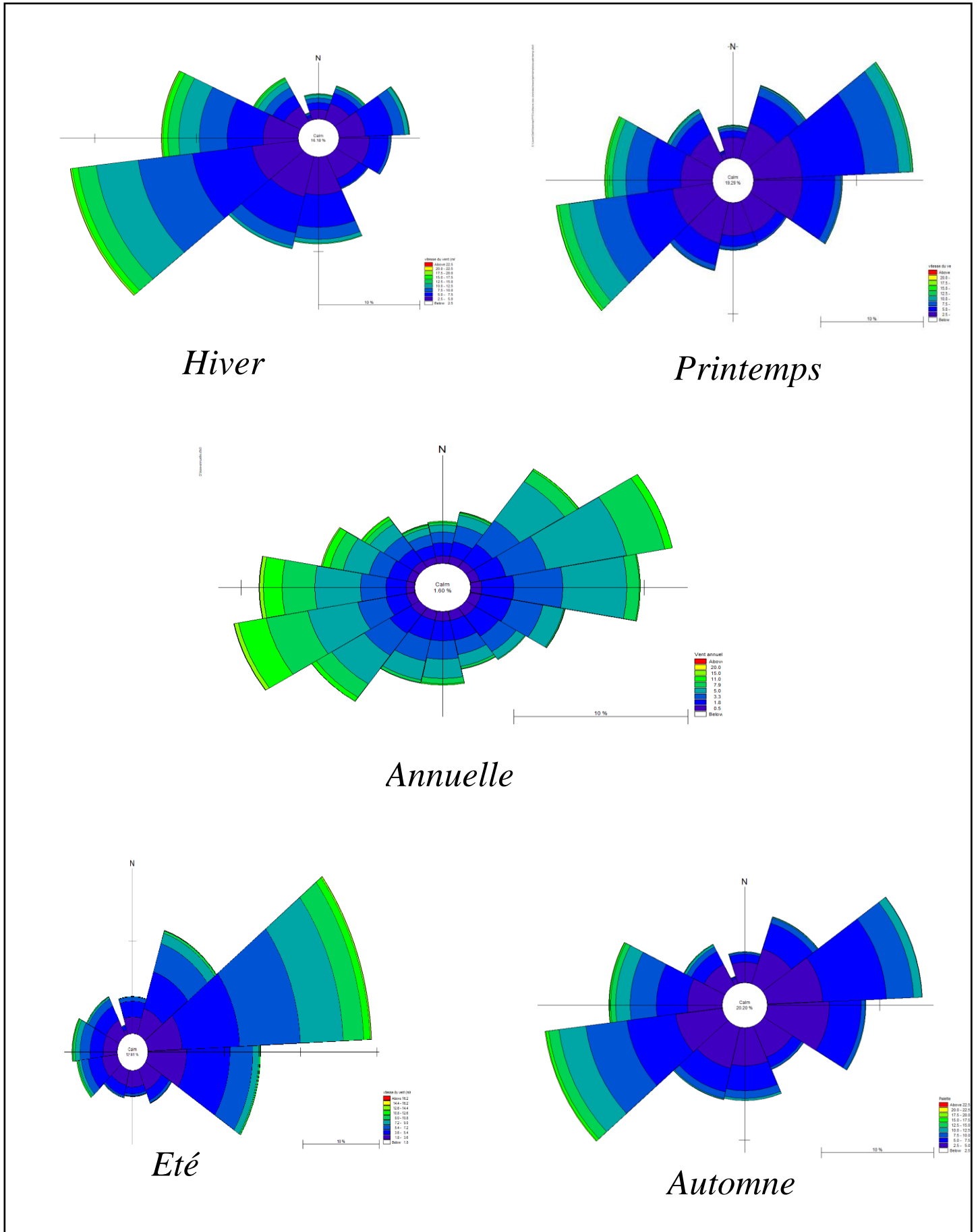


Figure 9 : Roses des vents saisonnières et annuelles au large de la baie d'Alger (1992-2019).

II.5.2 Température

L'analyse des températures moyenne mensuelle de la région Algéroise montre que les températures les plus élevées enregistrées sont le mois de juillet et août et les températures minimums enregistrées les mois de janvier et février (Figure :11). La température moyenne entre janvier 1982 et décembre 2022 était de 18,3°C (wofrance, 2023).

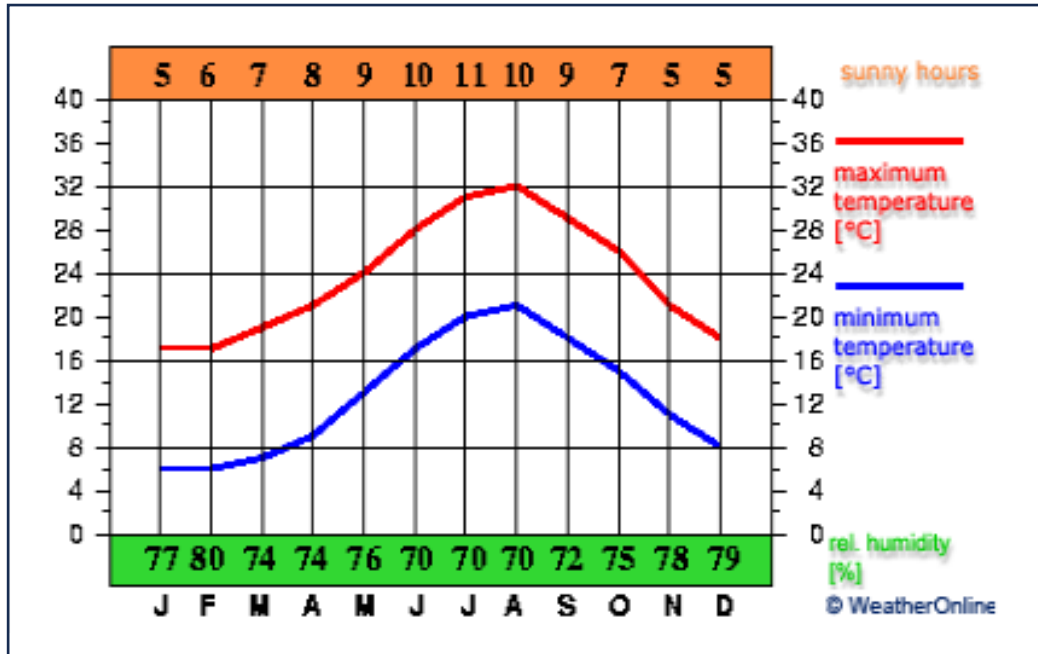


Figure 10 : Distribution des températures dans la région Algéroise (wofrance, 2023).

II.5.3 Précipitation

L'analyse des précipitations (Figure :12) montre des irrégularités mensuelles. Le minimum de précipitations est enregistré en juillet et le maximum en novembre la moyenne des précipitations entre janvier 1982 et décembre 2021 est de 370,3 mm (wofrance, 2023).

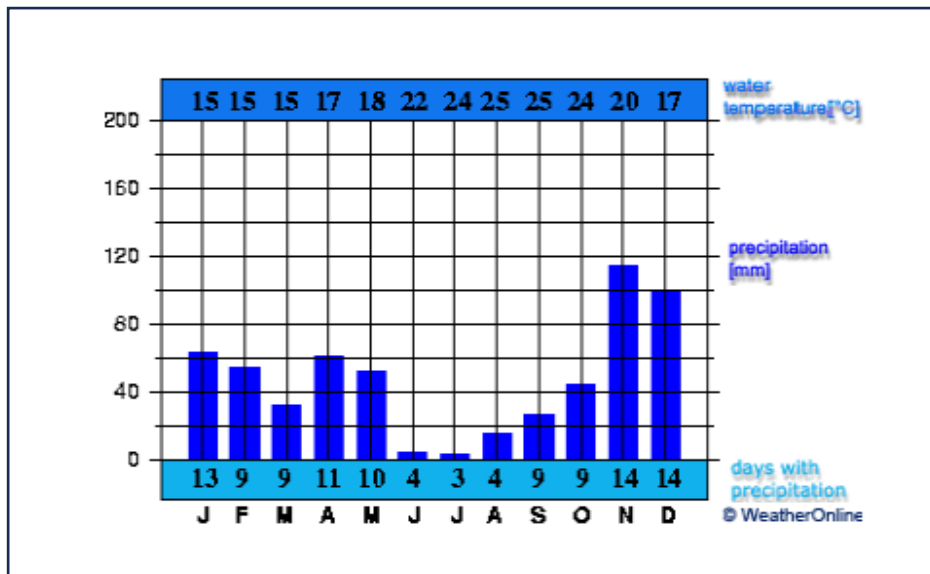


Figure 11: Distribution des températures dans la région Algéroise (wofrance, 2023).

II.6 Cadre hydrographique

II.6.1 Les Oueds

Les fleuves et les rivières jouent un rôle essentiel dans le transport sédimentaire Boukhennaf, 2024). La variation naturelle, au fil du temps, les quantités des sédiments transférée vers les zones côtières influence directement l'équilibre sédimentaire. Cet équilibre a un impact significatif sur l'évolution et la morphologie du littoral (Bombino et al., 2022, cité par Boukhennaf, 2024). Il y a deux principaux oueds de la baie d'Alger oued el Harrach eoued el Hamiz (Figure : 12).

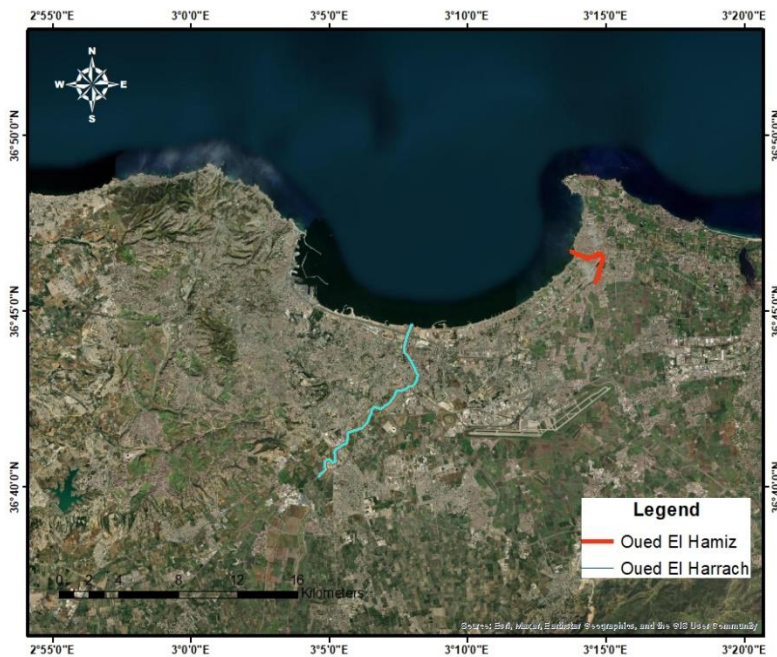


Figure 12 : Le réseau hydrographique de la baie d'Alger (Google Earth Pro.).

