

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

École 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 du Littoral

Thème :

**Evaluation de la vulnérabilité du littoral de la wilaya de  
Tizi-Ouzou face aux de géo-risques côtiers**

Présenté par :

- BEN-ABID Ilyes
- BENREKIA Akram

Soutenu le 10/06/2024, devant le jury composé de :

<b>M. MEZOUAR K.</b>	Professeur	ENSSMAL	Président
<b>Mme. FEZZAA N.</b>	Professeur	ENSSMAL	Examinatrice
<b>M. SALLEY M.</b>	MCB	AVCC	Promoteur
<b>Mme. SALEM-CHERIF Y.</b>	MAB	ENSSMAL	Co-Promotrice

Année Universitaire

2023 /2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements**

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promoteur, Monsieur SALLAYE Miloud, pour sa guidance, sa disponibilité, ses critiques constructives et ses conseils.

Nos vifs remerciements vont aussi à notre co-promotrice, Madame SALEM CHERIF Yousra, pour sa patience, sa grande disponibilité, ses critiques constructives, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres du jury, M. MEZOUAR K. pour avoir accepté de présider le jury, et Mme. FEZZAA N. pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble de la famille ENSSMAL, amis et collègues depuis le début de l'aventure à l'école.

Nous remercions tous mes enseignants qui nous ont transmis leur savoir durant notre cursus universitaire, ainsi que le personnel de la bibliothèque et de l'administration de l'ENSSMAL.

Nous remercions également Mme MAOUEL Djamila pour l'encadrement de notre BMC, ainsi que tous les formateurs de l'incubateur pour leur conseil.

Enfin, nous profitons de ces lignes pour témoigner toute notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de fin d'étude.

## Dédicace

Je dédie ce travail à, A mes très chers parents, 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 mes chers frères et sœur qui mon toujours assurée le soutien moral ; Asmaa, Ahmed et Mohamed.

A la mémoire de ma grand-mère qui n'est plus de ce monde et qui est présente toujours dans mes plus beaux souvenirs.

A ma belle-mère et mon beau père, A mes cousines, A mes tantes et oncles

A ma belle grand-mère et mon beau grand-père

A mes beaux-frères et belle-sœur, A toute ma famille

A mes amis qui mon toujours soutenue, Karim Benkaci, Mohamed Reda Meciaf, Abddjallil Miloudi, Abdlatif Serihi, Bassem Sbaa, Zakaria Ould Rouis, Mossaab Mazighi, Housseem Mazighi, Yacine Benrekia, Oussama Benkhaoua et Aymen Benlakehal.

Spécialement mes collègues et ma promotion GPL 2019

Merci particulièrement à vous qui êtes en train de lire ce travail de mémoire en ce moment.

---

**AKRAM**

Elhamdo-lilah a permis d'accomplir cela.

Je souhaite dédier ce travail à ma famille qui m'a soutenu tout au long de mes études, ainsi qu'à mes proches, Je vous adresse mes sincères remerciements et ma gratitude.

Je remercie également tous mes amis. Merci.

---

**ILYES**

# Table de matière

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>xii</b>
<b>CHAPITRE I : Présentation de la Zone D'étude.....</b>	<b>I</b>
I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. SITUATION ET CHOIX DE LA ZONE ETUDIE.....	3
I.2.1. Description de la zone.....	3
I.3. CADRE GEOLOGIQUE.....	6
I.3.1. Les caractéristiques influençant sur la géodynamique côtière.....	6
I.3.2. Domaine septentrional.....	6
I.3.2.1. La dorsale Kabyle.....	6
I.3.3. Le domaine des flyschs.....	7
I.3.4. Structure de la marge de Tizi-Ouzou.....	7
I.4. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE.....	8
I.4.1. La typologie.....	8
I.5. CADRE HYDROLOGIQUE :.....	9
I.5.1. Réseaux Hydrographiques.....	9
I.5.2. Bassin versant.....	9
I.5.3. Pente topographique.....	11
I.6. CADRE CLIMATIQUE ET HYDRODYNAMIQUE.....	12
I.6.1. La Température.....	12
I.6.2. La Précipitation.....	13
I.6.3. La Pression ATM.....	14
I.6.4. Le Vent.....	15
I.6.4.1. Spectre de la vitesse du vent.....	15
I.6.4.2. Interprétation des roses du vent.....	17
I.6.5. La Houle.....	18
I.6.5.1. La hauteur significative et la période pic.....	18
I.6.5.2. Interprétation des roses de houles.....	20
<b>CHAPITRES II : Etude de Séismicité.....</b>	<b>21</b>
II.1. INTRODUCTION :.....	21
II.2. CLASSIFICATION DU SEISME SELON L'ORIGINE.....	21
II.2.1. Origine de séisme.....	21
II.2.2. Origine Tectonique.....	21

II.2.3. Origine volcanique .....	22
II.2.4. Origine artificielle.....	22
II.3.2. La magnitude .....	22
II.3.2.1. Types de magnitude .....	23
II.4.1. Foyer (hypocentre) .....	24
II.4.2. Epicentre.....	24
II.4.3. Failles.....	24
II.5. DISTRIBUTION DE LA SISMICITE DANS LE NORD DE L'ALGERIE : .....	25
II.5.1. Les zones de sismicité : .....	25
II.5.2. La sismicité de la zone d'étude : .....	26
II.6. DEFINITION DE VULNERABILITE SISMIQUE .....	27
II.6.1. Valeur exposée au risque sismique .....	28
II.6.2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité.....	28
II.7. OBJECTIFS DE REALISATION DES ETUDES DE VULNERABILITE :.....	29
II.7.1. Échelle d'analyses très globales :.....	29
II.7.2. Échelle d'analyses globales :.....	29
II.7.3. Échelle d'analyses précises :.....	29
II.7.4. Objectifs d'étude de la vulnérabilité à grande échelle (ville, région) .....	30
II.7.5. Objectifs d'étude de la vulnérabilité à l'échelle de la structure .....	30
II.8. RESULTATS DE LA SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	30
II.8.1. Historique de séisme :.....	30
II.8.2. Les ressentis séisme qui touche la wilaya de Tizi-Ouzou.....	31
II.9. CONCLUSION .....	31
<b>CHAPITRE III : Etude Cinématique de Trait de Côte .....</b>	<b>32</b>
III.1. INTRODUCTION.....	32
III.2. DESCRIPTION DU MATERIEL UTILISER .....	33
III.2.1. ArcGIS (version 10.8.2).....	33
III.2.1.1 DSAS (version 5.1) .....	33
III.2.2. Google Earth Pro.....	34
III.3. METHODOLOGIE DE TRAVAIL .....	34
III.4. INTERPRETATION DES RESULTATS .....	36
III.4.1. Evolution du trait de côte entre 2009 et 2013 .....	36
III.4.2. Évolution du trait de côte entre 2013 et 2018 .....	38
III.4.3. Évolution le trait de côte entre 2018 et 2023 .....	40
II.4.4. Évolution du trait de côte entre 2009 au 2023 .....	42

III.4.5. Analyse spécifique de l'évolution des plages à galets et sableuse du littoral .....	45
III.5. CONCLUSION .....	48
<b>CHAPITRE IV : Les évènements extrêmes .....</b>	<b>49</b>
IV.1. INTRODUCTION .....	49
IV.2. QUELQUES DEFINITIONS.....	49
IV.2.1. Hauteur significative (Hs) .....	49
IV.2.2. Houles extrêmes .....	49
IV.2.3. Période de retour d'un événement.....	49
IV.3. THEORIE DES VALEURS EXTREMES .....	49
IV.4. METHODE BLOC MAXIMA.....	50
IV.4.1. Application de la loi GEV .....	51
IV.4.2. Résultats de distribution .....	51
IV.5. METHODE DE GPD .....	54
IV.5.1. Application de la distribution GPD .....	54
IV.5.2. Résultats de la distribution .....	56
IV.6. COMPARAISON ENTRE LA METHODE POT ET DE GEV .....	59
IV.7. CONCLUSION .....	60
<b>CHAPITRE V : Modélisation Hydrodynamique .....</b>	<b>61</b>
V.1. INTRODUCTION.....	61
V.2. DESCRIPTION DU MODELE .....	61
V.2.1. Modélisation Hydrodynamique (HD).....	61
V.2.2. Modélisation des Vagues Spectrales (SW) .....	63
V.2.3. Mesh Generator.....	65
V.3. METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	65
V.3.1. Données bathymétriques.....	65
V.3.2. Création de la mesh.....	66
V.4. SCENARIOS DE SIMULATION.....	67
V.5. INTERPRETATIONS DES RESULTATS DES SIMULATIONS.....	68
Propagation de la houle de direction Nord-Est .....	69
Propagation des houles de direction Nord.....	72
Propagation des houles de direction Nord-Ouest.....	75
V.6. CONCLUSION.....	78
<b>CHAPITRES VI : Submersion M.....</b>	<b>79</b>
VI.1. INTRODUCTION.....	79
VI.2. IMPACTS DES SUBMERSIONS MARINES SUR LES ZONES COTIERES .....	79

VI.3. LA SUBMERSION MARINE.....	80
VI.3.1. Les différentes typologies de submersions marines.....	80
VI.3.2. Les facteurs responsables de la submersion marine.....	81
VI.4. L'ELEVATION DE NIVEAU DE LA MER.....	82
VI.4.1. A l'échelle planétaire.....	82
VI.4.2. A l'échelle de contexte méditerranée .....	83
VI.5. METHODOLOGIE DE SIMULATION DE SUBMERSION MARINE .....	84
VI.5.1. Scénarios de niveaux d'eau extrêmes : .....	85
VI.5.1.1. Niveau moyen des hautes eaux : .....	85
VI.5.1.2. Élévation relative du niveau de la mer : .....	85
VI.5.1.3. Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations : .....	86
VI.5.1.4. Élévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.....	86
VI.6. RESULTATS D 'APPLICATION .....	86
VI.6.1. Scénarios de submersion.....	86
VI.6.2. Évaluation des terres à risque de submersion .....	87
VI.6.2.1. Scénario 6 m : .....	87
VI.6.2.2. Scénario 7 m : .....	88
VI.6.2.3. Scénario 8 m : .....	88
VI.6.3. Perte des terres due à la submersion marine .....	90
VI.7. CONCLUSION .....	91
<b>CHAPITRES VII : Eude de vulnérabilité.....</b>	<b>92</b>
VII.1. INTRODUCTION .....	92
VII.2. DEFINITIONS DU CONCEPT DE LA VULNERABILITE .....	93
VII.3. L'INDICE DE VULNERABILITE COTIERE (CVI) .....	94
VII.4. METHODOLOGIE .....	94
VII.5. INDICATEUR DE L'CVI PHYSIQUE .....	95
VII.5.1. Application de l'CVI physique .....	97
VII.5.1.1. Variable géomorphologie.....	97
VII.5.1.2. Variable pente côtière.....	97
VII.5.1.3. Variable remontée relative du niveau de la mer.....	98
VII.5.1.4. Recul/Avancée du trait de côte (m/an).....	100
VII.5.1.5. Variable marnage .....	100
VII.5.1.6. Variable hauteur significative des vagues à la côte (Hs) .....	101
VII.5.2. Résultats l'CVI physique.....	103
VII.6. INDICATEUR DE L'CVI SOCIO-ECONOMIQUE .....	104

VII.6.1. Application de $ICV_{SE}$ .....	105
VII.6.1.1. Variable des réseaux routiers .....	105
VII.6.1.2. Variable des voies ferrées .....	106
VII.6.1.3. Variable de Population.....	106
VII.6.1.4. Variable d'occupation du sol.....	108
VII.6.1.5. Variable de patrimoine culturel.....	108
VII.6.1.6. Variable de statut de protection.....	108
VII.6.2. Résultat de l'indice socio-économique .....	110
VII.7. CONCLUSION.....	112
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>113</b>
<b>Références Bibliographique.....</b>	<b>114</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>119</b>

# Liste des Figures

## Chapitre I

FIGURE I. 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE .....	5
FIGURE I. 2 : CARTE GEOLOGIQUE DES MAGHREBINES QUI MONTRE LES DIFFERENTES FORMATIONS GEOLOGIQUES DU NORD DE L'ALGERIE (DOMZING,2006). .....	6
FIGURE I. 3 : LES DIFFERENTS DOMAINES DU NORD ALGERIE (COUPE H.HADDOUM, MODIFIEE PAR CHABOU,2015).....	7
FIGURE I. 4 : MODELE "FORWARD" DU TRANSECT DE GRANDE KABYLIE. (A) ANOMALIE MAGNETIQUE MESUREE LORS DE LA CAMPAGNE ; (B) MODELE FINAL TYPE "FORWARD". (SPIRAL).7	
FIGURE I. 5 : CARTE DE SYNTHESE DE TYPOLOGIE DE LA COTE DE TIZI-OUZOU .....	8
FIGURE I. 6 : CARTE MONTRANT LES BASSIN VERSANT AVEC LES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES DE LA WILAYA .....	9
FIGURE I. 7 : SCHEMA EXPLIQUE LA RELATION ENTRE LE BASSIN VERSANT ET LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE .....	10
FIGURE I. 8 : REPRESENTE LA PENTE DE LA WILAYA, ELLE COMPREND, EN PARTIE, UNE PENTE ENTRE 5°- 25°, L'AUTRE PARTIE INCLUE DES PENTES ENTRE 0°- 5° ET 25°-45.....	11
FIGURE I. 9 : MOYENNES SAISONNIERE DE T (°C).....	12
FIGURE I. 10 : MOYENNES MENSUELLES DE TEMPERATURES (ONM, 2007-2023).....	13
FIGURE I. 11 : VARIATIONS DE MOYENNES MENSUELLES DES PRECIPITATIONS AVEC LA CUMULE EN MM (INFO-CLIMAT, 2007-2023).....	13
FIGURE I. 12 : VARIATIONS MOYENNE DE CUMUL ANNUELLE EN MM/ANS. ....	14
FIGURE I. 13 : VARIATION DE PRESSION ATN MENSUEL .....	14
FIGURE I. 14 : REPRESENTATION DU SPECTRE DE LA VITESSE DU VENT .....	15
FIGURE I. 15 :ROSE DES VENTS SAISONNIERE ET ANNUELLE ENREGISTRE DANS LA PERIODE 1992-2022 (INFOPLAZA, 2024).....	16
FIGURE I. 16 : REPRESENTATION DU SPECTRE DES HAUTEURS DE LA HOULE AVEC LA DIRECTION DOMINANTE.....	18
FIGURE I. 17 : REPRESENTATION DU SPECTRE DES PERIODES DE HOULE .....	18
FIGURE I. 18 : ROSE DES HOULES SAISONNIERE ET ANNUELLE ENREGISTRE DANS LA PERIODE 1992-2022 (INFOPLAZA, 2024).....	19

## Chapitre II

FIGURE II. 1 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES D'UN SEISME.....	23
FIGURE II. 2 : DIFFERENTS TYPES DES FAILLES .....	24
FIGURE II. 3 : CARTE DE LA SISMICITE HISTORIQUE (BASES DE DONNEES DU CRAAG ET USGS, DE 1365 A 1972). L'INTENSITE EST INDIQUEE A L'ECHELLE MSK (DOMZIG, A. 2006) .....	25
FIGURE II. 4 : CARTE CORRESPONDENT AUX PROFONDEURS DES HYPOCENTRES (CATALOGUE NEIC DE 1973 A 2012). (LEPRETRE, 2013) DE DISTRIBUTION DES SEISEMES ALGERIENS. LES COULEURS DES CERCLES..	26
FIGURE II. 5 : NIVEAU DE RISQUE SISMIQUE DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU (SOURCE THINK HAZARD) ..	27

## Chapitre III

FIGURE III. 1 : LES OUTILS DE L'EXTENSION DSAS .....	33
--	----

FIGURE III. 2 : ORGANIGRAMME PERMETTANT DE SIMPLIFIER UNE METHODE DE SUIVI DU TRAIT DE COTE (SOURCE BRGM2012, MODIFIE).....	34
FIGURE III. 3: : L'LEGENDE UTILISER DANS CE CHAPITRE.....	34
FIGURE III. 4 : SYNTHESE STATISTIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE COTIERE DE LA ZONE ETUDIE (ENTRE 2009_2013).....	37
FIGURE III. 5 : SYNTHESE STATISTIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE COTIERE DE LA ZONE ETUDIE (ENTRE 2013_2018).....	39
FIGURE III. 6 : SYNTHESE STATISTIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE COTIERE DE LA ZONE ETUDIE (ENTRE 2013_2018).....	41
FIGURE III. 7 : SYNTHESE STATISTIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE ET CARTOGRAPHIE COTIERE DE LA ZONE ETUDIE (ENTRE 2013_2018.....	43
FIGURE III. 8 : CORRELATION ENTRE LES TAUX D'EVOLUTION MESURES EPR ET CALCULES LRR ET WLR. ....	44
FIGURE III. 9 : SYNTHESE STATISTIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE (ZONE DES PLAGES) ET CARTOGRAPHIE COTIERE DE LA ZONE ETUDIE (ENTRE 2009_2023) .....	46

## **Chapitre IV**

FIGURE IV. 1: REPRESENTATION DE LA METHODE BLOCK MAXIMA(A), METHODE PEAK-OVER-THRESHOLD(B).....	50
FIGURE IV. 2: REPRESENTATION DES DISTRIBUTIONS POSSIBLE DE LA METHODE GEV (KH. TILBI, 2018).....	50
FIGURE IV. 3: REPRESENTATION LES HAUTEURS DE HOULES ENTRE 1992–2022 PAR LE BLOC MAXIMAS .	51
FIGURE IV. 4 : ESTIMATION DES EVENEMENTS EXTREMES D'APRES LA DISTRIBUTION GUMBEL.....	52
FIGURE IV. 5 : ESTIMATION DES EVENEMENTS EXTREMES VIA LA DISTRIBUTION DE GUMBEL POUR CHAQUE DIRECTION .....	53
FIGURE IV. 6 : MOYENNE RESIDUELLE DE LA SERIE DES HAUTEURS OMNIDIRECTIONNELLES DE L'ENREGISTREMENT .....	55
FIGURE IV. 7: REPRESENTATION LES HAUTEURS DES HOULES DEPASSANT LE SEUIL .....	55
FIGURE IV. 8 : LA PROBABILITE DE PERIODE DE RETOUR ET LEUR HS PAR RAPPORT AU SEUIL .....	56
FIGURE IV. 9 :: ESTIMATION DES EVENEMENTS EXTREMES D'APRES LA METHODE POT (OMNI DIRECTIONNEL).....	57
FIGURE IV. 10 : ESTIMATION DES EVENEMENTS EXTREMES VIA LA DISTRIBUTION DE GPD POUR CHAQUE DIRECTION .....	58
FIGURE IV. 11: COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS PAR LES DEUX METHODES POT ET BM.....	60
FIGURE IV. 17 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD .....	73

## **Chapitre V**

FIGURE V. 1 : CARTE MARINE REPRESENTANT LA BATHYMETRIE DE LA WILAYA TIZI .....	66
FIGURE V. 2 : MAILLAGE DE LA MESH A L'ECHELLE DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU .....	66

FIGURE V. 3 : BATHYMETRIE DE WILAYA DE TIZI-OUZOU .....	67
FIGURE V. 4 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD-EST ...	70
FIGURE V. 5 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD-EST...	71
FIGURE V. 6 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD.....	73
FIGURE V. 7 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD.....	74
FIGURE V. 8 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD-WEST	76
FIGURE V. 9 : SYNTHESE SIMULATION DE PROPAGATION DE LA HOULE DANS LA DIRECTION NORD-WEST	77

## **Chapitre VI**

FIGURE VI. 1 : DIFFERENTS MODES DE SUBMERSION MARINE PROVOQUEE PAR DES TEMPETES AVEC SURCOTES ASSOCIEES (CARIOLET, 2011A).....	80
FIGURE VI. 2 : PRINCIPAUX PROCESSUS METEO-OCEANOGRAPHIQUES ENGENDRANT UNE SURCOTE DE TEMPETE. ....	81
FIGURE VI. 3 : LES PHENOMENES METEOROLOGIQUES RESPONSABLES DE LA SUBMERSION MARINE. ....	81
FIGURE VI. 4 : L'ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER A L'ECHELLE MONDIALE PAR RAPPORT A 1900(GIEC, 2023).....	82
FIGURE VI. 5 : AUGMENTATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER EN MEDITERRANEE ENTRE 2020 ET 2150. (IPCC, 2022).....	83
FIGURE VI. 6 : LA DEMARCHE ADOPTEE POUR LA CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE DE SUBMERSION MARIN. (SOURCE, DEMARCHE ADAPTEE POUR LA CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE SUBMERSION MARIN D'APRES HOOZEMANS ET AL, 1993) .....	84
FIGURE VI. 7 : DONNEES PARTICULIEREMENT PRECISES DE TOPEX/POSEIDON ET JASON-1 A LA CARACTERISATION DES VARIATIONS TORTELLES DU NIVEAU MOYEN DE LA MER MEDITERRANEE (1922-2011) (SOURCE : LEGOS 2012).....	85
FIGURE VI. 8 : : CARTE DE SUBMERSION POUR LES NIVEAUX D'EAU VARIANTS DE 5M A 8M.....	89
FIGURE VI. 9 : SUPERFICIES DE TERRES MENACEES PAR L'ALEA DE SUBMERSION DANS LES DIFFERENTS NIVEAUX D'ELEVATION.....	90
FIGURE VI. 10 : CARTE D'OCCUPATION DU SOL DE LITTORAL DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU (SOURCE : ESRI-COVERLAND).....	90

## **Chapitre VII**

FIGURE VII. 1 : SYSTEMATIQUE DE LA VULNERABILITE (C. MEUR-FEREC, 2006).....	92
FIGURE VII. 2 : L'EVOLUTION DES RISQUES (FREDERIC, L. 2021). ....	93
FIGURE VII. 3 : DECOUPAGE DU LITTORAL DE TIZI EN PROFILS DE LONGUEURS PAR RAPPORT LA GEOMORPHOLOGIE. ....	95
FIGURE VII. 4 : CARTE DE LA DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DES VITESSES DE VARIATION DU NIVEAU DE LA MER (1993-2007) D'APRES TOPEX/POSEIDON ET JASON-1 : ZOOM SUR LA MEDITERRANEE. (SOURCE : LEGOS).....	98
FIGURE VII. 5 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE GEOMORPHOLOGIE.....	99

FIGURE VII. 6 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE PENTE COTIERE .....	99
FIGURE VII. 7 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE REMONTEE RELATIVE DE NIVEAU DE LA MER.....	99
FIGURE VII. 8 :: VARIATION DU NIVEAU DE LA MER ENTRE (1993-2020) (ECKSTEIN ET AL. 2019). .....	100
FIGURE VII. 9 : SYNTHESE DE LA HOULE MOYENNE CARTOGRAPHIE UTILISER DANS LA CARTOGRAPHIE	101
FIGURE VII. 10 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE HAUTEUR SIGNIFICATIVE DES VAGUES A LA COTE (Hs).....	102
FIGURE VII. 11 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE MARNAGE.....	102
FIGURE VII. 12 : DEGRE DE VULNERABILITE PAR RAPPORT A LA VARIABLE REcul/AVANCEE DU TRAIT DE COTE. ....	102
FIGURE VII. 13 : DEGRE DE VULNERABILITE EN TERMES DE POURCENTAGE DU LINEAIRE COTIER. ....	103
FIGURE VII. 14 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE A RESEAUX ROUTIERS.....	107
FIGURE VII. 15 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE DES VOIES FERREES .....	107
FIGURE VII. 16 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE POPULATION.....	107
FIGURE VII. 17 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE D'OCCUPATION DU SOL.....	109
FIGURE VII. 18 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE DE PATRIMOINE CULTUREL .....	109
FIGURE VII. 19 : DEGRE DE LA VULNERABILITE LIEE A LA VARIABLE STATUT DE PROTECTION .....	109
FIGURE VII. 20 : DEGRE DE VULNERABILITE EN TERMES DE POURCENTAGE DU LINEAIRE COTIER. ....	110
FIGURE VII. 21 : CARTE DE SYNTHESE REPRESENTANT LE CVI PHYDIQUE DE LITTORAL DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU. ....	111
FIGURE VII. 22 : CARTE DE SYNTHESE REPRESENTANT LE CVI SOCIO-ECONOMIQUE DU LITTORAL DE LA WILAYA DE TIZI-OUZO .....	111

# Liste des Tableaux

TABLEAU I. 1 : STATISTIQUE SUE LES CARACTERISTIQUES DES COMMUNES LITTORALES .....	4
TABLEAU II. 1 : ECHELLES D'ANALYSE ET LEUR APPLICABILITE ( <b>GUEGUEN P. 2006</b> ). .....	30
TABLEAU II. 2 : LES PRINCIPAUX SEISMES QUI ONT FRAPPES TIZI-OUZOU ENTRE 2021 ET 2023 ( <b>CRAAG</b> ). .....	31
TABLEAU IV. 1 : REPRESENTE LES PERIODES DE RETOUR AVEC LA DISTRIBUTION OMNI DIRECTIONNELLE .....	52
TABLEAU IV. 2 : RESULTATS DE L'ESTIMATION DES EVENEMENTS PAR LA DISTRIBUTION DE GUMBEL .....	54
TABLEAU IV. 3 : : REPRESENTE LES VALEURS DE CHAQUE PERIODE DE RETOUR AVEC UNE DISTRIBUTION OMNI DIRECTIONNELLE .....	57
TABLEAU IV. 4 : RESULTATS DE L'ESTIMATION DES EVENEMENTS EXTREMES PAR LA DISTRIBUTION POT .....	59
TABLEAU V. 1: INPUTS DES SIMULATIONS POUR L'ENSEMBLE DES PERIODES DE RETOURS .....	67
TABLEAU V. 2 : RESUME DES RESULTATS DE SIMULATIONS DE LA HOULE (SW): .....	78
TABLEAU VI. 1 : LES HOULES DE TEMPETES DE LITTORAL DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU .....	86
TABLEAU VI. 2 : NIVEAUX D'EAU EXTREMES. ....	87
TABLEAU VII. 1 : CLASSIFICATION CVI PHYSIQUE. ( <b>GORNITZ ET AL. 1994</b> ). .....	96
TABLEAU VII. 2 :: RESULTATS DU TRAITEMENT STATISTIQUE DU CVI PHYSIQUE. ....	103
TABLEAU VII. 3 :: CLASSIFICATION DES VARIABLES DE LA VULNERABILITE COTIERE SOCIO- ECONOMIQUE <b>McLAUGHLIN ET AL, (2002)</b> . ....	105
TABLEAU VII. 4 : LE TAUX D'EVOLUTION ET LA DENSITE DE LA POPULATION DE LITTORAL DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU. ....	106
TABLEAU VII. 5 : RESULTATS DU TRAITEMENT STATISTIQUE DE LA CVI SOCIO-ECONOMIQUE. ....	110

# Liste des acronymes et abréviations

**CNL** : commissariat national du littoral

**CRAAG** : Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique

**CVI**: Costal Vulnerability Index

**DEM**: Digital Elevation Model.

**DSAS**: Digital Shoreline Analys System.

**ESRI**: Environmental System Research Institute

**GEV**: Generalized Extreme Value

**GIEC** : Groupe Intergouvernemental d’Evaluation du Climat

**GIZC** : Groupe Intergouvernemental Des zones côtières

**GPD**: Generalized Pareto Distribution

**HD**: Hydrodynamique

**ICVSE** : indice côtier de vulnérabilité socio-économique

**MNT** : Modèle numérique de terrain

**N-E-S-W(O)** : Nord – Est – Sud – West (Ouest)

**POT**: Peak-Over-Threshold.

**PR** : Période de retour

**SIG** : System d’Information Géographique

**ST**: Sediment Transport

**SW**: Spectral Wave

**TC**: Trait de cote

**UTM**: Universal Transverse Mercator

**WGS**: World Géodésique System

# **Introduction**

## **Générale**

Le littoral constitue une interface dynamique entre la terre et la mer, caractérisée par sa complexité et sa fragilité. Le trait de côte est particulièrement vulnérable aux forces naturelles telles que les vagues, les courants et l'élévation du niveau de la mer. Ces processus naturels peuvent induire des Géorisques significatifs. Ces phénomènes menacent la pérennité de l'espace côtier.

La zone d'étude est située au nord de la wilaya de Tizi-Ouzou, dans la zone SCG 31\_Nord. Elle s'étend d'ouest en est, entre la baie de Zemmouri et le Golfe de Béjaïa, couvrant environ treize (13) plages. Notre objectif est d'effectuer un constat sur l'état des côtes de la wilaya du point de vue morphologique, qui comprend une série de formations allant de roches basses à des falaises hautes. Cette étude vise à analyser les évolutions et variations morphologiques dans le temps, où les facteurs géologiques et climatiques ont conduit à l'existence d'un faciès riche et variable. Il est important de signaler que la wilaya de Tizi-Ouzou n'a pas fait l'objet d'études antérieures de ce genre.

L'évolution du trait de côte dépend des pertes ou des apports sédimentaires considérables, engendrant ainsi une régression ou une progression, causées par les phénomènes d'érosion ou d'accrétion du trait de côte. Ces processus impactent le rivage selon sa typologie côtière, côtes rocheuses ou sableuses.

Pour évaluer la vulnérabilité des zones côtières en tenant compte des indicateurs de l'indice physique ainsi que des aspects de l'indice socio-économique. On classe les segments du littoral selon leur susceptibilité aux risques, aidant à identifier les zones les plus vulnérables. La CVI permet de mieux anticiper le changement climatique et de planifier des mesures de protection appropriées et à élaborer des stratégies de gestion et d'adaptation.

Ce mémoire vise à offrir une compréhension globale de l'évolution du littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou et d'évaluer sa vulnérabilité face aux Géorisques côtiers. En combinant des méthodes d'analyse et de suivi de l'état du littoral ; pour cela, nous avons organisé cette démarche d'étude sur sept chapitres comme suit :

Le premier chapitre fournit une présentation de la zone d'étude, couvrant les aspects hydrodynamiques, climatiques et géologiques. L'objectif est de comprendre les caractéristiques naturelles de la région afin de contextualiser les analyses ultérieures.

Le deuxième chapitre montre l'étude de sismicité face à la vulnérabilité côtière

Le troisième chapitre se concentre sur l'évolution historique du trait de côte en utilisant le DSAS dans l'espace de travail du logiciel ArcGIS. L'analyse de l'évolution du trait de côte permet

d'évaluer les tendances au recul ou à l'accrétion et d'identifier les zones les plus touchées par l'érosion côtière.

Le quatrième chapitre traite des événements extrêmes, tels que les vagues de tempêtes avec une hauteur importante et dont l'effet est significatif pour les différentes périodes de retour. Nous utiliserons les méthodes GEV et GPD via la bibliothèque Py-extrême pour analyser la fréquence et l'intensité de ces événements.

Le cinquième chapitre concerne la modélisation numérique qui joue un rôle crucial dans la prévision des impacts futurs du changement climatique et des événements extrêmes liés aux houles et aux courants au niveau de la côte. Pour cette étude nous avons utilisé le logiciel MIKE 21 pour simuler et évaluer les scénarios désignés.

Le sixième chapitre examine le phénomène de la submersion marine, qui peut résulter des tempêtes, des marées hautes et de l'élévation du niveau de la mer. Nous cartographierons les zones vulnérables à la submersion et les impacts potentiels sur la côte.

Le septième chapitre, nous évaluera la vulnérabilité de la zone côtière à l'aide de CVI. Cette évaluation comprendra des aspects physiques et socio-économiques.

**CHAPITRE I :**  
**Présentation de la**  
**Zone D'étude**

## I.1. INTRODUCTION

Le littoral peut être défini comme la zone de transition entre les terres émergées et les eaux marines, caractérisée par une dynamique complexe d'interactions entre les processus océanographiques, géomorphologiques, écologiques et anthropiques (Shepherd et Carter. 2000). Le littoral pourrait aussi être défini comme étant un système morfo-dynamique composé d'un élément géomorphologique qui répond aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique (Stépanian. 2002).

Les côtes algériennes, en particulier dans la région de Tizi-Ouzou, sont confrontées à une fragilité accrue due à des facteurs tels que l'érosion côtière, la montée du niveau de la mer, la pression anthropique croissante liée à l'urbanisation et à l'exploitation des ressources naturelles. Cette fragilité est exacerbée par des processus géomorphologiques locaux tels que l'instabilité des falaises et la dégradation des écosystèmes côtiers (Aït Haddoud et al. 2018).

Le changement climatique affecte la dynamique côtière en modifiant les paramètres météorologiques et océanographiques qui influencent les courants, les vagues, et la montée du niveau de la mer. Ces changements conduisent à des variations dans les flux de sédiments, l'érosion côtière et la morphologie des côtes. Il est donc important de caractériser la zone d'étude afin d'appréhender l'impact de ces perturbations dans notre zone d'étude.

Ce chapitre présente une analyse approfondie du régime climatique et des différents domaines géologiques, en mettant en lumière les facteurs fondamentaux influençant l'évolution du littoral, tels que la variation des houles et des vents pour comprendre les risques côtiers et planifier des mesures de protection appropriées.

## I.2. Situation et choix de la zone étudiée

### I.2.1. Description de la zone

La wilaya de Tizi Ouzou est située dans le nord de l'Algérie, au cœur de la région de la Kabylie. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, offrant ainsi un littoral d'environ 70 kilomètres, et au sud par le sommet montagneux du Djurdjura, une partie de la chaîne de l'Atlas tellien.

À l'est, elle est bordée par la wilaya de Béjaïa et à l'ouest par la wilaya de Boumerdès. La wilaya couvre une superficie d'environ 2 958 km<sup>2</sup>, elle comporte 21 daïras et 67 communes (5 communes littorales), elle est caractérisée par un relief montagneux et accidenté. La wilaya est située entre les latitudes 36°32' et 36°51' N et les longitudes 3°49' et 4°30' E.

Le tableau suivant présenter les données de la zone intérêt quel que soit les données des communes et la figure I.1 présenter la localisation des communes littoral de notre Zone d'étude.

Tableau I. 1 : Statistique sue les caractéristiques des communes littorales

Communes	Surface de la commune (Ha).	Surface du domaine littoral (Ha).	Surface de la zone servitude 300 m (Ha).	Linéaire côtier en (km).	Hauteur (m) Falaises	Longueur (m) Des falaises
Mizrana	5784	1224	122	6.7	15 à 35	7550
Tigzirt	4168	/	/	8.2	15 à 35	2400
Iflissen	6687	193	450	15.7	/	3200
Azefoun	12666	4737	/	30	12 à 8	7500
Ait Chafaa	8549	1621	205	6.8	/	/

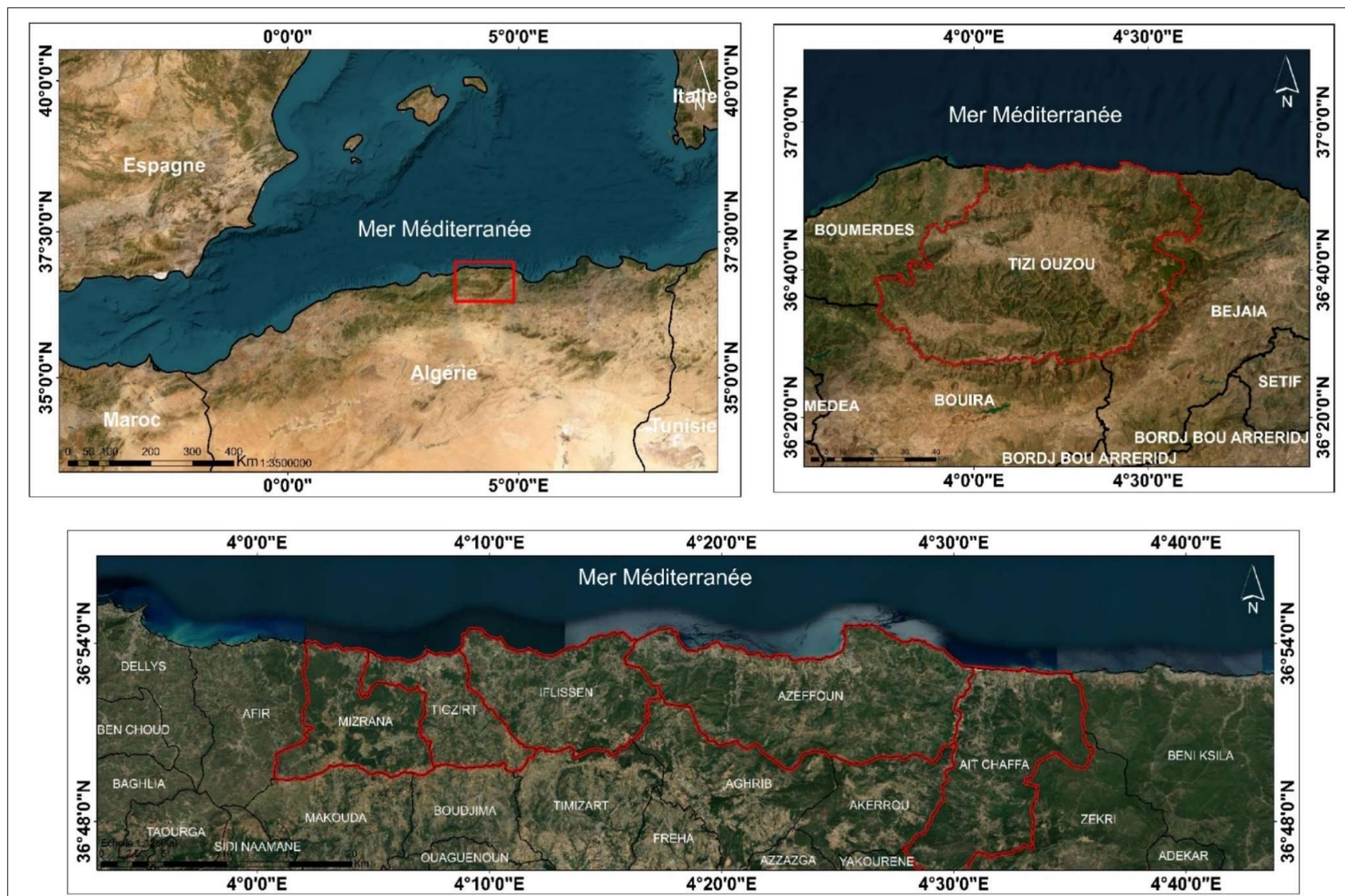


Figure I. 1 : Situation géographique de la zone d'étude

### I.3. Cadre géologique

La zone littorale de Tizi Ouzou se compose de plusieurs formations géologiques, principalement de formations sédimentaires marines et continentales,

#### I.3.1. Les caractéristiques influençant sur la géodynamique côtière

- **Formations Sédimentaires** : Les plages et les falaises littorales sont principalement constituées de sables, de graviers, et de galets. Ces dépôts sédimentaires sont souvent récents, datant du Quaternaire.
- **Formations Roches Consolidées** : certaines falaises côtières sont composées de calcaires et de marnes du Crétacé et du Tertiaire, qui sont sujets à l'érosion marine et aux effondrements. (Figure I.2).

Le cadre structural se devise notamment à l'échelle de méditerranée occidentale (compte deux branches : Les cordillères bétiques et les chaînes littorales des maghrébines)

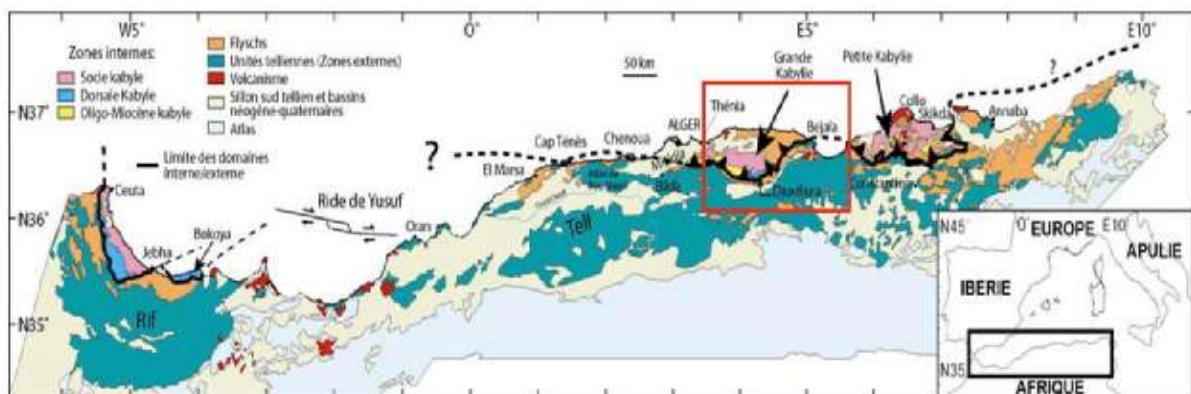


Figure I. 2 : Carte géologique des Maghrébines qui montre les différentes formations géologiques du nord de l'Algérie (Domzing,2006).

#### I.3.2. Domaine septentrional

Les formations géologiques qui affleurent dans la zone d'étude sont les suivantes :

##### I.3.2.1. La dorsale Kabyle

- La dorsale interne : C'est une série complète du Permo-Trias au Néocomien (Bouillin, 1977).
- La dorsale médiane : Comporte des terrains de Permo-Trias, du Lias et du Crétacé inférieur (Bouillin, 1977).
- La dorsale externe : Montre souvent des radiolarites au Dogger, au Malm, au Crétacé supérieur et au Paléocène-Eocène (Bouillin, 1977).