II.6.1.1 Oued El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie de 966 km². Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.41m³/s (Bachari Houma, 2009a) in (Boukhennaf,2024). Cet oued, parmi les plus importants de la plaine de la Mitidja, sa source trouve dans l'Atlas blidéen, à proximité de Hammam Melouane. Il traverse la plaine en son centre, longe la baie d'Alger sur une distance d'environ 67 kilomètres, avant de se jeter dans la mer Méditerranée (Figure :13) in (Boukhennaf,2024). L'Oued El Harrach est devenu depuis quelques années, un oued à risque d'inondation importante qu'il faut prendre en charge sérieusement (Djemil,2021).

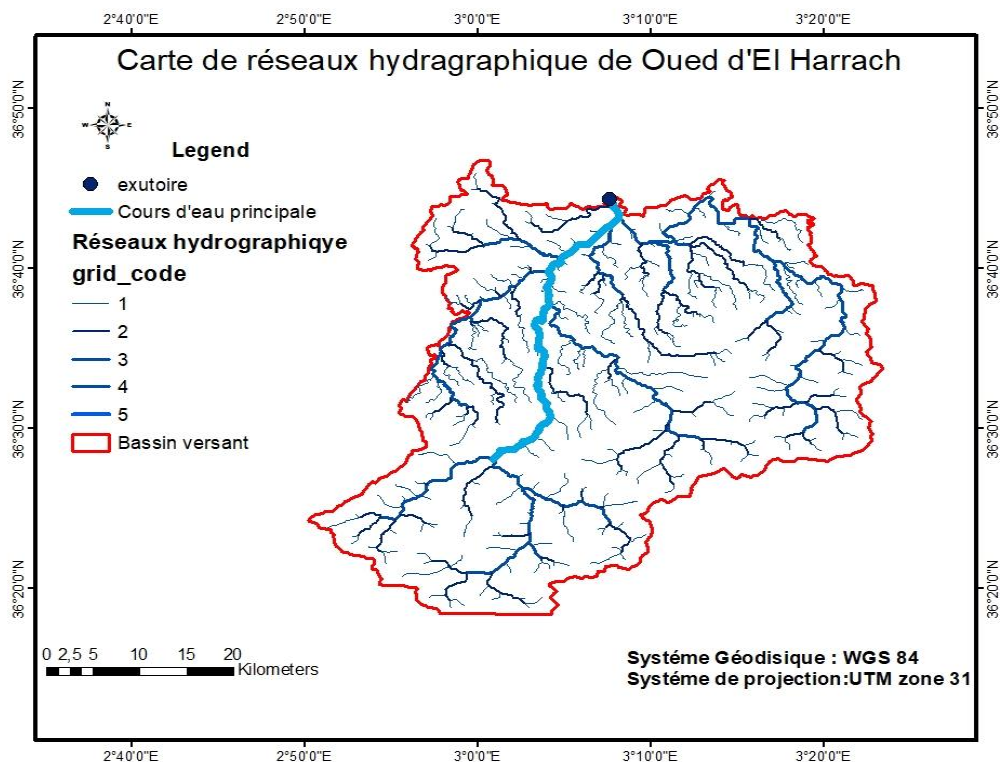


Figure 13: Carte de réseaux hydrographique de Oued El Harrach

II.6.1.2 Oued El Hamiz

Le bassin versant couvre une superficie de 160 km², avec une embouchure localisée à proximité du cap Matifou, à l'est de la baie d'Alger. En amont, le barrage d'El Hamiz limite fortement le transport des sédiments vers le milieu marin. (Bachari Houma,2009b) in (Boukhennaf,2024).

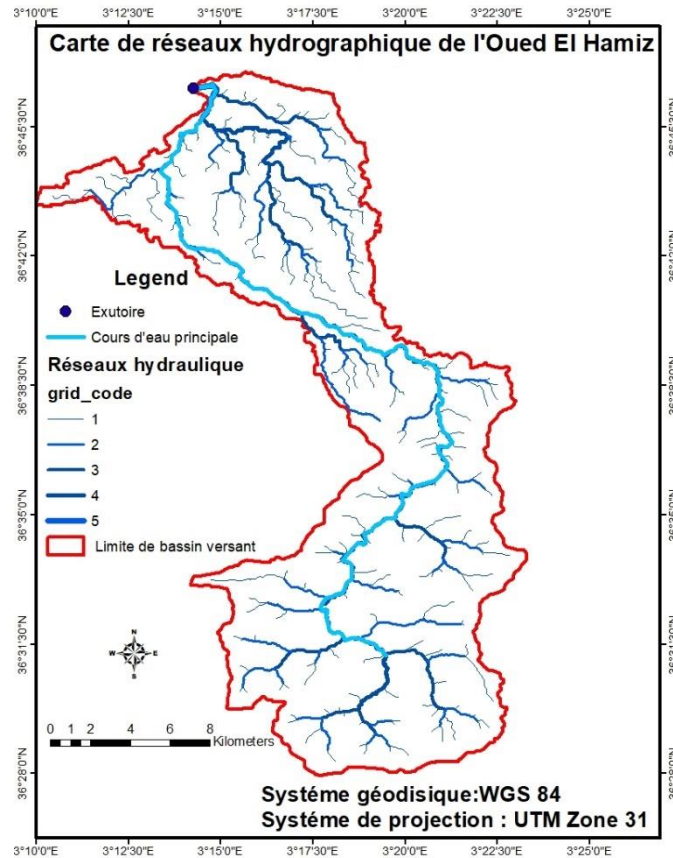


Figure 14 : Carte de réseaux hydrographique de Oued El Hamiz

II.6.2 Les barrages

Les barrages contribuent de manière significative à la gestion et au développement des ressources en eau. Toutefois, ils peuvent aussi avoir des effets négatifs sur la dynamique côtière, notamment en provoquant un recul du littoral dû à la rétention des sédiments en amont. Dans la zone étudiée, on trouve le barrage d'El Hamiz, dont la capacité de stockage est estimée à 16 280 000 m³ (Larid, 2008) in (Boukhennaf,2024).

II.7 Cadre océanographique

II.7.1 La houle

L'analyse de la houle constitue un élément clé dans toute étude des zones côtières, en raison de ses effets directs et indirects sur la dynamique du littoral. La hauteur significative des vagues correspond à la moyenne des hauteurs, mesurée entre creux et crête, du tiers des vagues les plus hautes (Vanem, 2016)

L'analyse statistique des données du site www.waveclimate.com a permis de tracer les roses des houles saisonnière et annuelles au large de la baie d'Alger pour la période 1992- 2019 (Figures :15). L'analyse de la rose de houle annuelle, nous a permis de distinguer deux directions principales : le Nord (N) et le Nord-Est (NE).

- La houle du secteur Nord-Est (NE) présente une fréquence d'apparition la plus élevée, avec une valeur maximale de 38.47%.
- La houle du secteur Nord (N) suit avec une fréquence d'environ 20%.

Les hauteurs de houle les plus fréquentes sont comprises entre 0,5 m et 2 m, avec une dominance autour de 1 m.

Les roses saisonnières indiquent des variations marquées selon les saisons

- En hiver : après l'analyse, les houles Viennent principalement du secteur Nord (N) et Nord-Est (NE), atteignant des fréquences respectives de 20.52% et 14.23%. Cette saison est caractérisée par des hauteurs de houle plus importantes (parfois supérieures à 2 m).
- Au printemps : les houles dominantes restent dirigées entre Nord-Est (NE) et Nord (N) avec des fréquences légèrement inférieures, autour de 11-18%. Combinées à des hauteurs modérées.
- En été : un changement s'effectue avec une prédominance des houles venant du Nord Est (NE) et Nord-Ouest (NW), Obtenant respectivement 54.58% et 9.17% Les hauteurs de houle estivale sont plus faibles, souvent inférieures à 1 m, se présentant une période plus calme.
- En automne la dynamique se rapproche de celle de l'hiver, avec une reprise des houles du Nord-Est (NE) et Nord (N), Obtenant respectivement 23.45 et 14.07%, signalant la transition progressive vers des conditions plus énergétiques.

II.7.2 La Marée

Les marées correspondent à des variations cycliques et prévisibles du niveau marin, qui se produisent chaque jour. Leur amplitude peut varier de quelques dizaines de centimètres à plus de 15 mètres selon les régions du globe. Dans les zones littorales, ces variations jouent un rôle crucial, car elles peuvent engendrer des inondations permanentes ou temporaires, et influencer les processus côtiers, notamment en élargissant la zone d'action des vagues vers l'intérieur des terres. D'après les données enregistrées par le marégraphe du port d'Alger, le régime de marée y est de type microtidal, avec un niveau moyen de la mer mesuré à 40,6 cm (Rami et al., 2016, in Boukhennaf, 2024).

Chapitre III : Méthodologie

L'évaluation du risque d'inondation marine dans le contexte du changement climatique nécessite une approche combinée intégrant à la fois des données topographiques précises et des scénarios d'élévation du niveau de la mer et sur des événements extrêmes (Vousdoukas et al, 2020). Ces scénarios ont pour but de fournir des cartes détaillées des scénarios potentiels de submersion marine. Dans ce chapitre on a utilisé deux méthodes pour cartographier les zones de submersion marine dans notre zone d'étude : la méthode de Hoozemans et al. (1993) et celle de Vousdoukas et al. (2018) afin de comparer entre eux.

III.1 Données utilisées pour la simulation de submersion marine

L'analyse de risques submersion marine nécessite l'utilisation de modèles numériques de terrain (MNT) est une représentation spatiale de l'altitude sous forme numérique, aisément exploitable à l'aide de logiciels d'analyse d'images. Il constitue un outil essentiel pour la modélisation et la visualisation des scénarios d'inondation (Snoussi et al., 2009, in Boukhennaf, 2024). L'utilisation d'un MNT à haute résolution est primordiale, car la précision des cartes des zones potentiellement inondables dépend fortement de la qualité des données altimétriques utilisées pour les simulations (Snoussi et al., 2009, cité par Boukhennaf, 2024).