### I.3.3. Le domaine des flyschs

Ce sont des dépôts marins profonds, mis en place dans le bassin maghrébin qui se situait entre les zones internes et les zones externes, et cela par des courants de turbidité d'âge Crétacé- Paléogène (khaldi Y.2016).

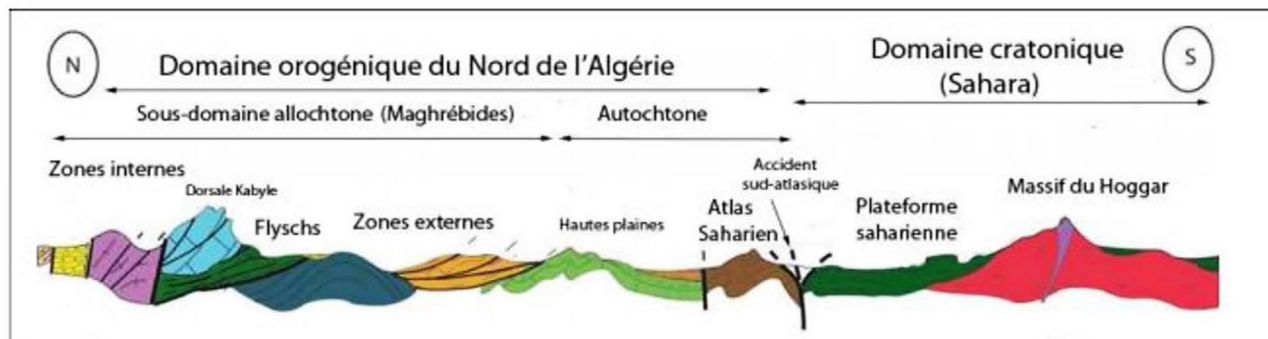


Figure I. 3 : Les différents domaines du Nord Algérie (coupe H.Haddoum, modifiée par Chabou,2015)

### I.3.4. Structure de la marge de Tizi-Ouzou

Le corps superficiel est de vitesse 4.5 km/s est imagé peut s'expliquer par le développement d'une fracturation et de bassins sédimentaires syn-rifts. (SPIRAL).

- La TOC est étroite, voire inexistante, et soulignée par un graben étroit.
- Au Nord, dans la zone de la ride dite de Hannibal, le socle océanique forme un relief interprété comme un massif volcanique d'âge Miocène

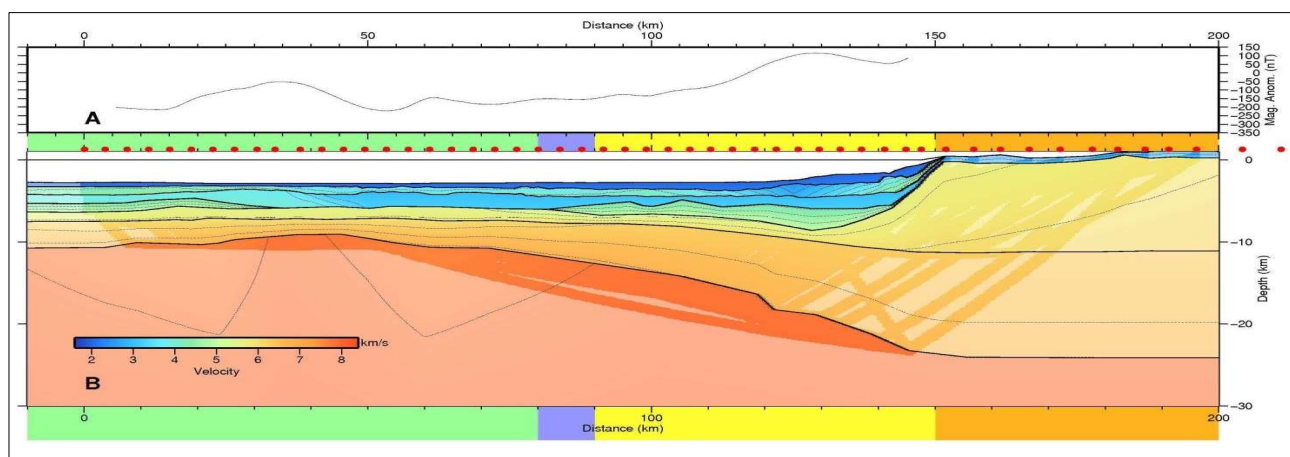


Figure I. 4 : Modèle "forward" du Transect de Grande Kabylie. (A) Anomalie magnétique mesurée lors de la campagne ; (B) modèle final type "forward". (SPIRAL).

La région en vert est interprétée comme étant une croûte océanique, celle en violet comme la TOC, celle en jaune comme la zone d'amincissement et celle en orange comme la croûte continentale non amincie

## I.4. Cadre géomorphologique

L'étude de la géomorphologie est l'analyse des formes et des processus qui façonnent le relief de la surface terrestre. Elle permet de comprendre l'histoire, la dynamique et l'évolution des paysages, ainsi que les interactions entre les facteurs naturels et humains qui les modifie. La géomorphologie est donc une discipline essentielle pour l'étude d'aménagement du littoral qui vise à valoriser, protéger et gérer les zones côtières, qui sont des espaces complexes, fragiles et soumis à de multiples enjeux. (Delannoy., J, et al, 2012). La cartographie permet d'évaluer le littoral à l'échelle régionale, en termes de comportement probable de chaque type côtier (Fairbank et al., 2006).

### I.4.1. La typologie

Le littoral de Tizi Ouzou présente une morphologie variée, composée de falaises, de côtes rocheuses, de forêts, de caps, d'îlots, de dunes et de plages, créant une diversité d'écosystèmes. (Firlas et al.,2016). La carte de la figure I.5 montre la diversification de cette zone littorale.

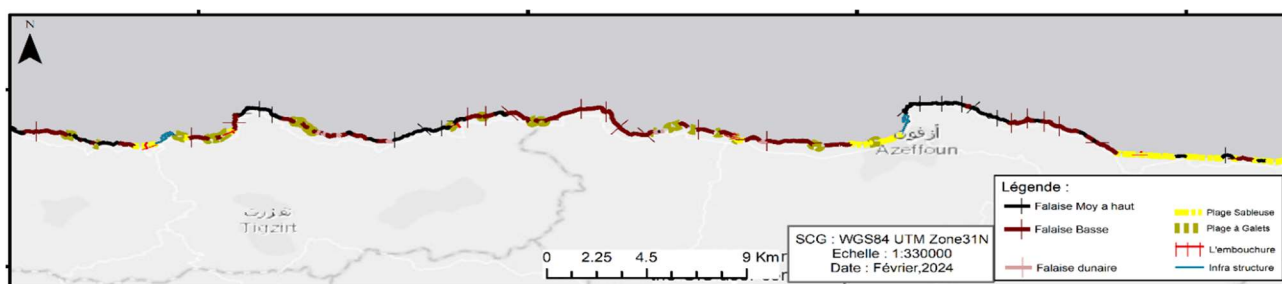


Figure I. 5 : Carte de synthèse de typologie de la côte de Tizi-Ouzou

- **Les Plages** : La wilaya compte 13 plages, chacune avec des caractéristiques uniques en termes de composition et de profil.
- **Les Falaises** : Dans Mizrana ,Iflissen et Azeffoun sont à l'état naturel atteignant 15 à 35 mètres de hauteur .
- **Les Côtes Rocheuses** : Elles revêtent un intérêt écologique, présentant environ 72 % du littoral, elles sont formées de micaschiste, de calcaire et de craie
- **Les Îles et les Îlots** : L'île de Tizirt, couvrant 500 m<sup>2</sup>, est un écosystème important, abritant une biodiversité riche et diversifiée.
- **Les Dunes** : Les dunes ne sont pas très étendues, elles subsistent encore sous la forme de petit amas ou un cordon dunaire réduit sur certaines plages de Aitchaffa.
- **Les infrastructures** : ONT Tizirt, Port de pêche et plaisance ay niveau de Tizirt et Azeffoun

## I.5. Cadre hydrologique :

### I.5.1. Réseaux Hydrographiques

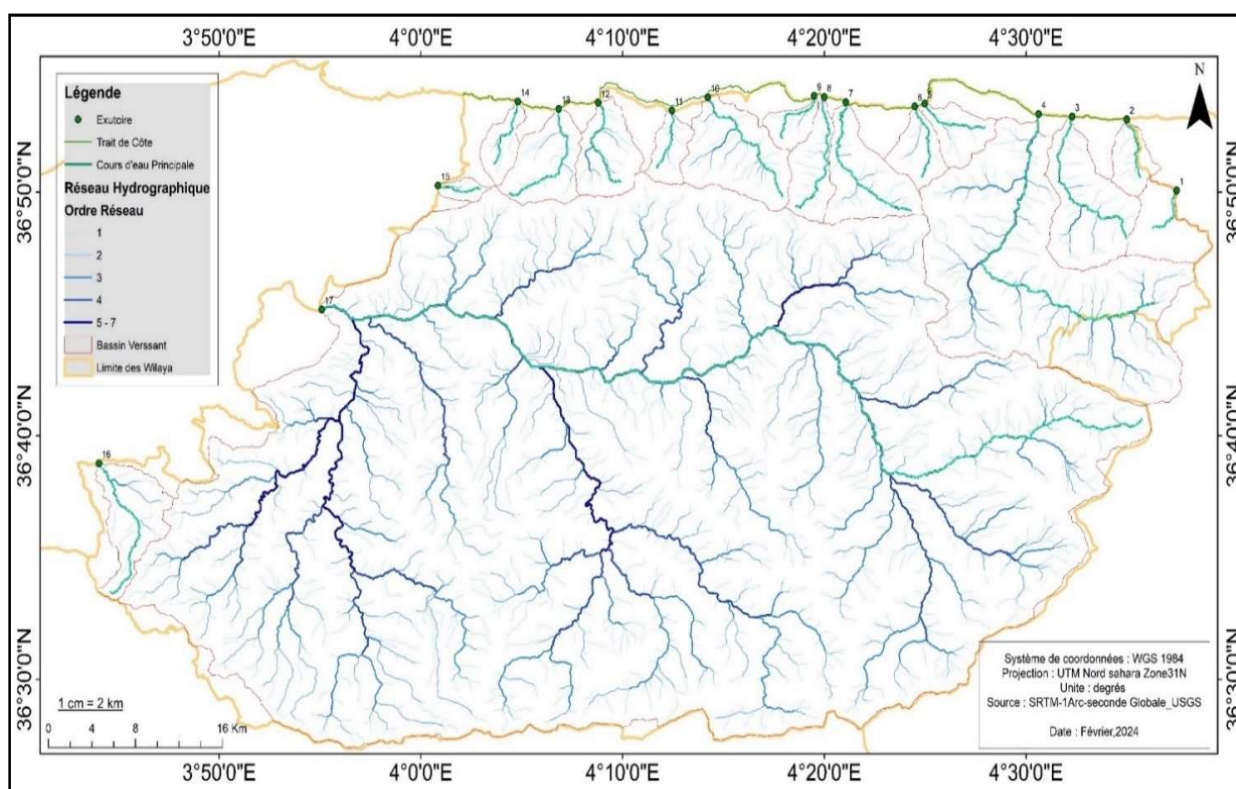
Les oueds de la wilaya de Tizi Ouzou sont à régime irrégulier ; ils débordent durant la saison pluvieuse et se réduisent durant la saison sèche, Oued Sebaou domine l'hydrologie de la région et il est le collecteur principal des eaux en provenance du Djurdjura.

De nombreux oueds entaillent le massif central, le Djurdjura et même la chaîne côtière : Assif n'Boubehir, Oued Djemaa, Oued-Bougdoura, Assif-Ousserdhoun, Assif, Oued-Aissi, oued Ksari, et oued Rabta. Tksbet... (Source : DPSB).

### I.5.2. Bassin versant

Compte tenu d'un réseau naturel et/ou artificiel de drainage des eaux pluviales, On appelle bassin versant le territoire constitué de ce réseau hydrologique et les surfaces du bilan hydrique.

Suite à l'extraction du réseau hydrographique et à l'analyse de la forme générale des bassins versants ainsi que les sous bassins à partir des données topographiques de MNT à résolution spatiale réduite (30 mètre/pixel), une diversité de bassins se distingue dans la wilaya de Tizi-Ouzou

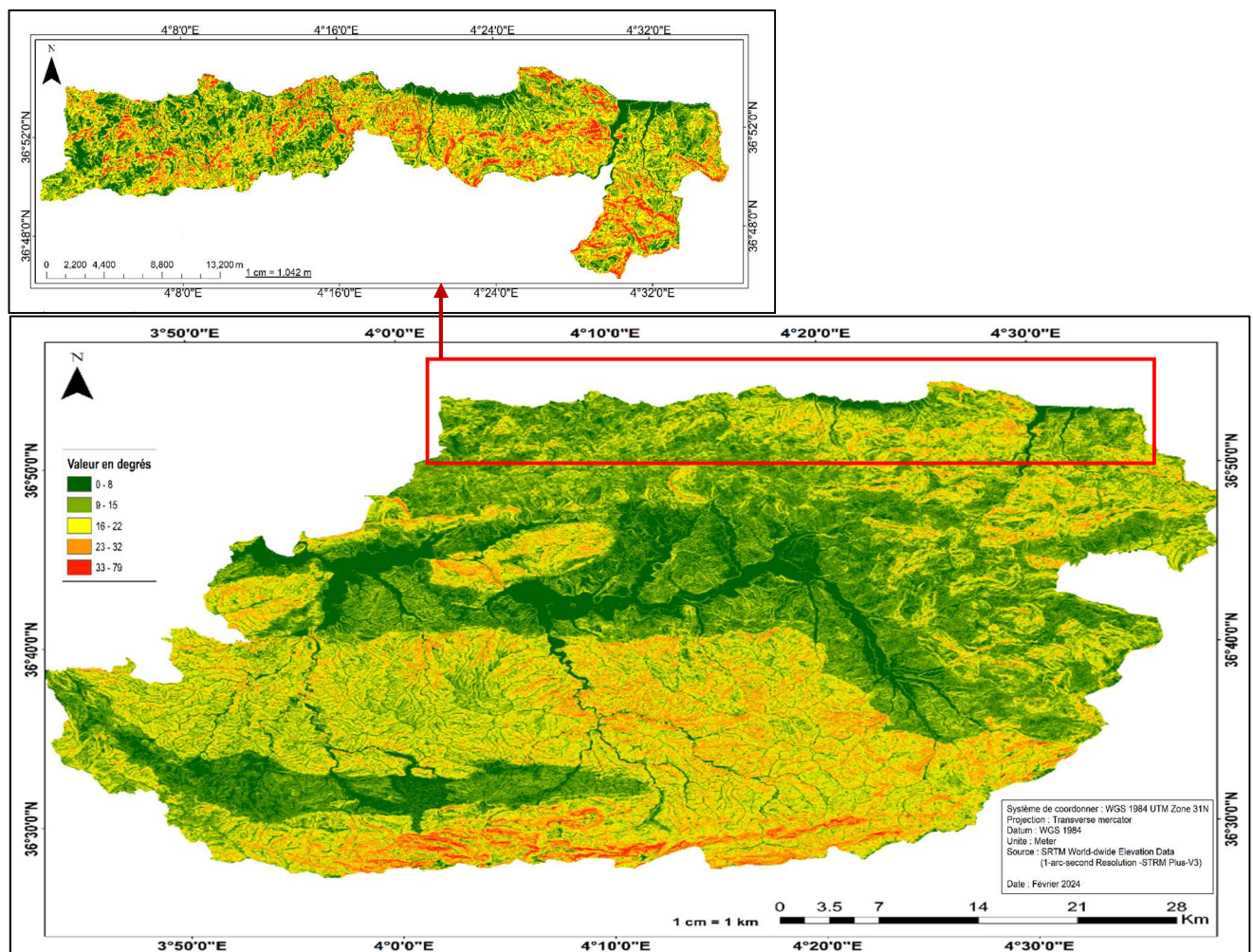




### I.5.3. Pente topographique

Une pente c'est l'inclinaison d'un terrain. Elle se mesure en degrés ou en pourcentage et ne doit pas être confondue avec le dénivelé, évalué en mètres ou le pendage qui s'applique aux couches du sous-sol. La pente peut être une contrainte naturelle pour l'installation humaine : elle peut être le théâtre d'éboulements, d'avalanches ou de glissement de terrain

Les problèmes de stabilité des pentes sont fréquemment rencontrés lors de la construction. En outre, certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture de pente peut être catastrophique. L'étude du site et la sélection des caractéristiques mécaniques du sol, la conception d'une pente comprend un calcul de stabilité visant à déterminer la courbe de rupture le long de laquelle le risque de glissement est le plus élevé, ainsi que la valeur correspondante du coefficient de sécurité.



## I.6. Cadre climatique et hydrodynamique

Le cadre climatique et hydrodynamique décrit l'interaction et l'interdépendance entre le climat d'une région et sa dynamique. Ce cadre englobe les processus atmosphériques, terrestres et aquatiques et leurs interactions.

La connaissance de la variété climatique sera permise comprendre l'état initiale de la zone telle que la température et la pression avec la précipitation etc..., ce facteur contribue au changement climatique ainsi que la contribution sur l'activité morpho-sédimentaire et l'évaluation de la zone d'intérêt, le régime de ces processus entraîne un risque sur le terrain tel que l'érosion et glissements de terrain.

Les changements morpho-sédimentaires sont liés à divers processus hydrodynamiques, influencés par des forces telles que le vent, la houle, les marées et l'élévation du niveau de la mer. Ces facteurs ont un impact significatif sur les cellules sédimentaires littorales à différentes échelles spatio-temporelles. Comprendre ces dynamiques est essentiel pour prédire les évolutions côtières futures et pour élaborer des stratégies de gestion et de protection des zones littorales.

Dans cette partie, on s'intéresse particulièrement à l'analyse des données du processus climatiques de la région (pluviométrie, température, pression ATM) durant la période de 2007 à 2023, avec les facteurs hydrodynamiques (vent, houle, période) durant la période de 1992 à 2023 ; les données ont été extraites de la base de données Waves-climat (Période 1992-2022). Les coordonnées de la station : 37°N | 4,25°E.

La station de Dar El-Beida ONM (rp5.ru) et la station La station d'info-climat (Période 2007-2023). - Coordonnées 36,70°N | 4,05°E, Altitude 195 mètres

### I.6.1. La Température

L'étude de la température a été basée sur l'analyse des moyennes mensuelles présentée en histogramme. On confirme que la zone est soumise à l'influence du climat méditerranéen. La moyenne annuelle est de 19,38 °C avec un maximum enregistré en mois de juillet à 26,03°C et un minimum de 0°C en février, l'année peut se diviser en saisons distinctes : la période froide et la période chaude.



Figure I. 9 : Moyennes saisonnières de T (°C)

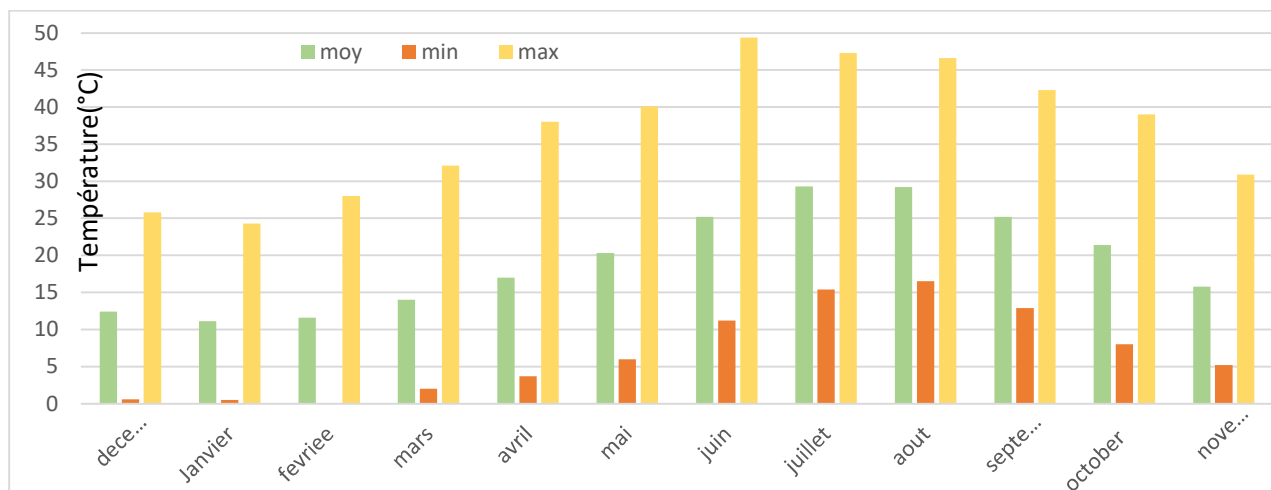


Figure I. 10 : Moyennes mensuelles de Températures (ONM, 2007-2023).

### I.6.2. La Précipitation

L'analyse des données de précipitations sur une période de 16 ans a permis de distinguer deux saisons distinctes : une première saison très pluvieuse, s'étendant de septembre à mai, avec une moyenne maximale de 138,8 mm/mois observée en novembre, et une deuxième saison, plutôt sèche, allant de juin à août, avec une moyenne minimale de 4,2 mm/mois. Il existe également une période transitoire entre novembre et mars, indiquant la fin de la période des marées ou l'élévation du niveau moyen de la mer (NMM), ainsi que des variations du niveau moyen des oueds.

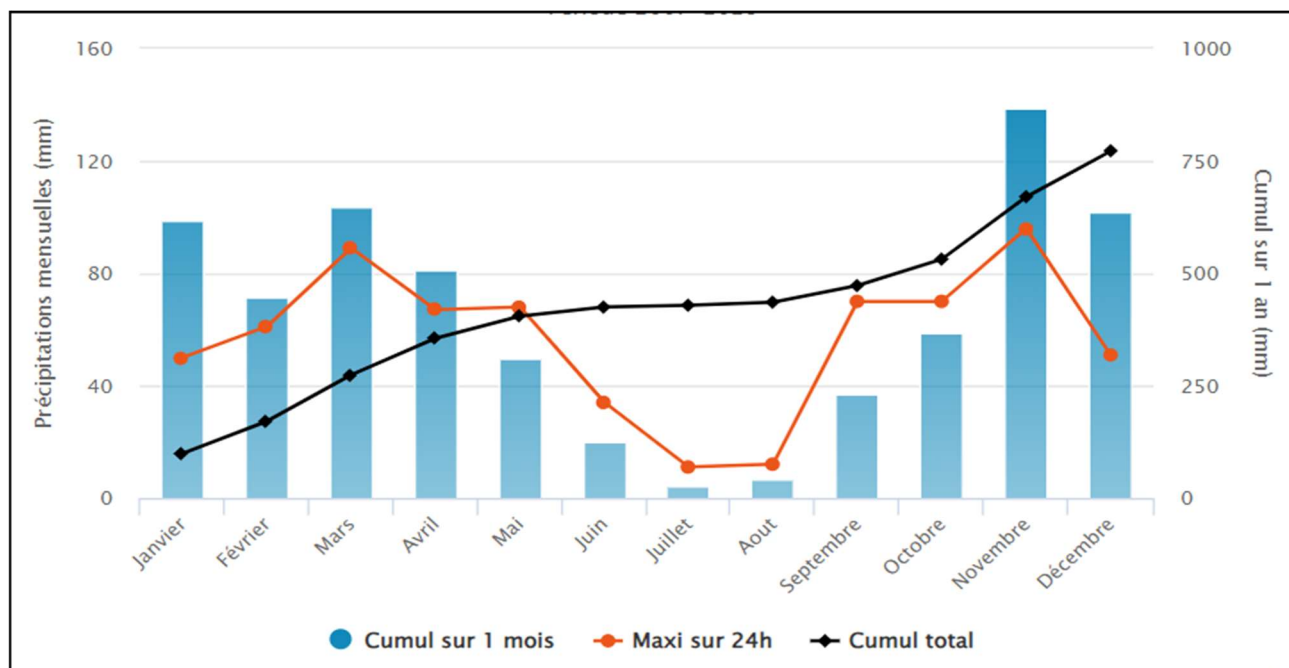


Figure I. 11 : Variations de moyennes mensuelles des précipitations avec la cumule en mm (info-climat, 2007-2023).

L'analyse des données de précipitations annuelles sur la période 2007-2023 met en évidence une variabilité interannuelle significative. L'an 2007 enregistre les pluies maximales avec 1066 mm. En 2013, la précipitation minimale annuelle avec seulement 337 mm a été observé. Ces résultats soulignent l'importance de la planification et de la gestion des ressources en eau, car l'écoulement des fortes pluies exerce un effet de cisaillement sur les particules à la surface du sol surtout dans le contexte des changements climatiques, où des périodes de sécheresse plus fréquentes et sévères pourraient devenir plus courantes.

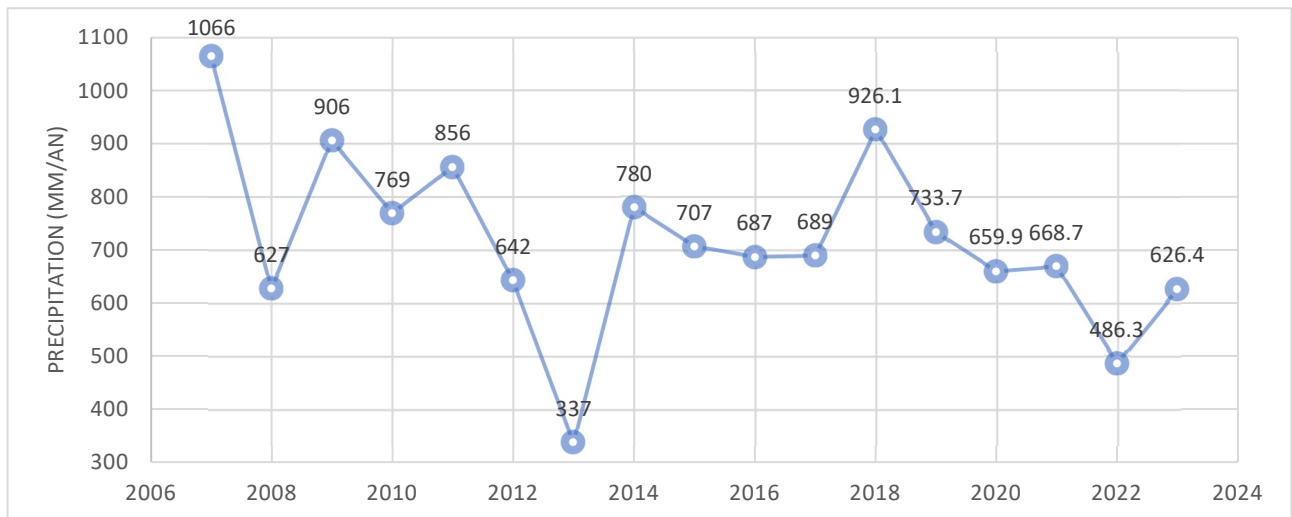


Figure I. 12 : Variations moyenne de cumul Annuelle en mm/ans.

### I.6.3. La Pression ATM

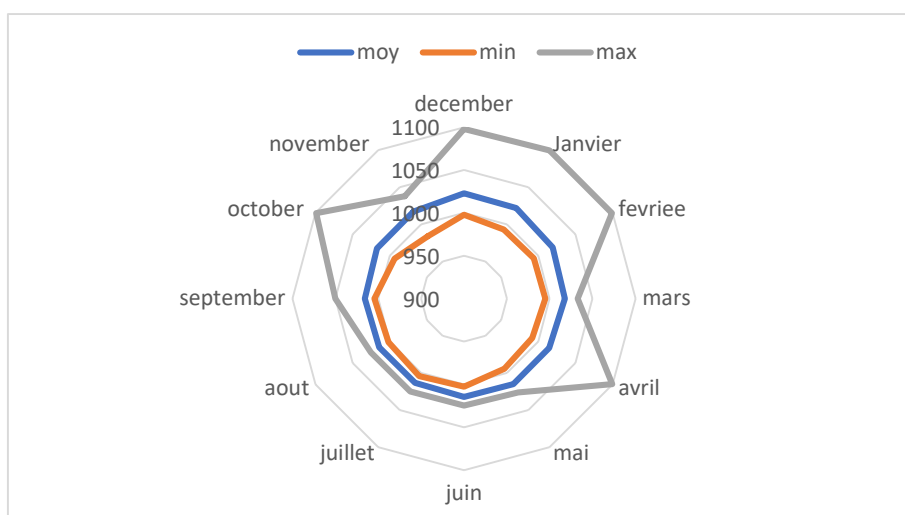


Figure I. 13 : Variation de Pression ATN mensuel

L'analyse des données issues de la station de dar El-Beida permis de voir que la P\_ATM (pression atmosphérique (hectopascals) varie avec la variation de la précipitation et la température. Les données qui été ont enregistrés varient entre 984-1099 HPa.

### I.6.4. Le Vent

Le vent est un mouvement de masse d'air résultant des différences de  $P_{ATM}$ . Ces différences de pression sont principalement causées par les variations de température dues au chauffage inégal. Les mouvements d'air se produisent horizontalement en réponse aux gradients de pression, se déplaçant des zones de haute vers la basse pression. La force et la direction du vent sont influencées par l'effet de Coriolis, le frottement avec la surface terrestre ainsi que la surface de la mer et la topographie locale. (Stull, 1988 ; Wallace & Hobbs, 2006 ; Ahrens, 2012).

L'analyse du vent régionale influent sur la génération et la propagation des vagues et des houles ; la période couverte s'étend du 01/01/1992 au 31/12/2022. Ces données proviennent de la base de données Wave-climat (infoplaza), et pour la présentation des valeurs de vent selon l'échelle de Beaufort

#### I.6.4.1. Spectre de la vitesse du vent

Le spectre de la vitesse du vent  $U_{10}$  (Figure) montre une moyenne de 5.62 m/s ainsi que la majorité des vents provenant dans la direction Nord au large comprises entre 0 et 24.8 m/s.

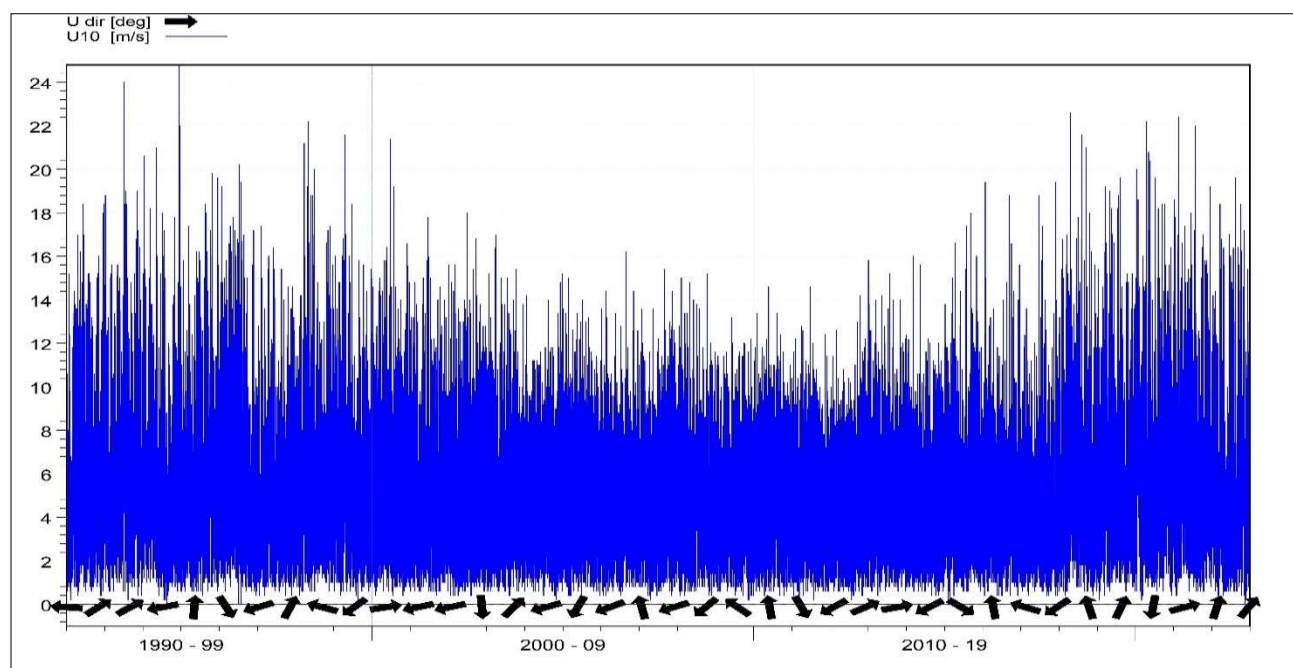


Figure I. 14 : Représentation du spectre de la vitesse du vent

Pour mieux comprendre l'effet du vent sur le comportement de la houle dans différentes directions, on présente les roses du vent Annuelle et saisonnières,

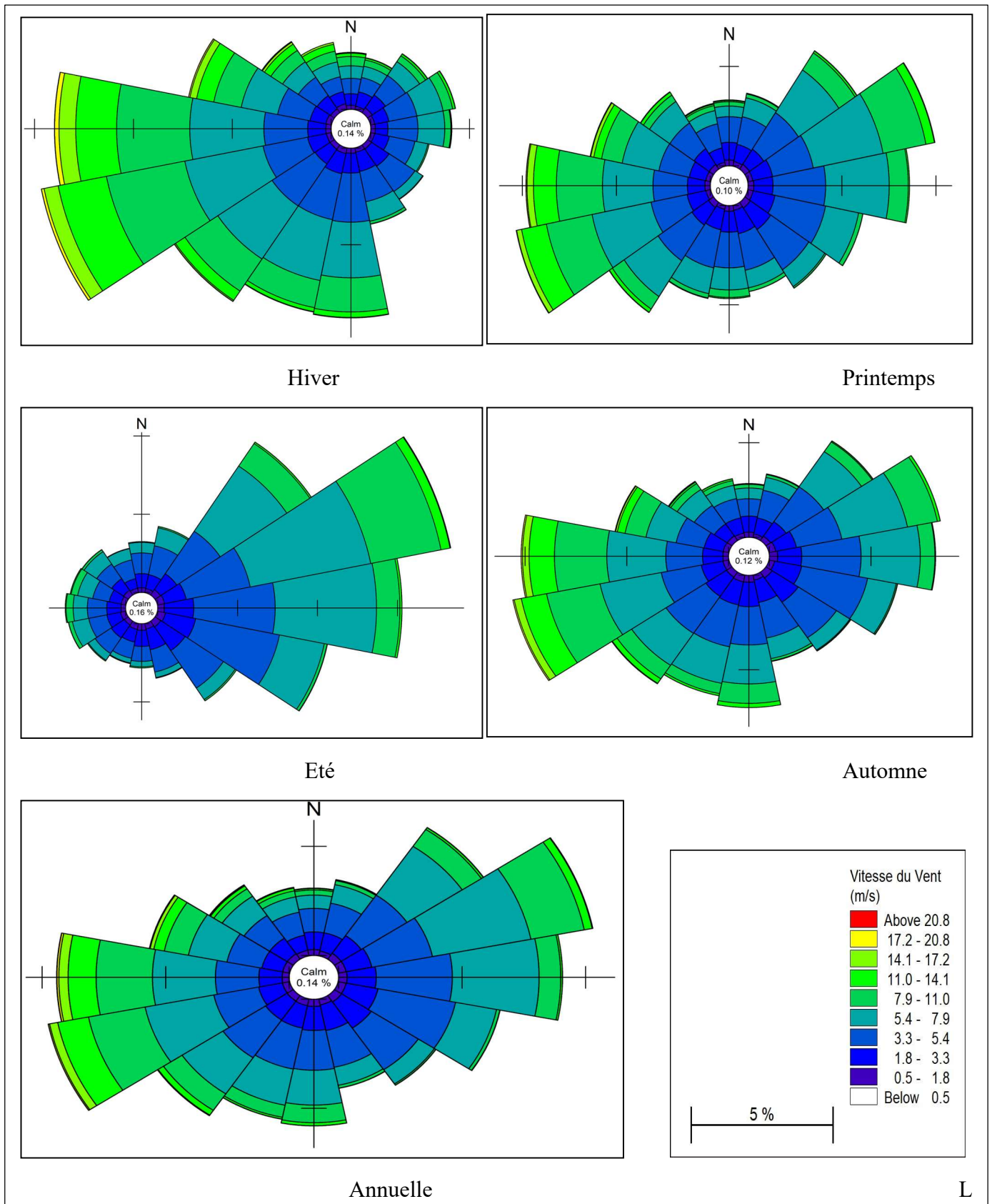


Figure I. 15 :Rose des vents saisonnière et annuelle enregistré dans la période 1992-2022 (Infoplaza, 2024)

### I.6.4.2. Interprétation des roses du vent

La rose des vents annuelle fait ressortir deux secteurs principaux : l'Ouest-Sud-Ouest (OSO) et le Nord-Est (NE), avec des vitesses fréquentes de 5,4 à 18 m/s environ. L'Ouest est un secteur récurrent pour les vents dominants, particulièrement en hiver et en automne. Le Sud-Ouest, l'Ouest, et le Nord-Est deviennent les directions prédominantes spécifiquement pour la saison estivale. On observe que la variation des vitesses du vent est globalement répartie de manière équitable, indiquant un régime des vents modéré et dépourvu d'événements extrêmes pendant cette période

Hiver ; La rose des vents hivernale montre une prédominance des vents provenant de l'Ouest (O) et du Sud-Ouest (SO). Les vitesses des vents sont généralement comprises entre 5 et 11 m/s avec une fréquence de 7%, mais peuvent atteindre des vitesses plus élevées, entre 17,2 et 20,8 m/s, dans une proportion non négligeable. La direction dominante en hiver est le SO, avec une fréquence maximale des vents soufflant entre 20 et 25% du temps.

Au printemps, les vents les plus fréquents soufflent de l'Ouest-Sud-Ouest (OSO) et de l'Est-Nord-Est (ENE). Les vitesses des vents sont plutôt modérées, allant de 0,5 à 17,2 m/s.

En été, la direction dominante des vents est l'Est-Nord-Est (ENE), avec des vents pouvant atteindre une vitesse de 14,1 m/s de manière assez fréquente, avec une fréquence de 20%.

À l'automne, on observe une prédominance des vents de direction Sud-Ouest (SO) avec une fréquence de 13 à 15%, et Nord-Est (NE) avec une fréquence de 10%. Les vitesses des vents peuvent atteindre jusqu'à 18 m/s.

### I.6.5. La Houle

La houle est une série régulières générées par des vents soufflant sur de vastes étendus d'eau. se propagent en ondulation a grandes distances vers le rivage (zone de fetch), La caractérisation de la houle implique l'utilisation de paramètres tels que la longueur d'onde  $L$ , l'amplitude  $H$ , la célérité  $C$ , la période  $T$ , la cambrure  $H/L$  et la profondeur relative  $d/L$ . L'analyse s'effectue utilisant pour la houle on a choisi les variables les plus représentatives de la houle à savoir  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $H_{sd}$ . la Hauteurs de houles selon l'échelle de Douglas.

#### I.6.5.1. La hauteur significative et la période pic

Sur l'ensemble de l'enregistrement qui s'étend sur 30 ans, nous observons que  $H_s$  varie entre 0.03-7.41 m avec une moyenne de 1.17 m. et le  $T_p$  varie entre 2.77-18.25s.

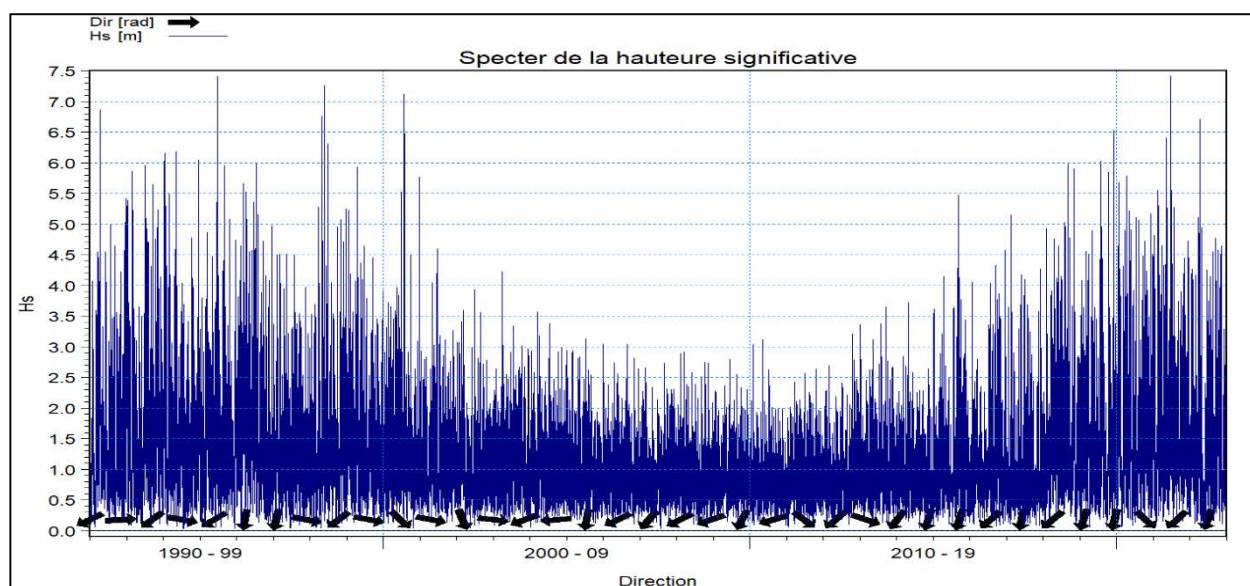


Figure I. 16 : Représentation du spectre des hauteurs de la houle avec la direction dominante

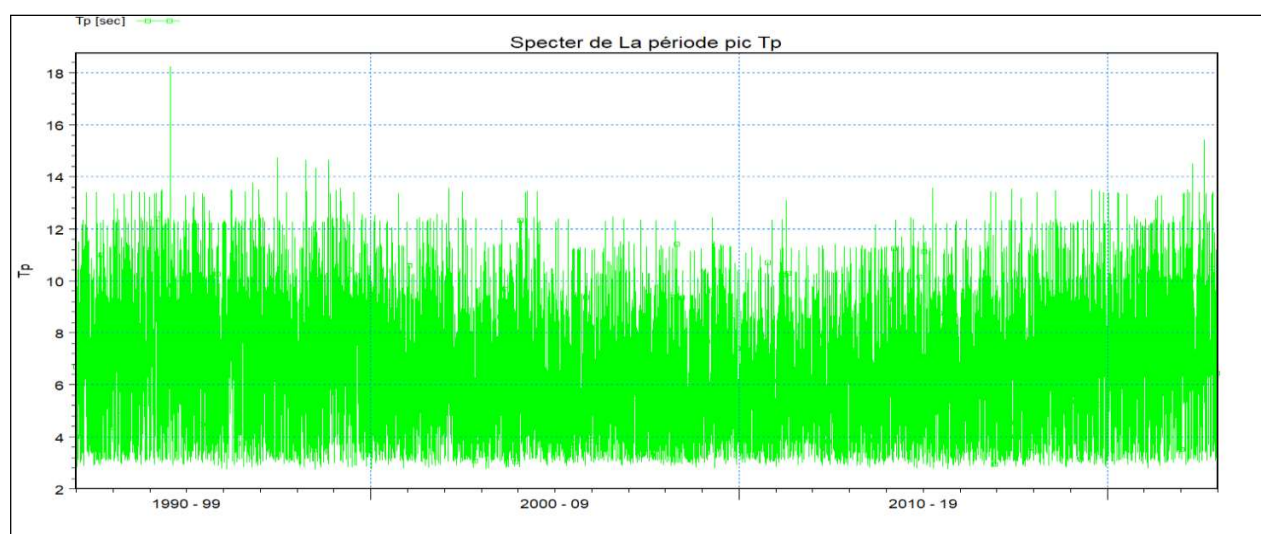


Figure I. 17 : Représentation du spectre des périodes de houle

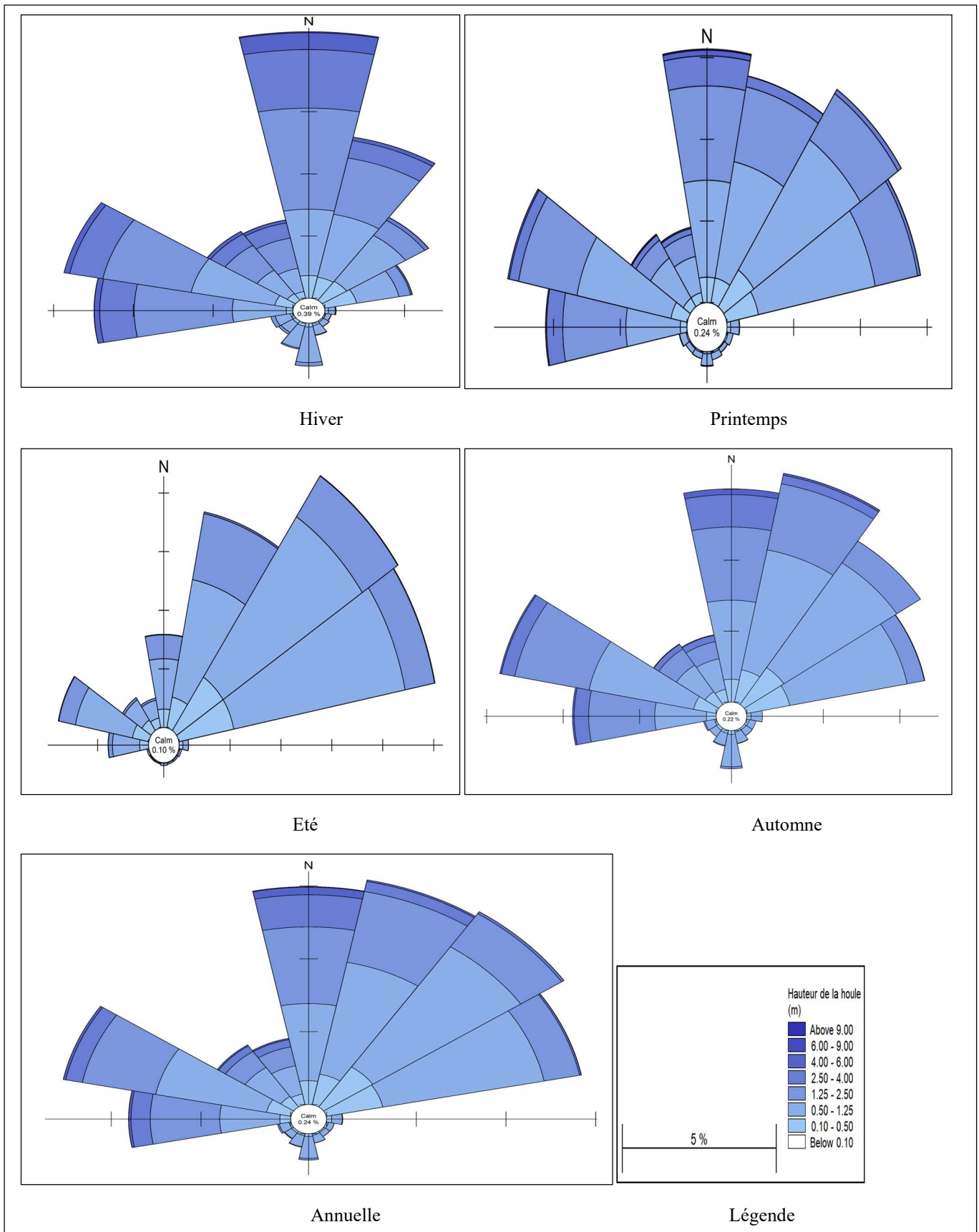


Figure I. 18 : Rose des Houles saisonnière et annuelle enregistré dans la période 1992-2022 (Infoplaza, 2024)

### I.6.5.2 Interprétation des roses de houles

On observe sur la rose globale que les directions les plus fréquentes sont ONO et N-ENE, elle représente environ 15 à 20% des secteurs de provenance des houles ; à l'exception de certaines houles extrêmes enregistrées dans d'autres directions. Le point culminant de la hauteur est 7,48 m.

- **En Hiver** : les secteurs N et ONO sont les plus fréquents avec des intensités différentes. Le secteur le plus dominant est N, avec une fréquence de 22%, suivis par le ONO à 18%. On remarque que la zone est calme à 0.39% du temps.
- **Au Printemps** : on peut observer que les deux secteurs dont l'apparition prédomine sont le N et le NE avec une fréquence avoisinant les 18%. Les secteurs ONO, NNE, ENE sont fréquents à un pourcentage de 15%. On peut constater que les autres directions apparaissent fréquemment. La hauteur maximale enregistrée semble être autour de 7,48 mètres pendant cette saison.
- **En Été** : On observe deux directions majoritairement dominantes avec un taux variant entre 20 et 25% chacune, il s'agit des houles du secteur NE et ENE. Le NNE suit avec une fréquence de 18%. Les houles en été atteignent un maximum de 4m.
- **En Automne** : la dominance des secteurs de houles suit la même tendance que pour le printemps ; à l'exception des houles de secteur WNW qui deviennent plus fréquentes. On peut noter la présence de houles de hauteurs plus élevées, jusqu'à 6 mètres.

# **CHAPITRES II :**

## **Etude de Séismicité**

## II.1. Introduction :

Le rapprochement des deux plaques africaine et eurasiennne a engendré une activité tectonique qui s'est traduite au fil du temps par la genèse de structures tectoniques visibles en surface tels les plis et les failles qui affectent les formations du Miocène post-nappes, du Pliocène et du Quaternaire. Ces déformations se poursuivent à l'heure actuelle, avec une activité sismique qui est la réponse à une collision intra plaque orientée NNW-SSE. On rappelle que l'ensemble de la sismicité qui se produit en Algérie se concentre au Nord dans la partie tellienne autour des bassins quaternaires.

Historiquement l'Algérie est connue pour être une zone sismique très active, elle a connu plusieurs séismes importants qui ont souvent occasionné des dégâts matériels et humains considérables. L'Algérie du nord est caractérisée par des déformations récentes se traduisant par une activité sismique faible (Tizi-Ouzou) à modérer avec parfois des séismes forts (**Guemache, N.A. 2010**).

Les séismes de grande Kabylie sont produits par des failles essentiellement inverses de direction NE-SW l'absence d'une sismicité actuelle importante pourrait être expliquée par des séismes de forte magnitude mais de période de retour de l'ordre du millénaire (**Boudiaf, 1996**). La sismicité historique de grande Kabylie révèle l'existence d'une activité sismique relativement importante et cela malgré le manque des données sur l'occurrence de séismes violents au niveau de cette zone (**Lounis, 2005**).

## II.2. Classification du séisme selon l'origine

On distingue trois catégories de séismes en fonction de leur origine : Tectonique, volcanique et artificielle.

### II.2.1 Origine de séisme

Un séisme ou tremblement de terre correspond à des vibrations de la terre provenant de la fracturation ou rupture soudaine des roches de l'écorce terrestre (partie la plus superficielle du globe) (**CHEBANCE M., 2001**), ces ruptures se produisent essentiellement dans les zones situées à proximité des limites entre les plaques, là où les tensions sont les plus élevées dans les roches (**BALANDIER P., 2004**).

### II.2.2. Origine Tectonique

Les séismes tectoniques sont les plus fréquents et les plus dangereux, ils posent des problèmes difficiles aux scientifiques chargés de découvrir les moyens pour les prévoir

- **Séismes inter - plaques :** Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes. Dans le monde, les zones les plus actives sont situées en Asie (Japon, Chine, Indonésie, Himalaya), au Proche-Orient (Turquie, Afghanistan), en Afrique du Nord (Algérie, Maroc) et en Amérique (Chili, Mexique, États-Unis).
- **Séismes Intra - Plaque :** Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes, généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre.

### II.2.3. Origine volcanique

Les éruptions volcaniques, autre phénomène associé à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes et de microséismes. Ces derniers peuvent permettre de prédire l'imminence d'une éruption. Dans le cas d'une activité explosive, la magnitude du séisme peut être significative.

### II.2.4. Origine artificielle

Certaines activités humaines peuvent occasionner des séismes, généralement modérés. Il s'agit notamment de la mise en eau des barrages ou de l'exploitation des gisements souterrains (gaz, minerais, etc.) (Menasri, Youcef. 2009).

## II.3. Principaux paramètres caractérisant un séisme :

Chaque séisme est caractérisé par l'heure à laquelle il produit, sa localisation (latitude, longitude, profondeur), sa magnitude et son intensité.

### II.3.1. Intensité

Avant l'ère instrumentale, l'étude d'un séisme se faisait par d'observation des effets de ce séisme à l'endroit où il s'était produit. L'intensité macrosismique est évaluée à partir de l'inventaire, sur site, de l'ensemble des effets produits par la secousse sismique sur la population, les constructions et l'environnement physique. Ces effets sont évalués d'une manière qualitative, selon une échelle d'intensité macrosismique dont les degrés correspondent à des effets croissants définis à l'aide de descriptions conventionnelles. (MOUSSAOUI, N. 2009).

### II.3.2. La magnitude

Tout calcul de magnitude est basé sur le logarithme de l'amplitude d'une certaine onde sismique à partir d'un certain sismomètre et dépend de corrections tenant compte de la distance épacentrale, la profondeur du foyer et de la nature du sous-sol à la station d'enregistrement (MOUSSAOUI, N. 2009).

### II.3.2.1. Types de magnitude

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la magnitude :

- Magnitude locale (ML) (définie par Richter en 1935) On l'utilise pour des séismes proches dits séismes locaux. Elle est définie à partir de l'amplitude maximale des ondes P, et moyennée sur plusieurs stations en tenant compte des corrections locales.
- Magnitude des ondes de surface (MS) (ondes Rayleigh) Elle est utilisée pour les séismes lointains, dits télé séismes, dont la profondeur est inférieure à 80 km. Elle se calcule à partir de l'amplitude des ondes de surface.
- Magnitude de volume (mb) (séismes profonds, ondes P) Cette magnitude est utilisée pour les séismes profonds, car ceux-ci génèrent difficilement des ondes de surface. Elle est calculée à partir de l'amplitude de l'onde P qui arrive au début du sismogramme.
- Magnitude de durée (MD) (séismes faibles et proches) On l'utilise pour des séismes proches. Elle est définie à partir de la durée du signal.
- Magnitude de moment (Mw) (ou de Kanamori) En conclusion, la magnitude est un paramètre qui caractérise d'une manière intrinsèque l'importance d'un séisme. C'est le nombre que l'on déduit des enregistrements des sismographes et qui permet de caractériser l'énergie émise par un séisme sous forme d'ondes sismiques.

### II.4. Caractéristiques d'un séisme

Lorsqu'un séisme est déclenché, un front d'ondes sismiques se propage dans la croûte terrestre, il est caractérisé à la figure II.1 :

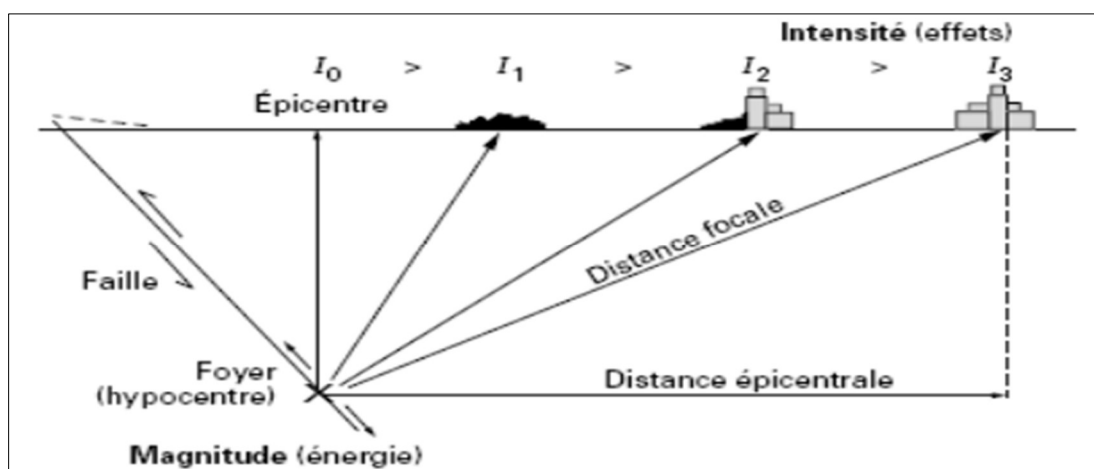


Figure II. 1 : Principales Caractéristiques d'un séisme

### II.4.1. Foyer (hypocentre)

Région de la faille où se produit la rupture et d'où partent les ondes sismiques.

On distingue trois classes de séismes selon la profondeur de leur foyer :

- les séismes superficiels : moins de 60 km de profondeur
- les séismes intermédiaires : entre 60 et 300 km de profondeur
- les séismes profonds : supérieurs à 300 km de profondeur
- au-delà de 700 km de profondeur, on considère qu'il n'y a plus de foyer sismique.

### II.4.2. Epicentre

Point de la surface terrestre, à la verticale du foyer, et où l'intensité du séisme est la plus importante.

### II.4.3. Failles

Sont des cassures de la lithosphère qui décalent deux compartiments situés initialement face à face, Figure II.2 illustre les différents types de failles.

- Faille normale La surface des deux compartiments va devenir supérieure à ce qu'elle était avant le faillage. Le compartiment rocheux a été soumis à un effort d'étirement (extension)
- Faille inverse Dans une faille inverse, un des deux blocs se déplace sur l'autre suite à un mouvement général de compression. Le résultat est un raccourcissement du bloc-diagramme.
- Faille à coulissage horizontal La cassure ici décale les deux compartiments dans le plan horizontal. Le compartiment rocheux est ici soumis à des efforts horizontaux différentiels

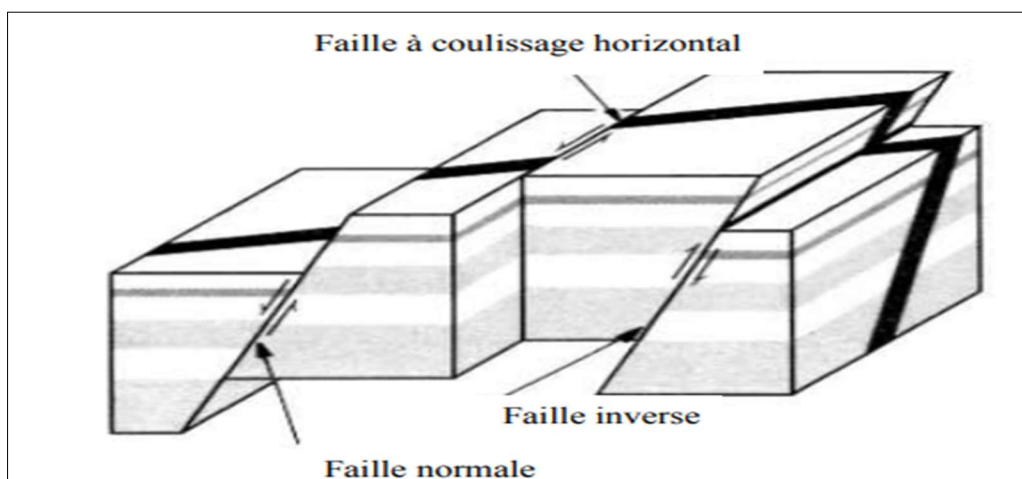


Figure II. 2 : Différents types des failles

## II.5. Distribution de la sismicité dans le Nord de l'Algérie :

Le Nord de l'Algérie est connu comme étant une région d'une activité sismique modérée dans le bassin méditerranéen occidental. Les séismes les plus violents, voire les plus meurtriers, sont ceux qui se sont produits dans la région littorale, particulièrement dans la région d'Alger en 1716 et en 1755, à Oran en 1790, à Blida en 1825, à Djidjelli en 1856 et à Gouraya en 1891. Au cours de la première moitié du XXe siècle, qui correspond à la fin de la période historique, l'Algérie a été touchée par deux autres séismes importants : celui de Sour-ElGhozlane (24 juin 1910, Ms =6, 4) et celui d'Orléans ville (9 septembre 1954, Ms =6, 7) présente ay figure suivant

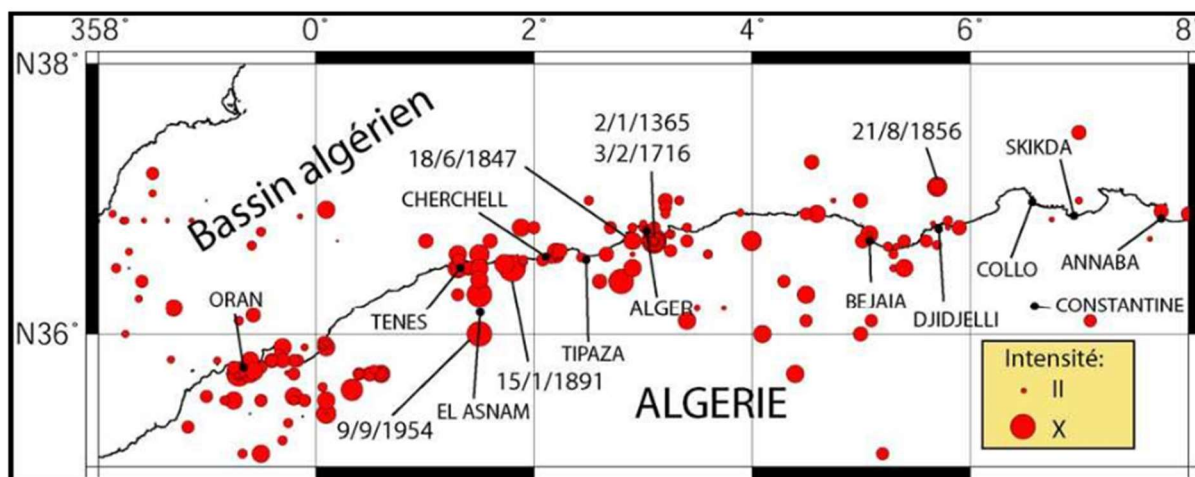


Figure II. 3 : Carte de la sismicité historique (bases de données du CRAAG et USGS, de 1365 à 1972). L'intensité est indiquée à l'échelle MSK (Domzig, A. 2006)

### II.5.1. Les zones de sismicité :

Quatre zones majeures de sismicité sont ainsi mises en évidence :

(a) Le domaine maritime. Il est important de souligner que, parmi les plus importants séismes qui ont frappé le Nord de l'Algérie, plusieurs se sont produits en mer. À cet égard, les séismes d'Alger de 1716, d'Oran de 1790, de Jijel de 1856 et de Boumerdes de 2003 sont les plus représentatifs.

(b) Le Tell. Dans cette région se manifeste la plus grande partie de l'activité sismique de Nord de l'Algérie. Avec le domaine maritime, elle constitue la région la plus exposée aux séismes violents et dévastateurs, puisque la majeure partie de la population algérienne y réside.

(c) Les Hauts Plateaux. Actuellement, cette région se caractérise par une quasi absence de sismicité. Les Hauts Plateaux semblent donc se comporter comme un bloc rigide, se déformant simplement au niveau de ses bordures.

(d) L'Atlas saharien. Dans cette région, les cartes de sismicité montrent un chapelet de petits séismes de faible magnitude ( $M < 4$ ), qui s'étale en particulier le long du front Sud-Atlasique. Les Hauts Plateaux semblent aussi séparés des Hautes Plaines constantinoises par un important accident de direction NW–SE allant de Kherrata au Nord à Biskra au Sud-Est (figure II.1), accident sur lequel se matérialise un chapelet de séismes modérés (YellesChaouche, A.K. 2006).

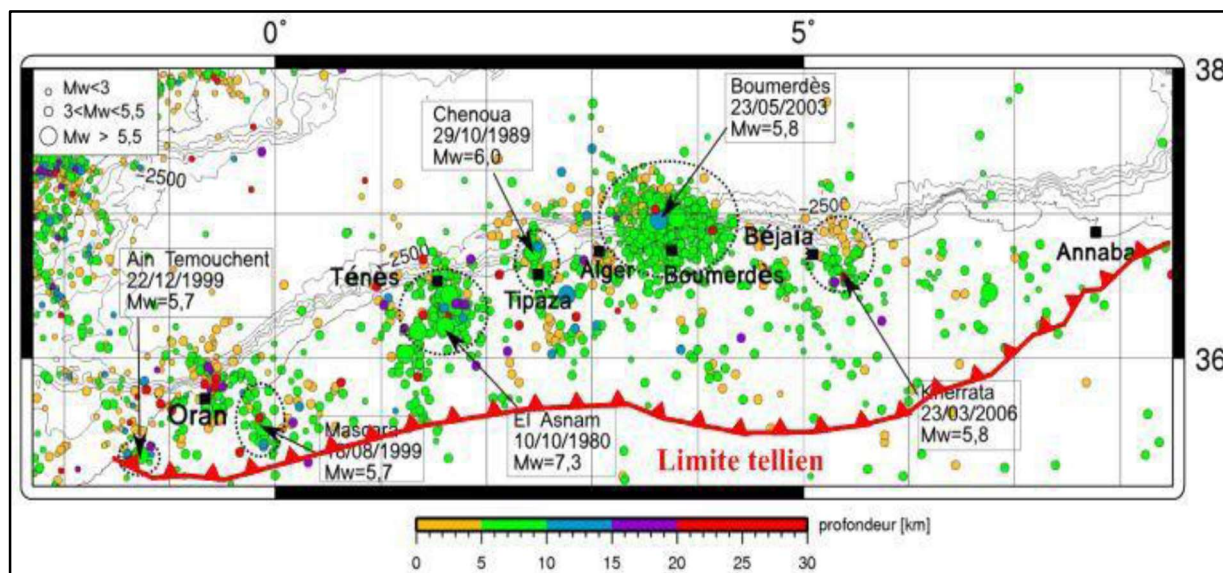


Figure II. 4 : Carte correspondant aux profondeurs des hypocentres (catalogue NEIC de 1973 à 2012). (Leprêtre, 2013) de distribution des séismes algériens. Les couleurs des cercles

Durant les deux derniers siècles, l'Atlas tellien fut le siège de nombreux séismes destructeurs comme le souligne le catalogue de la sismicité algérienne qui indique une occurrence de séismes forts à modérés ( $M_s > 5$ ) dans cette région (Maouche, S. 1999). Celui-ci est frappé par beaucoup des événements par exemple : El Asnam 10 octobre 1980,  $M_s = 7.3$ , Constantine 27 octobre 1985,  $M_s = 6.0$ , Tipaza-Chenoua, 29 octobre 1989,  $M_s = 6.0$ , Mascara, 18 Août 1994,  $M_s = 6.0$ , Alger, 4 septembre 1996,  $M_s = 5.8$ , Aïn Temouchent, 22 décembre 1999,  $M_s = 5.5$ , et récemment le tremblement de terre de Zemmouri de 21 Mai 2003,  $M_w = 6.8$  (Ayadi, A. et al., 2004).

### II.5.2. La sismicité de la zone d'étude :

Dans la zone que nous avons choisie (Tizi Ouzou), le risque sismique est **modéré**, d'après les informations de modélisation qui sont actuellement disponibles (figure ci-dessous). Cela signifie qu'il existe une probabilité de 10% qu'un séisme susceptible de causer des dommages survienne au cours des 50 prochaines années. D'après ces informations, les conséquences d'un séisme **devraient être prises en compte** dans toutes les étapes d'un projet, en particulier lors de la conception et de la construction. **Les décisions relatives à la planification du projet, à sa conception et aux techniques de construction devraient tenir compte du risque sismique.** Il

convient d'obtenir des informations supplémentaires détaillées afin de bien prendre en compte le niveau d'aléa.

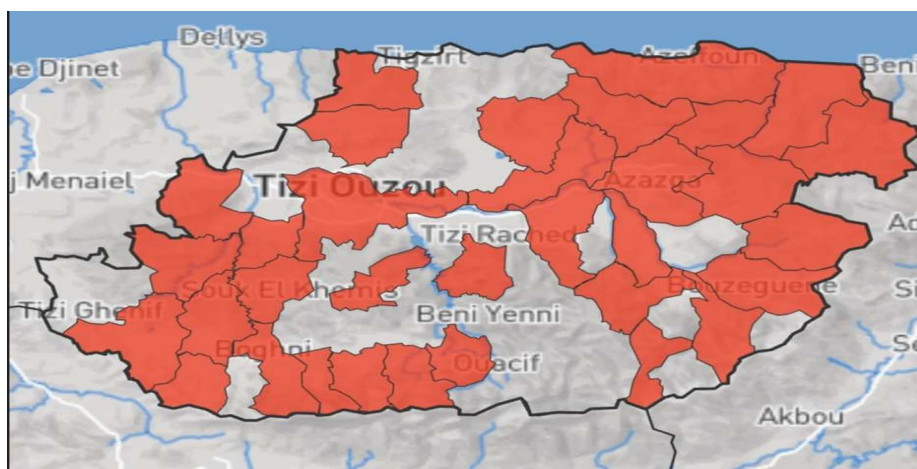


Figure II. 5 : Niveau de risque sismique de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source Think Hazard)

## II.6. Définition de vulnérabilité sismique

L'étude de la vulnérabilité sismique consiste, à partir d'un mouvement sismique donné, à déterminer les bâtiments et les structures les plus vulnérables vis-à-vis du séisme au niveau d'une région, d'une ville, d'un grand nombre de bâtiments ou d'une structure.

La vulnérabilité représente donc le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un séisme. La vulnérabilité exprime la capacité de réponse d'une structure, à une sollicitation sismique donnée. Elle est fonction de nombreux paramètres physiques, comme par exemple le matériau de construction utilisé, les périodes de vibration fondamentales ou encore la géométrie en plan ou en élévation de l'ouvrage (CLOTAIRE, M. 2007).

Si deux groupes de bâtiments sont soumis exactement à la même agression sismique (même distance à l'épicentre et même condition de sol) et que l'un des groupes se comporte mieux que l'autre, alors on dira que les bâtiments qui ont été le moins endommagés avaient une vulnérabilité plus faible aux tremblements de terre que ceux qui ont été plus endommagés. On peut aussi déclarer que les bâtiments qui ont été moins endommagés étaient plus résistants aux tremblements de terre et vice-versa (AFPS. 2005).

### II.6.1. Valeur exposée au risque sismique

Correspond à la valeur des biens et des personnes exposés à l'aléa sismique. Cette valeur dépend de l'importance de la construction. Elle est de nature socioéconomique. Dans le cas du danger naturel sismique, la « valeur exposée au risque » est avant tout celle des bâtiments, de leurs occupants et de leur contenu ainsi que des activités économiques qu'ils abritent (**CHEBANCE, M. 2001**).

### II.6.2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité

Etant donné la complexité de la problématique, des méthodes d'évaluation diverses ont été élaborées. Les méthodes présentées visent chacune un objectif, donc également un besoin différent. Le but de cette présentation est d'illustrer la grande diversité des approches.

Deux familles de méthodes sont généralement utilisées :

- D'une part, les méthodes empiriques, fondées sur le retour d'expérience et sur les caractéristiques structurales sommaires des bâtiments, sont utilisées à grande échelle (ville, région). Dans la plupart de ces méthodes, les bâtiments sont préalablement classés selon une typologie. Ces méthodes se fondent sur l'observation des caractéristiques structurales des bâtiments pour leur attribuer un indice de vulnérabilité (IV).

Différents niveaux de précision d'analyse sont généralement prévus, selon les informations disponibles, qui conduisent à une qualité variable de l'estimation de la vulnérabilité. Ces méthodes proposent une relation reliant l'indice de vulnérabilité à une échelle de dommage pour un mouvement sismique donné, un scénario probable ou un séisme historique (**AFPS. 2005**). Les paramètres pertinents, les coefficients qui leurs sont attribués dans le calcul de l'indice de vulnérabilité (IV) et le lien entre IV et dommage sont déterminés à partir du retour d'expérience réalisé par des experts lors de missions post-sismique.

Malheureusement, le mouvement du sol qui a généré les dégâts observés n'est généralement pas connu car il n'a pas été enregistré. Il est donc généralement représenté par l'intensité macrosismique estimée elle-même à partir des dégâts. Cette incohérence est une des limitations de ces méthodes. Par ailleurs, les relations entre paramètres structuraux et dommages sont estimées de manière statistique. Ces méthodes permettent donc d'avoir une vision statistique, à l'échelle d'une ville par exemple, et n'ont pas d'intérêt pour un bâtiment isolé.

- D'autre part, pour un nombre plus restreint de bâtiments, les méthodes de vulnérabilité calculée utilisent la modélisation plus ou moins sophistiquée du bâtiment considéré pour obtenir sa courbe de capacité reliant les forces et les déplacements (méthode du Pushover). La combinaison de la courbe de capacité avec un aléa (déterministe ou probabiliste) permet d'estimer l'endommagement de la structure. Toutes ces méthodes doivent se contenter d'une connaissance très partielle des bâtiments étudiés (AFPS, 2005).

## **II.7. Objectifs de réalisation des études de vulnérabilité :**

Les objectifs de l'étude de la vulnérabilité sismique sont multiples et dépendent de l'échelle d'analyse. On distingue ainsi plusieurs échelles d'investigation (GUEGUEN P. 2006).

### **II.7.1. Échelle d'analyses très globales :**

Utilisant directement les répartitions statistiques de dommages des échelles d'intensité (échelles MSK, EMS 98...) en fonction de typologies de structures. Ces dernières sont caractérisées par une classe de vulnérabilité entre A (la plus vulnérable) et D (la moins vulnérable) qui pour une intensité donnée de séisme seront plus ou moins endommagés. Le niveau d'endommagement respecte une échelle de D1 (faibles dommages) à D5 (destruction totale). Ces méthodes s'appliquent bien à des évaluations pour un nombre important de bâtiments sur une zone donnée. Elles sont sommaires mais nous permettent néanmoins une première évaluation rapide.

### **II.7.2. Échelle d'analyses globales :**

Où les bâtiments ne sont pas analysés individuellement mais de façon statistique. Néanmoins, l'auscultation des bâtiments se fait individuellement. Le traitement des données recueillies sur le parc immobilier vise généralement à classer les bâtiments dans des typologies prédéfinies dont on a une estimation de la vulnérabilité sismique. Des paramètres modérateurs, définis en fonction des caractéristiques géométriques et structurales, sont ensuite appliqués pour moduler leur vulnérabilité. La sollicitation s'exprime en fonction de l'intensité ou parfois en fonction d'un niveau d'accélération maximale du sol appelé PGA « Peak Ground Acceleration ». D'autres évaluations représentent l'endommagement par une probabilité de dépassement d'un certain niveau de dommage (par exemple, 60% d'endommagement), intégrant directement la typologie de la construction et le niveau d'aléa.

### **II.7.3. Échelle d'analyses précises :**

Où les bâtiments sont analysés individuellement mais avec des méthodes simplifiées. Des calculs simplifiés sont parfois effectués à ce niveau.

Tableau II. 1 : Echelles d'analyse et leur applicabilité (GUEGUEN P. 2006).

Augmentation des moyens mis en œuvre					
Echelle d'analyse	Plusieurs centaines de bâtiments		Quelques bâtiments		Bâtiments individuels
Méthodes	Vulnérabilité EMS98	Indice de Vulnérabilité	Avis d'expert	Calculs analytiques simples	Analyse numérique - modélisation -
Applicabilité	Ville- commune - quartier – parcs immobiliers – bâtiments stratégiques				
Moyens humains	Sans formation- étudiants- techniciens- ingénieurs- ingénieurs confirmés				

On peut aussi aborder l'étude de cette vulnérabilité par rapport a d'autres facteurs dont l'objectif étant de (Menasri Y. 2009) :

#### II.7.4. Objectifs d'étude de la vulnérabilité à grande échelle (ville, région)

La détermination de l'intensité macrosismique de la zone étudiée ; L'estimation des dommages prévisibles aux personnes et aux biens juste après le séisme pour décider des moyens de secours à mettre en place ; Les estimations économiques des dégâts causés par un séisme.

#### II.7.5. Objectifs d'étude de la vulnérabilité à l'échelle de la structure

Le dimensionnement des structures neuves à un niveau de protection parasismique fixé par la réglementation ; L'évaluation des bâtiments existants en vue d'une requalification ; L'identification des bâtiments les plus vulnérables aux séismes de façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti existant.

### II.8. Résultats de la synthèse bibliographique

#### II.8.1. Historique de séisme :

La sismicité historique est une importante source d'information vis-à-vis de localisation approximative de source sismique. Ces données permettent également d'estimer la récurrence des événements sismiques qui auraient marqué cette région. La profondeur la plus fréquente est de 8 km, sans excéder 25 km ce qui leur confère un potentiel destructeur (Roussel, J. 1973). Parmi les séismes historiques de la région d'étude, cités essentiellement par (Hée, A. 1950) et d'autres sources et rapportés par Harbi (2001 et 2006), beaucoup parmi eux ont été localisés au niveau des

massifs anciens (socle) comme celui de Larbaa Nath Irathen (ex : Fort National) et Ain El Hammam (ex : Michelet).

Nous avons tenté de reprendre tous les séismes historiques rapportés par (Harbi, A. 2006), afin de montrer l'existence d'une activité sismique dans la région de Tizi-Ouzou autrefois considérée comme zone asismique ou de faible sismicité. D'après, Benaour, 1994, et CRAAG, 1994 les séismes qui ont frappés la wilaya de Tizi-Ouzou se répartissent entre 1865 et 2000 (**BOURAIL, S. 2017**).

### II.8.2. Les ressenties séisme qui touche la wilaya de Tizi-Ouzou

Pendant les 4 dernières années la région de Tizi-Ouzou a été principalement touchée par les séismes allant jusqu'à 4.1 de magnitude sur l'échelle de Richter, mentionnés sur le tableau ci-dessous :

Tableau II. 2 : Les principaux séismes qui ont frappés Tizi-Ouzou entre 2021 et 2023 (**CRAAG**).

Localisation	Date	Magnitude
04 km au Sud-ouest de Tigzirt	24/01/2021	3.5
02 km au Sud-est de la localité de Tiroual	08/07/2021	3.2
41.1 Km de Tizi ouzou	20/11/2022	4.1
Très près de Tizi Ouzou, Tizi Ouzou	31/03/2023	3.4
13 km au sud-ouest de Tizi ouzou	25/03/2023	3.4

Selon les tableaux II.2-II.1 et d'après la méthode qui on a choisi ici dans notre travail c'est la méthode Empirique on remarque que le littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou est une zone de faible séisme donc avec degré de vulnérabilité faible, car l'intensité des séismes précédent n'pas endommagé les constructions existantes.

## II.9. Conclusion

La sismicité historique de la wilaya de Tizi-Ouzou se traduisant par une activité sismique faible à modérer, par contre le littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou a été témoin d'une activité sismique très faible à faible, c'est ce qui fait qu'il y ait absence d'endommagement structural (bâtiments, maison ...) ni de pertes humaines. Notre zone d'étude est donc classée avec un IV de degré 1 à 2 ce qui indique une vulnérabilité sismique faible à très faible.

**CHAPITRE III :**  
**Etude Cinématique de**  
**Trait de Côte**

### III.1. Introduction

La variation de la bande côtière désigne le processus par lequel les côtes perdent ou gagnent progressivement du terrain et/ou de volume sous l'action des vagues, des courants, du vent d'autres facteurs physiques ; ou par des facteurs anthropiques tels que le développement côtier non réglementé, le pillage des sédiments, etc.

L'élévation des plans d'eau marins est directement liée entre autres, à l'érosion des rivages qui constitue déjà à l'un des problèmes mondiaux les plus épineux (**Cipriani et al. 2004 ; Cazes-Duvat 2005 ; Cai et al. 2009**) qui menacent gravement la pérennité des espaces côtiers de la planète. L'évolution globale des littoraux de la planète a été caractérisée dans des études récentes.

Une plage est la zone intertidale, où les marées oscillent. Pour comprendre la dynamique des plages, en particulier les plages sableuses, il faut considérer les transferts sédimentaires entre la plage et la zone subtile, ainsi que le long de la côte. Les plages et le littoral évoluent à différentes échelles de temps et d'espace, influencées par des agents de forçage comme la houle, les marées et les courants associés (**Lemos et al., 2018**).

Le trait de côte est la limite géographique entre le domaine marin et le domaine continental (**Djeoudi et Hantal, 2018**).

Cette étude compte évaluer la tendance évolutive du littoral de Tizi Ouzou ; on considèrera la partie rocheuse ainsi que les cotes sableuses et a galets

L'observation du trait de côte se fait par une vectorisation des images satellitaire ou par la photographie aérienne et aussi la méthode plus ancienne comme l'analyse des cartes historique et topographique, etc. (**GRENIER et DUBOIS. 1990 (modifie)**).

Ce chapitre a comme objectif de :

- Faire un suivi spatio-temporel de l'évolution du trait de côte le long du littoral de la wilaya Tizi-Ouzou selon la méthode d'analyse diachronique entre 2009 et 2023.
- Étudier le rythme d'évolution (érosion ou d'accrétion) en générale.
- Examiner les changements sur les côtes rocheuses et principalement les cotes sableuses.

## III.2. Description du matériel utiliser

### III.2.1. ArcGIS (version 10.8.2)

C'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des SIG au monde. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être Accessibles et utilisables par quiconque. Le SCG utilisé WGS\_84\_UTM\_Zone\_31N : est un système de référence géodésique couramment utilisé pour la représentation et l'analyse des données géographiques, il combine le système de référence géodésique WGS 1984 avec la projection cartographique UTM.

Le logiciel Arc GIS comprend trois applications principales :

**ArcMap** : c'est l'interface de logicielle et l'organisateur sous forme de modules indépendants.

**ArcCatalog** : c'est l'exploitation de système avec l'organisation et la gestion des données.

**ArcToolbox** : la boîte des outils notamment géo-traitement.

#### III.2.1.1 DSAS (version 5.1)

Système d'analyse numérique du trait de côte, Cet extension permet de réaliser un calcul des statistiques du taux d'évolution de trait de côte

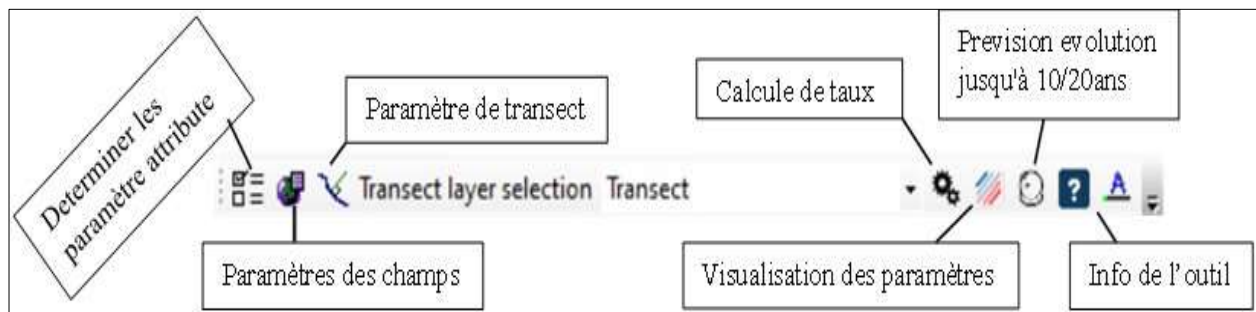


Figure III. 1 : Les outils de l'extension DSAS

L'extension DSAS permet de calculer 5 paramètres :

**NSM (m)** : la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent (en mètre)

**EPR (m/an)** : (le taux des points extrêmes) Vitesse d'évolution entre les traits de côte

**SCE** : La distance la plus importante entre tous les traits de côte

**LRR** : Taux de changement d'évolution annuelle de régression linéaire

**WLR** : Régression linéaire pondérée

### III.2.2. Google Earth Pro

Un logiciel développé par Google qui vous permet d'explorer la Terre à travers des images satellites, des photographies aériennes, des informations géographiques et des données SIG. Il offre principalement la possibilité d'exploiter des images ayant une bonne résolution (résolution de 3m) en effectuant des mesures, digitaliser avec importation et exportation de données SIG.