Dans le cadre de cette étude, la cartographie des terres qui sont à risque de submersion marine de la zone d'étude est basée sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer (extrême), modélisée par le logiciel de cartographie « ArcGis10.4 » par la superposition de niveau d'eau d'inondation à un modèle numérique de terrain (MNT) (Figure :16) dont la résolution est de (5 × 5 m) et une résolution altimétrique de 0.5 m, le MNT utilisé couvre toute la zone d'étude,

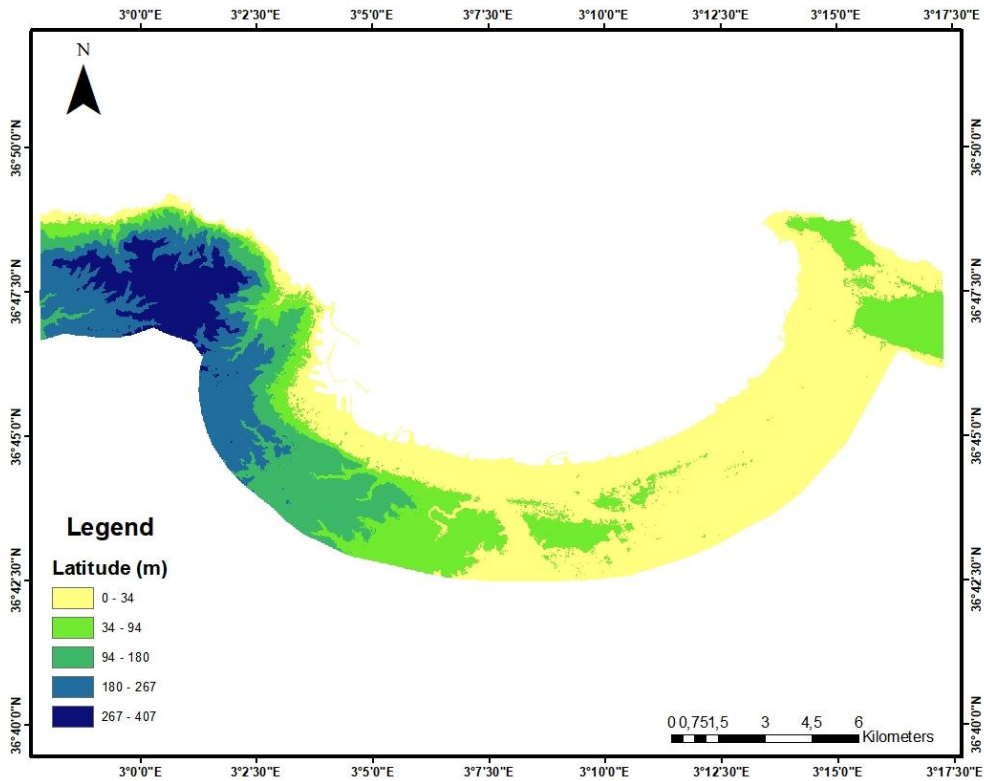


Figure 16 : MNT de la zone d'étude.

Les zones à risque d'inondation

Pour évaluer les zones susceptibles d'être inondées, les hauteurs d'eau correspondant à deux scénarios (élévation du niveau de la mer et scénarios extrêmes) ont été superposées à une carte d'occupation des sols de la baie d'Alger (Boukhennaf, 2024), élaborée à partir d'une classification supervisée. Cette méthode a permis de distinguer précisément les différentes catégories d'occupation du sol (zones urbaines, agricoles, espaces naturels, etc.) en s'appuyant sur des échantillons de référence. L'objectif était d'identifier les facteurs de risque pour les structures dans cette zone. (Figure 17).

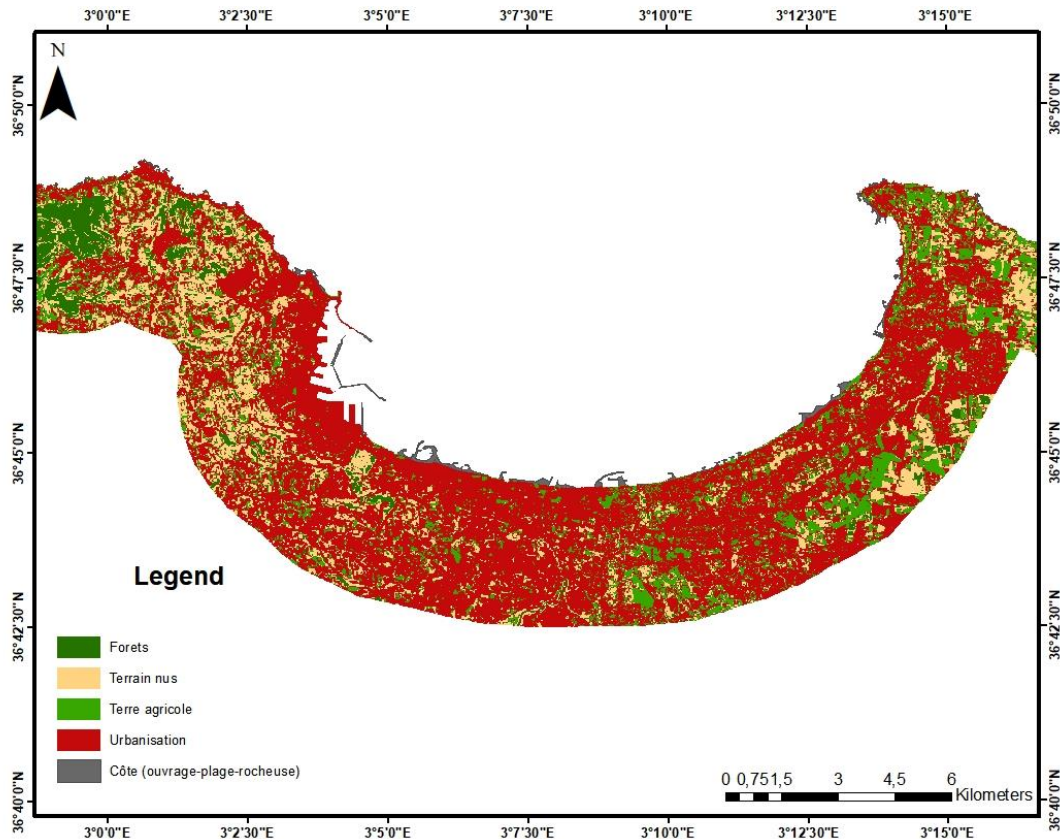


Figure 17 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Boukhenaf,2024).

III.2 Méthode 1

III.2.1 Détermination du Niveau d'inondations marines

En l'absence des données concernant les surcotes et décotes, enregistrements marégraphiques et de tempêtes au large de la côte de la zone d'étude, les niveaux d'inondation ont été calculés à partir l'équation de (HOOZMANS et al., 1993).

$$Dft = MHW + S + Wf + Pf \quad \text{Eq.2}$$

Où :

Dft : Niveau de submersion.

MHW : Niveau moyen des hautes eaux.

S : Elévation relative du niveau de la mer.

Wf : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations.

Pf = Elévation du niveau de la mer, due à une baisse de la pression atmosphérique.

Pour résoudre cette équation, il faut déterminer chacune de ses composantes

III.2.1.1 Scénarios d'élévation du Niveau de la mer

Dans ses récentes projection concernant l'élévation du niveau marin, le GIEC préconise l'adoption des scénarios de voies socio-économiques partagées (SSP) qui couvrent une palette plus étendue d'émissions de gaz à effet de serre, notamment de CO₂, par rapport les scénarios précédents (Kouakou et al., 2023, cité par Boukhennaf, 2024).

Dans cette étude, nous avons utilisé les estimations globales du GIEC AR6, basées sur le scénario à fortes émissions (SSP5-8.5) pour 2030, 2050 et 2100 (Tableau :02).

Tableau 2: Projection globales (m) de l'élévation du niveau de la mer de la période 2030-2100(in Boukhennaf,2024).

Niveau moyen global de la mer (GMSL)	SSP5-8.5
2030	0.12 m
2050	0.29 m
2100	1.01 m

III.2.1.2 Niveau moyen des hautes eaux

Le niveau moyen des hautes eaux (MHW) représente l'altitude moyenne atteinte par la mer lors des marées hautes normales, en l'absence de phénomènes extrêmes tels que les tempêtes ou les surcotes exceptionnelles Le MHW dans la côte algéroise est estimé à environ 0,5 mètre (Djouder et al,2017).

III.2.1.3 Variation du niveau de la mer liée à la pression atmosphérique

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est généralement estimée à 1013 hPa. Lorsqu'elle dépasse cette valeur (situation de haute pression), elle tend à abaisser localement le niveau de la mer, un phénomène appelé décote (in Boukhennaf, 2024). À l'inverse, lorsque la pression est inférieure à cette moyenne (basse pression), elle entraîne une élévation locale du niveau marin, connue sous le nom de surcote (in Boukhennaf, 2024). La relation entre la pression atmosphérique et la variation du niveau de la mer peut être calculée à l'aide de la formule proposée par Ménard et al. (2003) (in Boukhennaf, 2024).

$$Z = 0.01(1013 - p) \quad \text{Eq.3}$$

Où : 1013 hPa : c'est la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.

p : est la pression atmosphérique en hectopascal.

A Alger entre 1982 et 2023, la pression atmosphérique varie entre 980 hPa et 1050 hPa. (WeatherOnline,2023). Cela signifie que le niveau de la mer varie entre - 0.37 m et +0.33 m.

III.2.1.4 Analyse des valeurs extrêmes :

Dans cette étude, la méthode POT couplée à la distribution de Pareto généralisée (GPD) a été utilisée pour analyser les hauteurs de vagues extrêmes (in Boukhennaf,2024).

Cette méthode prend en compte toutes les vagues significatives au-dessus d'un seuil pour ajuster la distribution, ce qui la rend plus efficace et réaliste pour estimer les vagues extrêmes. (in Boukhennaf,2024).

D'après les résultats de l'étude des houles (Boukhennaf,2024), on a pris ce tableau 03 qui contient les hauteurs significatives des houles à la zone de déferlement aux horizons 2030, 2050 et 2100 provenant des directions N, NE et NW.

Tableau 3: Les Hauteurs significatives des houles associées à des périodes de retour à la zone de déferlement de la baie d'Alger (Boukhennaf,2024).

Période de retour	N	NE	NW
Houle annuelle	0.79m	0.7m	0.7m
Houle biennale	2.1m	1.8m	2.9m
Houle Vingtennale	3.6m	2.6m	4m
Houle centennale	4m	3.1m	4.9m

On constate que les houles les plus fortes sont de direction Nord-Ouest pour le site d'étude. Nous avons considéré les houles à l'horizon 2030, 2050 et 2100 sont 2.9 m, 4 m et 4.9 m respectivement.

Calcul niveaux d'inondation (scénarios extrêmes)

On a calculé les niveaux de submersion marine à partir l'équation d'Hoozmans les résultats dans ce tableau suivant (Tableau :04) :

Tableau 4: Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.