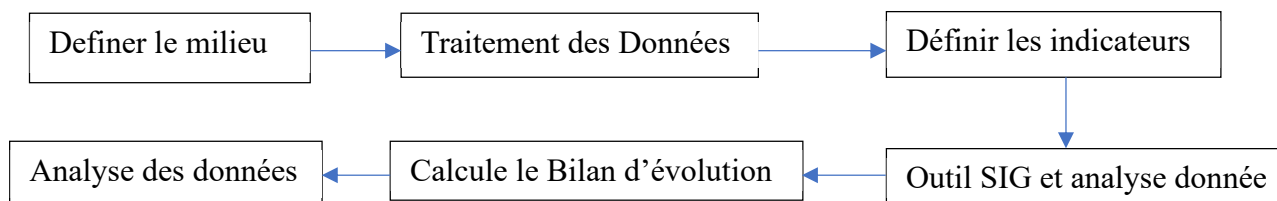


Figure III. 2 : Organigramme permettant de simplifier une méthode de suivi du trait de côte (Source BRGM2012, modifiée)

### III.3. Méthodologie de travail

Pour estimer le taux d'évolution du trait de côte ; nous avons suivis les étapes ci-dessous :

- Digitalisation des traits de côte de 2009, 2013, 2018, 2023, sur Google Earth après exportation du fichier et l'ouvrir sur ArcGIS.
- La digitalisation du trait de côte a été indiquée par la limite de la zone de saturation.
- Création des couches Shoreline, Baseline (incertitude considérée 0,6)
- Génération des transects (l'espacement des transects : 20m et une longueur de 500m)
- Calcul du taux d'évolution entre chaque deux traits de côte (2009, 2013), (2013-2018), (2018-2023), après avoir calculé le globale de 2009 jusqu'à 2023
- Calcul du taux d'évolution totale entre les quatre traits de côte.
- Classification des valeurs de taux d'évolution (reclassées par l'EPR et sous l'ordre de la norme de vulnérabilité).

Pour  $EPR < -2$  : Erosion très élevée

Pour  $-2 < EPR < -1$  : Erosion élevée

Pour  $-1 < EPR < 0$  : Erosion modérée

Pour  $0 < EPR < 1$  : Accrétion modérée

Pour  $1 < EPR < 2$  : Accrétion élevée

Pour  $EPR > 2$  : Accrétion très élevée

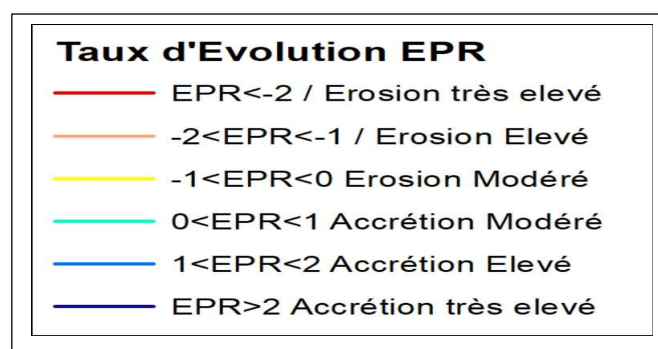


Figure III. 3 : la légende utilisée dans ce chapitre

- Utilisation du model VBA sur Excel Pour remplir les tableaux.
  - Désignation des cellules morphologique pour la présentation des résultats :
- « A » De la limite West à Est de la commune MIZRANA.
- « B » De la limite West MIZRANA a l'oued Boudjima.
- « C » De l'oued boudjima a limite Est de la commune TIGZIRT.
- « D » De la limite West IFLISSEN a l'oued Aissi.
- « E » De l'oued Aissi a l'oued d'iflissen.
- « F » De la limite West AZZEFOUN a l'oued Taksbet.
- « G » De l'oued Taksbet a l'oued azzefoun principale.
- « H » De l'oued azzefoun principale a l'oued Bougdoura.
- « I » De l'oued Bougdoura a l'oued Assif limite Est AZZEFOUN.
- « J » De l'oued Assif limit West AITCHAFAA a Oued Sahel.
- « K » De l'Oued Sahel a limite Est AITCHAFAA.

### III.4. Interprétation des Résultats

#### III.4.1. Evolution du trait de côte entre 2009 et 2013

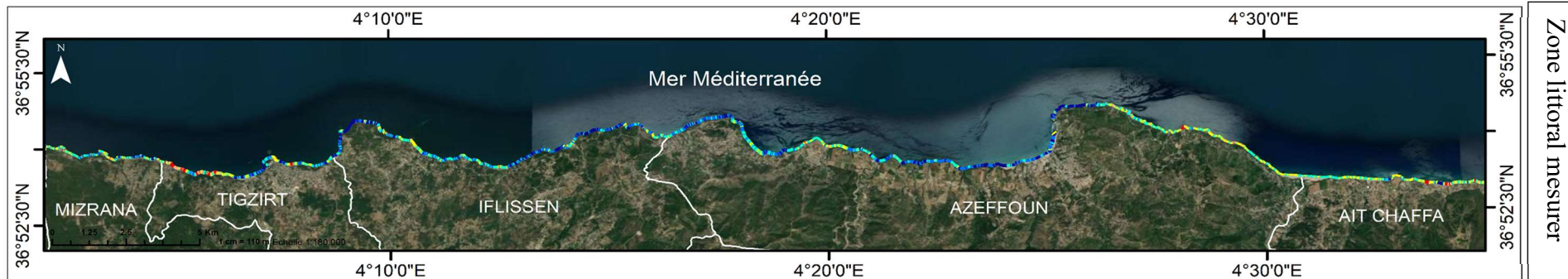
L'analyse des résultats de calcul du NSM révèle des tendances d'érosion à 27,31% avec une valeur maximale de -55,81m marquée dans l'Est de la commune Azzefoun et une moyenne de -3,42m. D'autre part, 72,69% des transects montrent une accrétion, avec une valeur maximale de 90,25m et une moyenne de 5,73m.

Le taux moyen de changement du trait de côte, exprimé en EPR, est de 0,81 m/an, avec une moyenne de 0,21 m/an et une incertitude de  $\pm 0,21$  m/an.

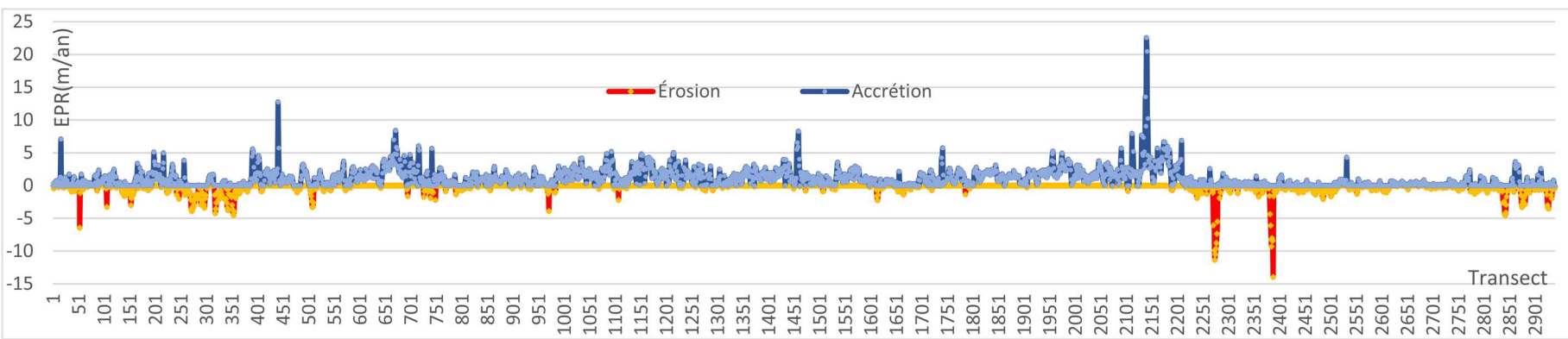
D'après le rapport de DSAS mettre les résultats en générale :

L'interprétation de l'EPR moyen (End Point Rate) pour chaque commune de la Wilaya de Tizi-Ouzou nous permet de comprendre la tendance générale du trait de côte en termes d'érosion ou d'accrétion. Les communes de Mizrana, Iflissen, et Azeffoun montrent une tendance générale à l'accrétion, ce qui est favorable pour la progradation des plages et la stabilité des côtes. Les taux positifs d'EPR moyen indiqueraient une accumulation de sédiments, contribuant à l'élargissement des plages.

En revanche, Tigzirt et certaines parties d'Ait Chaffa (particulièrement la cellule K) présentent des tendances à l'érosion, nécessitant des mesures de gestion côtière pour contrer la perte de terres côtières. Les taux négatifs d'EPR moyenne indiquent un recul du trait de côte, ce qui pourrait poser des risques pour les infrastructures côtières et les habitats.



Zone littoral mesurer



Taux d'évolution (m/an)

Secteur Par Commune	N° de transect	Cellules sédimentaires	Le Taux d'évolutions EPR			Le Taux d'évolutions NSM		
			Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Mizrana	1 – 253	A	0.46	-6.44	7.09	1.83	-25.76	28.35
Tigzirt	254 – 414	B	-0.51	-4.51	5.56	-2.06	-18.03	22.24
	415 – 609	C	0.94	-3.31	12.75	3.76	-13.23	50.99
Iflissen	610 – 995	D	1.12	-3.88	8.39	4.49	-15.54	33.56
	996 – 1343	E	1.52	-2.19	5.19	6.09	-8.78	20.76
Azzefoun	1344 – 1762	F	1.04	-2.26	8.27	4.15	-9.03	33.08
	1763 – 1981	G	1.54	-1.37	5.24	6.16	-5.49	20.94
	1982 – 2040	H	1.76	0.12	4	7.03	0.49	16.02
	2041 – 2674	I	0.55	-13.95	22.56	2.05	-55.81	81.98
Ait chaffaa	2675 – 2785	J	0.09	-1.28	2.39	0.32	-5.11	9.58
	2786 – 3000	K	-0.17	-4.56	3.61	-0.67	-18.25	14.43

Statistique sur la cinématique

Figure III. 4 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte et cartographie côtière de la zone étudiée (entre 2009\_2013)

### III.4.2. Évolution du trait de côte entre 2013 et 2018

La distance moyenne de déplacement du trait de côte (NSM) est de -2,77 m, ce qui indiquerait une tendance générale à l'érosion. Sur les transects étudiés, 62,74% ont enregistré un recul, avec une distance maximale de -58,25 m et une moyenne de -6,47 m pour ces transects érosifs. A l'inverse, 37,26% des transects présentent une accrétion, avec une distance maximale de 145,58 m et une moyenne de 3,46 m. En outre, L'EPR représente une valeur maximale de 29,12 m/an et un taux d'accrétion moyen de 0,69 m/an. Selon les critères énoncés plus haut.

Le taux moyen de changement du trait de côte, exprimé en EPR, est de  $-0,55 \pm 0,17$  m/an.

L'analyse des taux d'évolution de l'EPR et du NSM révèle une prédominance de l'érosion dans toutes les cellules sédimentaires étudiées, bien que certaines zones présentent des tendances à l'accrétion.

Les cellule A, C, I, indique un mouvement de 55.37m jusque 145.58 m, l'effet d'accumulation est fortement observé dans les zones d'embouchure des oueds existants.

Zones de forte érosion : Les cellules G, H, I et J présentent des taux moyens d'érosion élevés, avec des valeurs négatives significatives de l'EPR. Ces zones doivent faire l'objet d'une attention particulière dans le cadre des interventions de gestion côtière. Cellule E montre une légère tendance à l'accrétion. Le reste des cellules indique d'érosions stable entre -0.39m et -0.05m, ce qui suggère des processus sédimentaires favorables dans cette région.

Les fluctuations importantes des valeurs minimales et maximales des taux EPR et NSM pourraient mettre en évidence la variabilité spatiale de l'effet des forçages hydrodynamiques et l'action anthropisation.

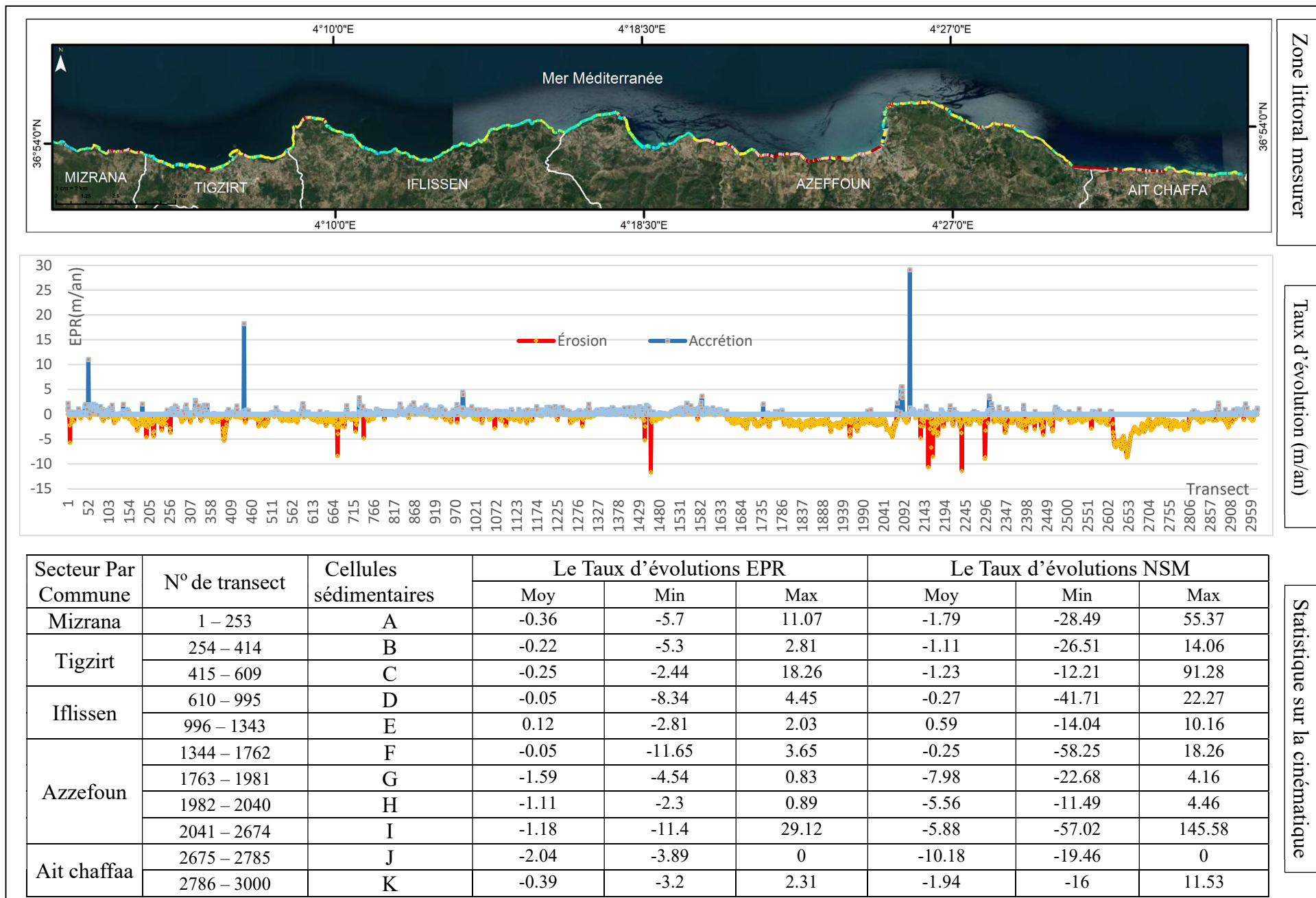


Figure III.5 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte et cartographie côtière de la zone étudiée (entre 2013\_2018)

### III.4.3. Évolution le trait de côte entre 2018 et 2023

L'analyse des données sur l'évolution du trait de côte dans notre zone d'étude sur cette période révèle des tendances significatives d'érosion et d'accrétion. Le mouvement net du trait de côte montre que 16,51 % des transects subissent une érosion, avec une distance maximale de recul de -23,67 m et une moyenne de -2,16 m. A l'inverse, 83,49 % des transects présentent une accrétion, avec une distance maximale de 72,93 m et une moyenne de 6,52 m. D'autre part, l'érosion présente la valeur maximale est de -4,73 m/an et le taux moyen d'érosion est de -0,43 m/an.

En termes de taux de changement EPR, le taux moyen est de 1,02 m/an, avec une incertitude de  $\pm 0,17$  m/an.

Les taux d'évolution de l'EPR et du NSM montrent des variations significatives entre les différentes cellules sédimentaires, reflétant des dynamiques côtières diversifiées :

Cellules à forte accrétion La cellule B présente le taux d'évolution EPR le plus élevé avec une moyenne de 1,69 m/an et un taux NSM de 8,43 m, indiquant une accrétion importante par rapport l'accumulation d'oued dans cette zone.

Les cellules I et K présentent également des taux d'accrétion élevés, avec des moyennes EPR de 1,45 m/an et 1,32 m/an respectivement, et des taux NSM de 7,24 m et 6,59 m.

Cellules à accrétion modérée : Les cellules G, H et A présentent un EPR moyen de 1,3 m/an, 1,14 m/an et 1,07 m/an respectivement, avec des taux de NSM de 6,5 m, 5,71 m et 5,33 m. Ces valeurs indiquent une accrétion modérée, contribuant à la stabilité de la croissance côtière.

La cellule J présente un EPR moyen de 0,94 m/an et un taux NSM de 4,71 m, reflétant une accrétion positive.

Les cellules C, D, E et F présentent une accrétion faible de taux d'EPR inférieurs à 1 m/an, avec des moyennes de 0,7 m/an, 0,64 m/an, 0,63 m/an et 0,56 m/an respectivement la stabilité relative avec une légère tendance à la croissance côtière.

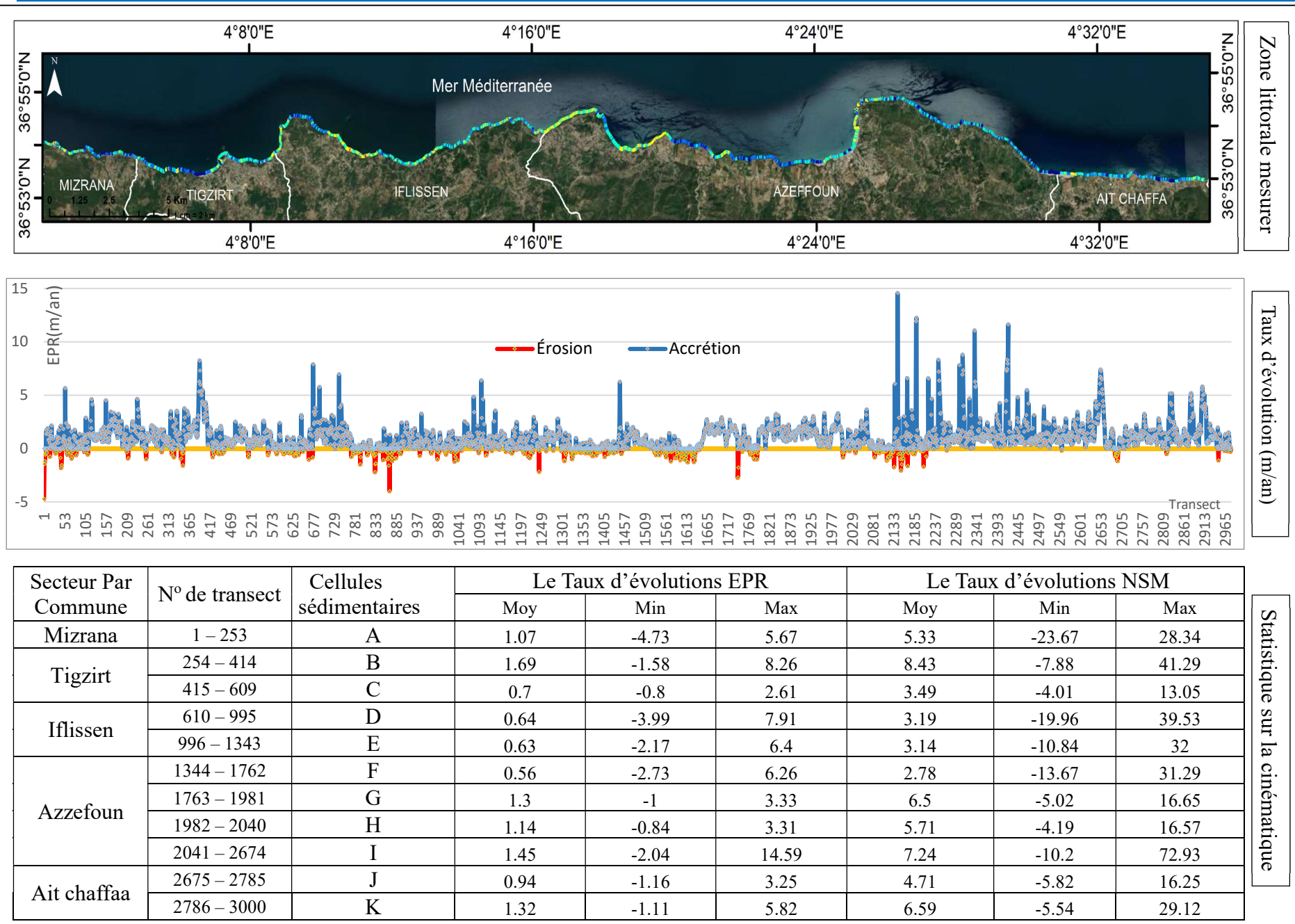


Figure III. 6 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte et cartographie côtière de la zone étudiée (entre 2013\_2018)

#### II.4.4. Évolution du trait de côte entre 2009 au 2023

Dans l'évolution de taux global l'analyse de l'évolution NSM. Selon les données, 16,47% des transects présentent une distance négative, indiquant une érosion, tandis que 83,53% présentent une distance positive, suggérant une accrétion.

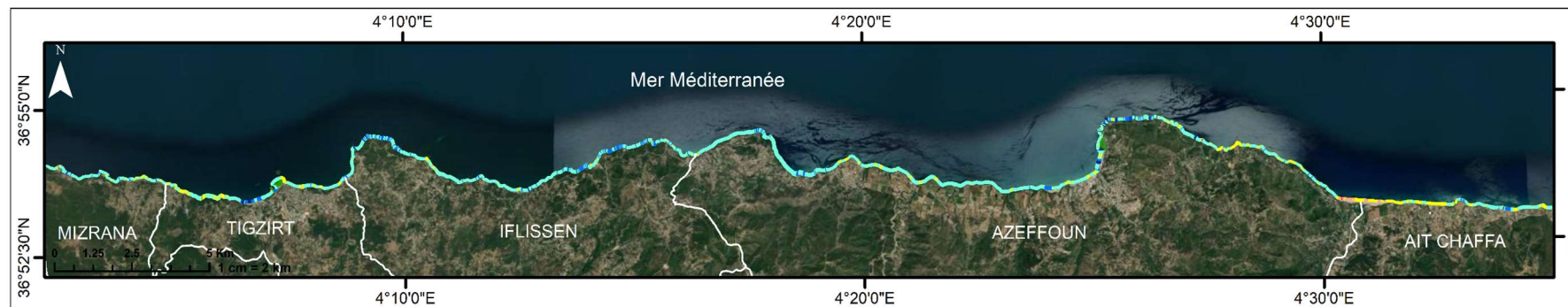
L'EPR moyen est accompagné d'une incertitude de  $\pm 0,06$  m/an, avec un taux moyen ajusté de  $0,4 \pm 0,06$  m/an. Parmi les transects, 13,09% présentent une érosion statistiquement significative, avec une valeur maximale de  $-2,03$  m/an et un taux d'érosion moyen de  $-0,37$  m/an.

D'autre part, les transects présentent une accrétion statistiquement significative, avec une valeur maximale de  $9,11$  m/an et un taux d'accrétion moyen de  $0,55$  m/an.

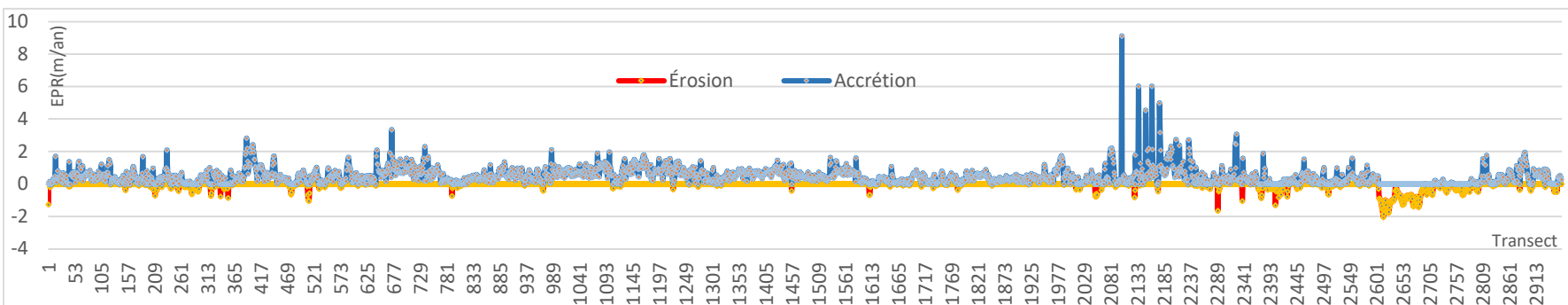
Le taux moyen de régression linéaire (LRR) est de  $0,3$  m/an, avec une incertitude de  $\pm 0,12$  m/an et une moyenne des intervalles de confiance de  $1,16$  m/an. Seuls  $0,51$  % des transects présentent une érosion statistiquement significative sous LRR, avec une valeur maximale de  $-2,49$  m/an et un taux d'érosion moyen de  $-0,38$  m/an.

En utilisant la régression linéaire pondérée (WLR), le taux moyen est également de  $0,3$  m/an, avec les mêmes incertitudes et intervalles de confiance que pour la LRR. Les résultats montrent que  $23,02$ % des transects sont érosifs, avec une érosion statistiquement significative dans  $0,51$ % des cas, la valeur d'érosion maximale étant de  $-2,49$  m/an et le taux d'érosion moyen de  $-0,38$  m/an. Les transects d'accrétion représentent  $76,98$ % du total, avec  $15,63$ % montrant une accrétion statistiquement significative, une valeur maximale de  $11,21$  m/an et un taux d'accrétion moyen de  $0,5$  m/an.

Ces résultats mettent en évidence la prédominance des processus d'accrétion dans la majorité des transects, bien que des segments significatifs présentent une érosion bien marquée. La forte accrétion dans certaines zones pourrait être attribuée à des apports importants de sédiments, tandis que les secteurs érosifs nécessitent une attention particulière pour la gestion côtière. Les méthodes de calcul EPR, LRR et WLR offrent des perspectives complémentaires pour comprendre l'évolution du trait de côte et orienter les stratégies de protection et de développement durable des zones côtières.



Zone littoral mètre



Taux d'évolution (m/an)

Secteur Par Commune	N° de transect	Cellules sédimentaires	Le Taux d'évolutions EPR			Le Taux d'évolutions NSM		
			Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Mizrana	1 – 253	A	0.39	5.27	9.32	0.3	0.3	0.39
	254 – 414	B	0.39	5.4	12.19	0.34	0.34	0.39
Tigzirt	415 – 609	C	0.4	5.47	8.08	0.31	0.31	0.4
	610 – 995	D	0.55	7.83	9.71	0.49	0.49	0.55
Iflissen	996 – 1343	E	0.7	9.85	10.77	0.63	0.63	0.7
	1344 – 1762	F	0.46	6.42	8.9	0.4	0.4	0.46
Azzefoun	1763 – 1981	G	0.38	5.26	9.81	0.15	0.15	0.38
	1982 – 2040	H	0.39	5.45	9.79	0.21	0.21	0.39
	2041 – 2674	I	0.27	3.77	13.79	0.11	0.11	0.27
Ait chaffaa	2675 – 2785	J	-0.32	-4.41	10.47	-0.49	-0.49	-0.32
	2786 – 3000	K	0.31	4.32	8.221	0.25	0.25	0.31

Statistique sur la cinématique

Figure III. 7 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte et cartographie côtière de la zone étudiée (entre 2013\_2018)

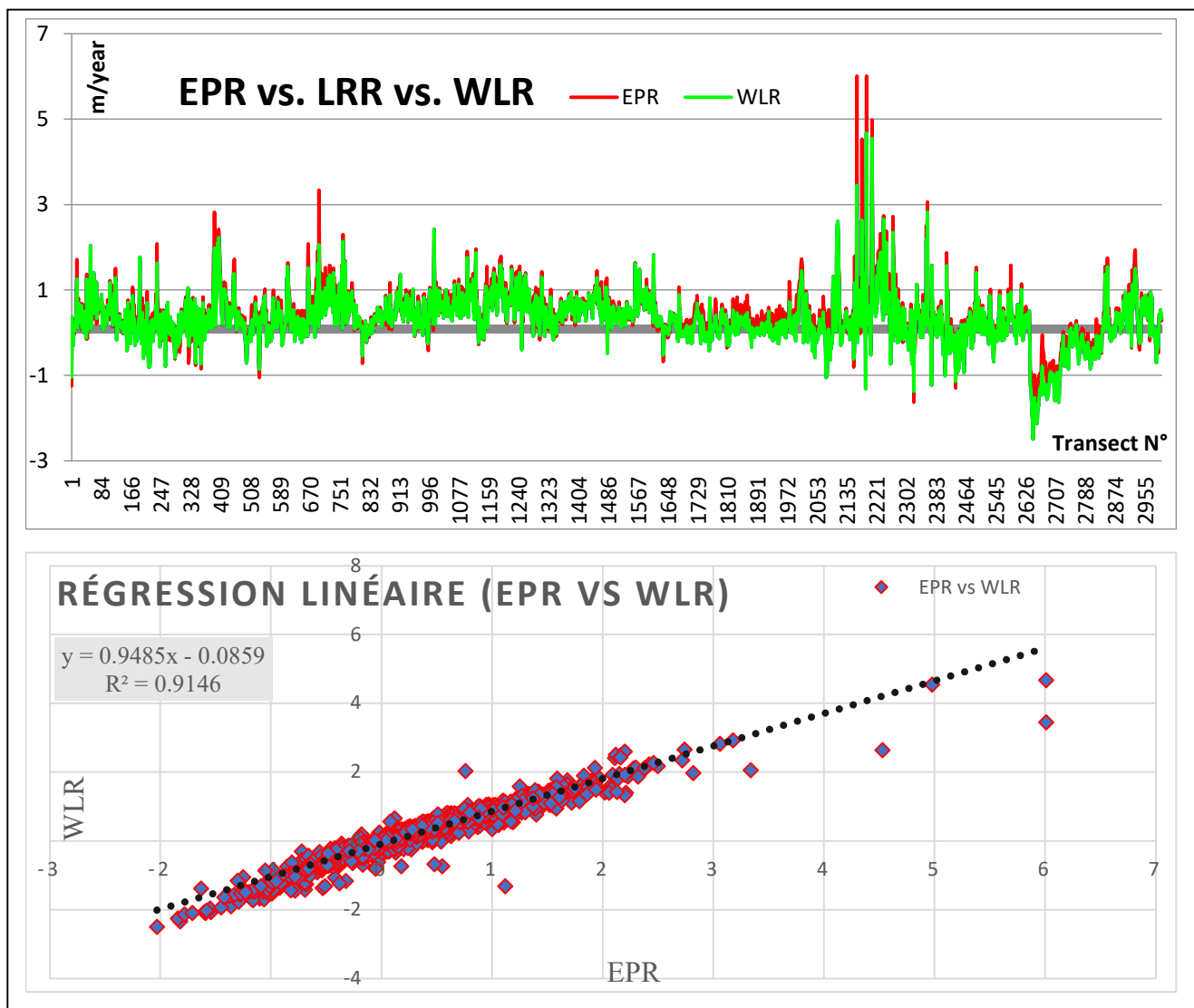


Figure III. 8 : Corrélation entre les taux d'évolution mesurés EPR et calculés LRR et WLR.

**III.4.5. Analyse spécifique de l'évolution des plages à galets et sableuse du littoral**

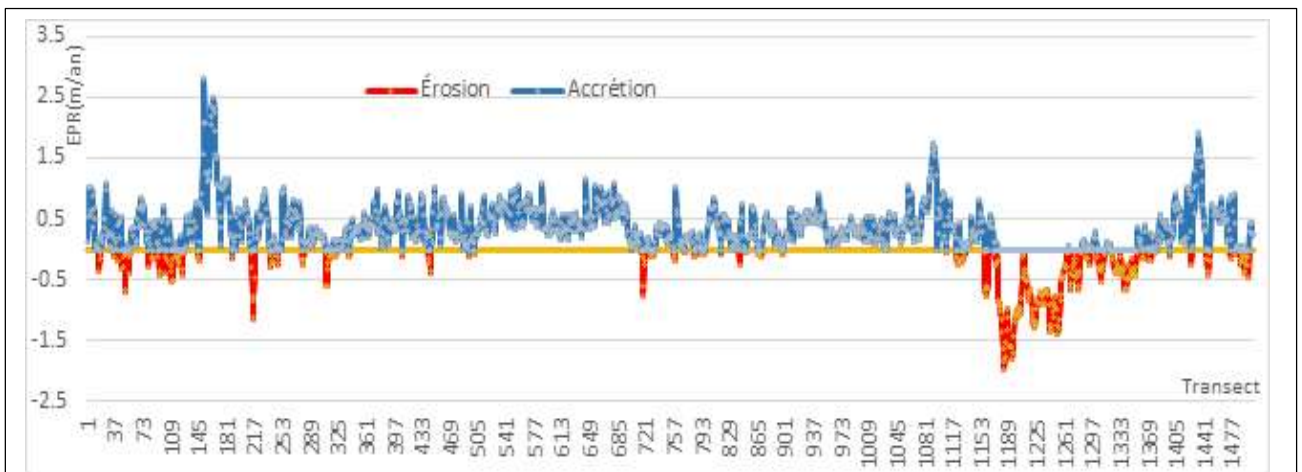
Sur la figure ci-dessous ; les zones en rouge montrent les taux d'érosion, où la côte recule, tandis que les zones en bleu montrent les taux d'accrétion, où la côte avance.

Des pics d'accrétion importants sont observés autour des transects 109-145, 685-721 et 1405-1441, avec des taux atteignant environ 2,5 à 3 mètres par an. On observe également des pics d'érosion importants, en particulier autour des transects 649-721 et 1145-1297, avec des taux allant jusqu'à -1,5 mètre par an. La majorité des segments de transects présentent des valeurs d'accrétion positives mais modérées (bleu), généralement entre 0 et 0,5 m/an.

L'érosion est présente mais semble être moins fréquente et moins intense que l'accrétion dans la plupart des segments, à quelques exceptions notables mentionnées ci-dessus.

Les segments 1-37 et 649-721 présentent une alternance de petits segments d'érosion et d'accrétion. Les segments 109-145 et 1405-1441 présentent des pics d'accrétion particulièrement élevés, tandis que les segments 1145-1297 sont dominés par l'érosion.

Certains tronçons présentent une récession importante avec des taux de -1,88 m/an, principalement due aux apports sédimentaires et aux déversements dans l'oued reliant les deux communes, créant d'importantes zones d'érosion.



Secteurs	N° de Transect	Taux d'évolutions globale de la zone des plage								
		EPR			NSM			SCE		
		Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Zone plage A	1 – 143	0.19	-0.66	1.07	2.61	-9.2	15.02	8.87	0.82	24.85
Zone plage B	144 – 289	0.33	-1.12	2.81	4.59	-15.61	39.38	6.36	1.97	41.18
Zone plage C	290 – 457	0.23	-0.58	1.02	3.22	-8.18	14.3	4.88	0.62	15.24
Zone plage D	458 – 587	0.51	-0.09	1.08	7.13	-1.26	15.11	7.96	1.29	15.11
Zone plage E	588 – 1174	0.34	-0.78	1.75	4.73	-10.92	24.45	8.87	1.3	28.07
Zone plage F	1175 – 1363	-0.51	-1.98	0.36	-7.68	-27.71	5.01	16.36	2.88	43.31
Zone plage G	1364 – 1505	0.38	-0.47	1.92	5.33	-6.61	26.84	9.64	1.08	27.66
Totale	1 – 1505	0.25	-1.98	2.81	3.57	-27.71	39.38	9.8	0.62	43.31



Figure III. 9 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte (zone des plages) et cartographie côtière de la zone étudiée (entre 2009\_2023)

Les figures représentent la dynamique côtière de différentes sections de la côte de Tizi Ouzou. Les interprétations ci-dessous évoquent plus en détail la cinématique de plages :

- De Mizrana à Tizirt (Figures 1-2)

La majorité de la zone indique une accrétion modérée avec un taux d'évolution moyen de 0.33m/an. Certaines sections montrent une érosion importante de -1.12m/an de vitesse de 41m et ça due les apports sédimentaire dans l'oued principale avec les activités des pêcheurs dans cette zone de la commune tizirt et mizrana

- Iflissen (figures 3)

La commune est beaucoup plus stable car la partie des falaise moyenne et basse important

- De Tizirt à Iflissen (figures 4-5)

La commune indique respectivement des zones d'accrétion et de forte accrétion. La présence de zones indique une stabilité, et quelques petites sections indiquent une érosion n'est pas important.

- D'Azeffoun à Ait Chaffa (Figures 6-7)

La progradation et l'accumulation dominant, avec un taux d'environ 2 m/an d'accrétion

### **III.5. Conclusion**

Globalement, le trait de côte montre une tendance à l'accrétion,

Les résultats indiquent que la majorité du linéaire côtier (78,32 %) de Tizi Ouzou présente un mouvement net positif du trait de côte, ce qui suggère une tendance générale à l'accrétion. Que se soit sur les plages sableuse ou des plages a galets avec un EPR Moy est de 0,25 m/an avec une Moy NSM de 3,57 m.

Bien que la majorité des segments côtiers étudiés subissent une accrétion modérée, certaines zones connaissent une érosion. Les zones de forte accrétion et érosion pourraient être influencées par des facteurs locaux spécifiques tels que les changements dans les courants marins, les apportes d'oueds, les activités humaines ou la géologie locale.

Ces données soulignent la nécessité de surveiller et de gérer les zones en érosion afin de protéger et de restaurer les plages de manière proactive. Les informations obtenues sont cruciales pour la planification de la gestion côtière et la prise de décision éclairée visant à protéger les côtes des risques d'érosion et à promouvoir des processus d'accrétion bénéfiques.

L'observation de taux de changement de l'EPR et du NSM constituent des indicateurs clés pour évaluer la dynamique du trait de côte et planifier des stratégies appropriées pour la protection et le développement durable des zones côtières.

**CHAPITRE IV :**  
**Les évènements**  
**extrêmes**

## IV.1. Introduction

Les événements extrêmes sont définis comme des phénomènes météorologiques sévères et inhabituels qui dépassent les normes historiques et entraînent des perturbations importantes aux systèmes naturels et humains. Parmi ces événements, on trouve les ouragans, les tempêtes, les vagues de chaleur, les sécheresses, les inondations et les tempêtes de poussière. **(Field et al. 2012)**

En milieu marin ; l'analyse consiste à étudier les valeurs maximales des hauteurs d'eau, souvent causées par des tempêtes, des marées exceptionnelles ou des tsunamis, pour évaluer les risques et les impacts potentiels sur les zones côtières. **(Montgomery & Runger, 2014).**

## IV.2. Quelques définitions

### IV.2.1. Hauteur significative (Hs)

La hauteur significative des vagues (Hs) est la moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues enregistrées sur une période donnée. Elle est couramment utilisée pour décrire l'état de la mer et la puissance des vagues. **(Dean & Dalrymple, 1991).**

$H_s = 1.6H_m$  (hauteur moyenne)

### IV.2.2. Houles extrêmes

Les houles extrêmes se réfèrent aux vagues les plus hautes et les plus puissantes générées par des événements météorologiques ou océaniques rares et intenses, comme les cyclones, les tempêtes ou les ouragans. **(Holthuijsen, 2007).**

### IV.2.3. Période de retour d'un événement

C'est l'intervalle moyen de temps entre les occurrences d'un événement d'une certaine intensité ou grandeur. Elle est utilisée en hydrologie, météorologie et géotechnique pour évaluer la fréquence des événements extrêmes. **(Chow, Maidment, & Mays, 1988).**

## IV.3. Théorie des valeurs extrêmes

On définit les événements extrêmes comme des phénomènes rares. Une des méthodes qui permettent de modéliser la distribution de probabilités Statistique est celle des événements extrêmes **(Coles. 2001)**. En d'autres termes, elle est utilisée pour déterminer des limites en estimant des modèles statistiques qui s'adaptent aux valeurs extrêmes des données observées **(Cornel. 2015).**

Pour l'approche de calculs des houles extrêmes. Nous avons utilisé une base de données compte des enregistrements de houles entre 1992-2022

L'analyser des valeurs est classées en deux méthodes (FigureIV.1).

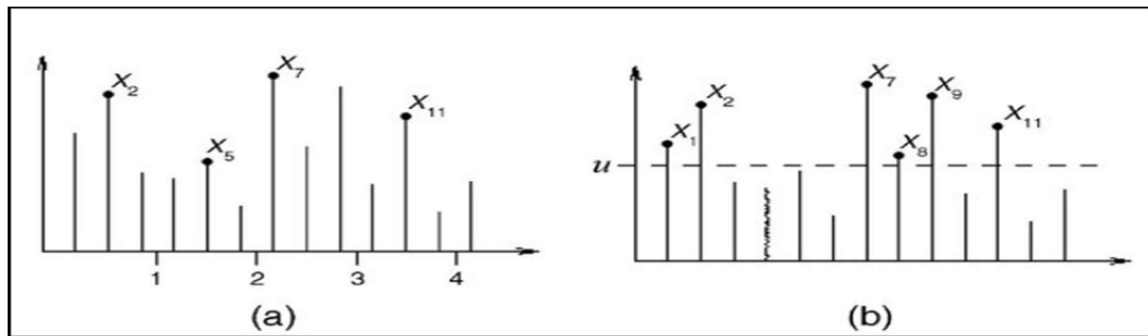


Figure IV. 1: representation de la méthode Block Maxima(a), méthode Peak-Over-Threshold(b).

### IV.4. Méthode bloc maxima

La méthode consiste à considérer seulement le maximum de chaque bloc de données (Figure a). Ces maximas sont utilisés pour ajuster la loi Généralisé des Valeurs Extrêmes afin de modéliser les événements extrêmes. (Cornel Stander, 2015).

Cette méthode ne peut pas contenir toutes les données de grandes amplitudes lorsqu'elles sont regroupées dans le même bloc. Le théorème des Blocs Maxima suit la loi approchée du maximum d'un grand nombre d'observations (Delcaillau et al, 2018). On considère l'observations  $(x_1, \dots, x_n)$  ; on regroupe les données en  $k$  blocs de longueur  $l$  et on calcule le maximum  $(m_i)$ , sur chaque bloc. Pour estimer la loi de la variable aléatoire  $m_i$  (GEV (Equation III-1 et Equation III-2))

Equation IV.1 :  $F(x; \mu; \sigma; k) = \exp(-[1+kx-\mu\sigma]^{-1/k})$  pour  $x$  vérifiant  $1+kx-\mu\sigma > 0$  et  $k \neq 0$

Equation IV.2 :  $F(x; \mu; \sigma; k) = \exp(-\exp\{(x-\mu)/\sigma\})$ , pour  $x \in \mathcal{R}$  et  $k=0$

$\mu$  : paramètre de position,  $\sigma$  : paramètre d'échelle,  $k$  : paramètre de forme

(Les cas :  $k < 0$  la loi de Weibull.  $k > 0$  la loi de Fréchet.  $k=0$  la loi de Gumbel)

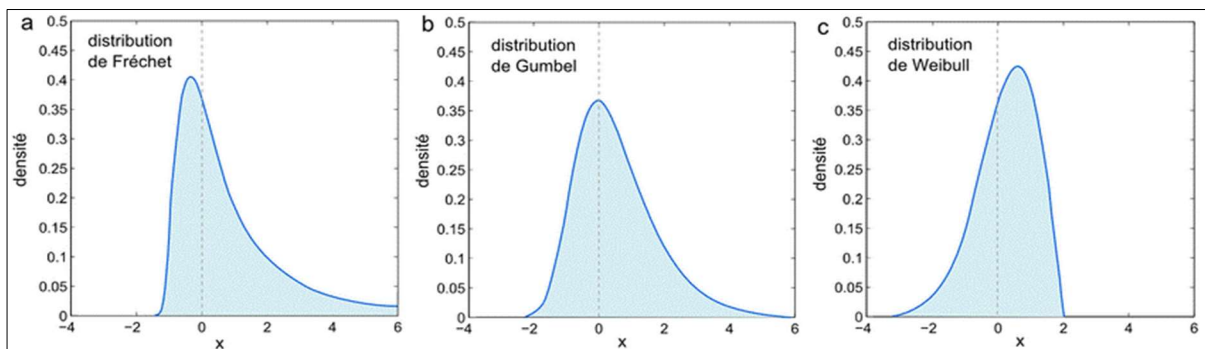


Figure IV. 2: Représentation des distributions possible de la méthode GEV (Kh. Tilbi, 2018)

#### IV.4.1. Application de la loi GEV

Selon la loi, il y-a deux distributions Gumbel et Weibull ; pour estimer Hs par périodes de retour pour l'omnidirectionnel et pour le directionnel la distribution de Gumbel a été choisie. L'analyse des données a été réalisée avec la bibliothèque pyextrême en utilisant le langage Python sur l'interface Google-Colab. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphiques et de tableaux.

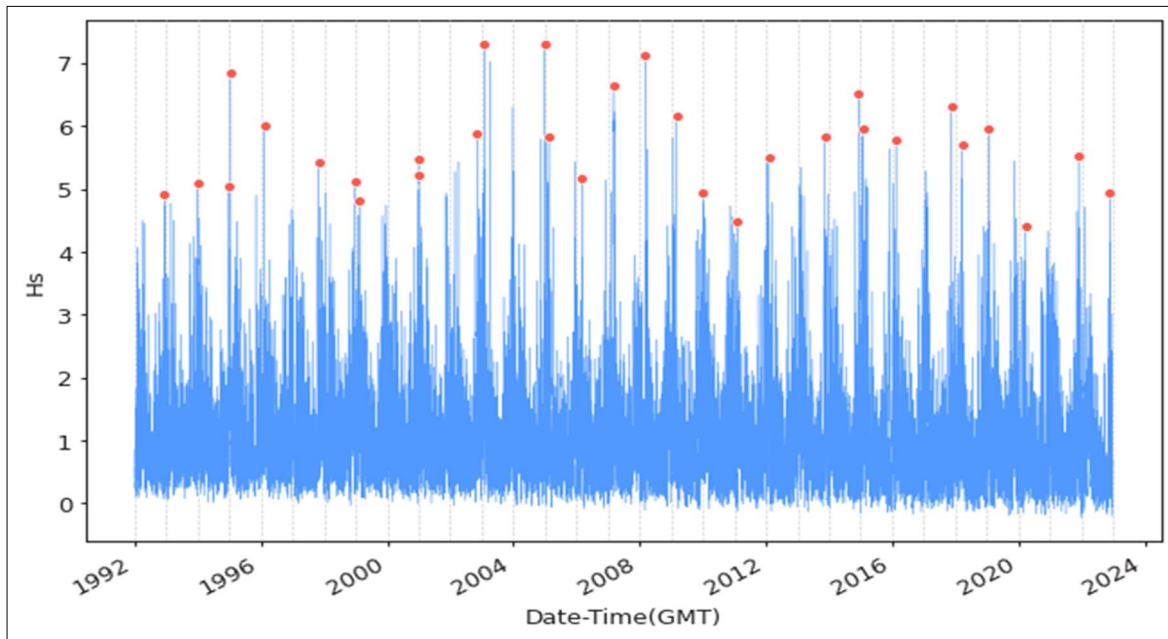


Figure IV. 3: Représentation des hauteurs de houles entre 1992–2022 par le Bloc maximas

#### IV.4.2. Résultats de distribution

Le résultat obtenu donne un graphique compte les limites d'erreurs acceptables de 15% par la distribution de Gumbel. Représente le Hs dans la ligne noire par le crois rouge de chaque période avec limites inférieure en rouge et supérieure en orange, provenant de toutes directions (Omni Directionnel) pour les périodes de retour pour simplifier les résultats de graphe (Tableau1) de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 500, 1000 ans.

Tableau IV-1 indique les résultats des hauteurs de houles par la distribution de Gumbel. L'analyse des hauteurs omnidirectionnelles a enregistré les résultats les plus élevés, car le modèle simule les hauteurs maximales possibles de la série de données dans le cas omnidirectionnel correspondant à la période de retours 1000 ans.

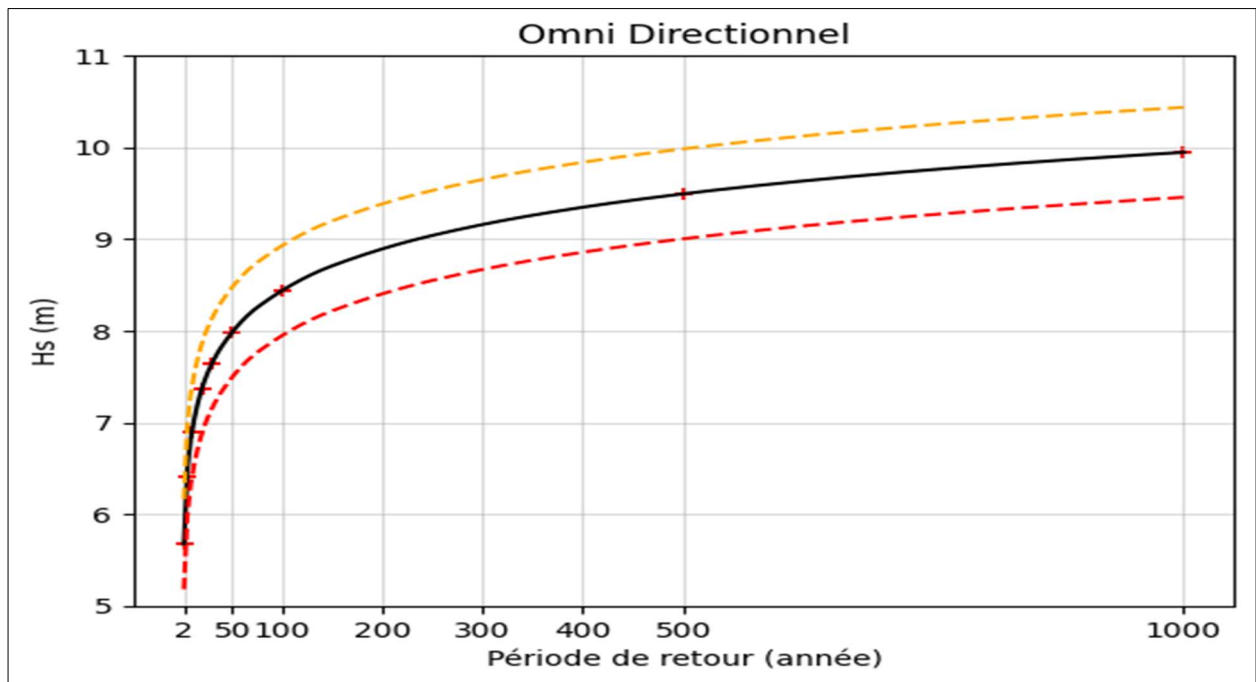


Figure IV. 4 : Estimation des événements extrêmes d'après la distribution Gumbel

Tableau IV. 1 : représente les périodes de retour avec la distribution omni directionnelle

Période de retour (an)	Valeur de retour (m)	Lower_ci (limite Inf)(m)	Upper_ci (limite Sup)(m)
2	5.58	5.39	5.77
5	6.33	6	6.56
10	6.82	6.39	7.12
20	7.29	6.76	7.66
50	7.90	7.23	8.34
100	8.36	7.59	8.86
500	9.42	8.39	10.05
1000	9.88	8.75	10.59

Le tableau IV.1 montre les hauteurs de houle (Hs) prédites pour différentes périodes de retour et différentes directions. La figure illustre les résultats obtenus par la méthode GEV en utilisant la distribution de Gumbel. Les hauteurs de houle (Hs) augmentent généralement avec la période de retour, ce qui est attendu puisque les événements plus rares (périodes de retour plus longues) tendent à être plus intenses. On constate que la direction présentant le moins de risques est l'Est (E), tandis que les directions générant les houles les plus élevées sont le Nord (N), suivi du N-N-W et du N-N-E, qui contiennent des valeurs importantes. En général, l'analyse de Hs omnidirectionnelle enregistre des valeurs élevées, à l'exception de la direction Nord (N).

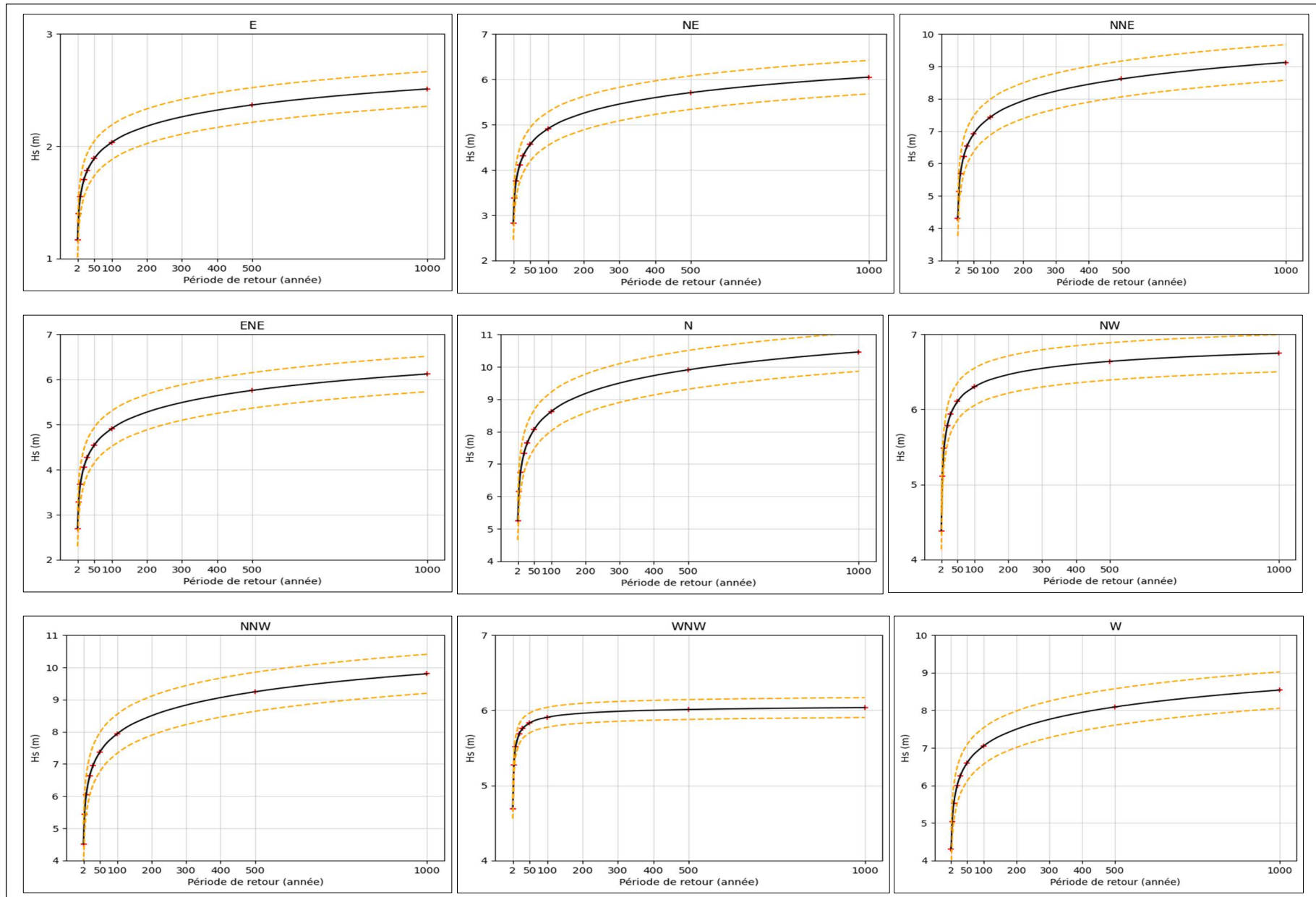


Figure IV. 5 : Estimation des événements extrêmes via la distribution de Gumbel pour chaque direction

Tableau IV. 2 : Résultats de l'estimation des évènements par la distribution de Gumbel

Hauteur de houle (Hs) prédite par direction (m) _Méthode GEV distribution de Gumbel										
P_R (ans)	E	NE	NNE	ENE	N	NW	NNW	WNW	W	Omni
2	1.16	2.82	4.31	2.69	5.25	4.38	4.51	4.69	4.3	5.58
5	1.39	3.38	5.14	3.28	6.15	5.11	5.43	5.27	5.04	6.33
10	1.55	3.75	5.69	3.68	6.75	5.48	6.04	5.52	5.53	6.82
20	1.69	4.11	6.22	4.05	7.32	5.79	6.62	5.68	5.99	7.29
30	1.78	4.31	6.53	4.27	7.65	5.94	6.95	5.76	6.26	7.64
50	1.89	4.57	6.91	4.54	8.06	6.11	7.37	5.83	6.59	7.9
100	2.03	4.91	7.42	4.91	8.62	6.29	7.94	5.91	7.05	8.36
500	2.37	5.7	8.61	5.76	9.91	6.64	9.24	6.01	8.09	9.42
1000	2.51	6.05	9.12	6.12	10.46	6.75	9.8	6.04	8.54	9.88

### IV.5. Méthode de GPD

La méthode consiste à conserver toutes les observations qui dépassent un seuil choisi pour modéliser les données et à ajuster la loi de POT. (Cornel Stander, 2015).

Cette méthode permet de suivre plusieurs événements dans chaque bloc, Ajuster les excédents à une distribution de Pareto généralisée pour estimer la probabilité de dépassement du seuil. L'équation générale de la méthode POT c'est la fonction de distribution cumulative des valeurs de seuil qui montre l'équation suivant  $F(x)=1-(1+\xi(x-u/\sigma))^{-1/\xi}$

Si  $u$  : paramètre de seuil,  $\xi$  : paramètre de forme,  $\sigma$  : paramètre d'échelle.

#### IV.5.1. Application de la distribution GPD

Pour définir le seuil optimal, on visualise la fin de la stabilisation et le début de l'instabilité sur le graphique des résidus. Le seuil doit se situer sur la ligne droite avant que les variations du résidu moyen n'apparaissent. L'analyse de ce calcul de la moyenne résiduelle a été effectuée avec la bibliothèque pyextreme sous langage Python, afin de suivre les variations et choisir le seuil approprié. Le seuil retenu est  $u=4$ . Cela est confirmé par le graphe représentant la stabilité des paramètres. Le graphique de la moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelles de l'enregistrement est illustré dans la Figure IV.6.

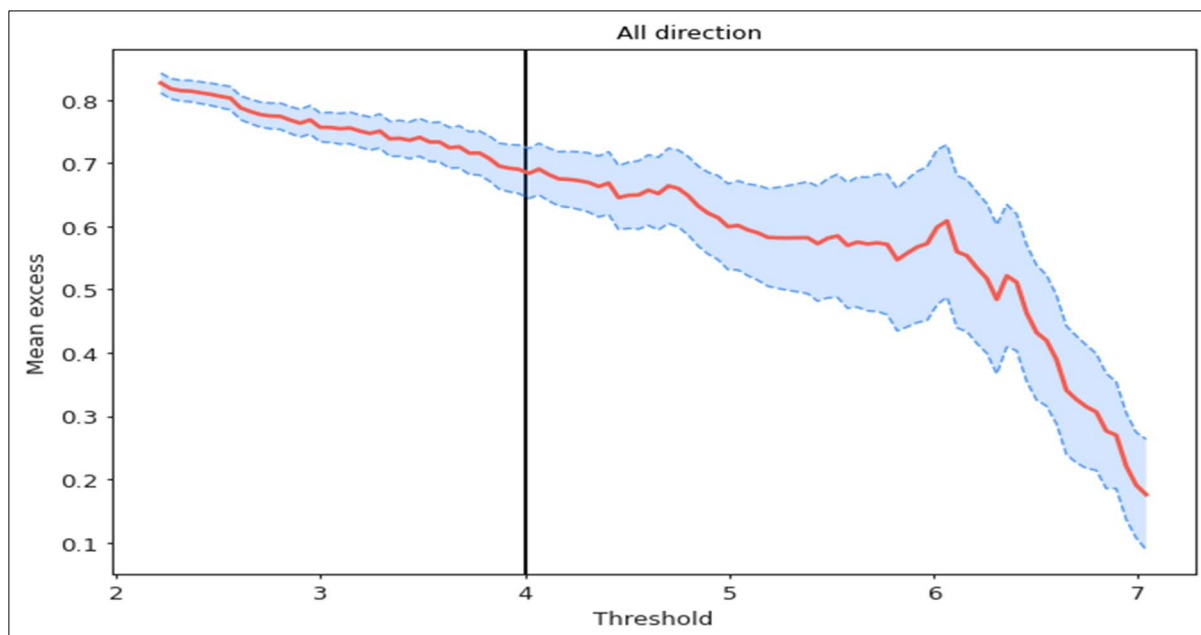


Figure IV. 6 : Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelles de l'enregistrement

La Figure IV.7 présente la distribution après la fixation du seuil et montre l'ensemble des valeurs extrêmes dans chaque bloc d'après la méthode de POT. Elle illustre l'ensemble des points et inclut plusieurs valeurs importantes.

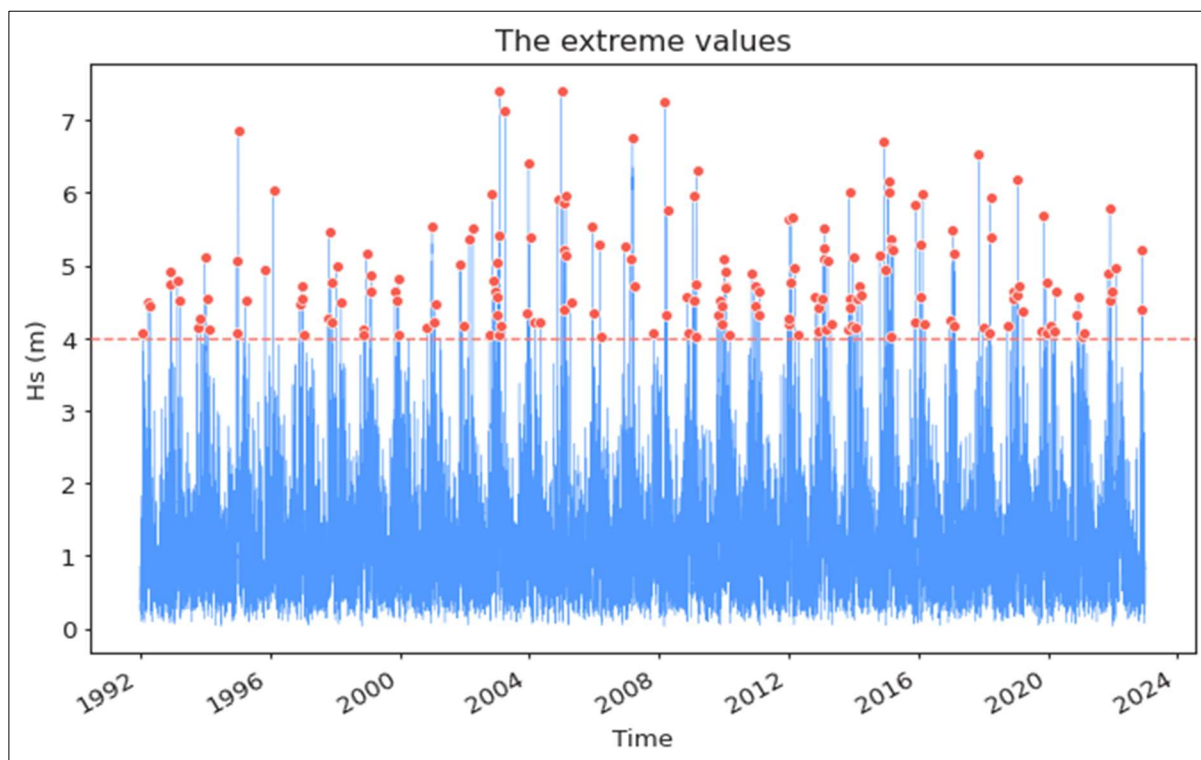


Figure IV. 7: Représentation des hauteurs des houles dépassant le seuil

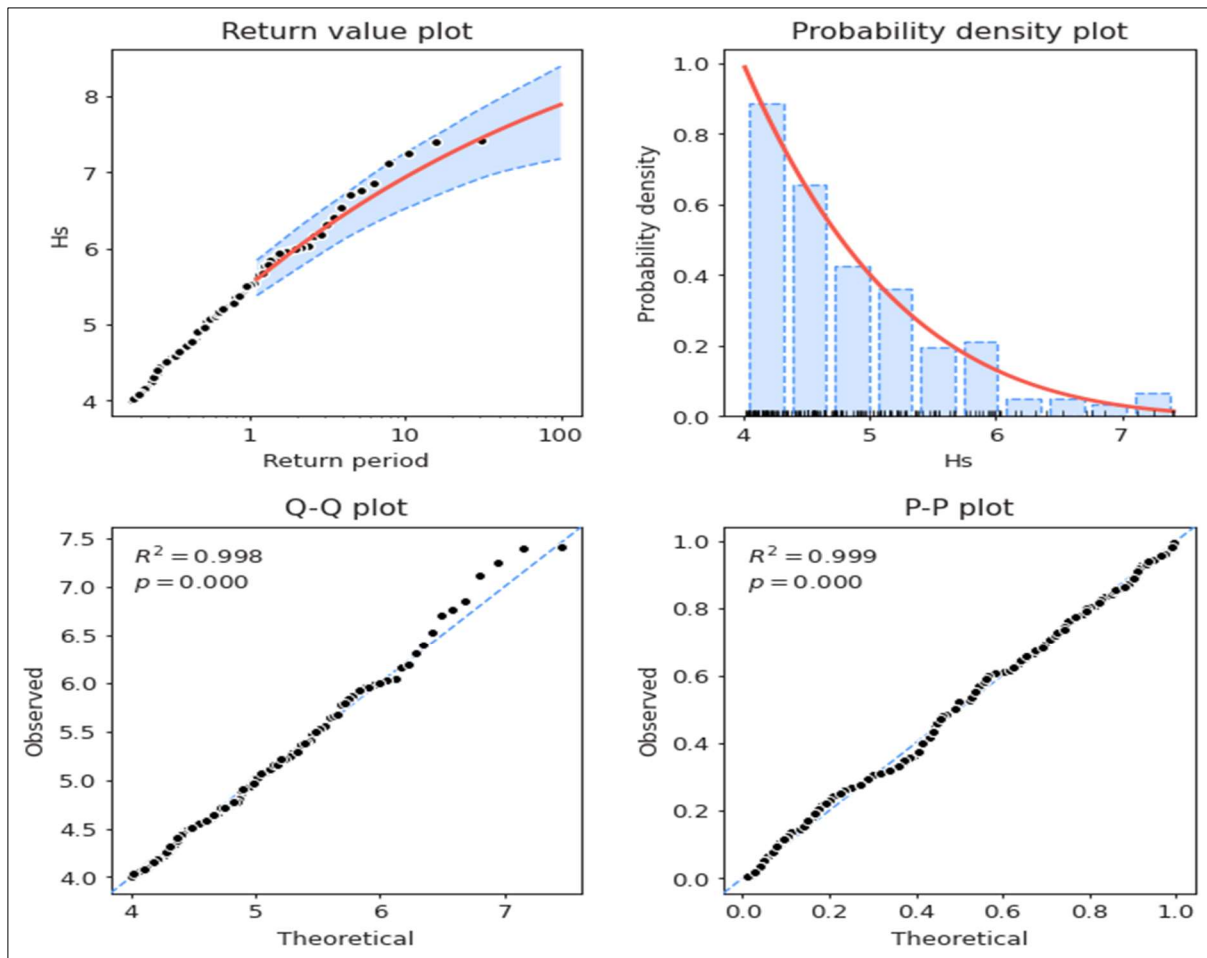


Figure IV. 8 : La probabilité de période de retour et leur Hs par rapport au seuil

L'analyse statistique montre que la distribution théorique ajustée correspond bien aux données observées de hauteurs significatives de vagues. Les graphiques Q-Q et P-P confirment l'ajustement parfait du modèle théorique, ce qui est crucial pour des prévisions précises des hauteurs de vagues pour différentes périodes de retour.

Les graphiques Q-Q et P-P sont des outils puissants pour vérifier visuellement et statistiquement la correspondance entre une distribution observée et une distribution théorique, et ils montrent dans votre analyse que la distribution des hauteurs significatives de vagues suit bien la distribution théorique ajustée. (Montgomery & Runger, 2014).

#### IV.5.2. Résultats de la distribution

Les résultats obtenus par la distribution de POT pour analyse de donnée considérant toutes directions (Omni Directionnel) sont représentés sur le graphique ci-dessous. Les lignes rouges sont les limites d'erreurs acceptables fixé à 15%. Les hauteurs des vagues (Hs) ; dont les

périodes de retour sont respectivement de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 500, 1000 ans ; sont représentées par les croix rouge.

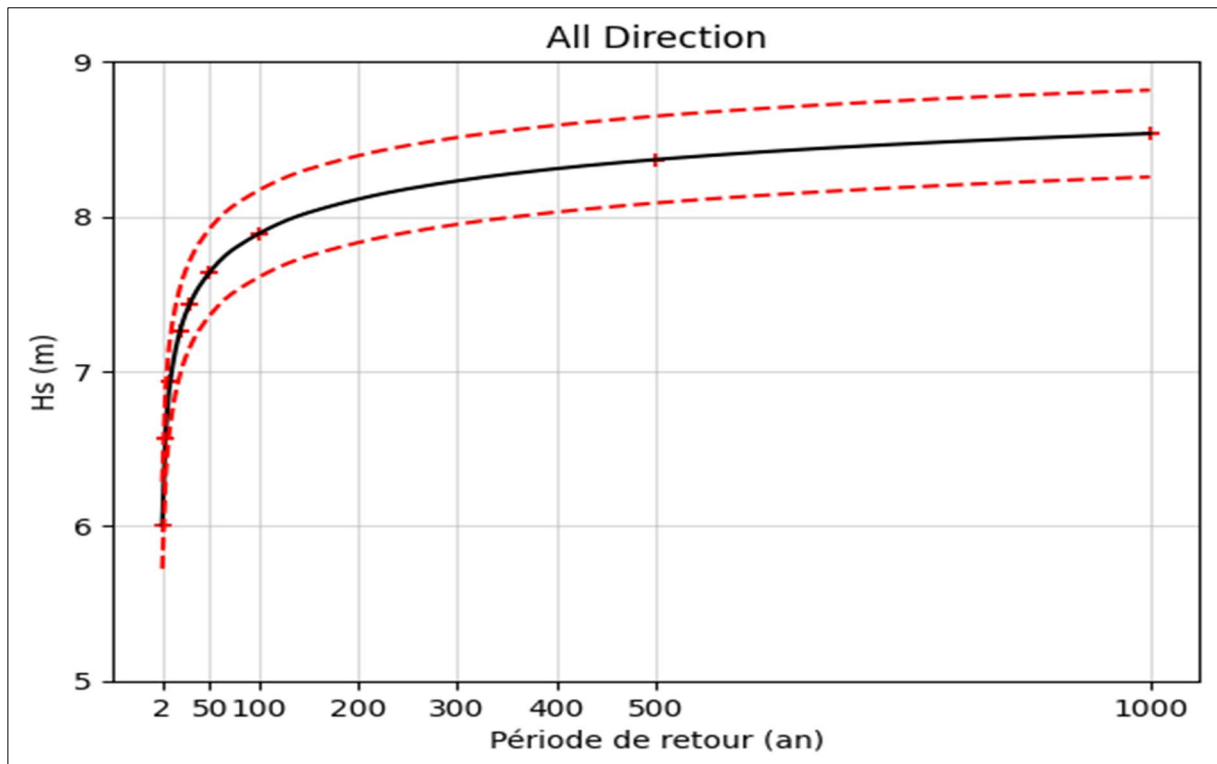


Figure IV. 9 :: Estimation des événements extrêmes d'après la méthode POT (Omni directionnel)

Pour faciliter la lecture des résultats ; on résume l'ensemble des hauteurs extrêmes obtenues en fonction des périodes de retour de ces événements extrêmes prévisionnelle dans le tableau suivant

Tableau IV. 3 : : représenté les Valeurs de chaque période de retour avec une distribution omni directionnelle

Période de retour (an)	Valeur de retour (m)	Lower_ci (m)	Upper_ci (m)
2	6.01	5.84	6.17
5	6.57	6.35	6.76
10	6.93	6.67	7.18
20	7.26	6.94	7.57
50	7.64	7.19	8.06
100	7.89	7.37	8.44
500	8.37	7.64	9.2
1000	8.53	7.74	9.49

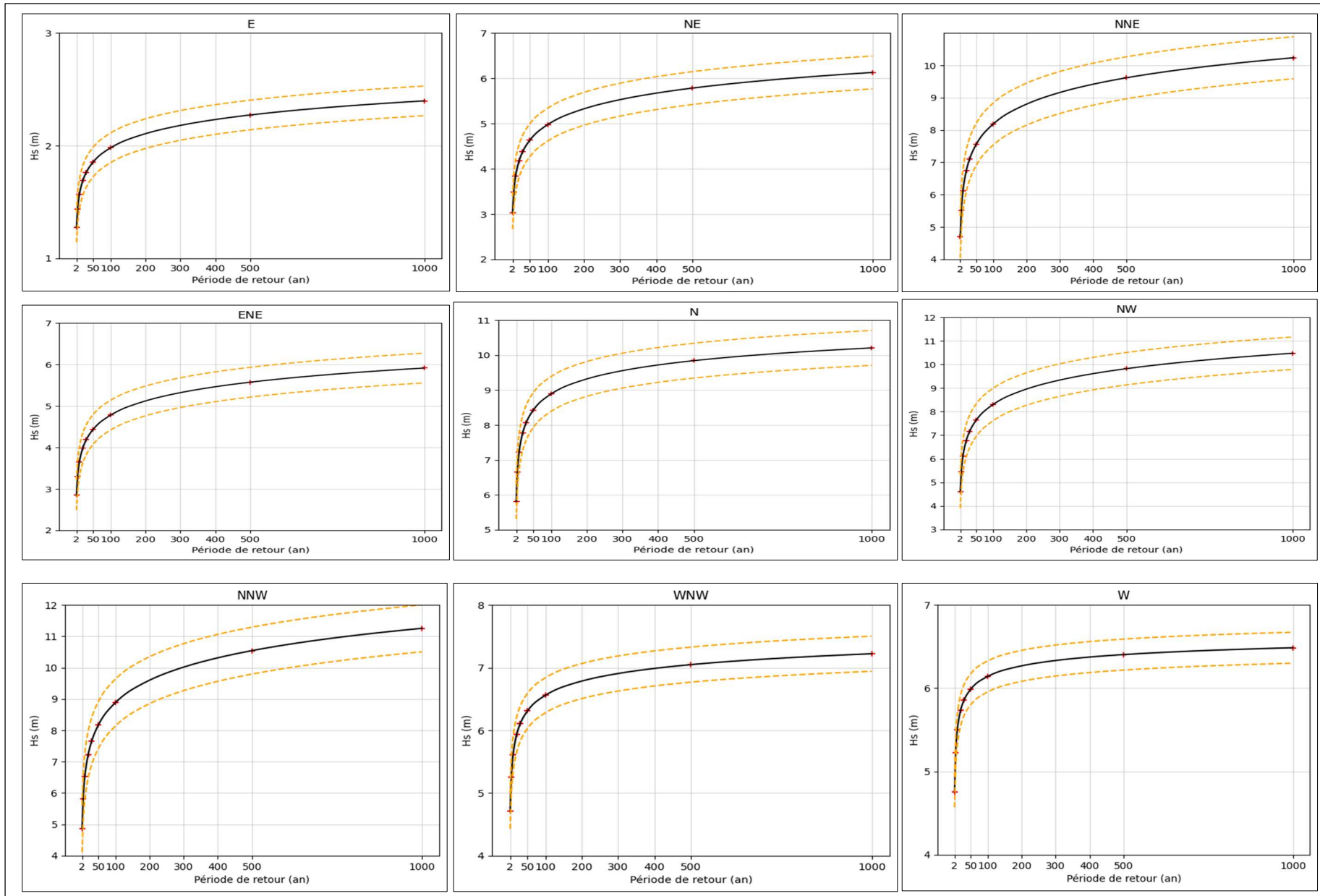


Figure IV. 10 : Estimation des événements extrêmes via la distribution de GPD pour chaque direction

Tableau IV. 4 : Résultats de l'estimation des évènements extrêmes par la distribution POT

Hauteur de houle (Hs) prédite par direction (m) via la Méthode POT										
P_R (ans)	E	NE	NNE	ENE	N	NW	NNW	WNW	W	Omni
2	1.27	3.03	4.69	2.85	5.81	4.59	4.86	4.71	4.75	6.01
5	1.44	3.48	5.51	3.3	6.64	5.46	5.8	5.25	5.22	6.57
10	1.56	3.83	6.12	3.64	7.23	6.12	6.52	5.61	5.5	6.93
20	1.69	4.18	6.74	3.98	7.77	6.78	7.23	5.94	5.74	7.26
30	1.76	4.38	6.88	4.18	8.07	7.16	7.65	6.11	5.86	7.44
50	1.86	4.63	7.56	4.44	8.43	7.64	8.17	6.31	5.99	7.64
100	1.98	4.98	8.18	4.78	8.89	8.3	8.89	6.56	6.14	7.89
500	2.27	5.78	9.62	5.57	9.84	9.83	10.54	7.05	6.4	8.37
1000	2.39	6.13	10.23	5.91	10.21	10.48	11.26	7.22	6.48	8.53

D'après la Figure IV.10 et le tableau IV.4 qui résumant les résultats directionnels issus de la méthode POT. On constate que les directions générant les houles les plus élevées c'est le Nord (N) d'après une période de retour de 10-100ans, puis la direction NNE et NW avec des valeurs importantes, mais après une période de 500 et 1000 le Nord-Nord-Ouest (NNW) c'est la direction ayant les hauteurs de houle les plus élevées.

**NB :** nous considérons que l'analyse de Hs omnidirectionnelle enregistre des valeurs statistiques plus logiques que pour une analyse directionnelle ; car l'étude est fondée sur une analyse probabiliste ou la direction de l'évènement le plus pénalisant reste inconnue.

#### IV.6. Comparaison entre la méthode POT et de GEV

Pour se positionner sur le choix de résultats, à considérer, issu des deux distributions ; nous avons comparé entre les deux résultats. Dans cette analyse, nous allons juste utiliser l'approche omnidirectionnelle pour déterminer la méthode à utiliser dans la partie suivante. Le graphe suivant donne la comparaison entre la méthode de POT et GEV.

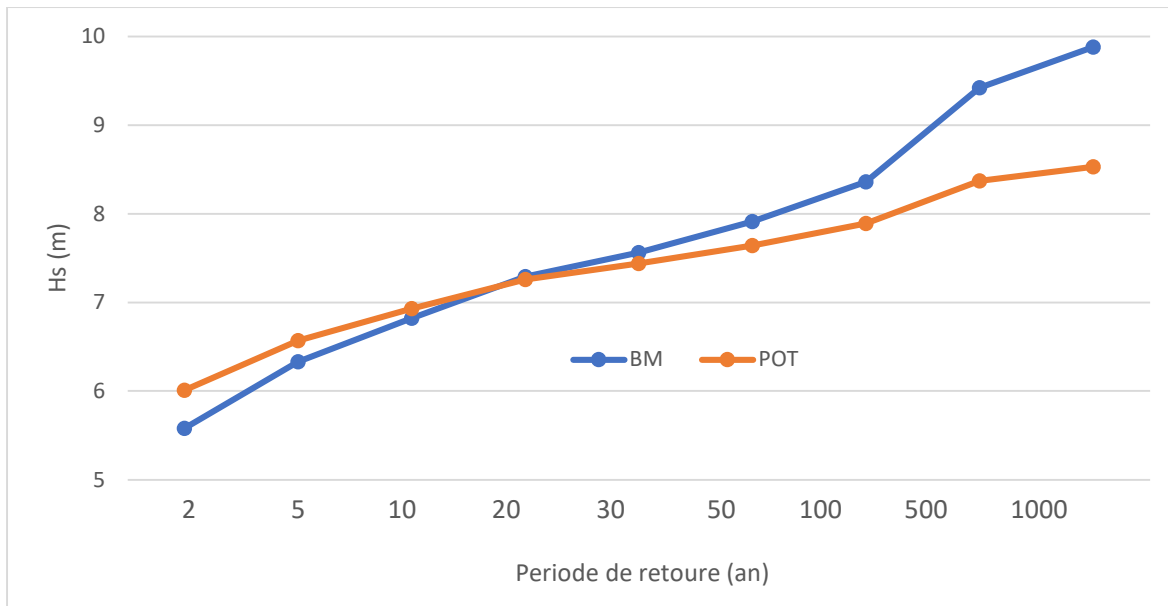


Figure IV. 11: Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes POT et BM

A partir de la Figure, on peut constater que les deux méthodes ont presque les mêmes résultats. On peut voir que la méthode de POT donne des valeurs supérieures dans les périodes de 2-5-10 ans mais après la période de retour vingtennale le BM (distribution Gumbel) donne des valeurs plus élevées que la méthode de POT.

Pour le cadre de cette étude le choix des résultats à considérer s'est porté sur les résultats de la méthode POT.