Scénarios	Niveau de la mer relative m (S)	La marée m (MHW)	Dépression atmosphérique M (Pf)	Hs proche de la côte m (WF)	Niveau d'inondation m (Dft)
2030	0.12	0.5	0.33	2.9	3.85
2050	0.29	0.5	0.33	4	5.12
2100	1.01	0.5	0.33	4.9	6.74

Scénarios de base (scénarios d'élévation du niveau de la mer)

Ce scénario correspond à l'élévation du niveau de la mer en 2030,2050 et 2100.

Tableau 5 : Niveaux de la mer à l'horizon 2030,2050 et 2100.

Scénarios	2030	2050	2100
Scénarios de base	0.12 m	0.29 m	1.01 m

III.2.2 La cartographie des zones inondables

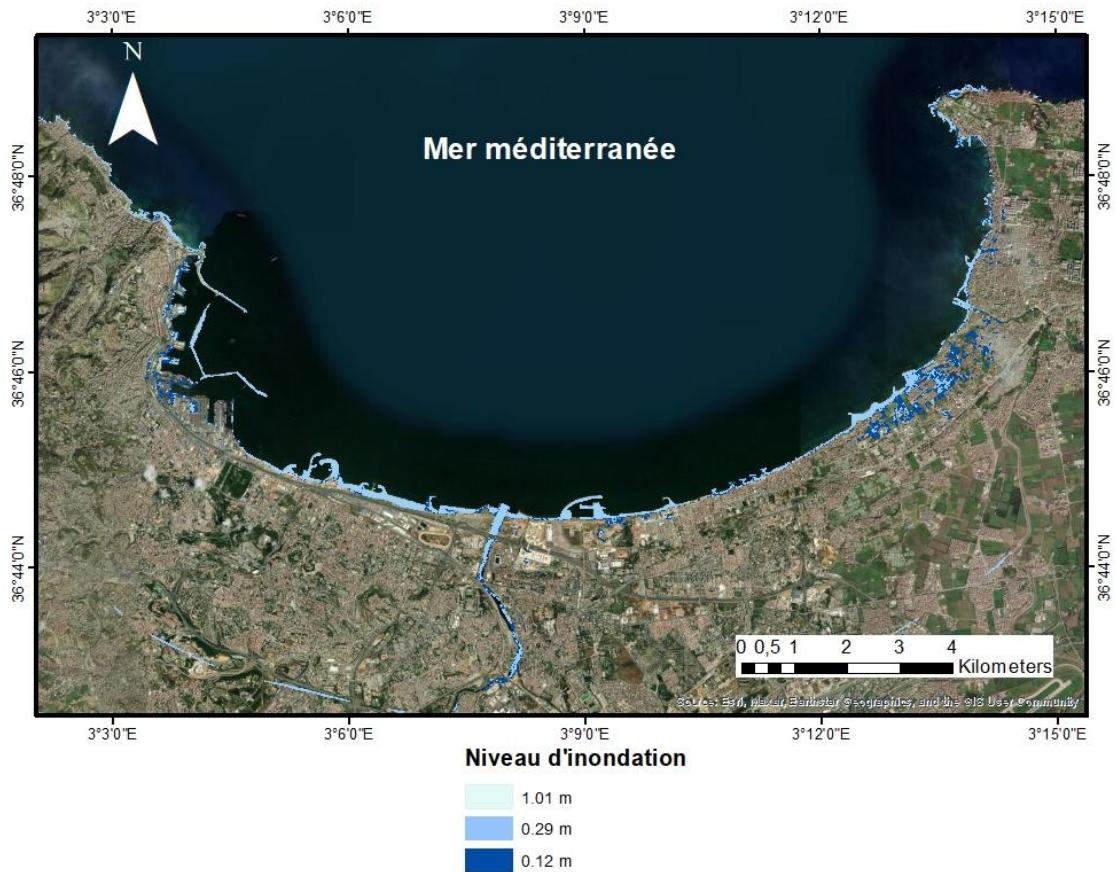


Figure 18 : Carte des zones inondables selon le scénario de base

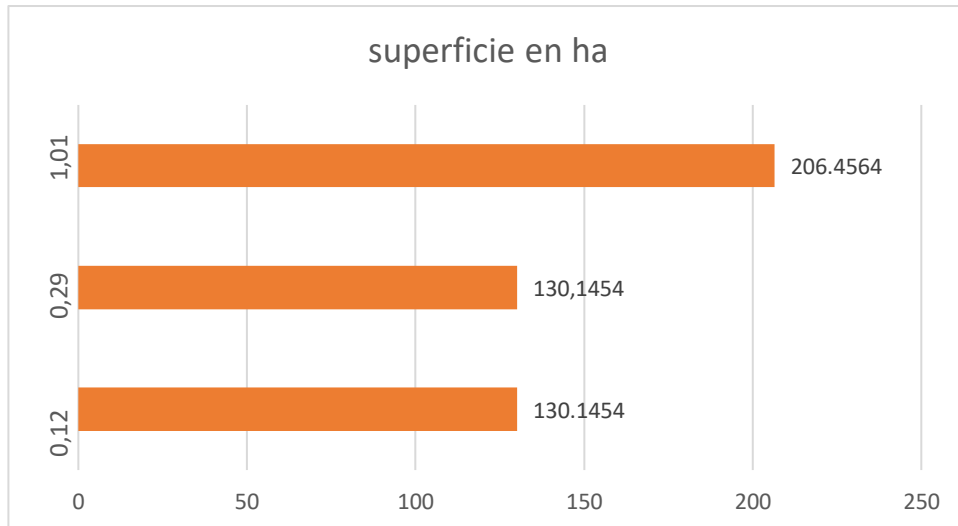


Figure 19 : Superficie des terres inondées par les différents niveaux d'élévation d'eau.

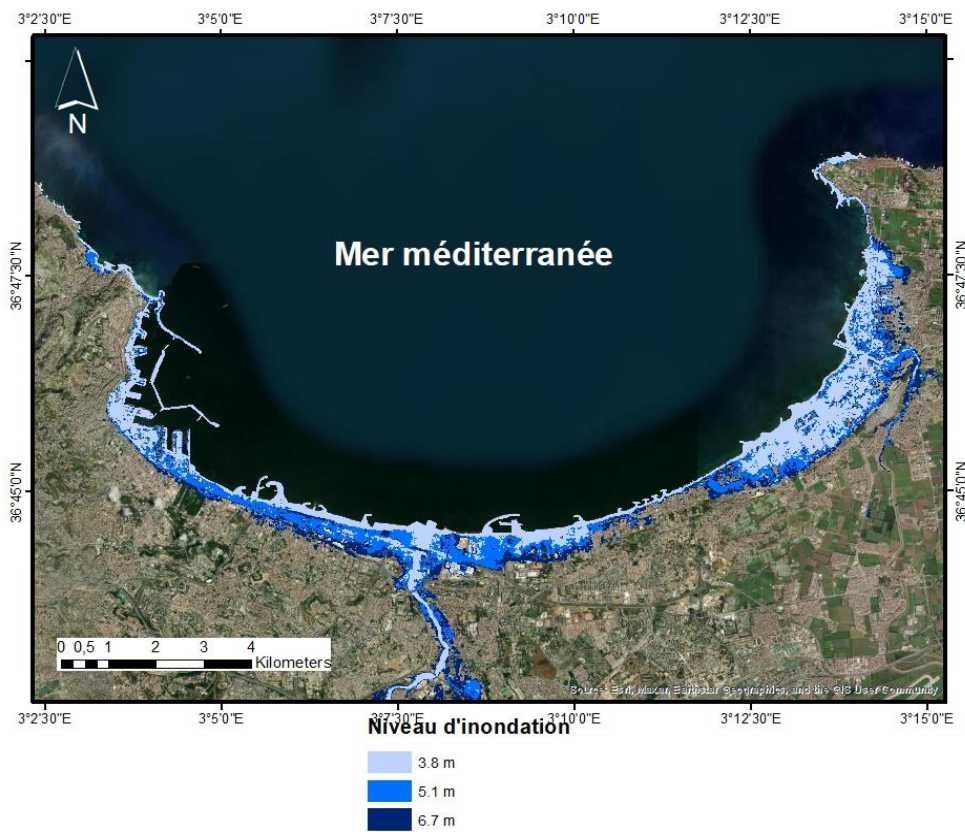


Figure 20 Carte de submersion marine, méthode 01.

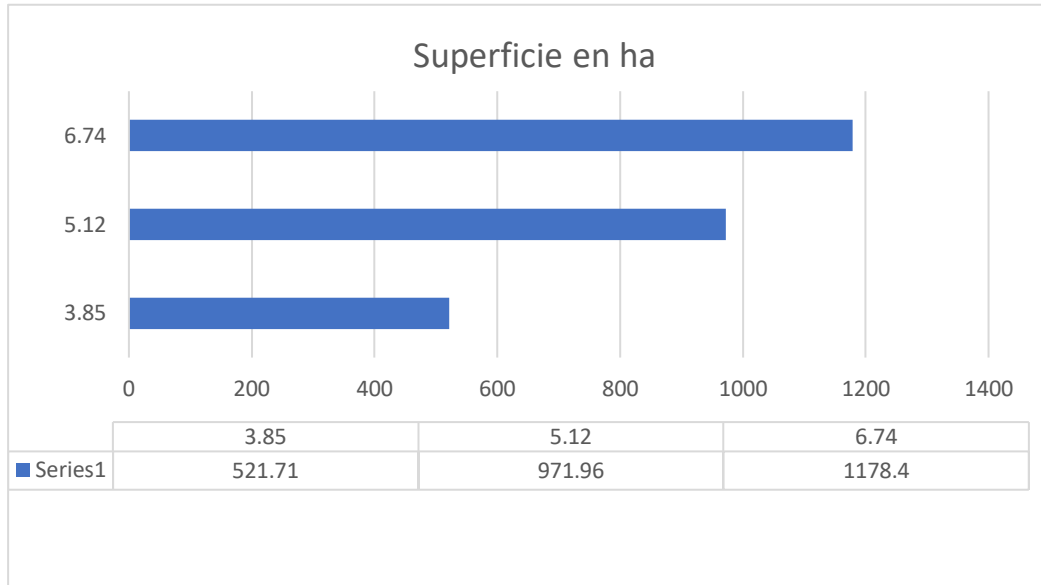


Figure 21 : Superficie des terres inondées par les différents niveaux extrêmes, méthode 01.