#### IV.7. Conclusion

Les données fournies après l'analyse de données par la méthode des événements extrêmes, par les deux méthodes, confirment que les hauteurs de houles augmentent avec la période de retour, et que certaines directions (notamment NW et WNW) sont plus susceptibles d'être les secteurs présentant des houles de grande hauteur. Il est clair que ces événements exceptionnels prédits expriment un risque majeur pour les côtes ; c'est ce qui rend la modélisation hydrodynamique de ces tempêtes cruciale pour l'évaluation concrète de la vulnérabilité de la côte face au risque lié, d'une part, et sa gestion, d'autre part, par la conception des infrastructures, et la mise en place de stratégies de prévention et de protection.

**CHAPITRE V :**

**Modélisation**

**Hydrodynamique**

## V.1. Introduction

La connaissance de la probabilité statistique des événements extrêmes avec la considération de la donnée bathymétrique qui a été fournie, permet la mise en place d'un modèle. Ce dernier simule le comportement hydrodynamique pour différentes conditions en vue des prévisions de la fragilité du littoral face à ces forces hydrodynamiques.

La modélisation numérique est une technique scientifique qui utilise des modèles mathématiques qui décrivent des phénomènes physiques en mer ; elle permet de représenter avec précision les processus complexes qui se déroulent dans les environnements marins, tels que les courants océaniques, la propagation des vagues, les variations de la température et de la salinité de l'eau. **(Huang et al., 2010).**

Pour modéliser l'impact hydrodynamique sur le comportement de la submersion, on considère le régime des événements extrêmes de houles et leur période, ainsi que le vent et la bathymétrie de la zone. Tandis que dans le contexte d'évaluation de l'indice de vulnérabilité physique ; la houle considérée est la houle moyenne. La modélisation débute par une étude bathymétrique, qui constitue la base de l'analyse. Ensuite, les données recueillies sont intégrées dans le système de simulation Mike21, en utilisant les modules SW (Spectral Wave), HD (Hydrodynamique) ainsi que la génération de la maille (mesh generator) pour représenter la bathymétrie. Cela permet de suivre les zones à risque.

## V.2. Description du modèle

MIKE 21 est un outil de modélisation numérique développé par DHI (Danish Hydraulic Institute) pour simuler l'hydrodynamique en deux dimensions. Ce logiciel est conçu pour une large gamme d'applications dans les domaines de l'hydrodynamique, des vagues, de la qualité de l'eau, et du transport des sédiments. **(DHI, 2014)**

### V.2.1. Modélisation Hydrodynamique (HD)

Le module permet de simuler les courants, les niveaux d'eau et les écoulements dans les environnements marins, côtiers et fluviaux. Il repose sur les équations de Saint-Venant en deux dimensions, qui sont une version simplifiée des équations de Navier-Stokes pour les écoulements peu profonds.

Ce module est utilisé pour une variété d'applications, incluant la gestion des inondations, l'étude des marées, la modélisation des courants côtiers, et la gestion des ressources en eau.

Le module HD utilise les équations de Saint-Venant en deux dimensions (2D), qui sont dérivées des équations de Navier-Stokes moyennées pour des écoulements peu profonds. Ces équations décrivent la conservation de la masse (continuité) et de la quantité de mouvement dans les directions horizontales.

### Équation de Continuité

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = hs \quad \text{Équation 1}$$

### Équations de Quantité de Mouvement :

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = h(f_v - \tau_{bx}) \quad \text{Équation 3}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial y} = h(f_v - \tau_{by}) \quad \text{Équation 2}$$

Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies comme suit :

$$h\vec{u} = \int_{-d}^n u dz \quad \text{Équation 4}$$

$$h\vec{v} = \int_{-d}^n v dz \quad \text{Équation 5}$$

Les forces de contrainte latérales  $T_{ij}$ : Elles sont calculées à partir d'une viscosité turbulente.

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial u}{\partial x'} \quad \text{Équation 7}$$

$$T_{yy} = 2A \frac{\partial v}{\partial y'} \quad \text{Équation 6}$$

$$T_{xy} = A \left( \frac{\partial u}{\partial y'} + \frac{\partial v}{\partial x'} \right) \quad \text{Équation 8}$$

Sachant que :

- $h$  est la hauteur d'eau.
- $u$  et  $v$  sont les vitesses dans les directions  $x$  et  $y$ .
- $g$  est l'accélération due à la gravité.
- $f_u$  et  $f_v$  sont les forces de Coriolis.
- $\tau_{bx}$  et  $\tau_{by}$  sont les tensions de fond.
- $h = \eta + d$  La profondeur d'eau totale.
- $\nu_t$  Viscosités turbulentes verticale.
- $h$  L'élévation de la surface.
- $d$  La profondeur d'eau.
- $\rho_0$  La densité de référence de l'eau

### V.2.2. Modélisation des Vagues Spectrales (SW)

Le module est conçu pour simuler la propagation, la croissance et la décomposition des vagues. Ce module prend en compte les interactions complexes entre les vagues, le vent, la bathymétrie et les courants, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur.

#### Équation de Transport Spectral

Cet équation version simplifiée de l'équation d'énergie des vagues de surface. Cette équation décrit la distribution de l'énergie des vagues dans l'espace et le temps, en tenant compte des interactions avec le vent, la bathymétrie et les courants.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} \quad \text{Équation 9}$$

#### Équations en eaux peu profondes

Le modèle est basé sur la résolution des équations de Navier-Stokes, sous les hypothèses de Bousines et de pression hydrostatique.

L'équation de continuité locale :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad \text{Équation 10}$$

Les deux équations d'impulsion horizontale pour les composantes  $x$  et  $y$  sont respectivement

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial u^2}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = f_v - \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad \text{Équation 11}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = f_v - \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad \text{Équation 12}$$

Les termes de contraintes horizontales sont décrits à l'aide d'une relation gradient-contrainte et sont simplifiées dans l'Équation suivante

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad \text{Équation 14}$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) \quad \text{Équation 13}$$

### Équations de conservation de l'action des vagues

L'équation fondamentale décrivant l'action des vagues est l'équation d'équilibre, exprimée en coordonnées cartésiennes ou sphériques.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad \text{Équation 15}$$

Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(c_x, c_y) = \frac{dx}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad \text{Équation 16}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \quad \text{Équation 17}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \right] \quad \text{Équation 18}$$

Sachant que :

- $N$  est la densité spectrale d'énergie des vagues.
- $c_x, c_y, c_\theta, c_\sigma$  sont les vitesses de groupe des vagues dans les directions  $x, y$ , d'angle  $\theta$ , et de fréquence  $\sigma$ .
- $S_{in}$  est le terme source dû à l'apport d'énergie par le vent.
- $S_{ds}$  est le terme de dissipation (par exemple, par déferlement ou friction).
- $S_{nl}$  est le terme de non-linéarité (interactions non linéaires entre vagues).
- $S$  est coordonnée spatiale dans la direction d'onde  $\theta$ .
- $m$  Coordonnée perpendiculaire à  $S$ .
- $\nabla_{\vec{x}}$  Opérateur bidimensionnel différentiel dans l'espace  $x$ .
- $\sigma$  Pulsation.

### V.2.3. Mesh Generator

Le Mesh Generator est un outil conçu pour créer des maillages numériques flexibles et fixes pour les modèles MIKE. la mesh est principalement créée sous forme d'éléments triangulaires, et dont l'interpolation s'effectue par la méthode du voisin naturel ou par l'interpolation linéaire, elles peuvent être utilisées indépendamment du type de maillage. (DHI, 2014).

Pour la création de la Mesh basée sur :

- Choix de la précision Système de coordonnées
- Les données bathymétrique et le trait de côte sous fichier txt.xyz .
- Définir les limites bordières de la zone du maillage.

## V.3. Méthodologie de travail

### V.3.1. Données bathymétriques

La collecte des données bathymétriques utilisées dans ce travail se base sur deux sources ; il s'agit des données de NAVIONIC la carte présentée dans l'ANNEX (Sonar Chart™ Edition 2023) et la carte Marine présentée dans l'ANNEX n° (Republic 1980 Edition n°2023).

Pour les données de NAVIONICS ; elles ont été extraites à partir du logiciel SASPlanet ; pour les données de la cartes marine établies par l'INCT, l'extraction a été faite suite à la digitalisation faite sous le logiciel QGIS. L'interpolation des deux couches de donnée est présentée dans la Figure 1.

QGIS : anciennement connu sous le nom de Quantum GIS, est un logiciel libre et open source de Système d'Information Géographique (SIG). Il permet aux utilisateurs de créer, éditer, visualiser, analyser et publier des informations géospatiales. (QGIS.org).

SASPlanet : c'est un logiciel open source conçu pour la visualisation et l'extraction de cartes géographiques en ligne.

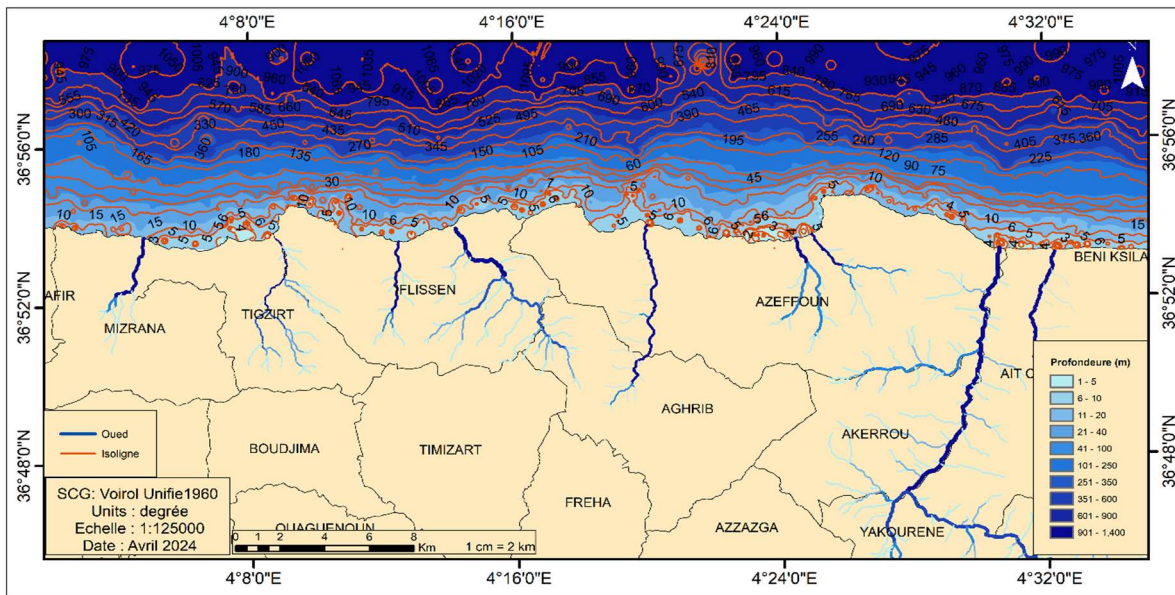


Figure V. 1 : Carte marine représenté la bathymétrie de la wilaya tizi

### Interprétation de la carte Bathymétrique

La carte bathymétrique de la wilaya de Tizi Ouzou révèle une morphologie côtière variée. La zone d'étude est caractérisée par un fond marin relativement régulier avec des isobathes très serrées qui indiqueraient une pente un peu abrupte a 11 degrés.

### V.3.2. Création de la mesh

La Mesh utilisée dans notre travail est composée de 8436 éléments triangulaires et de 4644 nœuds ; l'espacement entre les nœuds varie du large vers la cote la figure mentionne le code Value représente les frontières de la carte tel que le Code1(Jeune) correspond à la frontière terrestre ; Code2(Bleu) : la frontière Est, le code 3(Vert) : la frontière Vert, Code4(Rouge) : la frontière West.

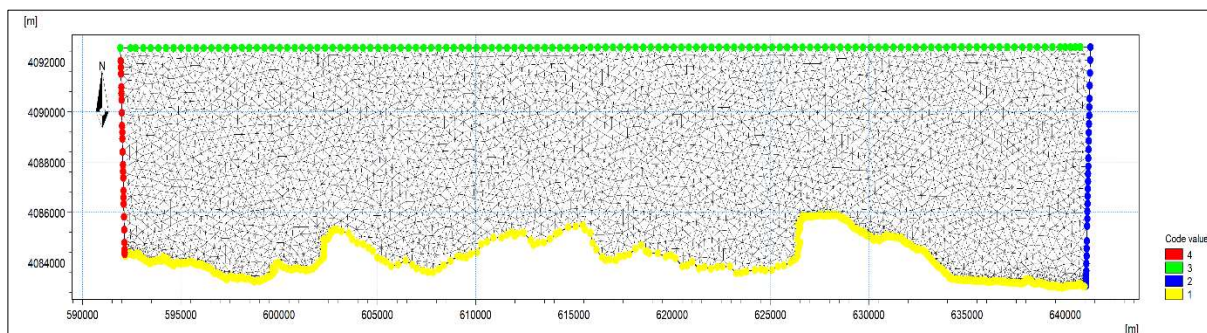


Figure V. 2 : Maillage de la Mesh à l'échelle de la wilaya de Tizi-Ouzou

Après l'interpolation de la Mesh, on peut obtenir la bathymétrie à exploiter dans l'environnement de travail Mike21

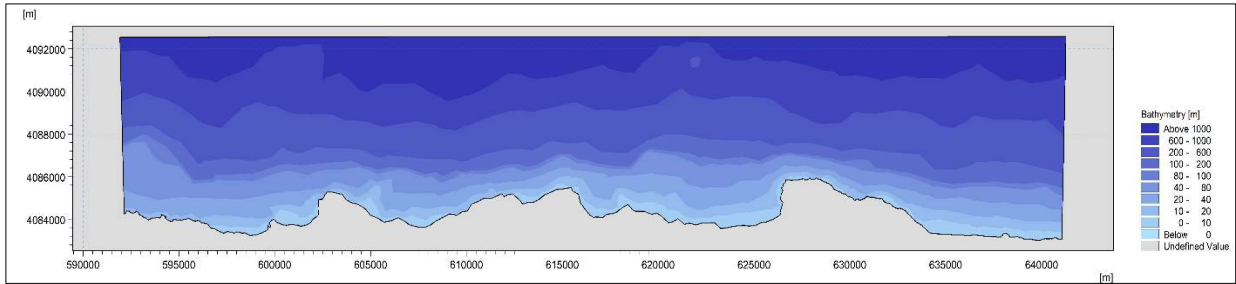


Figure V. 3 : Bathymétrie de wilaya de Tizi-Ouzou

#### V.4. Scénarios de simulation

Supposons que nous devons évaluer l'impact d'une tempête côtière sur une zone littorale. L'objectif est de simuler l'évolution des vagues d'après l'analyse des événements extrêmes et connaître les directions pénalisent dans la partie précédente, on a adopté une méthode avec les données omni directionnelles consistant à associer la plus grande hauteur de houle le tableau suivant simplifié et résumer les périodes de retour avec ces paramètres de la houle et la direction avec la période.

On a également pris en compte l'élévation du niveau marin (rapport du GIEC 2019)

On prend en considération la période avec l'équation suivant :  $T_p = T_s = 3.3H_s^{0.63}$

Tableau V. 1: Inputs des simulations pour l'ensemble des périodes de retours

Période (ans)	Direction(°)	Hs (m)	Tp (s)	U10 (m/s)
2	NE	6	10.2	14.76
	N			
	NW			
5	NE	6.57	10.8	14.69
	N			
	NW			
10	NE	6.93	11.2	15.51
	N			
	NW			
20	NE	7.26	11.5	16.03
	N			
	NW			
50	NE	7.64	11.9	18
	N			
	NW			
100	NE	7.88	12.1	20
	N			
	NW			

## V.5. Interprétations des Résultats des simulations

Après le lancement des simulations pour les différentes périodes 2,5,10,20,50,100ans la présentation des résultats se focalisera sur la propagation des houles de tempêtes, qui seront exploitées dans les chapitres suivants ; la courantologie ne sera donc pas discutée dans le cadre de ce travail.

Pour toutes les directions mentionnées, la houle au large montre une diminution progressive de la hauteur des vagues à mesure qu'elles se rapprochent du rivage, Les vagues ne conservent pas leurs caractéristiques initiales en raison de leur interaction croissante avec le fond marin.

Les variations de profondeur de la mer (bathymétrie) influencent également la hauteur et la direction des vagues, Les zones où le fond marin est plus irrégulier peuvent entraîner une diffraction et une réfraction des vagues, modifiant leur direction et leur hauteur. De plus, la profondeur du point de fermeture et le point de déferlement jouent un rôle crucial dans la dissipation de la houle et la perte de leur énergie. Cette dissipation est probablement due a la combinaison des deux phénomènes de transformation de la vague, à savoir : le shaoling et la refraction.

Pour l'analyse les résultats nous allons interpréter les cartes par direction et en résumer les résultats dans le tableau de simulation de la houle (le tableau2 inséré à partir de langage de programmation sur google-colab et utiliser le model statistique des fichiers de simulation. dfsu à partir de la bibliothèque Mike Zero)

### **Propagation de la houle de direction Nord-Est**

Les vagues du nord-est arrivent perpendiculairement sur certaines parties de la côte. Les vecteurs directionnels indiquent que les vagues se déplacent du nord-est vers le sud-ouest. Dans cette direction, les vagues arrivent avec une inclinaison de 30 à 45° par rapport à une partie du rivage, dérivant parallèlement à celui-ci. Les zones affectées par la propagation de la houle dans la région comprennent les communes de Mizrana, Tizirt (qui sont des zones principalement constituées de falaises moyennes à hautes), Aït Chaffa, et la côte est d'Azzefoun. Dans cette dernière, on remarque que la diffraction se produit lorsque les vagues rencontrent les formations en caps.

Vers l'est, en direction de l'ouest, ce processus modifie la direction et l'énergie des vagues. Pour une période de retour de 2,5 ans, on constate que la valeur de  $H_s$  est comprise entre 5,5 et 6,5 mètres dans plus de 70 % des cas. En se rapprochant de la côte, la hauteur des vagues ( $H_s$ ) diminue à une valeur comprise entre 0 et 2 mètres, sauf dans la commune de Mizrana où  $H_s$  atteint entre 3 et 4,5 mètres. Pour une période de retour de 10 ans, les vagues atteignent une hauteur de 1,5 à 3 mètres, et dans certaines communes situées sur la côte est d'Azzefoun et à Iflissen, cette valeur atteint 4 à 5 mètres. Pour une période de retour de 50 ans,  $H_s$  commence à 8 mètres et pour une période de retour de 100 ans,  $H_s$  commence à 8,4 mètres, avec des valeurs enregistrées sur le rivage entre 3 et 5 mètres.

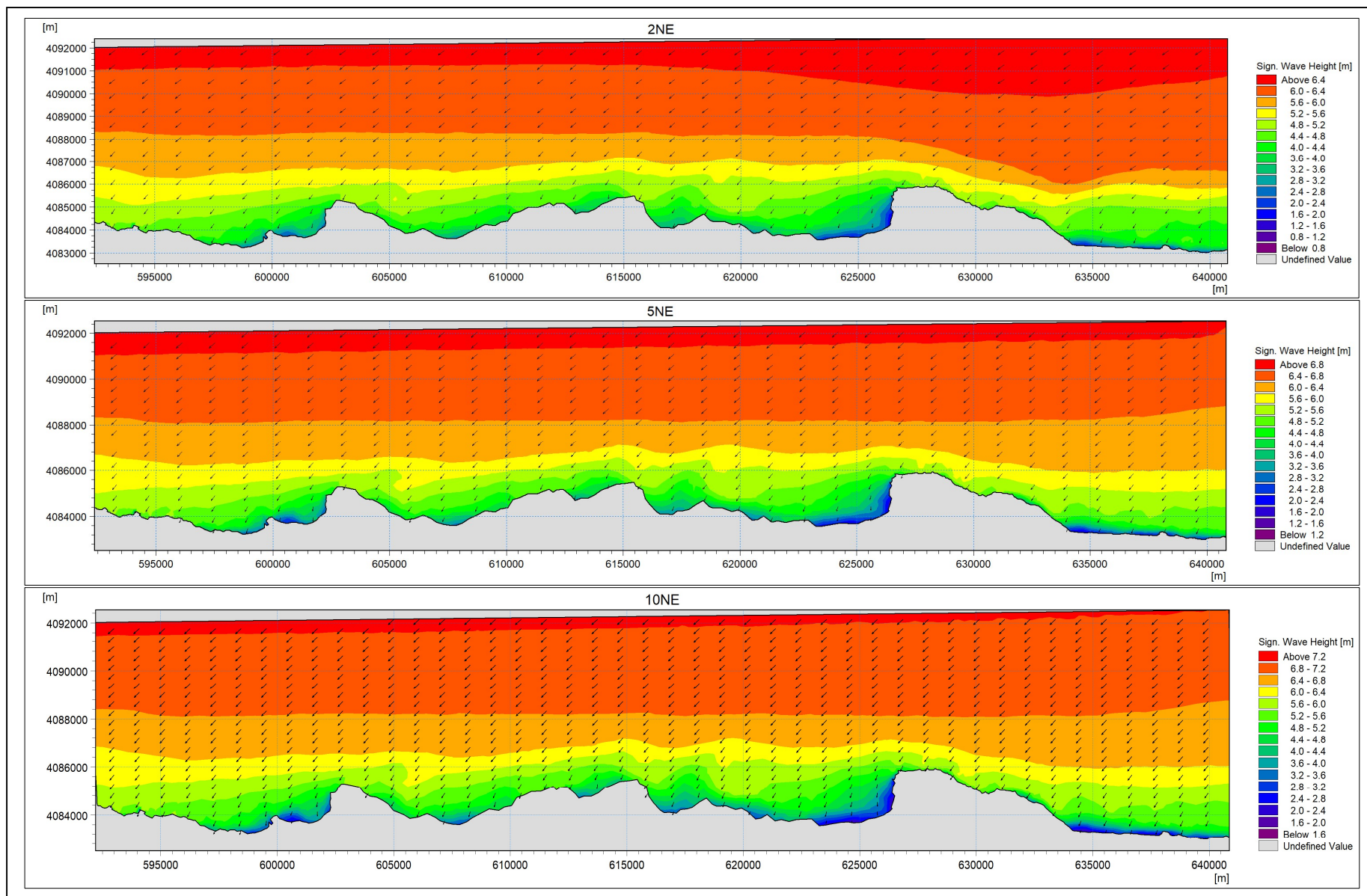


Figure V. 4 : synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord-Est

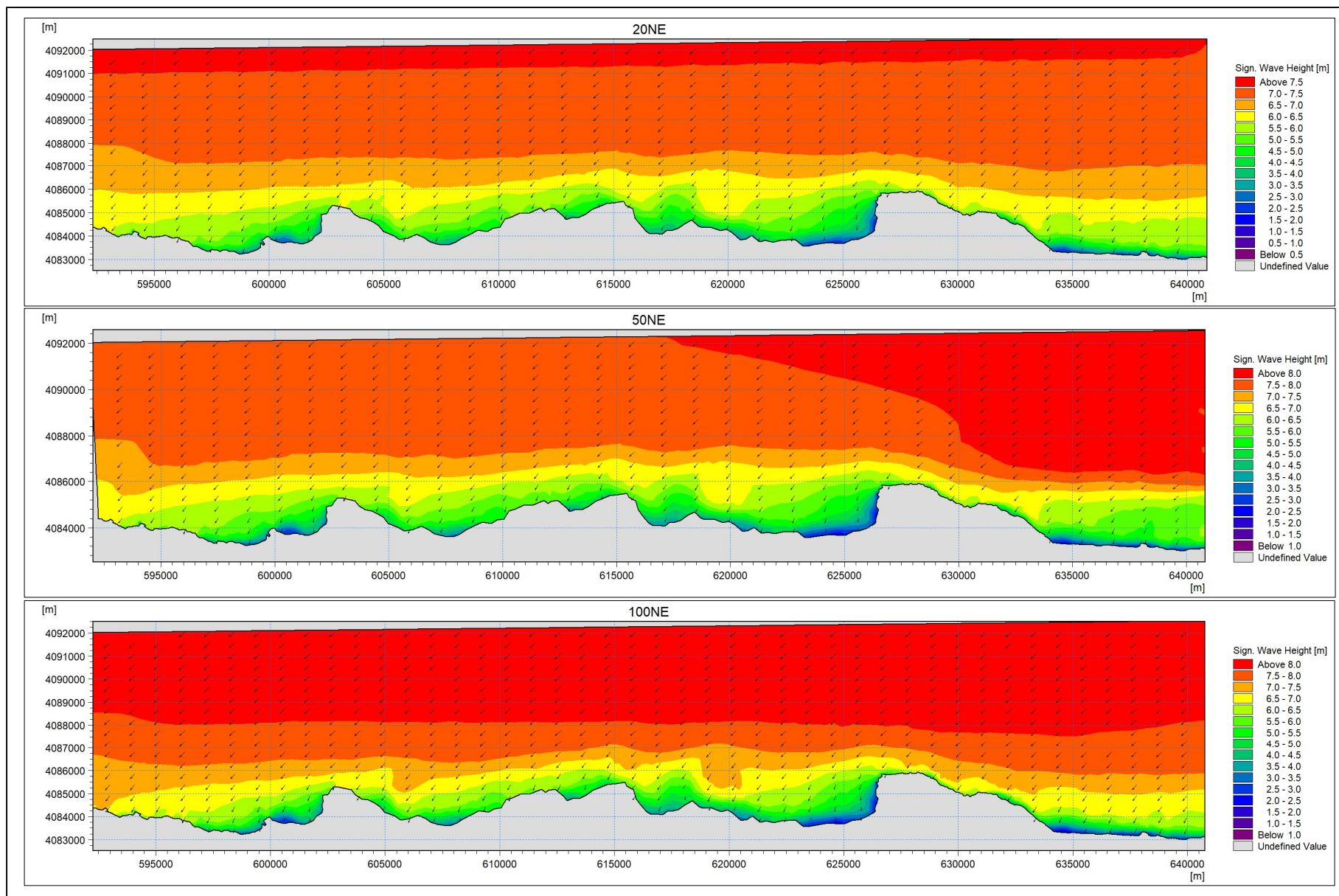


Figure V. 5 : Synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord-Est

### **Propagation des houles de direction Nord**

Les vagues se propagent du nord vers le sud avec une diminution progressive de la hauteur des vagues en raison de la dissipation d'énergie et de l'interaction avec le fond marin. Les zones côtières faisant face à des houles de haute énergie à la cote (couleurs rouge et orange) seraient les plus vulnérables à l'érosion. En revanche, les zones avec des vagues plus faibles (couleurs vert et bleu) sont susceptibles d'être des zones de dépôt de sédiments.

Les vecteurs directionnels indiquent que les vagues se propagent principalement du nord vers la cote sans variation considérable du plan de propagation. Pour une période de retour de 2 ans, les vagues présentent une hauteur significative ( $H_s$ ) initiale de 6 mètres. Cette hauteur augmente progressivement avec l'allongement de la période de retour. Pour une période de retour de 100 ans les vagues atteignent une hauteur initiale de 8 mètres et en s'approchant de la côte cette hauteur diminue progressivement pour atteindre 2,4 mètres. Dans certaines zones, la hauteur des vagues peut descendre jusqu'à 0,4 mètre pour une période de retour de 2 ans ceci exprime la déperdition d'énergie subit près des côtes qui est probablement due aux hauts fonds.

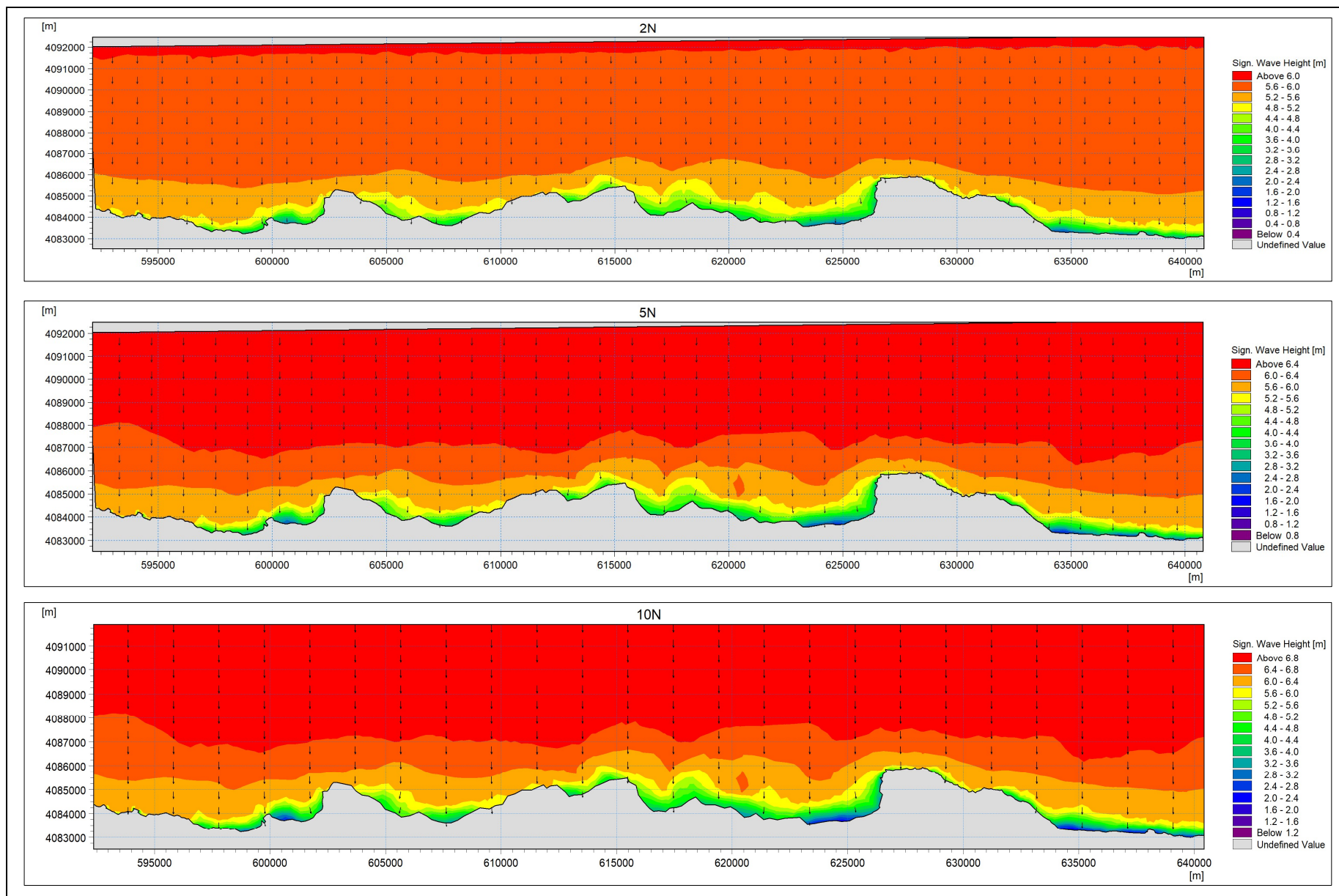


Figure V. 6 : synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord

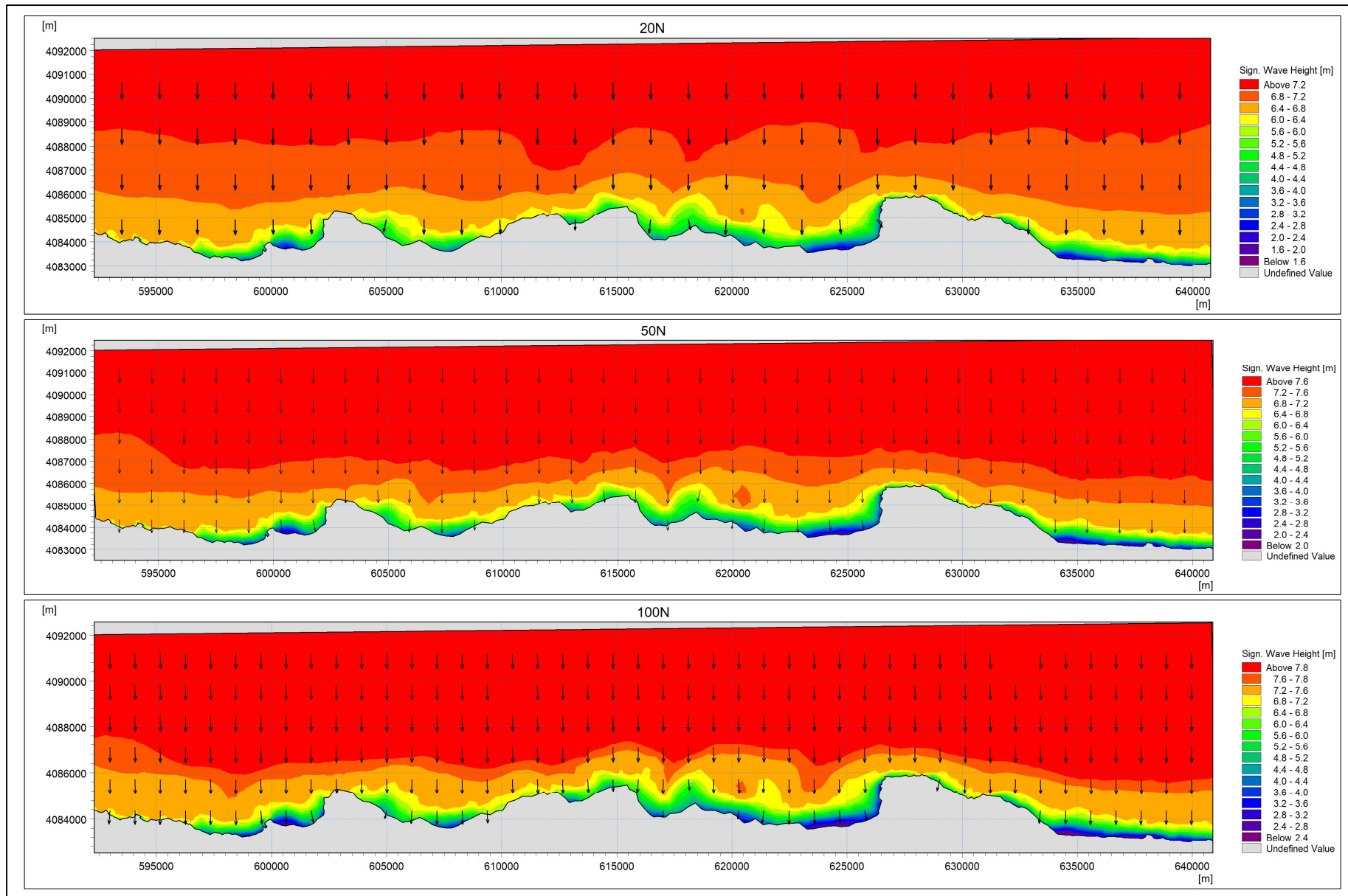


Figure V. 7 : synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord

### **Propagation des houles de direction Nord-Ouest**

La carte de simulation de la houle montre une propagation des vagues du nord-ouest vers le sud-est, avec une échelle de couleurs indiquant la hauteur significative des vagues qui s'étale de 0.4 m (bleu) à plus de 6 m (rouge) pour la période de 2ans. Pour les période restantes Hs au large augmente par rapport la période de retour. On remarque que pour 100 ans la valeur au large est à 8m, elles arrivent près de la cote avec des valeur entre 1-3m. pour 10-20-50ans les houles atteignent la cote avec des hauteurs variants de 0.5m a 2m.

Les variations de la hauteur des vagues suggèrent des différences dans la bathymétrie, où les couleurs vertes et bleues indiquent des zones où les vagues interagissent significativement avec le fond marin. Les zones côtières en face des régions rouges (hauteur des vagues > 6 m) sont les plus à risque d'érosion qu'elles soient de types rocheuses ou sableuses en raison de l'énergie élevée des vagues, nécessitant des mesures de protection côtière. Par contre, les zones près de la côte avec des vagues plus faibles (vert et bleu) sont susceptibles d'être des zones de dépôt sédimentaire, contribuant à la formation et à la stabilisation des plages.

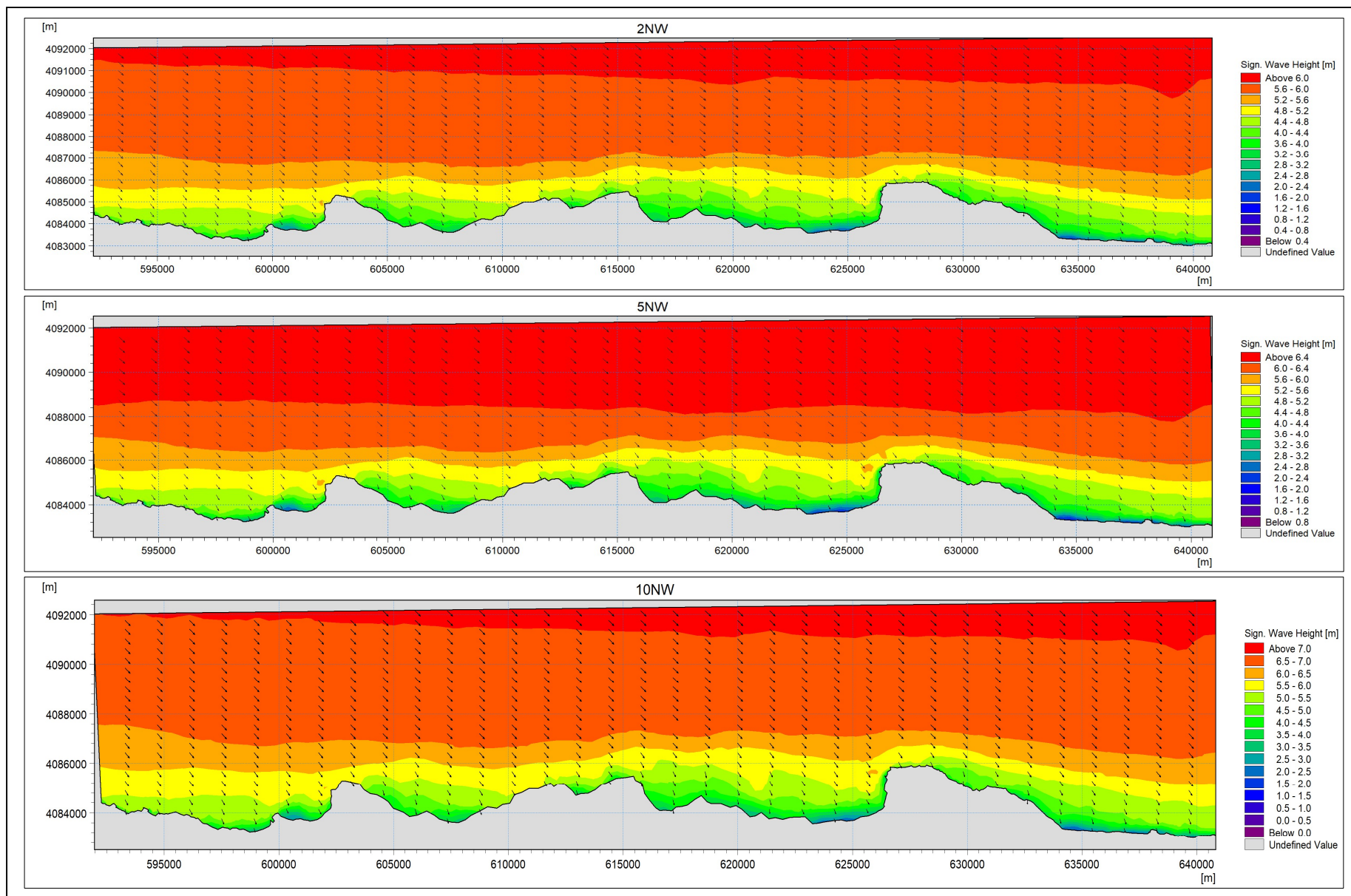


Figure V. 8 : synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord-west

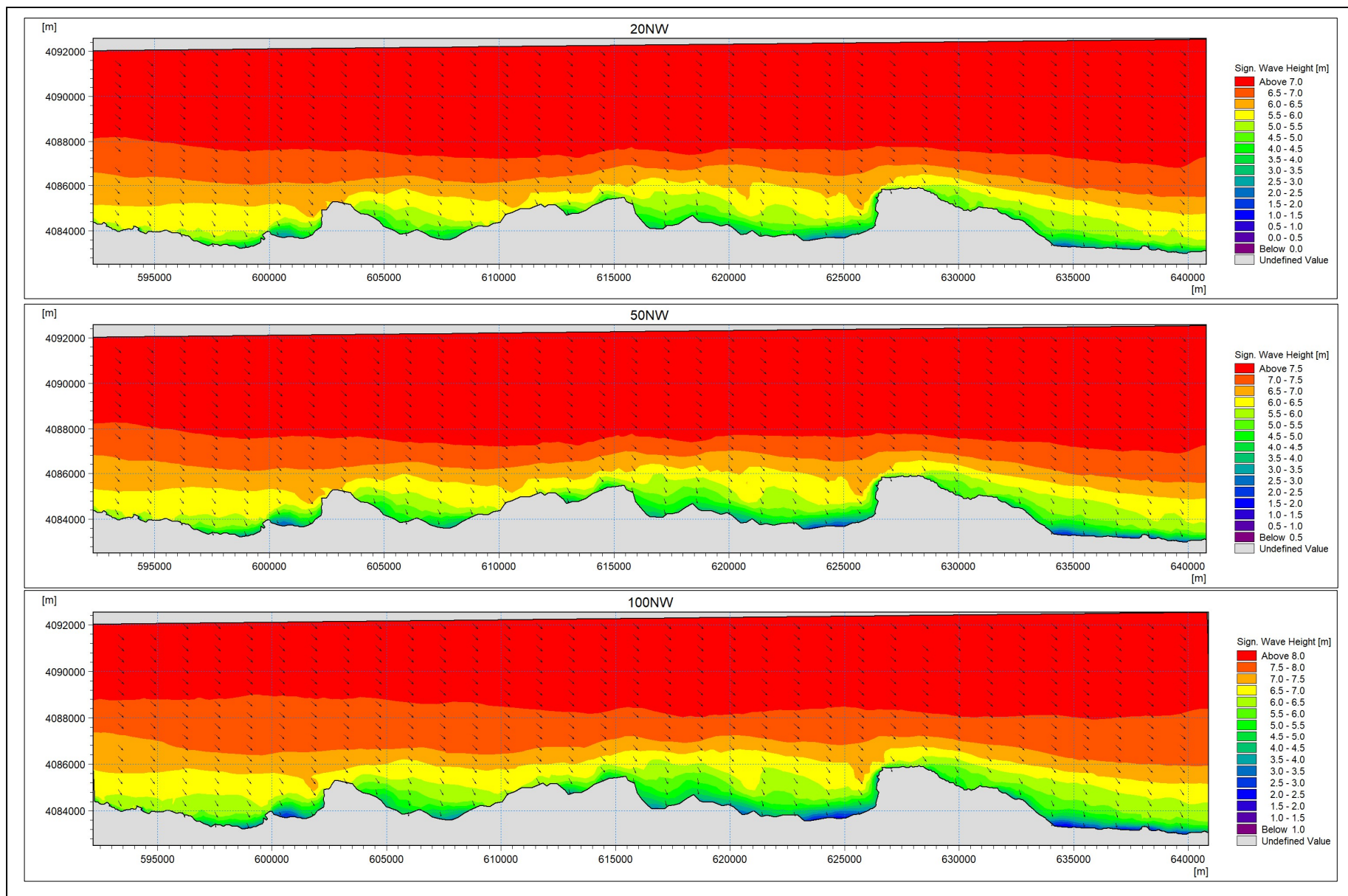


Figure V. 9 : synthèse simulation de propagation de la houle dans la direction Nord-west

Tableau V. 2 : Résumé des résultats de simulations de la houle (Sw):

Période de retour	Direction	Hs (m) Eau Profond	Hs (m) Eau Peu Profond	Tp (s)	Energie de la houle (KW/m)
2 ans	NE	6.65	1.5	9.6	10.62
	N	6.01	2.1	10.04	2.43
	NW	6.19	2.1	9.97	9.66
5 ans	NE	6.99	1.8	10.8	3.64
	N	6.58	1.62	10.09	2.69
	NW	6,75	2.4	10.82	7.25
10 ans	NE	7.29	3.4	11.6	22.23
	N	6.94	2.8	11.1	3.88
	NW	7.12	1.5	10.98	2.49
20 ans	NE	7.65	2.3	11.3	9.22
	N	7.23	2.76	11.34	14.57
	NW	7.46	2.18	11.36	17.08
50 ans	NE	8.21	4.2	12.6	49.48
	N	7.74	2.8	9.73	2.88
	NW	7.88	3.6	11.72	35.37
100 ans	NE	8.28	3.5	11.95	29.87
	N	8.13	4.4	12.24	53.1
	NW	8.16	2.88	11.76	17.18

## V.6. Conclusion

Les variations de la hauteur des vagues et leur interaction avec la bathymétrie indiquent la nécessité de mesures de protection côtière dans les zones à haute énergie et d'une gestion adaptée pour les zones de dépôt sédimentaire afin de maintenir la stabilité des plages et des écosystèmes côtiers. D'autant plus, la conjugaison de ces houles de tempêtes non dissipées avec d'autres forçages représenterait une menace de submersion des cotes par la mer.

**CHAPITRES VI :**

**Submersion M**

## VI.1. Introduction

Les régions côtières sont les zones les plus menacées par les risques naturels (**Kron, 2013**). Ces zones abritent un grand nombre de facteurs (naturels, physiques et socioéconomiques), ce qui les rend particulièrement vulnérables aux risques côtiers tels que les submersions marines (**Ballesteros et al., 2018**). En outre, en absence d'une adaptation supplémentaire, le risque de submersion marine devrait augmenter à l'avenir en raison de deux facteurs principaux. D'abord, le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer devraient accroître la fréquence et la gravité des inondations et submersions (**Simard et al., 2015**), et ensuite, le nombre de facteurs potentiellement exposés (infrastructures, activités socio-économiques, population) augmente dans les plaines de submersion et/ou à proximité de la mer (**Hallegatte et al., 2013**). Les submersions épisodiques, à court terme sont les résultats des ondes de tempêtes marines (**Benavente et al., 2006**).

Ce qui nous a conduits à effectuer cette étude sur l'évaluation des zones à risque potentiel de submersion sur la région étudiée. Grâce à un modèle numérique de terrain de haute résolution, et des données de houles de tempêtes extrêmes de période de retour biennale, quinquennale, décennale, vingtenal, cinquantennal et centennale. Les zones soumises aux risques d'inondations marines ont été cartographiées. Les cartes de risque d'inondations marines obtenues, servent à identifier les parties de la région les plus vulnérables à la submersion.

## VI.2. Impacts des submersions marines sur les zones côtières

Lors des tempêtes marines, l'énergie intense des vagues provoque une érosion des plages souvent irréversible, entraînant une accentuation de leurs pentes et une modification de leurs profils pour atteindre un nouvel équilibre adapté aux nouvelles conditions hydrodynamiques et morpho-dynamiques (**Achab et al., 2014**). Les houles de tempête peuvent submerger les côtes basses sur plusieurs centaines de mètres, dégradant les plages, les estuaires et les lagunes par la modification de leurs profils bathymétriques (**Araújo et al., 2008 ; Saxena et al., 2013**).

### VI.3. La submersion marine

Le phénomène de submersion marine se définit par une inondation temporaire des terres par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques intenses (**Mercier et al., 2013**). Ce phénomène est lié à une élévation temporaire du niveau de la mer qui peut avoir une origine géologique ou météorologique. Dans le premier cas, l'élévation est générée par un tsunami ayant pour origine un tremblement de terre sous-marin, une éruption volcanique ou un glissement de terrain. Dans le second cas, elle est la conséquence d'une surcote liée au passage d'un cyclone tropical ou à une tempête.

#### VI.3.1. Les différentes typologies de submersions marines

- La submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel.
- La submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsqu'après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel.
- La submersion par rupture du système de protection suite à l'attaque de la houle, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin. La rupture du système de protection peut avoir plusieurs causes.

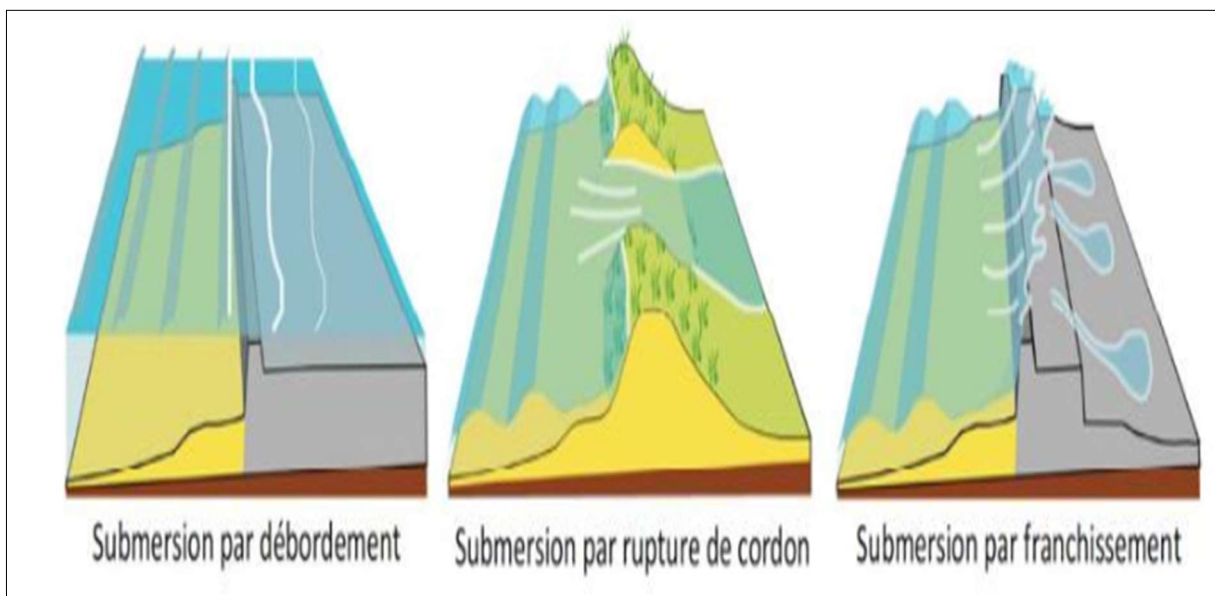


Figure VI. 1 : Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec surcotes associées (Cariolet, 2011a).

**VI.3.2. Les facteurs responsables de la submersion marine**

Les submersions marines se produisent en présence de conditions météorologiques et marégraphiques particulières. Elles sont déclenchées par le passage d’une tempête impliquant une chute de la pression atmosphérique (l’effet de baromètre inverse), qu’un vent de mer (vent fort venant du large) renforçant l’accumulation de l’eau à la côte ainsi une forte houle augmentant le niveau d’eau à la côte (surcote).

Les principaux processus météo-océanographiques engendrant une surcote de tempête sont représentés sur les figure suivantes :

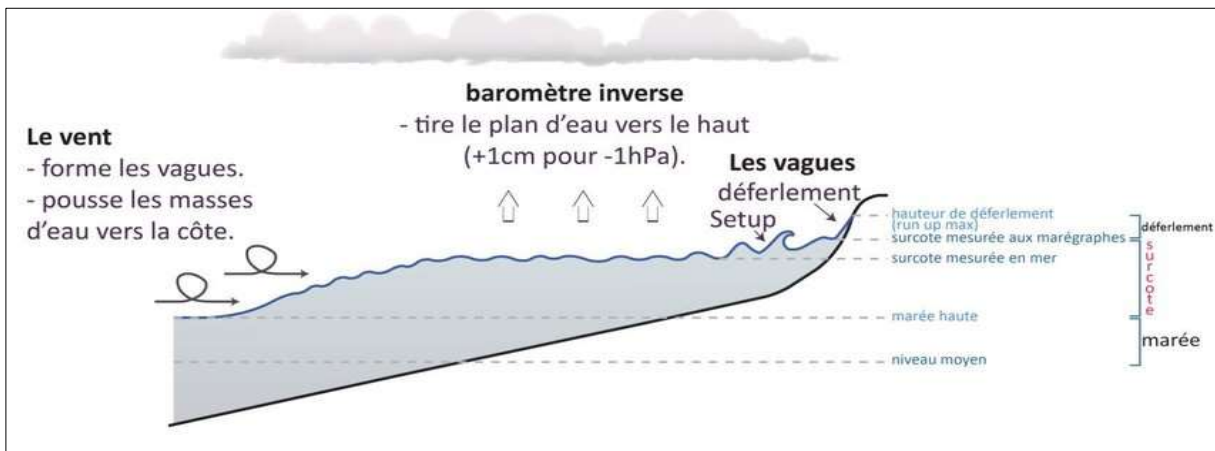


Figure VI. 2 : Principaux processus météo-océanographiques engendrant une surcote de tempête (Source Buamann 2017).

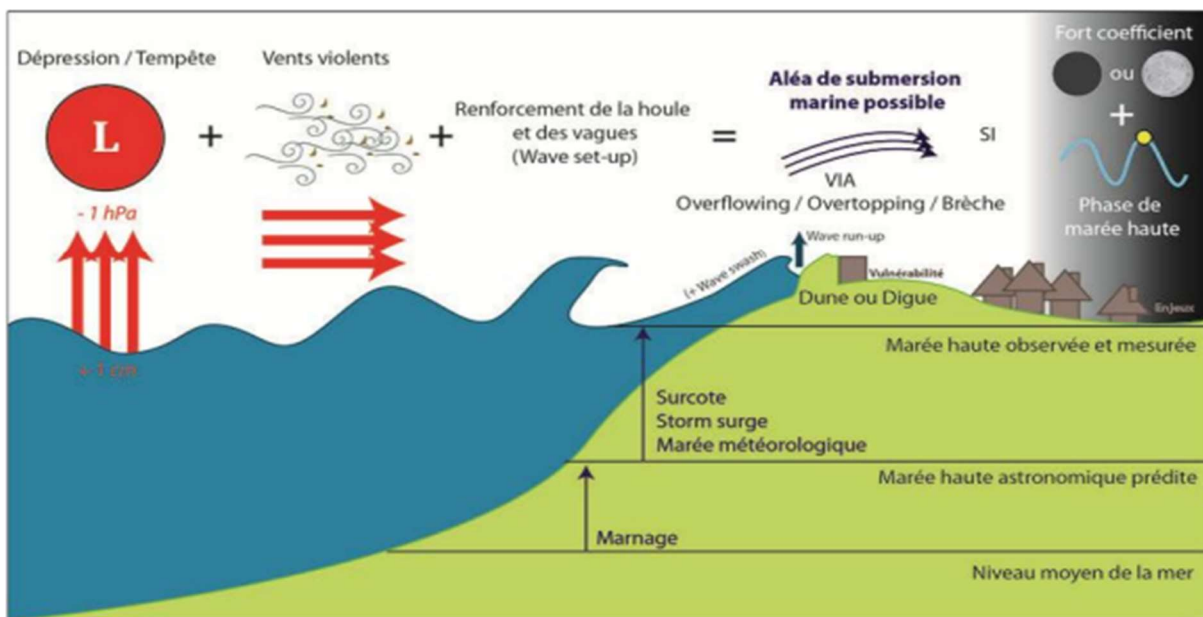


Figure VI. 3 : Les phénomènes météorologiques responsables de la submersion marine.

- **L'effet de baromètre inverse :** Une tempête se caractérise par une dépression atmosphérique qui réduit le poids de la colonne d'air sur l'océan, provoquant une élévation de la surface de l'eau. Une chute de 1 hPa de la pression atmosphérique entraîne une élévation d'environ 1 cm de l'océan (Doodson, 1924).
- **La contrainte du vent sur le plan d'eau :** Les tempêtes, accompagnées de vents violents ( $\geq 90$  km/h selon de Beaufort), génèrent une contrainte tangentielle sur la surface de l'eau, déplaçant les masses d'eau dans la direction du vent.
- **La surcote :** Les surcotes sont des élévations temporaires et anormales du niveau de l'eau, résultant de la baisse de la pression atmosphérique, des vents d'afflux et des marées hautes (Switer, 2014). L'orientation et la topographie et la bathymétrie, peuvent favoriser les surcotes (Paskoff, 2010).
- **La surcote liée aux vagues (wave setup) :** À l'approche de la côte, les vagues déferlent, transférant leur énergie sur la colonne d'eau et provoquant une élévation moyenne du niveau de l'eau (setup). Cette force varie en fonction des hauteurs et des directions des vagues.
- **Le jet de rive (swash) et le run-up :** Le niveau instantané de la mer sur le rivage inclut le jet de rive, soit le flux et reflux des vagues sur la plage ou les digues. Le run-up est la hauteur d'eau maximale atteinte par la mer au-dessus de son niveau moyen.

## VI.4. L'élévation de niveau de la mer

### VI.4.1. A l'échelle planétaire

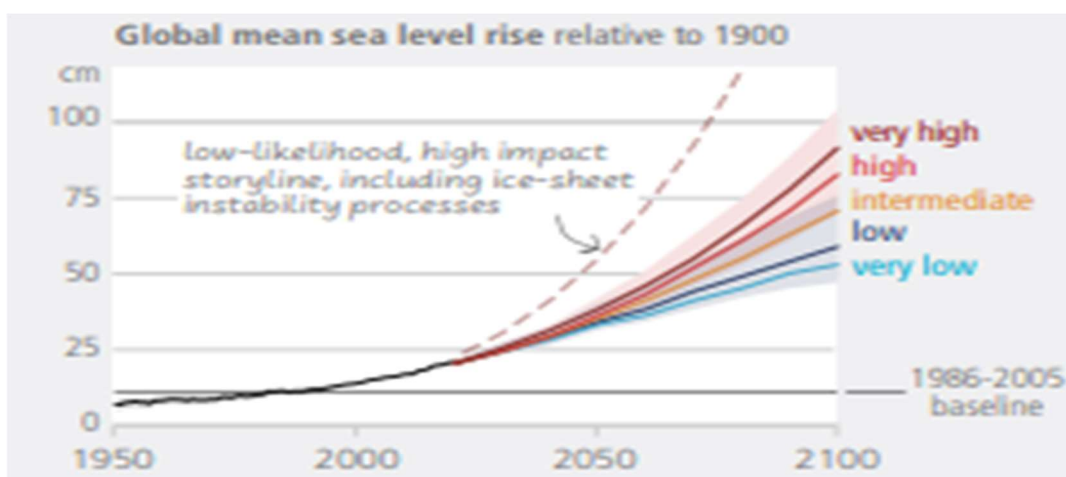


Figure VI. 4 : l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale par rapport à 1900(GIEC, 2023).

Les données marégraphiques montrent une élévation moyenne du niveau de la mer (ENM) de  $1.7 \pm 0.2$  mm/an de 1901 à 2014 (Church and White, 2011), comparé à environ 0.5 mm/an au cours des 2-3 derniers millénaires. De 1849 à 2012, le taux était de  $1.08$  mm/an  $\pm 0.04$  mm (Wöppelmann et al., 2014), et de  $1.26$  mm/an  $\pm 0.05$  de 1885 à 2012 (Galassi et al., 2014). Depuis les années 1990, les satellites montrent un doublement du taux d'ENM à  $3.2 \pm 0.4$  mm/an de 1993 à 2014 (Cazenave and Cozannet, 2014), avec une tendance de  $2.74 \pm 0.58$  mm/an de 2002 à 2014. La hausse est principalement due à l'expansion thermique ( $+1.38 \pm 0.16$  mm/an) et à la fonte des glaciers ( $+1.37 \pm 0.09$  mm/an) (Rietbroek et al., 2016).

#### VI.4.2. A l'échelle de contexte méditerranéenne

Le GIEC a identifié le bassin méditerranéen comme une "zone sensible" menacée par les submersions, l'érosion côtière et la dégradation des sols (GIEC, 2023). Une étude sur l'adaptation au changement climatique et la résilience dans les villes côtières d'Afrique du Nord souligne les risques accrus d'inondations et de submersions marines par ondes de tempête.

Le niveau moyen de la mer en Méditerranée a augmenté de  $1,4 \pm 0,2$  mm/an au 20e siècle (Wöppelmann et Marcos, 2012), accélérant à  $2,4 \pm 0,5$  mm/an de 1993 à 2012 (Bonaduce et al., 2016) et à  $3,4$  mm/an de 1990 à 2009 (Calvo et al., 2011). Cette tendance devrait conduire à une élévation du niveau de la mer de 0,52 m [0,32-0,81] d'ici 2150 (IPCC, 2022).

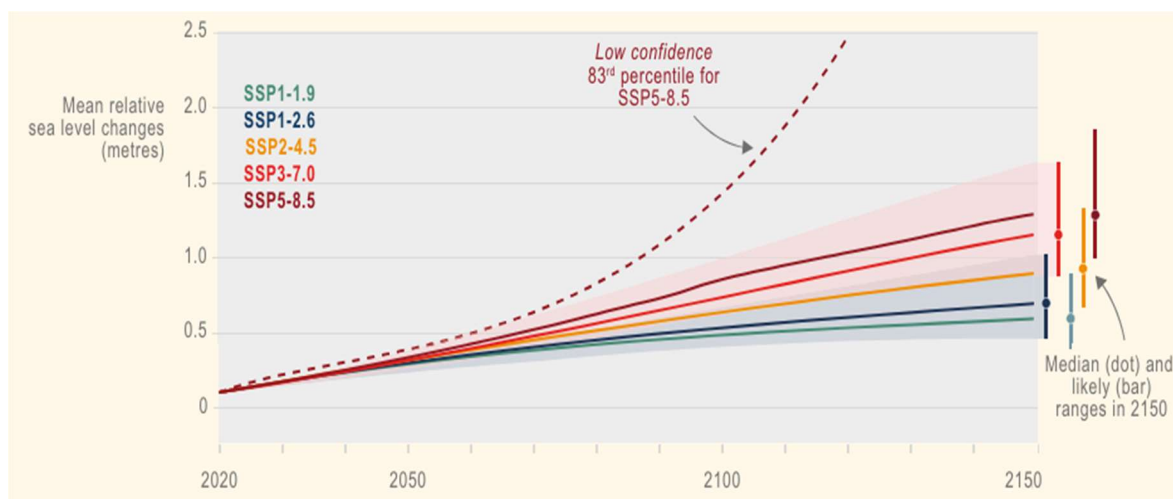


Figure VI. 5 : Augmentation du niveau moyen de la mer en Méditerranée entre 2020 et 2150. (IPCC, 2022).

### VI.5. Méthodologie de simulation de submersion marine

Dans le cadre de cette étude prospective, la détermination et la cartographie des aléas de la submersion marine sur le littoral de la zone d'étude sont basées sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, modélisée par l'utilisation du logiciel de cartographie « ArcGis 10.8.2 », ainsi pour prévenir les submersions d'ici six échéances temporelles considérées à savoir 2024, 2027, 2032, 2042, 2072 et 2122. La méthode retenue pour l'estimation de l'aléa submersion est celle appliquée par (Benavente et al. 2006 ; SUANEZ et al. 2007 ; KUMAR et al. 2008).

Cette méthode est basée sur :

- Le calcul des niveaux d'eaux extrêmes à la côte d'occurrence de six périodes de retour : biennale, quinquennale, décennale, vingtenal, cinquantennal et centennale en tenant compte du wave set-up, wind set-up et l'élévation du niveau de la mer due à la baisse de la pression atmosphérique.
- En deuxième lieu, ce niveau d'eau d'extrêmes est superposé à un modèle numérique d'élévation du terrain, dont la résolution est de 30 m par pixel, de la zone d'étude en vue de cartographier la zone submersible.

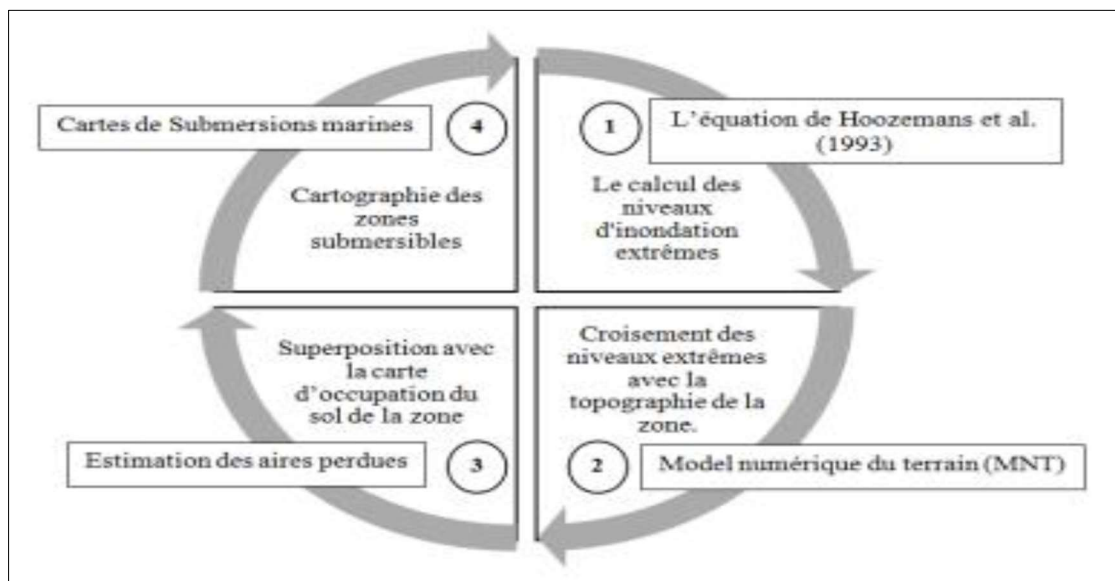


Figure VI. 6 : La démarche adoptée pour la cartographie des zones à risque de Submersion marin. (Source, démarche adaptée pour la cartographie des zones à risque submersion marin d'après Hoozemans et al, 1993)

### VI.5.1. Scénarios de niveaux d'eau extrêmes :

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** :  $Dft = MHW + St + Wf + Pf$

Où : *MHW* : Niveau moyen des hautes eaux ;

*St* : élévation relative du niveau de la mer ;

*Wf* : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

*Pf* : élévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.

#### VI.5.1.1. Niveau moyen des hautes eaux :

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 +/- 34 cm entre 1990 et 2009 (Calvo, et al., 2011), mais son niveau maximal peut atteindre 1 m. Le niveau zéro opté par cette étude est le zéro géodésique.

#### VI.5.1.2. élévation relative du niveau de la mer :

Au dernier siècle, la variation du niveau de la mer à l'échelle mondiale a été évaluée par des mesures des marégraphes. Comme les données à long terme n'étaient pas disponibles pour le littoral de la zone d'étude, les mesures ont été obtenues à l'aide des satellites altimétriques (**Topex/Poséidon, depuis 1992**) pour estimer le niveau moyen global de la mer sur la Méditerranée, soit environ 3 mm/an pour la période 1992 à 2011.

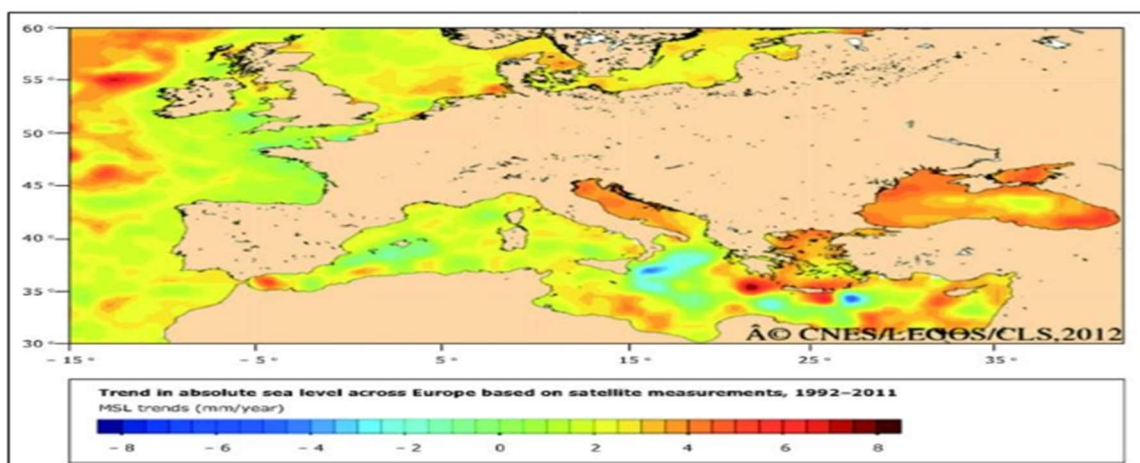


Figure VI. 7 : Données particulièrement précises de Topex/Poseidon et Jason-1 à la caractérisation des variations totales du niveau moyen de la mer Méditerranée (1992- 2011) (Source : LEGOS 2012).

### VI.5.1.3. Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations :

Les niveaux d'eau déterminés par les vagues et les ondes de tempêtes extrêmes responsables des inondations qui peuvent affecter le littoral de la zone d'étude est présenté dans le Tableau suivant

Tableau VI. 1 : les houles de tempêtes de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou

Période de retour(ans)	2	5	10	20	50	100
Houle (m)	4.77	5.08	5.54	5.72	6.05	6.33

### VI.5.1.4. Élévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique

Le niveau de la mer peut changer en fonction des variations de la pression atmosphériques. Ainsi, les basses pressions engendrent une surcote. Contrairement, les hautes pressions provoquent une décote. Ce phénomène est appelé effet barométrique inverse. La variation du niveau de la mer liée à la pression atmosphérique peut être approchée à partir de la formule qui suit :  $Z = 0.01 (1013 - p)$ .,

Où :

- p : est la pression atmosphérique en hectopascal,
- 1013 hPa : étant la pression correspondant au niveau de repos de la mer.

Cette formule montre qu'une baisse de pression d'un hectopascal fait monter le niveau marin d'environ un centimètre. En Algérie, les pressions oscillent entre 950hPa et 1050hPa, faisant varier le niveau de la mer entre -0.37m et 0.63m.

## VI.6. Résultats d 'application

### V.6.1. Scénarios de submersion

À la base d'un modèle numérique de terrain (MNT) plusieurs traitements ont été effectuées, ce qui nous a permis d'établir des cartes pour l'aléa de submersion marine à des différents niveaux d'eau extrêmes, le tableau suivant présenter les périodes de retour avec leur scénario niveau d'eaux extrême d'après de HOOZMANS et al., 1993

Tableau VI. 2 : Niveaux d'eau extrêmes.

Période de retour (ans)	MHW (m)	St (m)	Wf (m)	Pf (m)	Dft (m)
2	0.34	0.003	4.77	0.63	5.743≈6
5	0.34	0.003	5.08	0.63	6.053≈6
10	0.34	0.003	5.54	0.63	6.513≈7
20	0.34	0.003	5.72	0.63	6.693≈7
50	0.34	0.003	6.05	0.63	7.023≈7
100	0.34	0.003	6.33	0.63	7.303≈8

### VI.6.2. Évaluation des terres à risque de submersion

La submersion marine est un risque qui peut se produire sur le littoral de notre zone d'étude. Les tempêtes qui touchent périodiquement ce littoral peuvent provoquer de fortes houles et des surcotes marégraphiques.

Dans notre cas d'étude, la cartographie de submersion ne repose pas sur une modélisation numérique, mais se base plutôt sur la méthode de superposition topographique dans l'Arc GIS (10.8.2). La superposition des niveaux d'eau extrêmes (Scénario 6 m, scénario 7 m et scénario 8 m). L'image satellitaire montre une étendue importante des zones submersibles.

La carte montre les niveaux d'exposition aux submersions sur le littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou. Les dégradations des couleurs indiquent leurs niveaux d'exposition à la submersion. Le bleu nuit indique un niveau d'exposition maximum de 8m (élevé), le bleu marine indique un niveau d'exposition moyenne de 7m (modérée) et le bleu ciel indique un niveau d'exposition minimum de 6m (faible).

#### VI.6.2.1. Scénario 6 m :

Pour une hauteur des vagues atteinte 6 m, on constate que la superficie couverte par les eaux de mer est concernant les deux périodes de retour (2 et 5 ans) et par rapport aux scénarios de submersion de 5.7 m et 6m. La pénétration de l'eau de mer vers la terre est fortement accélérée par la présence des réseaux hydrographiques, comme : : Assif n'Boubehir, Oued Djemaa, Oued-Bougdoura, Assif-Ousserdhoun, Assif, Oued-Aissi, oued Ksari, et oued Rabta. Tksbet où le niveau des eaux de mer arrive à une cinq de kilomètres carrée vers la terre. La superficie inondée couvre 514 ha, ce qui est dû non pas seulement à la morphologie côtière de basse altitude, mais également au régime climatique des houles du large.

### **VI.6.2.2. Scénario 7 m :**

Pour une hauteur des vagues atteinte 7 m, on constate que la superficie couverte par les eaux de mer est concernant les trois périodes de retour (10, 20 et 50 ans) et par rapport aux scénarios de submersion de 6.5, 6.7 et 7 m, montre une forte infiltration des eaux de mer sur la partie terrestre par rapport au scénario précédent. La pénétration de l'eau de mer vers la terre est fortement accélérée par la présence des réseaux hydrographiques, comme : : Assif n'Boubehir, Oued Djemaa, Oued-Bougdoura, Assif-Ousserdhoun, Assif, Oued-Aissi, oued Ksari, et oued Rabta. Tksbet; où le niveau des eaux de mer arrive à une 5.5 kilomètres carrée vers la terre. La superficie inondée couvre 552 ha, ce qui est dû non pas seulement à la morphologie côtière de basse altitude, mais également au régime climatique des houles du large.

### **VI.6.2.3. Scénario 8 m :**

Pour une hauteur des vagues atteinte 8 m, on constate que la superficie couverte par les eaux de mer est concernant par la période de retour de 100 ans et par rapport aux scénarios de submersion de 7.3 m, montre une forte infiltration des eaux de mer sur la partie terrestre par rapport au scénario précédent. Il y a une pénétration spectaculaire de l'eau de mer sur le milieu urbain à des endroits très éloignés de la côte dans plusieurs sens, notamment au niveau des zones d'embouchures, comme : Assif n'Boubehir, Oued Djemaa, Oued-Bougdoura, Assif-Ousserdhoun, Assif, Oued-Aissi, oued Ksari, et oued Rabta. Tksbet; où le niveau des eaux de mer arrive à une six de kilomètres carrée vers la terre. La superficie inondée couvre 599 ha, ce qui est dû non pas seulement à la morphologie côtière de basse altitude, mais également au régime climatique des houles du large.

Les résultats de l'exposition au risque de submersion dans le littoral de la zone d'étude pour les différents scénarios obtenus montrent que la bande côtière a connu une petite pénétration de l'eau de mer. Il est évident que les zones topographiquement élevées, les falaises et les ouvrages de protections sont moins touchés alors que les embouchures des oueds sont plus touchées par l'élévation du niveau de la mer.

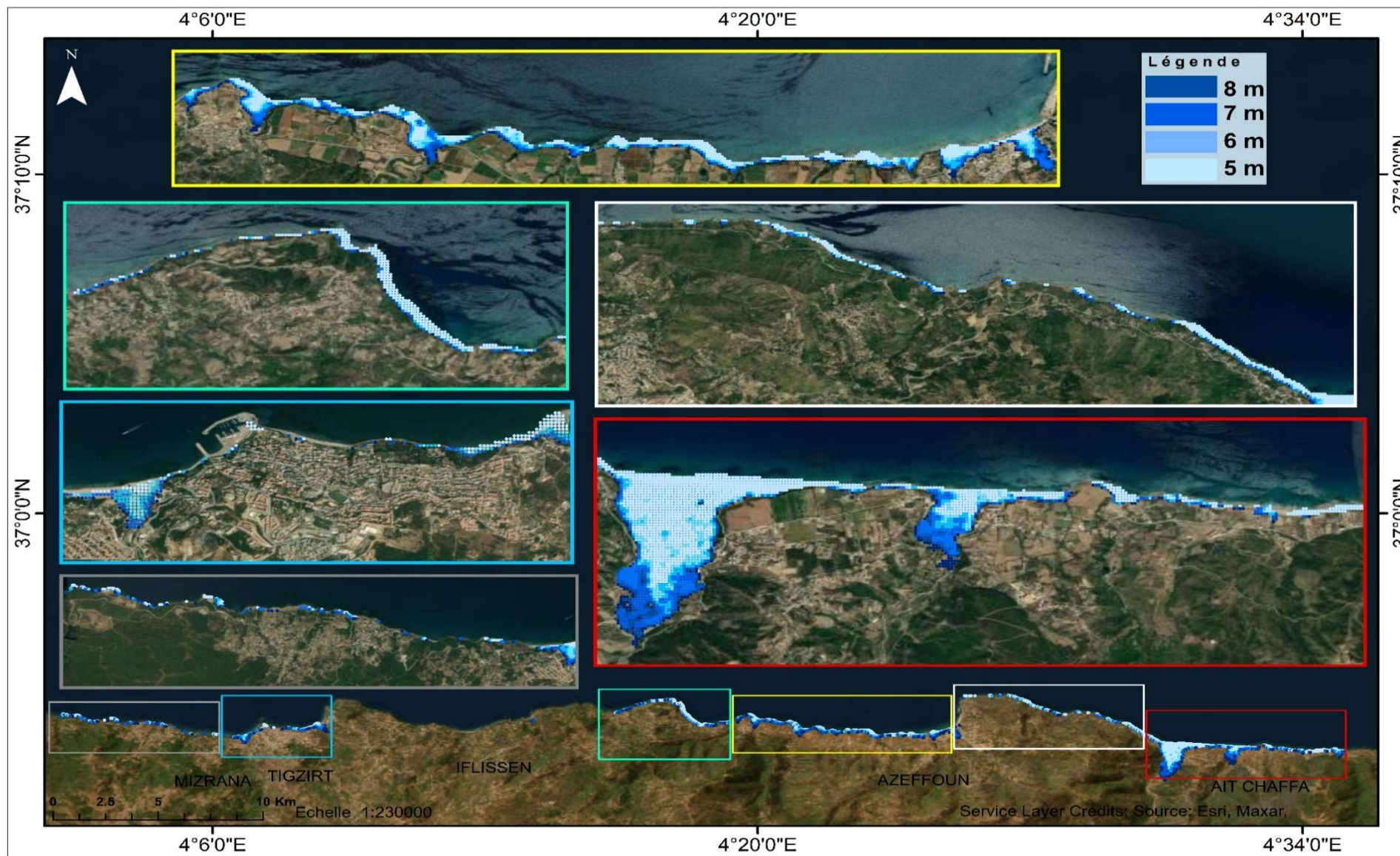


Figure VI. 8 : : Carte de Submersion pour les niveaux d'eau variants de 5m a 8m

### VI.6.3. Perte des terres due à la submersion marine

La superposition des niveaux d'eau extrêmes sur la carte d'occupation des sols de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou permet d'obtenir les superficies des terres inondées selon les différents types d'occupation des sols dans la figure suivante. Les résultats principaux de la perte de terres due à la submersion marine sont présentés dans la figure précédente qui montre les zones submerger et exprime dans le tableau. Ces résultats montrent que les terrains les plus touchés par le niveau d'eau extrême minimum (5.7 à 6 m) de 514 ha, concernant le niveau d'eau extrême moyenne (6.5, 6.7 et 7 m), la superficie des terres submergées sera de 552 ha, et concernant le niveau d'eau extrême maximum de 7.3 m, la superficie des terres submergées sera 599 ha, qui touches directement les plages et les dunes mais aussi touches l'urbanisme.

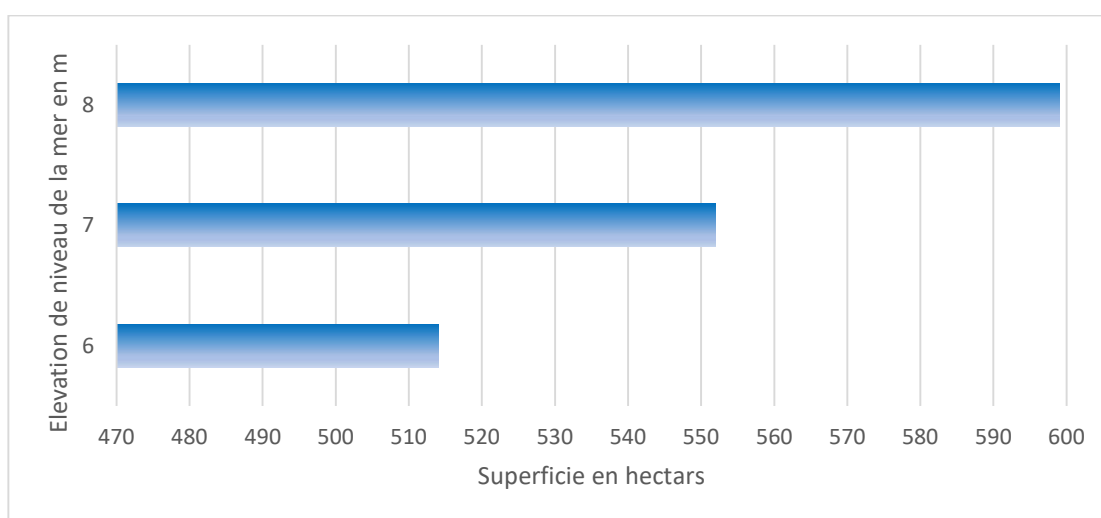


Figure VI. 9 : Superficies de terres menacées par l'aléa de submersion dans les différents niveaux d'élévation

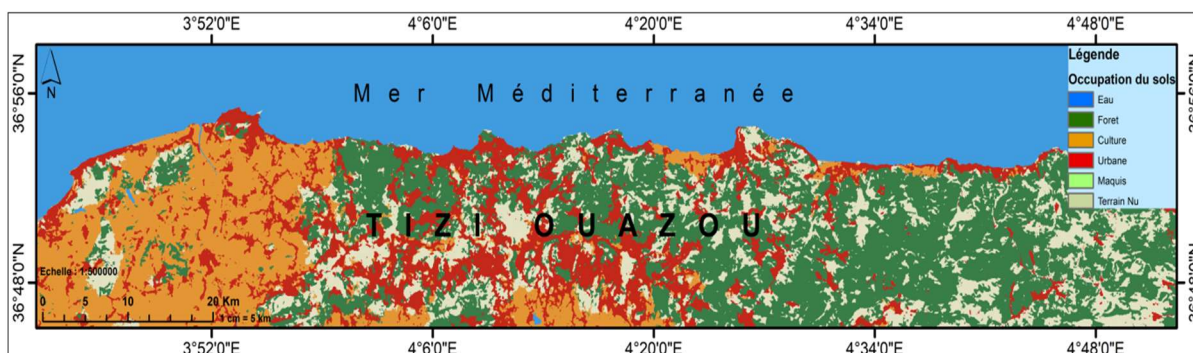


Figure VI. 10 : Carte d'occupation du sol de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou (source : ESRI-COVERLAND)

## VI.7. Conclusion

La submersion marine est un phénomène très compliqué à modéliser en raison des différents paramètres aléatoires tels que la surcote, l'effet du vent, etc., et des mauvaises observations lors des tempêtes passées.