III.2.3 Evaluation de l'impact de la submersion marine sur les sites d'étude (méthode 01)

Après la superposition des scénarios des houles extrêmes d'horizon 2030,2050 et 2100 sur la carte d'occupation des sols on a obtenu les résultats suivants :

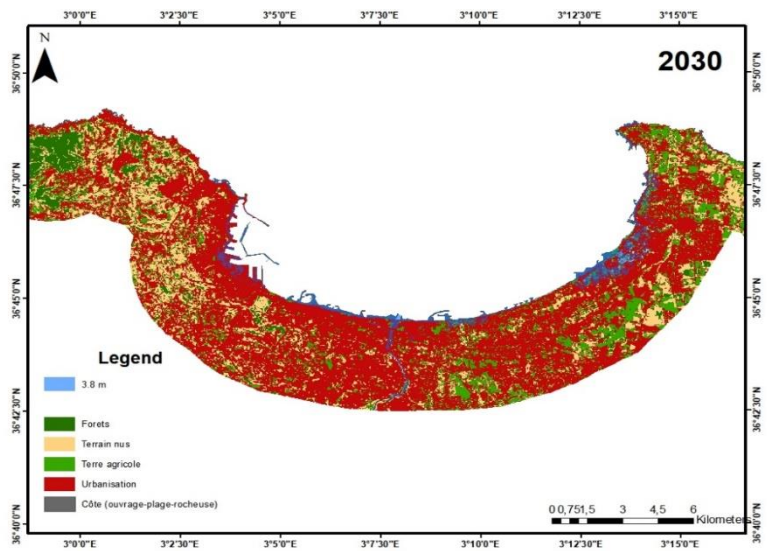


Figure 23: L'impact de submersion marine selon scénario 2030.

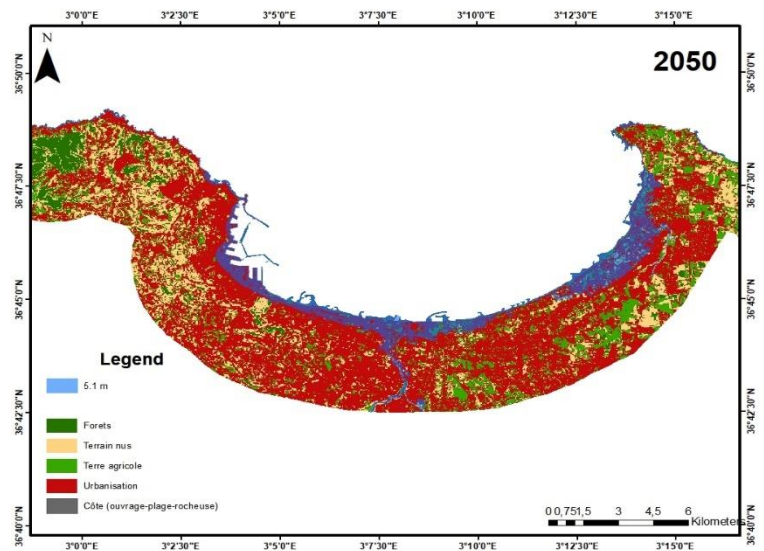


Figure 24: L'impact de submersion marine selon scénario 2050.

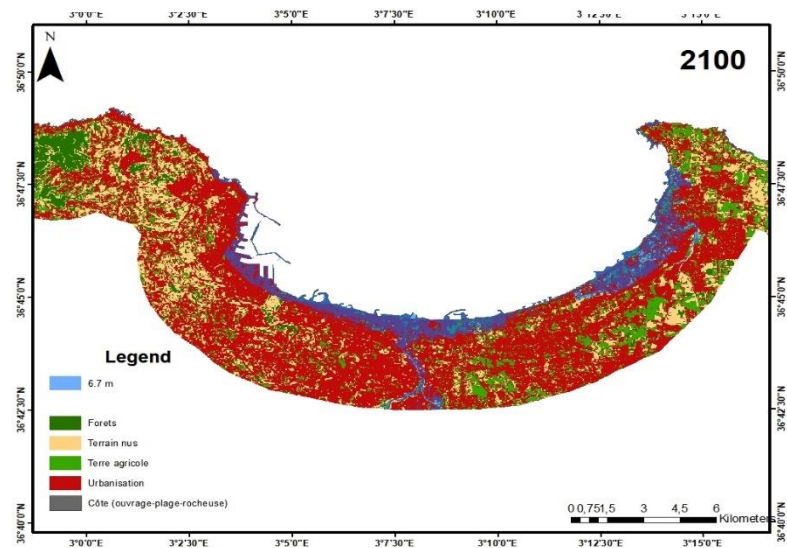


Figure 22: L'impact de submersion marine selon scénario 2100.

III.3 Méthode 2

On a opté pour la cartographie les zones inondées la méthode de *Vousdoukas et al.*, (2018). Cette méthode est utilisée par de nombreux auteurs pour la bonne fiabilité des résultats (*Colmer*, 2013 ; *Cullis et al.*, 2006 ; *Gornitz et al.*, 2001 ; *Murdukhayeva et al.*,2013 ; *Nicholls et al.*, 1999 ; *Snoussi et al.*, 2007).

Ce modèle, conçu pour simuler les niveaux marins extrêmes, a été mis au point par le Centre commun de recherche de la Commission européenne (Vousdoukas et al., 2018). Il évalue les niveaux extrêmes de la mer (ESL) en prenant en compte plusieurs facteurs combinés : l'élévation moyenne du niveau marin (MSL), la hauteur de marée haute (η_{tide}), ainsi que les variations du niveau de la mer liées à des événements climatiques extrêmes, notamment l'action des vagues et des ondes de tempête (Hce) (Vousdoukas et al., 2018).

$$\text{ESL} = \text{MSL} + \eta_{\text{tide}} + \text{Hce} \quad \text{Eq.4}$$

III.3.1 Détermination du Niveau d'inondations marines

Les données des indices de la formule (3) utilisée pour cartographier le risque d'inondation due aux niveaux marins extrêmes qui peuvent affecter la baie d'Alger sont décrites ci-dessous :

III.3.1.1 Élévation moyenne du niveau de la mer (MSL)

L'élévation du niveau de la mer accentue le risque d'inondation des zones côtières basses. Par conséquent, lors de l'étude des inondations due aux niveaux marins extrêmes, le taux d'élévation de niveau de la mer est un paramètre important à prendre en considération. Plus ce taux est élevé, plus la côte est vulnérable. Dans cette étude, nous avons utilisé les estimations globales du GIEC AR6, le scénario à fortes émissions (SSP5-8.5) pour 2030, 2050 et 2100 (Tableau :02) (in Boukhennaf,2024).

III.3.1.2 Le niveau de la marée haute (η_{tide})

La marée sur la côte algérienne est semblable à toutes les côtes méditerranéennes très basses. L'amplitude des marées le long des côtes algériennes est de 0.5 m, mais son niveau maximal peut atteindre 1 m. Le niveau zéro opté par cette étude est le zéro géodésique.

III.3.1.3 Fluctuations du niveau d'eau dues aux extrêmes climatiques (niveaux d'eau déterminés par les vagues et les ondes de tempête) (η_{CE})

On a pris les hauteurs significatives des houles extrêmes d'après les résultats récentes (Tableau :03) (in Boukhennaf,2024).

Calcul niveaux d'inondation

On a calculé les niveaux de submersion marine à partir l'équation de (Vousdoukas *et al.*, 2018).
Les résultats dans ce tableau suivant (Tableau :07) :

Tableau 6 : Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.

Scénarios	Niveau de la mer relative m (S)	La marée m (MHW)	Hs proche de la côte m (WF)	Niveau d'inondation m (Dft)
2030	0.12	0.5	2.9	3.52
2050	0.29	0.5	4	4.79
2100	1.01	0.5	4.9	6.41

III.3.2 Cartographie des zones inondées

Les zones inondées en fonction des scénarios extrêmes, méthode 02 de la baie d'Alger (Figure :25) :

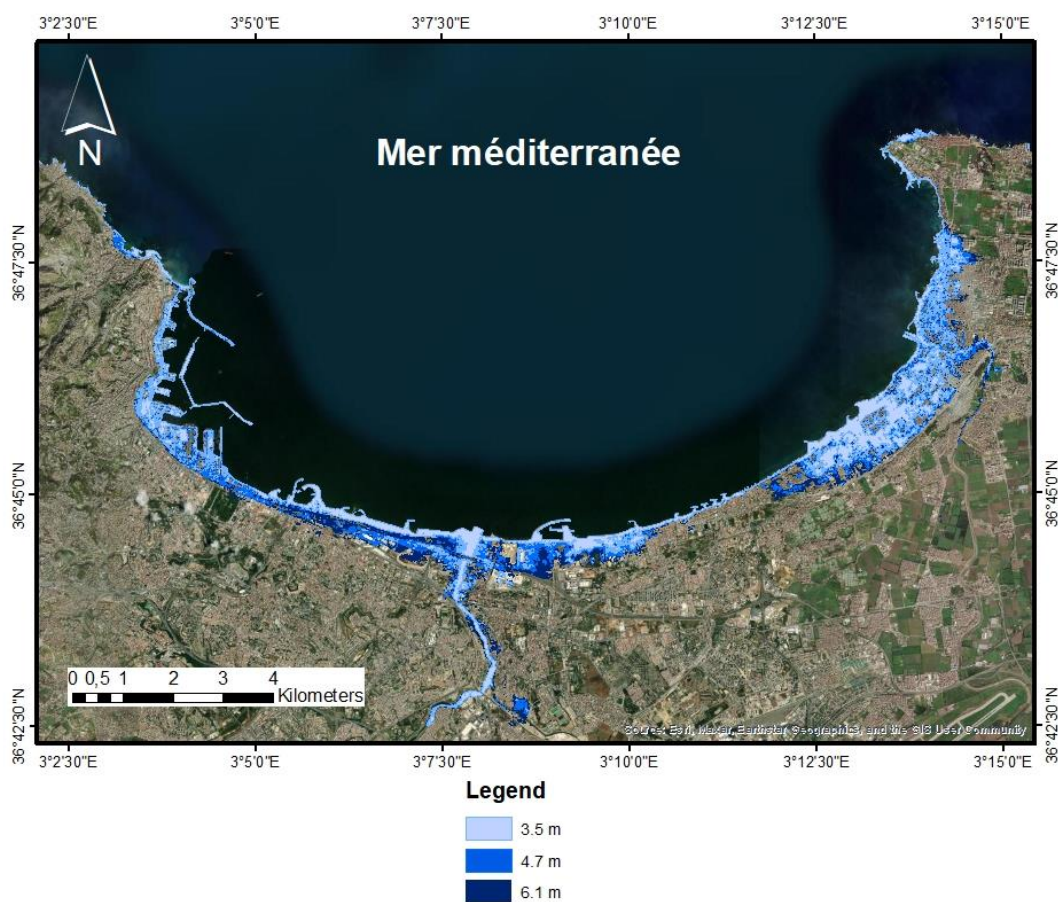


Figure 25: Carte de la submersion marine méthode 02.

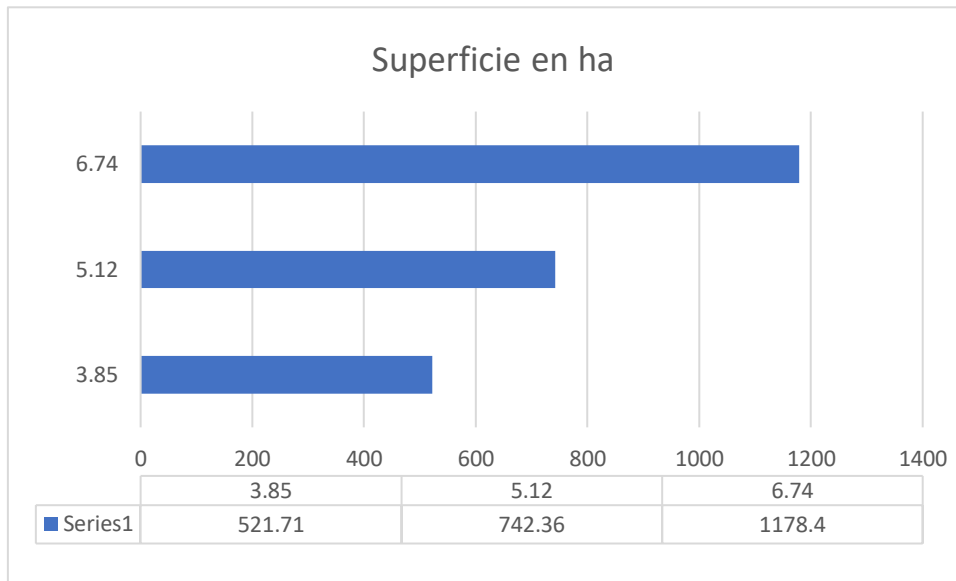


Figure 26: Superficie des terres inondées par les différents niveaux extrêmes d'eau, méthode 02.

III.3.3 Evaluation de l'impact de la submersion marine sur les sites d'étude (méthode 02)

Après la superposition des scénarios des houles extrêmes d'horizon 2030,2050 et 2100 sur la carte d'occupation des sols on a obtenu les résultats suivants (Figures :27,28,29)

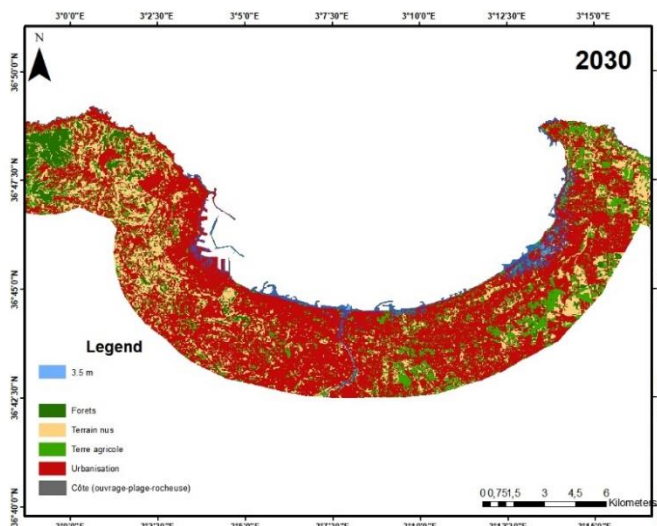


Figure 27 : L'impact de submersion marine selon scénario 2030

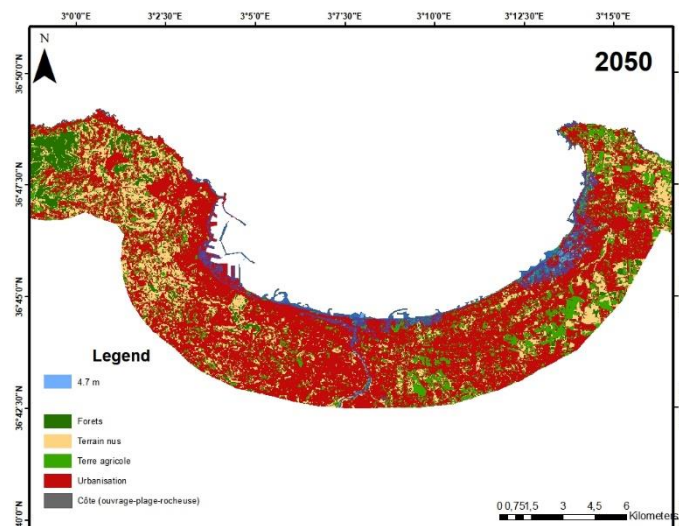


Figure 31 : L'impact de submersion marine selon scénario 2050.

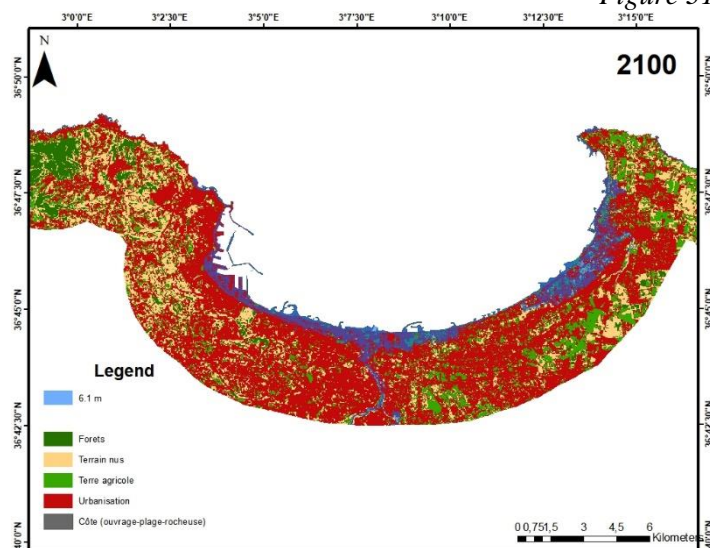


Figure 32 : L'impact de submersion marine selon scénario 2100.

Tableau 7 : Niveaux d'inondation à l'horizon 2030,2050 et 2100.

Type d'occupation du sol	Méthode 01						Méthode 02					
	Niveau d'inondation 3.85 m		Niveau d'inondation 5.12 m		Niveau d'inondation 6.74 m		Niveau d'inondation 3.52 m		Niveau d'inondation 4.79 m		Niveau d'inondation 6.11 m	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Eau	3.39	0.65	4.11	0.42	4.37	0.37	3.39	0.65	3.8	0.51	4.37	0.37
Forêts	9.03	1.73	11.07	1.14	13.30	1.13	9.03	1.73	10	1.35	13.30	1.13
Terrain nus	26.12	5.01	48.37	4.98	64.48	5.47	26.12	5.01	35.40	4.77	64.48	5.47
Terre agricole	75.49	14.47	133.87	13.77	156.53	13.28	75.49	14.47	104.61	14.09	156.53	13.28
Urbanisation	300.28	57.55	659.46	67.85	823.18	69.86	300.28	57.55	476.17	64.14	823.18	69.86
Côte (ouvrage, plage, Rocheuse)	107.40	20.59	115.08	11.84	116.54	9.89	107.40	20.59	112.38	15.14	116.54	9.89
Total	521.71	100	971.96	100	1178.40	100	521.71	100	742.36	100	1178.40	100

Chapitre IV : Discussion

IV.1 Interprétation des résultats

IV.1.1 Scénario de base

A l'horizon 2030 et 2050 seulement 130,15 ha (0.93 %) de la superficie totale des plages de la baie d'Alger susceptible d'être inondées. L'impact des scénarios de l'élévation du niveau de la mer en 2030 ,2050 sont faible. Les ouvrages de protection et les plages situés proche des oueds sont susceptibles d'être inondés.

A l'horizon 2100, la côte d'une superficie 206.46 ha (1,47%) sera affectée par l'élévation de niveau de la mer. Les zones principalement touchées sont : le port d'Alger, les plages (Piquet Blanc, Bateau Cassé, Alger Plage), la rue vers la plage et quelques habitats individuels au niveau de Bateau Cassé.

IV.1.2 Méthode 01

La bande de 3 km de zone étudiée occupe une superficie de 13998.29 ha.

A l'horizon 2030 pour une submersion de 3.85 m une superficie de 521.71 ha sera inondée soit 3.72 % de la zone étudiée. Les zones principalement touchées sont les zones urbanisées et côtières avec une superficie de 300.28 ha et 107.40 ha successivement. Les terres agricoles et les forêts seront également touchées avec une superficie de 75.49 ha et 9.03 ha successivement.

En 2050 avec submersion de 5.12 m, la superficie de 971.96 ha sera affectée par l'inondation soit 6.94% de la zone étudiée. Les zones principalement touchées seront ; le port d'Alger, le chemin de fer, front de mer de Hussein-Dey, Une grande partie autour de Oued El Hamiz, Stambul, Benzerga II et Bateau Cassé, la superficie de la zone urbanisées est de 659.46. Les terres agricoles situées à l'Est de la baie d'Alger seront inondées avec une superficie estimée à 133.87 ha. Les zones côtières sont presque totalement inondées avec une superficie de 115.08 ha.

A l'horizon 2100 avec un scénario de 6.74 m environ 1178.40 ha de surface de la baie d'Alger risquent d'être inondée, soit 8.42 % de la superficie total étudiée. Les plages, le port d'Alger et les ouvrages de protection seront submergés à 100 %. Les zones urbanisées inondées seront augmentées d'une superficie de 823.18 ha. Les zones autour d'Oued El Harrach, Oued El Hamiz et la bande littorale de 300 m seront les plus touchées par les inondations. Les terres agricoles importantes seront également touchées par les inondations avec une perte qui dépassera les 156.53 ha. Les forêts seront inondées avec une superficie de 13.30 ha.

IV.1.3 Méthode 02

La bande de 3 km de zone étudiée occupe une superficie de 13998.29 ha.

À l'horizon 2030, 521,71 hectares seraient touchés, soit 3,72 % de la superficie totale de la zone étudiée. Les zones les plus concernées sont les zones urbanisées, représentant 57,55 % de la surface inondée (300,28 ha), suivies par les zones côtières (107,63 ha) et les terres agricoles (75,49 ha), tandis que les forêts et terrains nus sont faiblement touchés.

Prévu autour de 2050, l'inondation s'étendrait à 742,36 hectares, soit 5,30 % de la zone totale. À ce stade, l'urbanisation reste le secteur le plus vulnérable avec 64,14 % des terres inondées (476,17 ha), tandis que les terres agricoles atteignent 104,61 ha, les zones côtières approximativement inondées avec une surface de 112,38 ha, par comparaison avec une submersion de 3.52 mètres. Cette avancée des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par les cours d'eau, en particulier l'Oued El-Harrach, et l'Oued El Hamiz à l'Est, où ces dernières pénètrent jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres, et aussi touchée le port d'Alger.

Enfin, dans un scénario extrême à l'horizon 2100, avec une submersion de 6,11 mètres, 1178,40 hectares seraient inondés, soit 8,42 % de la superficie étudiée. Les zones urbaines deviennent majoritairement inondées (823,18 ha, soit 69,86 %), notamment dans les zones d'embouchures telles qu'Oued El-Harrach, et El Hamiz, ce qui représente une menace majeure pour les infrastructures et les populations. Les terres agricoles seraient également fortement touchées (156,53 ha), tout comme les zones côtières, le port d'Alger et Sablette (116,54 ha). Cette évolution progressive montre une aggravation constante du risque d'inondation.

IV.2 Discussion

L'analyse cartographique réalisée dans cette étude révèle que certaines zones de la baie d'Alger sont plus vulnérables que d'autres, notamment en raison de leur topographie basse (comme Sablette, Bordj El Bahri, El Harrach et El Hamiz) et de leur forte urbanisation. Les zones côtières artificialisées, les embouchures d'oueds, ainsi que les quartiers densément peuplés situés en bordure de mer apparaissent comme des secteurs vulnérables.

Les cours d'eau, notamment l'Oued El Harrach et l'Oued El Hamiz, jouent un rôle déterminant dans la pénétration des eaux marines vers l'intérieur des terres. La largeur importante des vallées et leur pente douce favorisent une extension rapide des zones inondées. Ce phénomène est particulièrement visible à l'Est de la baie, où la topographie plus plate favorise la remontée marine jusqu'à plusieurs kilomètres de l'arrière-pays.

L'impact des submersions marines ne se limite pas aux seuls aspects physiques. L'agriculture périurbaine, encore présente dans l'Est de la baie d'Alger, constitue un secteur vulnérable. La salinisation des sols par intrusion marine, déjà observée dans d'autres régions méditerranéennes (Alfieri et al., 2014), risque de réduire fortement la productivité des terres et de perturber les circuits alimentaires locaux.

De plus, la baie d'Alger repose en partie sur un aquifère côtier, aujourd'hui menacé par le phénomène d'intrusion saline. En l'absence de mesures de protection, l'augmentation du niveau de la mer pourrait contaminer cette ressource stratégique, affectant à la fois l'irrigation agricole et l'alimentation en eau potable, particulièrement en période estivale où la pression démographique augmente en raison du tourisme.

Sur le plan socio-économique, les quartiers urbains densément peuplés, comme Hussein Dey, Mohammadia ou Bordj El Kiffan, concentrent l'essentiel des surfaces inondables. Les dommages potentiels incluent des pertes d'habitat, des interruptions de services essentiels (eau, électricité, transports), ainsi que des risques sanitaires majeurs. Le coût des reconstructions pourrait être considérable si des politiques d'adaptation ne sont pas rapidement mises en place.

L'élévation accélérée du niveau marin, projetée par le GIEC (2021) entre 55 et 101 cm, d'ici 2100, selon les scénarios laisse présager une intensification des phénomènes de submersion liés aux tempêtes (Cazenave et al, 2004). Sans actions concrètes, les dégâts seront non seulement plus étendus, mais parfois irréversibles, en particulier dans les zones artificialisées et densément urbanisées comme la baie d'Alger.

Face aux menaces croissantes de submersion marine dans la baie d'Alger, il apparaît impératif d'adopter une approche différenciée et intégrée en fonction des spécificités morphologiques et d'occupation du sol de chaque secteur. Ainsi, dans la zone portuaire et le littoral occidental (notamment le Port d'Alger, Sablette et Hussein-Dey), le renforcement et la requalification des digues, quais et infrastructures côtières s'imposent comme des priorités majeures.

À l'embouchure de l'Oued El Harrach, particulièrement vulnérable, la sécurisation des berges, l'aménagement de zones d'expansion des crues, ainsi que la restauration écologique des marges fluviales sont nécessaires pour limiter les effets combinés des crues et de la montée marine.

Du côté oriental (Bordj El Kiffan, Oued El Hamiz), les actions devraient se concentrer sur la mise en place de protections souples (rechargement sédimentaire), la gestion durable des terres agricoles vulnérables, et la limitation de l'urbanisation sur les basses plaines littorales.

Dans les zones centrales à forte pression urbaine (Pins Maritimes, Sirène I et II), il conviendrait de reconstituer les cordons dunaires, de renforcer les normes d'urbanisme côtier, et d'intégrer des espaces publics multifonctionnels capables de faire tampon en cas de submersion.

Du côté oriental (Bordj El Kiffan, Oued El Hamiz), les actions devraient se concentrer sur la mise en place de protections souples (rechargement sédimentaire), la gestion durable des terres agricoles vulnérables, et la limitation de l'urbanisation sur les basses plaines littorales.

Dans les zones centrales à forte pression urbaine (Pins Maritimes, Sirène I et II), il conviendrait de reconstituer les cordons dunaires, de renforcer les normes d'urbanisme côtier, et d'intégrer des espaces publics multifonctionnels capables de faire tampon en cas de submersion.

Enfin, dans les zones touristiques (Coco Plage, Alger Plage), l'adaptation pourrait passer par la mise en place d'infrastructures modulables, des systèmes d'alerte rapide, et une sensibilisation accrue des usagers aux risques côtiers. L'ensemble de ces mesures devrait s'inscrire dans un cadre de gestion intégrée du littoral GIZC, en articulation avec les projections climatiques régionales et les enjeux socio-économiques locaux.

De nos jours, les risques côtiers, et en particulier les submersions marines, représentent une menace croissante pour l'aménagement du littoral, les zones urbaines, les infrastructures portuaires, les axes routiers, les terres agricoles, ainsi que les écosystèmes côtiers sont directement exposés à ces phénomènes (GIEC,2019). Dans la baie d'Alger, cette

problématique revêt un caractère particulièrement urgent en raison de la concentration élevée de la population et des activités économiques sur le littoral

Dans notre étude, les deux méthodes qu'on a été utilisées pour cartographier les zones inondées donnent des résultats convergents : plus l'horizon temporel est éloigné, plus l'impact est important. Cependant, on note une légère différence dans les valeurs des niveaux d'inondation calculés. La méthode de Hoozemans aboutit à des niveaux légèrement supérieurs (3,85 m pour 2030 contre 3,52 m pour Vousdoukas, et 6,74 m en 2100 contre 6,41 m), ce qui s'explique par la prise en compte explicite de la surcote barométrique dans son équation.

Notre étude met en évidence la vulnérabilité croissante de la baie d'Alger face aux submersions marines, accentuées par l'élévation du niveau de la mer et l'urbanisation en zones basses. Les résultats montrent que certaines zones sont particulièrement exposées, notamment en raison de leur topographie et de la densité de population. Sans mesures adaptées, les conséquences pourraient être graves sur les plans économique, social et environnemental. Il devient donc essentiel d'intégrer le risque de submersion dans l'aménagement du territoire, de renforcer les protections existantes et de mieux surveiller l'évolution du littoral.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a mis en lumière l'exposition croissante de la baie d'Alger aux risques de submersion marine, dans un contexte marqué par le changement climatique et l'intensification de l'urbanisation côtière. L'exploitation de modèles numériques de terrain (MNT) a permis de simuler différents scénarios d'élévation du niveau marin à l'horizon 2030, 2050 et 2100, révélant une extension progressive des surfaces potentiellement inondées. Les zones les plus touchées comprennent les secteurs densément urbanisés, les embouchures fluviales – notamment Oued El Harrach et Oued El Hamiz – ainsi que les infrastructures portuaires et les milieux naturels sensibles.

Les conséquences attendues de ces submersions sont multiples : atteintes aux infrastructures, pertes foncières, désorganisation des activités économiques, détérioration des écosystèmes littoraux, et risques accrus pour les populations riveraines. Face à ces menaces, une action stratégique et adaptée devient indispensable. Des mesures d'atténuation ont été envisagées, parmi lesquelles figurent le renforcement des digues, la préservation des écosystèmes côtiers, la régulation du développement urbain, la relocalisation des zones à fort risque et la mise en place de dispositifs de surveillance et d'alerte.

La baie d'Alger constitue un espace littoral à forts enjeux humains, économiques et écologiques. Sa vulnérabilité face aux phénomènes marins extrêmes exige des réponses ciblées et durables.

Ce mémoire met en évidence la nécessité d'adopter une gestion proactive du littoral algérois, intégrant la prévention des risques dans les politiques locales d'aménagement.

Cependant, des limites subsistent, notamment les incertitudes inhérentes aux modèles climatiques utilisés, ainsi que l'absence de données socio-économiques locales permettant d'évaluer pleinement les conséquences humaines et financières des inondations.

Dans ce contexte, il est recommandé de renforcer les infrastructures de protection, de freiner l'extension urbaine dans les secteurs côtiers sensibles et de renforcer le suivi hydrologique, notamment au niveau des oueds.

L'intégration de données socio-économiques dans les futurs modèles représenterait un atout majeur pour une analyse plus complète de la vulnérabilité.

Enfin, le développement d'une modélisation dynamique prenant en compte les interactions complexes entre les vagues, les courants marins et le relief littoral permettrait d'affiner les prévisions et d'améliorer la planification territoriale.

Références bibliographiques

Références Bibliographique

Amarni, N. (2021). Utilisation de la géomatique pour l'étude des risques côtiers dans la zone centre Algérienne (littoral de Cherchell). (Thèse de doctorat). ENVIRONNEMENT MARIN ET LITTORAL. Delybrahim. ENSSMAL.P.120.

Amoura, R. (2022). 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. (Thèse de doctorat). Architecture urbaine et environnement. Blida. Université Saad Dahlab.P.19.

Amoura,R et al. (2022). Visualisation de l'étendue spatiale des inondations attendues dans la zone côtière d'Alger en raison de l'élévation du niveau de la mer. Alger en raison de l'élévation du niveau de la mer.Vol.19. P.P.3-4.

Blond, N. (2024). Côtes d'ablation et côtes d'accumulation [En ligne]. [Consulté le 03/03/2025]. Disponible sur le site web :<https://geoconfluences.enslyon.fr/glossaire/cotes-d-ablation-et-cotes-d-accumulation>

Boualem, A. (2019). La baie d'Alger, un espace côtier prisé entre pressions d'urbanisation et gouvernance territoriale. Revue des Régions Arides, vol.13.n° 45, P 63–76.

Bouguelmouna, T. (2022). Le changement climatique et ses impacts en termes de santé publique. (Thèse de doctorat). U.F.R. Des sciences pharmaceutiques. Université de bordeaux. France.P.42.

Boukhenaf, Abdelouahad (2024). Modélisation de la cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire et évaluation des zones à risque de la côte Algéroise. (Thèse de doctorat). Science de la Mer. Delybrahim. ENSSMAL.P. P .2-6.

Breilh, J. (2014). Les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne : Les enseignements de la tempête Xynthia. Thèse de doctorat. Terre, Enveloppes fluides. France. Université de la rochelle. P.P. 12-15.

Cariolet, (2011). Les différents modes de submersions des barrières littorales. [En ligne]. [Consulté le 24/02/2025]. Disponible sur le site web : https://www.researchgate.net/figure/Les-differents-modes-de-submersions-des-barrieres-littorales-Les-ruptures-de-digues_fig10_327499401

Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique. (2023). Érosion du littoral : à quoi s'attendre et comment s'adapter ? [En ligne]. [Consulté le 27/02/2025]. Disponible sur le site web : <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/dossiers-thematiques/impacts/erosion-du-littoral>

Chocat, B et al (2009). Hydrologie urbaine. Hydrologie appliquée. Paris : Éditions Tec & Doc, Lavoisier, p. 45.

DJEMIL,W.(2021). Valorisation et potentialité de la réutilisation des eaux usées traitées pour un développement intégré durable. Cas des STEP dans la région d'Alger. Risques socio-sanitaires et environnementaux. (Thèse de doctorat). Eau et Environnement. Université des sciences et technologie.

Djouidar,D et Toubal,A. Etat actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger.vol.14,P.02.

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*, vol 10, n°14, P.299.

EAUFRANCE. (2019). Les inondations et les submersions marines. [En ligne]. [Consulté le 27/02/2025]. Disponible sur le site web : <https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

EGIS EAU, IAU-IDF, BRGM. (2013). Phase 1, Evaluation et représentation des sources de vulnérabilité. Rapport final. Document non publié. Algérie : EGIS EAU, IAU-IDF, BRGM.

Gaouaou, F et al (2023). Contribution à l'étude des inondations dans une zone côtière : wilaya d'Alger. (Mémoire de master). Ingénierie de l'Environnement Marin et côtier. Delybrahim. ENSSMAL.P.04.

GIEC. (2019). Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans un climat qui change. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC).

GIEC. (2023). Résumé à l'intention des décideurs. Rapport de synthèse du sixième rapport d'évaluation (AR6). Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC) [En ligne]. Consulté le [11/04/2025]. Disponible sur le site. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Griche, H et al. (2024). Modélisation et cartographie de la vulnérabilité du littoral centre algérien face aux risques d'inondation et de submersion marine. Mémoire d'ingénieur. Delybrahim. Enssmal.p.24.

Hoozemans, F et al (1993). A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale (2nd edition).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Khouakhi, A et al. (2023). SIG et risque d'inondation du littoral de Mohammedia. Vol.28, n°23, P.1-8.

Le Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (2015). Définition du bassin versant. [En ligne]. [Consulté le 27/02/2025]. Disponible sur le site web : <https://www.grobec.org/definition.php>

L'info Kwezi. (2025). Un nouveau cyclone intense apparaît au large de l'Australie dans l'océan Indien Sud. [En ligne]. [Consulté le 27/02/2025]. Disponible sur le site web : <https://www.linfolkwezi.fr/un-nouveau-cyclone-intense-apparait-au-large-de-laustralie-dans-locean-indien-sud/>

L'Observatoire des Poissons du bassin Seine-Normandie. Les bassins versants. [En ligne]. [Consulté le 27/02/2025]. Disponible sur le site web : <https://www.observatoire-poissons-seine-normandie.fr/les-rivieres/le-fonctionnement/bassin-versant/>

Ministère de la Transition écologique, (2021). Publication du 6e rapport - Synthèse du GIEC. [En ligne]. [Consulté le 25/02/2025]. Disponible sur le site web : https://www.ecologie.gouv.fr/actualites/publication-du-6e-rapport-synthese-du-giec?utm_source=chatgpt.com

Observatoire national des étiages (ONDE). (2015). Bassin versant. [En ligne]. [Consulté le 23/03/2025]. Disponible sur le site <https://onde.eaufrance.fr/content/bassin-versant>

Rabehi,W et al. (2018). Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. Vol.04, P.04.

Vanem, E. (2016). Joint statistical models for significant wave height and wave period in a changing climate. Marine Structures 49, P.180–205.

Vousdoukas, M et al (2018). Climatic and socioeconomic controls of future coastal flood risk in Europe. Nature Climate Change.vol. 8.n°.9 P.776–780.

Vousdoukas, M. et al (2020). Evaluating the benefits of adaptation strategies to climate change for European coastal areas. Science of The Total Environment, vol 740.

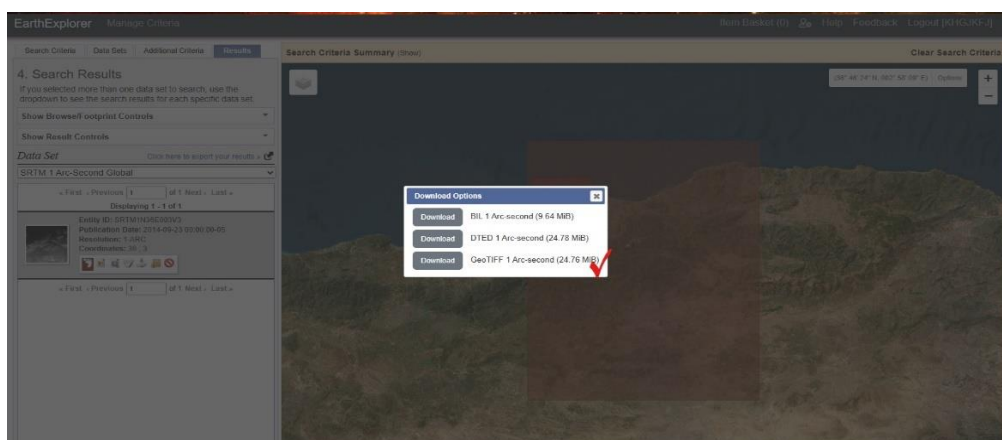
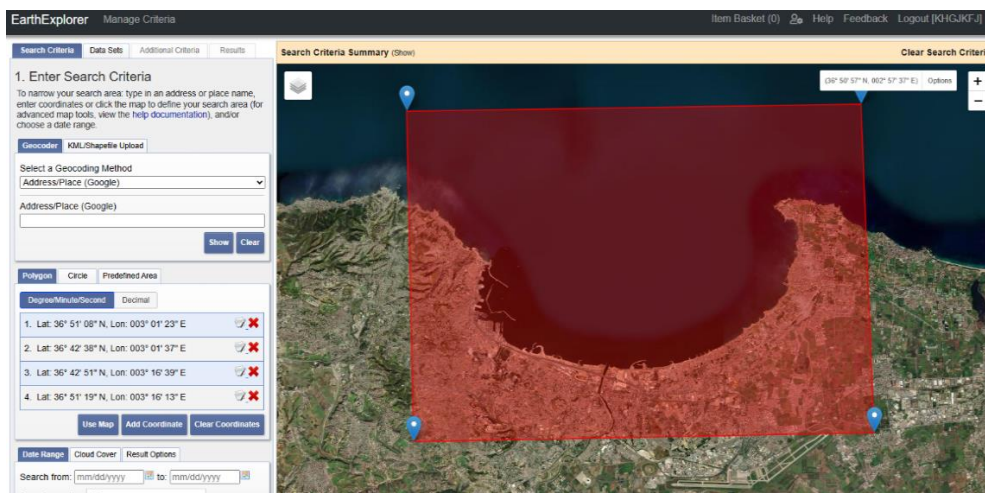
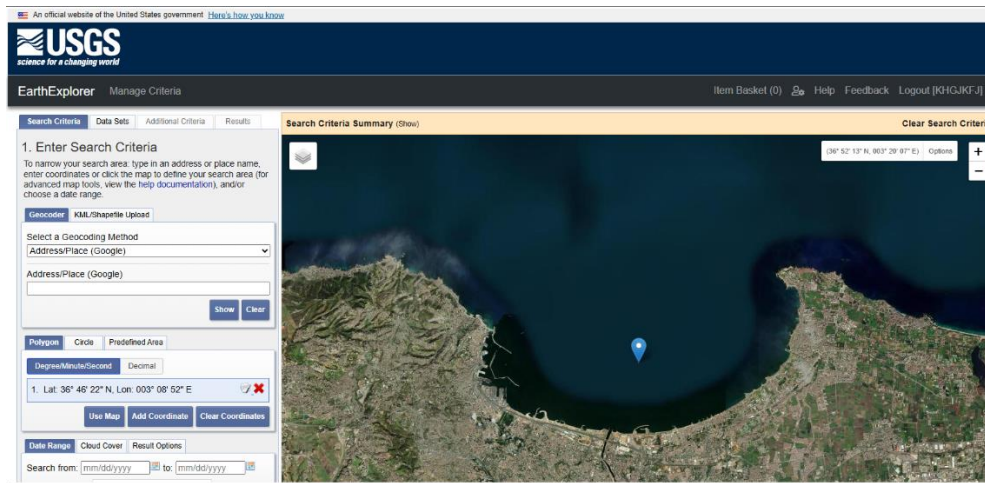
WeatherOnline. (2023). Données météorologiques historiques d'Alger (pression atmosphérique). Consulté le [13/02/ 2023], Disponible sur le site <https://www.weatheronline.co.uk/Algeria/Algiers.htm>

Wikipédia. (2022). Liste des barrages en Algérie. Wikipédia. Consulté le [22/03/2025]. Disponible sur le site https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_barrages_en_Alg%C3%A9rie?utm_source=chatgpt.com

Ziadi, S. (2023). Étude de la vulnérabilité de la wilaya d'Alger aux inondations et estimation de leur variabilité spatio-temporelle.(mémoire d'ingénieur d'état). Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier.Delybrahim.ENSSMAL.P.P.21-22.

Annexes

Les étapes d'extraire le MNT pour délimiter les bassins versant (Oued el Harrach et Oued el Hamiz).



Les étapes principales pour réaliser une carte des zones inondés dans ArcGIS 10.4.1 :