L'application de la méthode du **(HOOZMANS et al. 1993)** a permis de cartographier les zones submergées dans le littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Les résultats obtenus montrent que les zones les plus vulnérables aux submersions marines sont les zones de basses altitudes ; tandis que les zones les moins vulnérables sont les zones où il y a la présence des falaises (des falaises de 8 à 35 m)

L'analyse du risque de submersion côtière dans notre zone d'étude montre le degré de vulnérabilité d'une côte basse à une submersion en fonction des différentes structures géomorphologiques qui y existent.

**CHAPITRES VII :**  
**Eude de vulnérabilité**

## VII.1. Introduction

Les zones littorales représentent des espaces dynamiques et fragiles, constituant des interfaces cruciales entre les environnements terrestres et marins. Elles sont d'une grande importance écologique, économique et sociale, abritant une biodiversité unique et soutenant des activités humaines variées, ces zones sont de plus en plus menacées par divers facteurs, tels que le changement climatique, l'érosion côtière, et l'urbanisation rapide. (UNEP/MAP - Plan Bleu, 2012 - CZM, 2005)

La vulnérabilité du littoral peut être définie comme le degré auquel une zone littorale est susceptible d'être affectée négativement par des événements naturels et anthropiques. Elle dépend de trois principaux facteurs : l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation. L'exposition fait référence à l'ampleur et à la fréquence des aléas auxquels une zone est soumise, tels que les tempêtes, les inondations et l'élévation du niveau de la mer, La capacité d'adaptation représente les mesures et les stratégies pouvant être mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité et augmenter la résilience des zones littorales (Brown et al., 2018). La sensibilité désigne le degré de réaction d'un système littoral face à ces aléas (Jones, 2010).

La vulnérabilité côtière est à estimer par rapport à l'intensité des aléas potentiels susceptibles de s'exercer sur la zone soit par l'atténuation des effets des aléas menaçant soit par le transfert hors zone des biens menacés (notion de prévention) (AMARNI, N. 2021). La vulnérabilité systémique devrait être mise au cœur de la gestion du risque ; elle combine les aléas et les enjeux exposés. (Meur-Ferec et al., 2013).

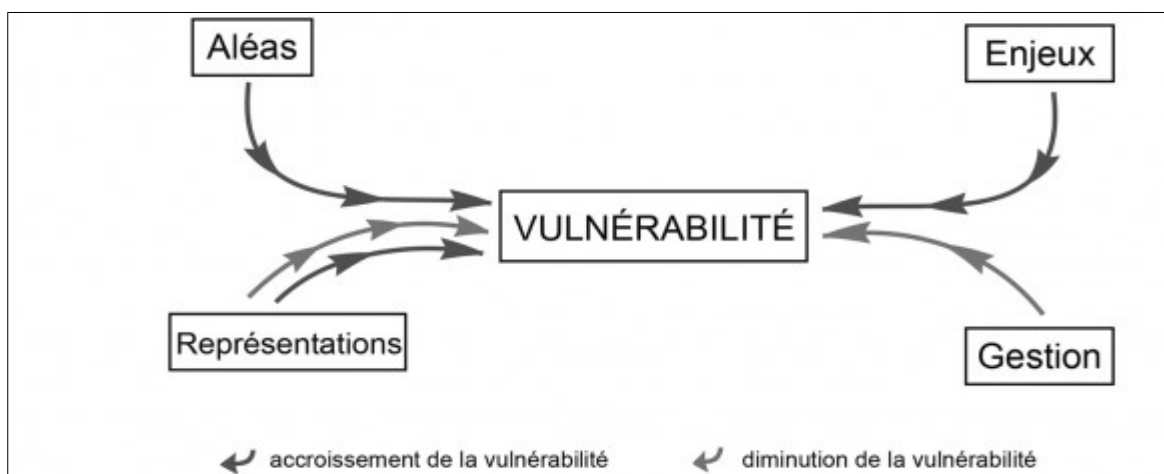


Figure VII. 1 : Systématique de la Vulnérabilité (C. Meur-Ferec, 2006)

L'études d'évaluation de la vulnérabilité côtière deviennent donc essentielles pour comprendre et anticiper les impacts potentiels de ces menaces. Identifier les zones a risques quel que soit naturel ou anthropique avec les facteurs potentiels le plus vulnérable ; permet de proposer des stratégies de gestion et d'adaptation efficaces.

Dans ce contexte que ce chapitre propose l'analyse de vulnérabilité du littoral de tizi à l'aide de la cartographie et intégrant les facteurs de vulnérabilité que nous avons utilisé comme référence talque les données physiques et socio-économiques.

## VII.2. Définitions du concept de la vulnérabilité

La vulnérabilité est une fonction de facteurs conjoncturels (aléas) et structurels déterminés par les contextes socio-économiques, culturels, fonctionnels et institutionnels d'un lieu et d'une époque. Elle peut alors être appréhendée selon quatre composantes principales : les aléas (érosion, submersion), les enjeux (valeur humaine, économique ou environnementale), les politiques et mesures de gestion (prise en charge) et la perception du risque par les sociétés exposées (Dauphiné, 2001). (OTMANI, H. 2020).

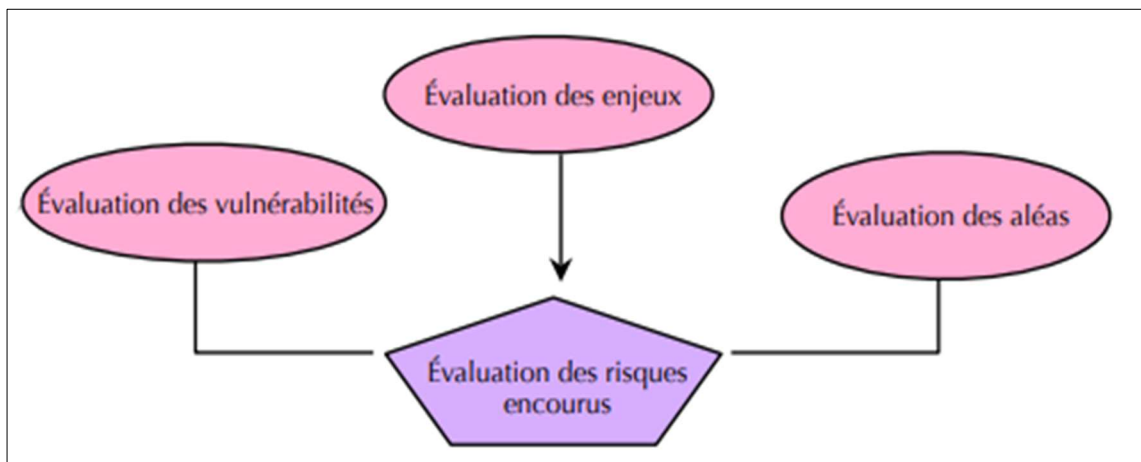


Figure VII. 2 : L'évolution des risques (Frédéric, L. 2021).

L'évaluation de la sensibilité à l'endommagement repose généralement sur l'analyse de facteurs intrinsèques ou extrinsèques à l'élément vulnérable et qui peuvent agir soit directement, soit indirectement. Ces facteurs constituent des causes de vulnérabilité pouvant être quantifiées au moyen d'indicateurs ou bien appréciés qualitativement par le biais de diagnostics. (Frédéric, L. 2021).

### VII.3. L'indice de vulnérabilité côtière (CVI)

L'indice de vulnérabilité côtière (CVI) est un outil analytique utilisé pour évaluer et quantifier la vulnérabilité des zones côtières face à divers aléas. Il vise à présenter l'information dans une forme simple, utile et compréhensible pour les gestionnaires. Cet indice a été développé à l'origine par Gornitz (1990-1994) pour évaluer les risques d'élévation du niveau de la mer dans la côte Est des Etats-Unis (**Gornitz, V et al., 1991**). Cet indice a été amélioré (ajout des facteurs socio-économiques) et adapté aux caractéristiques des zones étudiées et à la disponibilité des données sur les paramètres impliqués dans la vulnérabilité.

Selon McLaughlin et Cooper (2010), les trois éléments qui sont les caractéristiques physiques du littoral, le forçage des vagues et les caractéristiques socio-économiques contribuent à la vulnérabilité. Ces variables multidisciplinaires, représentées par différents types de données, sont littéralement complexes à assembler pour les évaluations de la vulnérabilité des zones côtières. Cette méthode basée sur un indice simplifie un certain nombre de paramètres complexes et interactifs qui sont largement utilisés pour mesurer la vulnérabilité côtière à l'échelle mondiale.

### VII.4. Méthodologie

La vulnérabilité est le degré auquel un système est susceptible, ou incapable de faire face, aux effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les événements extrêmes. La vulnérabilité est fonction du caractère, de l'ampleur et du rythme du changement climatique auquel un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. (**Rapport GIEC**).

Sur ce travail l'analyse a été basée sur la cartographie de la zone littorale à partir de CVI physique et socio-économique sous la méthode de (Gornitz et al. 1994) et modifiée par (**Hammar-Klose & Thieler. 2001**), avec l'utilisation de logicielle ArcGIS et l'exploitation par google Earth ainsi que le résultat de simulation hydrodynamique pour cartographier les indicateurs de CVI sur le littoral de Tizi-Ouzou.

Par rapport à la zonation sur notre site d'étude, elle se base sur un découpage de la côte dont le critère est la diversité de la typologie côtière pour simplifier l'évaluation de la vulnérabilité par secteur. La zone du port n'est pas considérée par l'évaluation.

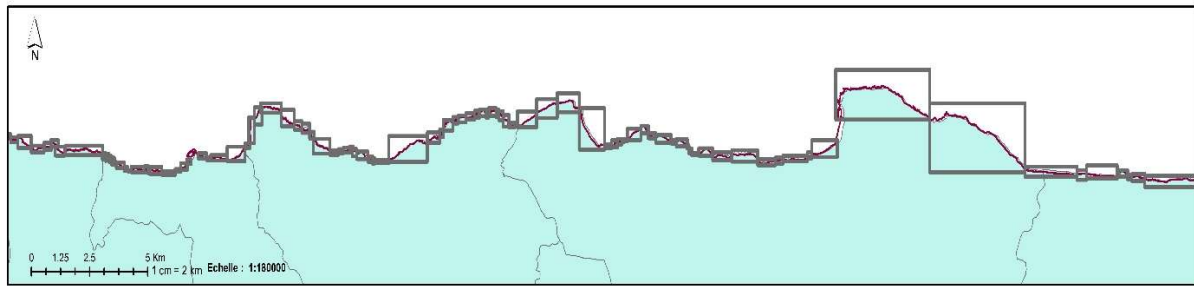


Figure VII. 3 : Découpage du littoral de Tizi en profils de longueurs par rapport la géomorphologie.

### VII.5. Indicateur de l'CVI Physique

L'Indice de Vulnérabilité Côtière Physique (ICVphys) est un outil utilisé pour évaluer la vulnérabilité des côtes face aux processus physiques tels que l'érosion, les tempêtes, et la montée du niveau de la mer. Il intègre des paramètres géophysiques et environnementaux afin de fournir une mesure quantitative de la vulnérabilité côtière. Cet indice aide à identifier les zones côtières les plus à risque et à informer les décideurs en gestion côtière." (Thieler & Hammar-Klose, 1999)

La méthode proposée par Hammar-Klose et Thieler (2001) évalue la vulnérabilité des zones côtières en se basant sur le "forçage de la mer" et les "facteurs géologiques". Chaque variable contributive est notée sur une échelle de risque de 1 à 5, avec 1 représentant un risque très faible et 5 un risque très élevé. Selon Gornitz et al. (1994).

L'indice de vulnérabilité côtière est calculé en utilisant une formule qui prend la racine carrée du produit des valeurs de risque divisées par le nombre de variable). L'équation suivante a été donnée par Gornitz et al (1994). Les résultats obtenus sont classés selon le tableau 1 :

$$IVC = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}} \quad \text{Équation 19}$$

Sachant que :

- a = géomorphologie;
- b = Taux de changement de la côte;
- c = pente
- d = élévation relative du niveau de la mer
- e = hauteur moyenne des vagues;
- f = moyenne de la marée

Après la détermination des valeurs de l'ICV, on procède à la classification des catégories en pourcentage de classes et par l'inspection visuelle des données, ces catégories se caractérisent respectivement à très bas vulnérabilité, bas, modérée, élevée, et très élevée. Chaque valeur calculée tombe dans le quartile pertinent, alors chaque région côtière se caractérise en conséquence.

Tableau VII. 1 : Classification CVI physique. (GORNITZ et al. 1994).

Variables	Classes de l'indice côtier de vulnérabilité physique				
	Très Bas	Bas	Modéré	Elevé	Très Elevé
	1	2	3	4	5
Géomorphologie.	Falaise haute et côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse, dépôt glaciaire, plaine alluviale	Plage à galets, estuaire, lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves.
Pente côtière (%).	>12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	<3
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an).	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3.4
Recul/Avancée du trait de côte (m/an).	> (+2,0)	(+1,0) - (+2,0)	(-1,0) - (+1,0)	(-2,0) - (-1,0)	< (-2,0)
Amplitude moyenne de la marée.	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0
Amplitude moyenne de la houle (m).	<0,55	0,55 – 0,8	0,85 -1,05	1,05 – 1,25	>1,25

### VII.5.1. Application de l'CVI physique

#### VII.5.1.1. Variable géomorphologie

La variable géomorphologie exprime l'érodabilité relative des différents types de relief. Cette érodabilité des reliefs est liée aux degrés de résistance des matériaux qui les composent aux processus érosifs (**Thieler et Hammar-Klose, 1999**).

La forme d'une côte influence considérablement sa réaction aux conditions du milieu marin. Du point de vue vulnérabilité physique, les zones côtières des côtes rocheuses et des côtes à falaises présentent un degré de vulnérabilité très bas, par contre les plages présentent un degré de vulnérabilité très élevé, dans notre zone d'étude les falaises hautes et les côtes rocheuses existent au niveau de l'Ouest de la zone dans les trois communes (Iflissen, Tizirt et Mizrana) et aussi l'existence des falaises moyennes est beaucoup plus dans Iflissen ; c'est ce qui lui confère donc un degré de vulnérabilité très bas à bas .

A l'Est de la zone ; la présence des plages, beaucoup plus, dans AitChaffa font que le degré de vulnérabilité soit très élevé. Au niveau de la commune de Azeffoun, les falaises basses sont dominantes, le degré de vulnérabilité est donc modéré (la Figure VII.5).

#### VII.5.1.2. Variable pente côtière

La pente côtière, est une variable quantitative, permet une évaluation des deux risques : érosion et submersion marine. Les bandes côtières à faible pente sont plus sensibles à l'érosion, aux tempêtes et tsunamis que les bandes côtières à pente élevées (**Gaki Papanastassiou et al, 2010**).

Du point de vue vulnérabilité physique, les zones côtières à faible pente (< 3%) présentent un degré de vulnérabilité très élevée, et les zones côtières à fortes pentes (> 12%) présente un degré de vulnérabilité très bas, dans l'Ouest de notre zone d'étude (Iflissen, Tizirt et Mizrana) la pente supérieure est de 9% ce qui correspond à un degré de vulnérabilité bas à très bas ; contrairement à la zone Est de notre zone qui est dominée par une pente variant de 6 à 9%, le degré de vulnérabilité est modéré (Figure VII.6) .

### VII.5.1.3. Variable remontée relative du niveau de la mer

L'élévation de niveau de la mer accentue les risques d'érosion et de submersion dans les zones côtières basses. Par conséquent, lors de l'étude de la vulnérabilité, 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.

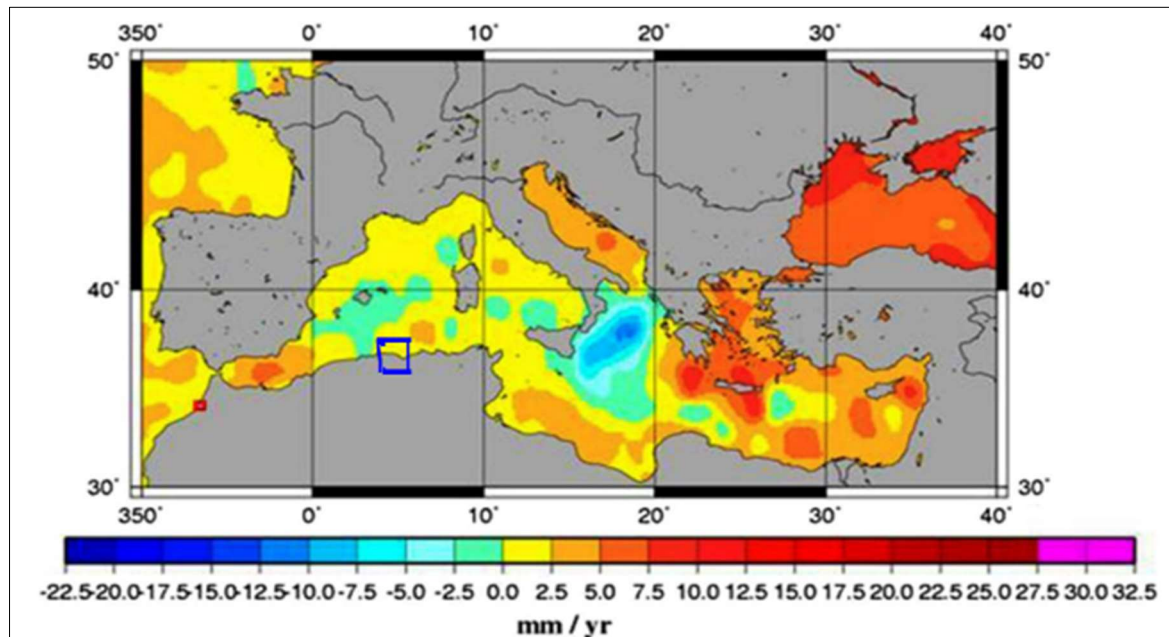


Figure VII. 4 : Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2007) d'après Topex/Poseidon et Jason-1 : Zoom sur la Méditerranée. (Source : LEGOS).

Dans cette étude, on a opté pour les mesures effectuées par les satellites d'altimétrie spatiale Topex/Poséidon et Jason 1 Figure 4, pour la période allant de 1993 et 2006, en Méditerranée occidentale. Ces mesures sont très utiles puisqu'il n'existe aucune mesure historique des marégraphes dans le littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou. D'après la figure 4 notre zone d'étude témoigne d'une remontée relative de niveau de la mer entre 2.5 et 3 mm/an donc un degré de vulnérabilité modéré, comme on a présenté dans la Figure VI.7.

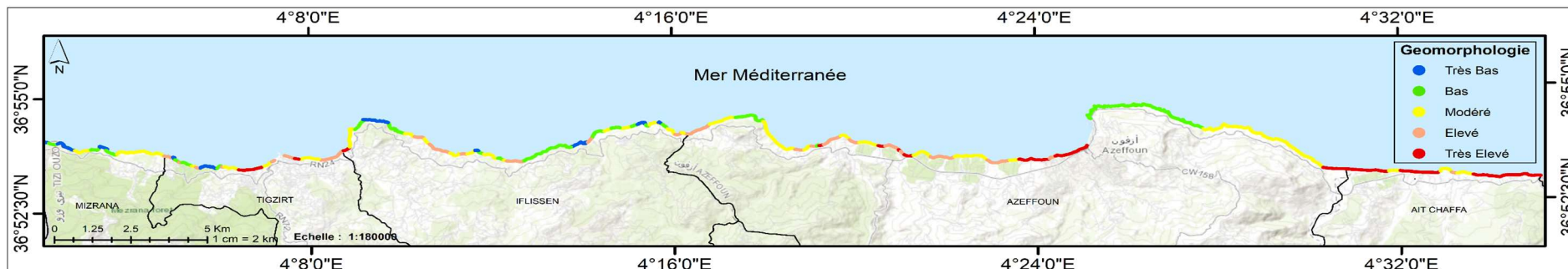


Figure VII. 5 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable géomorphologie

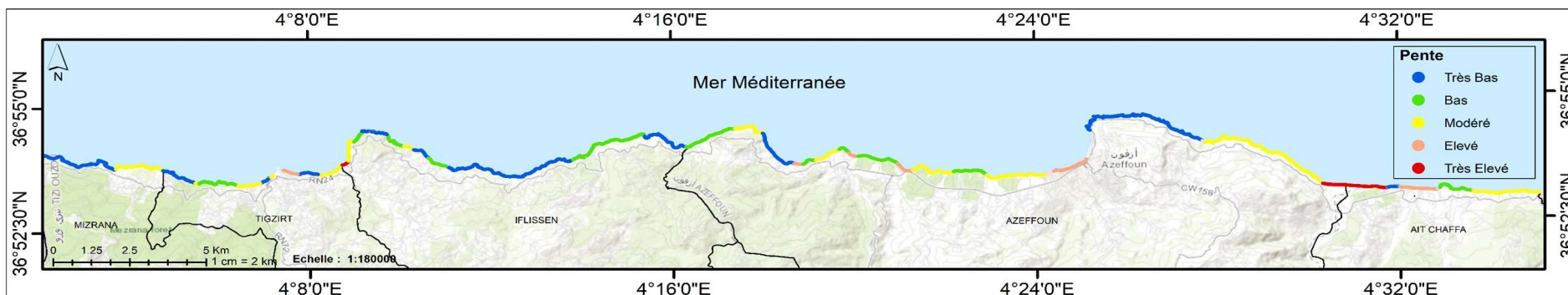


Figure VII. 6 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable pente côtière



Figure VII. 7 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable remontée relative de niveau de la mer

#### VII.5.1.4. Recul/Avancée du trait de côte (m/an).

Ce paramètre est l'un des plus utilisés pour les prédictions de risque à moyen terme. Tout comme la géomorphologie côtière, il résulte à la fois de l'influence de la géologie, du vent des vagues, des marées (XHARDE, R.2007), cette variation constitue donc un autre bon indicateur de la résistance des cotés à l'érosion et de leurs évolutions a plus ou moins long terme.

La cartographie de la vulnérabilité physique selon le recul de trait côte a été faite à partir des résultats obtenus par le calcul DSAS dans le chapitre II. Ces résultats montrent que la zone enregistre la variation du trait de côte est entre -1m jusqu'à +1m donc un degré de vulnérabilité modéré, comme on a présenté dans la Figure VII.12.

#### VII.5.1.5. Variable marnage

Les zones macro-tidales sont moins vulnérables que celles qui ont un régime micro-tidal (Dwarakish et al., 2008 ; Gaki Papanastassiou et al., 2010). En effet, il y'a une grande probabilité que de fortes vagues coïncident avec la marée haute et provoquent donc une érosion forte et une submersion marine due à un estran étroit (Dwarakish et al., 2008). En outre, une haute amplitude des marées est généralement associée à un large estran dans lequel l'énergie des vagues peut être dissipée (Gornitz, 1991) (Salley. 2021).

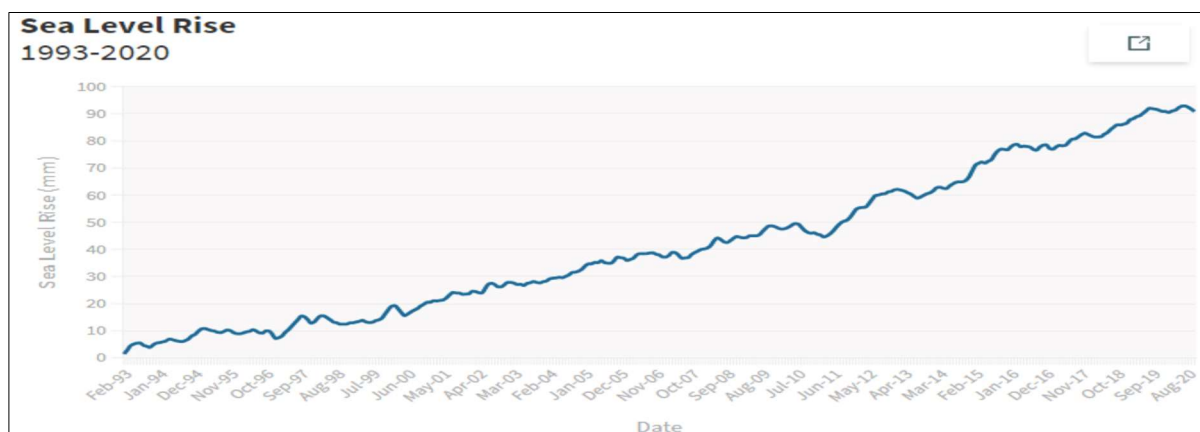


Figure VII. 8 :: Variation du niveau de la mer entre (1993-2020) (Eckstein et al. 2019).

Dans cette étude la marée moyenne sur la côte algérienne est de 34 cm, 0,34m est inférieure de 1m, donc notre zone d'étude est un degré de vulnérabilité très élevé, comme on a présenté dans la Figure VI.11.

### VII.5.1.6. Variable hauteur significative des vagues à la côte (Hs)

Les segments du littoral avec des valeurs d'indice élevées auront des reliefs bas, un substrat facilement érodable, un recul du trait de côte important, et seront exposés à des énergies élevées de vagues (GORNITZ et al. 1994).

La simulation de la hauteur moyenne des vagues a été effectuée à l'aide du modèle numérique Mike 21 développé par DHI, qui simule la réfraction de la houle du large vers la côte, pour donner à la fin les valeurs des hauteurs des vagues près de la côte.

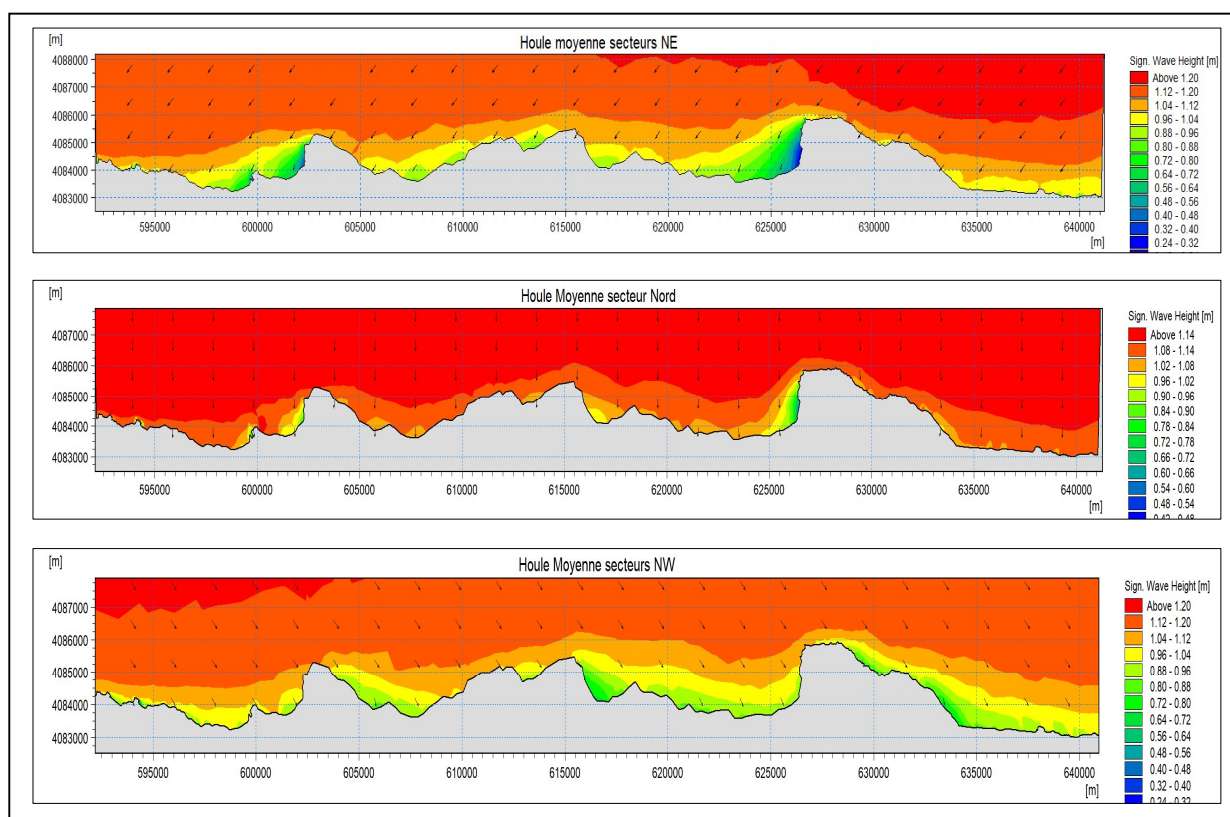


Figure VII. 9 : Synthèse de la houle moyenne cartographie utiliser dans la cartographie

La méthodologie est expliquée dans le chapitre III. Dans notre zone étude on a des valeurs de Hs entre 0,85 et 1,05 dans les trois communes (Ait Chaffa, Tizirt et Mizrana) donc un degré de vulnérabilité modéré. Au niveau des deux communes (Azeffoun et Iflissen) on a un taux de variation entre 0,85 et 1,25 donc un degré de vulnérabilité modéré à élevé. Les résultats sont présentés sur la Figure VI.10.

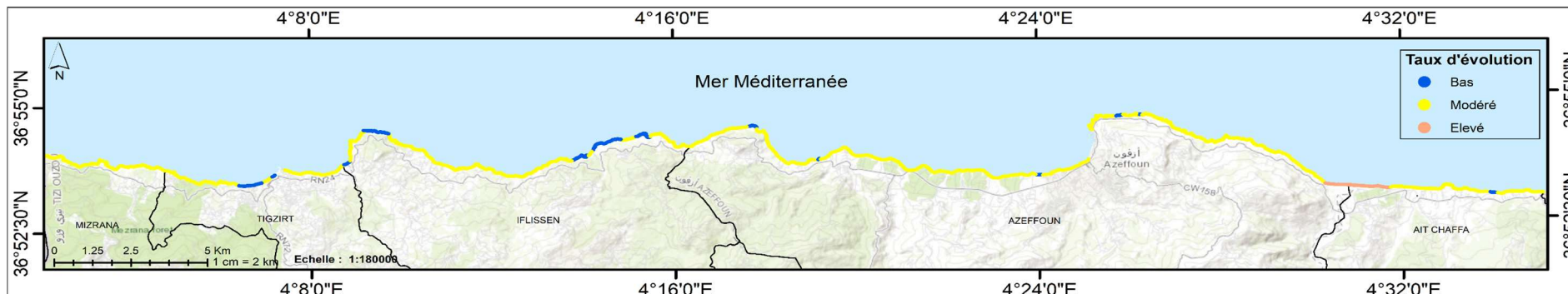


Figure VII. 12 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable Recul/Avancée du trait de côte.

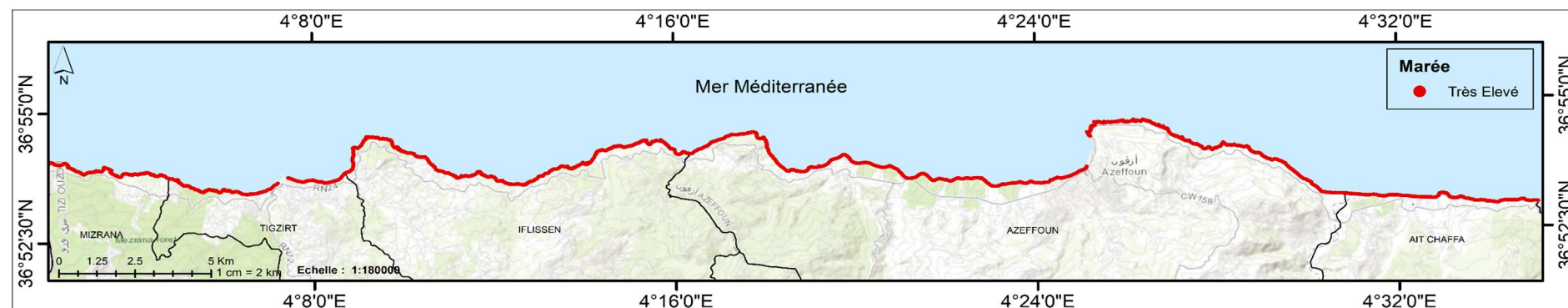


Figure VII. 11 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable marnage

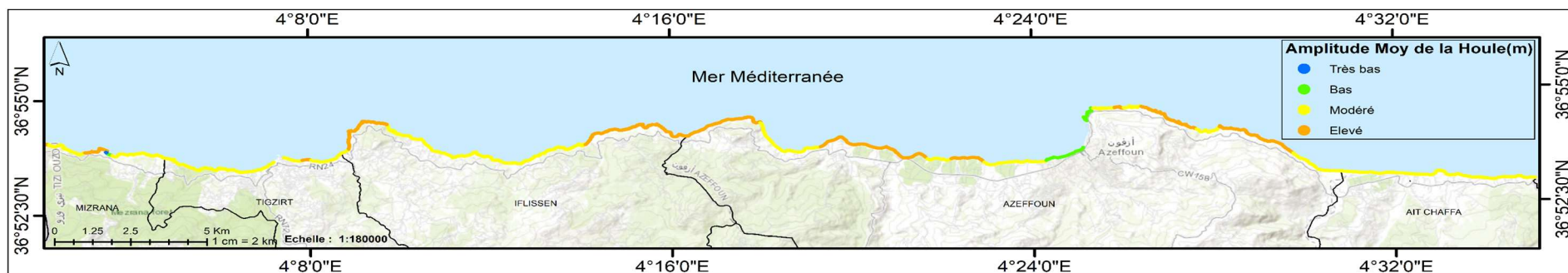


Figure VII. 10 : Degré de vulnérabilité par rapport à la variable hauteur significative des vagues à la côte (Hs).

### VII.5.2. Résultats l'CVI physique

D'après la formule de (GORNITZ et al. 1994). Et d'après les résultats des indicateurs, l'CVI calculés sont classés dans des intervalles égaux afin de leurs donner des niveaux de vulnérabilité. Le tableau 2 montre les différentes classes d'CVI issues du traitement statistique, leurs intensités de vulnérabilité ainsi que leurs étendues en linéaire côtier (m).

Tableau VII. 2 :: Résultats du traitement statistique du CVI physique.

CVI	Intensité de la vulnérabilité	Equivalent en linéaire côtier (m)	Pourcentage de la côte (%)
3.87 – 9.75	Basse	26160	41.53
9.75 – 15.63	Modérée	18120	28.77
15.63 – 21.1	Elevé	15450	24.52
21.1 – 27.39	Très Elevé	3260	5.17

La synthèse de CVI révèle que 41% du linéaire est caractérisé par une vulnérabilité basse, du principalement à la présence des cotes rocheuse et des falaises majoritairement dans l'Ouest du littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Un CVI modéré est enregistré sur 29% du linéaire distribuée au niveau de tout le littoral de la zone d'étude. Un degré de vulnérabilité élevé est enregistré sur 25% de la côte étudiée. Le secteur correspond aux plages de deux communes d'Iflissen et d'Ait Chaffa qui se situent à l'Est de la zone d'étude, une zone balnéaire fortement urbanisée et d'importance touristique. Par ailleurs, 5 % du linéaire côtier présente un degré très élevé de vulnérabilité, ce qui concorde avec les observations de terrain. En effet, la plage Thilmathin, qui fait partie de la commune d'Ait Chaffa, a connu une très forte érosion récente.

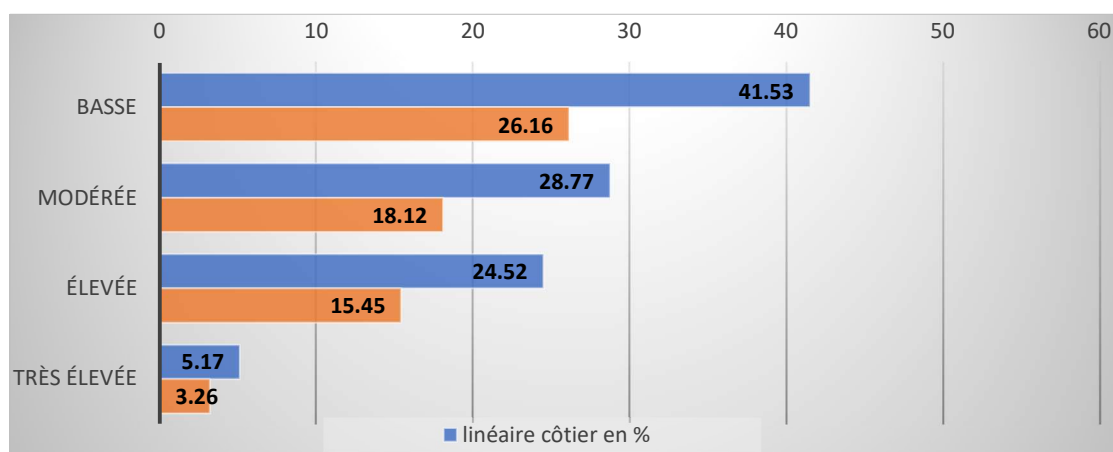


Figure VII. 13 : Degré de vulnérabilité en termes de pourcentage du linéaire côtier.

## VII.6. Indicateur de l'CVI socio-économique

L'indice (ICVSE) est un outil d'évaluation qui mesure la vulnérabilité des zones côtières en prenant en compte des facteurs socio-économiques. Contrairement à l'Indice de Vulnérabilité Côtière Physique, qui se concentre sur les aspects géophysiques, l'ICVSE intègre des paramètres liés à la population, à l'économie, à l'infrastructure et à la gouvernance. Cet indice aide à identifier les communautés côtières les plus vulnérables et à orienter les décisions de gestion pour renforcer leur résilience. (Adger et al., 2005).

L'évaluation de la vulnérabilité socio-économique est cruciale pour déterminer la sensibilité des zones côtières et protéger leurs enjeux socio-économiques (Gornitz, 1993). La plupart des études de vulnérabilité côtière se concentrent sur les aspects physiques, mais l'intégration des aspects socio-économiques améliore la qualité des études et identifie les zones les plus vulnérables (Gornitz et al. 1994, McLaughlin et al. 2002, McLaughlin et Cooper. 2010, Felsenstein et Lichter. 2014, Djouder et Boutiba. 2017).

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité socio-économique des côtes utilisé dans cette partie a été développée par McLaughlin et al. (2002) Cette évaluation prend en compte six variables résumé dans l'équation 2 ,Ces variables sont utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité socio-économique du littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou portant sur plusieurs indicateurs socio-économiques de la zone côtière, selon ces auteurs, le choix des variables est conditionné par la possibilité d'obtention des données et leur importance pour le système côtier et pour leur cotations et les degrés de vulnérabilité sont indexés respectivement de 1 à 5 autrement dit du plus faible au plus fort ;

$$ICV_{SE} = \left( \frac{a + b + c + d + e + f}{30} \right) \cdot 100 \quad \text{Équation 20}$$

Sachant que :

- a : Population
- b : Patrimoine culturel
- c : Réseau routier
- d : Voies ferrées
- e : Occupation du sol
- f : Désignation de conservation

Tableau VII. 3 :: Classification des variables de la vulnérabilité côtière socio-économique McLaughlin et al, (2002).

Variables	Classes de l'indice côtier de vulnérabilité physique				
	Très faible	Faible	Modéré	Fort	Très Fort
	1	2	3	4	5
<b>Population</b>	Absente	Village	Petite ville	Ville	Grande ville
<b>Réseaux routiers</b>	Absent	-	Route	-	Autoroute
<b>Réseaux ferrés</b>	Absent	-	-	-	Présent
<b>Occupation du sol</b>	Plans d'eau Espace vert Roches nues	Prairie naturelle	Forêt	Activité agricole	Zone urbanistique, d'infrastructure et industrielle
<b>Patrimoine culturel</b>	Absent	-	-	-	Présent
<b>Statut de protection</b>	Absent	-	International	-	National

### VII.6.1. Application de ICV<sub>SE</sub>

#### VII.6.1.1. Variable des réseaux routiers

Les réseaux de transport jouent un rôle crucial dans le développement social et économique des zones côtières. Ils permettent la mobilité des populations et le transport des marchandises. Toutefois, les zones côtières dotées de réseaux de circulation bien développés sont plus vulnérables, car les dommages causés par l'érosion ou la submersion peuvent entraîner des pertes économiques et commerciales considérables (McLaughlin et Cooper, 2010).

Le réseau routier est un facteur clé de développement social et économique des zones côtières, le niveau de densité du réseau routier sur le littoral de Tizi Ouzou est définis comme étant modéré (Figure VII.14)

### VII.6.1.2. Variable des voies ferrées

La voie ferrée est un facteur clé de développement social et économique des zones côtières. Cependant, l'absence de voies ferrées, comme illustré dans la Figure, représente un obstacle majeur pour le développement de la région, limitant ainsi la mobilité des personnes ainsi que l'accès aux opportunités économiques et sociales(Figure VII.15).

### VII.6.1.3. Variable de Population

La population joue un rôle crucial dans la zone côtière, où la densité de population influence divers facteurs anthropiques tels que la gestion des déchets, l'urbanisation et les installations industrielles. Dans la wilaya de Tizi-Ouzou, les communes littorales situées dans une bande de 800 mètres le long de la côte ont connu une croissance démographique significative, particulièrement dans les communes d'Ait Chaffa et Mizrana. À l'inverse, les communes d'Azzefoun, Iflissen et Tizirt présentent une densité de population Tres-Faible a modérée.

Le tableau suivant détaille la densité de population entre 2008 et 2021, tandis que la figure illustre le degré de vulnérabilité côtière.

Tableau VII. 4 : Le taux d'évolution et la densité de la population de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou

Commune	RGPH 2008	Estimation 2021	Taux d'évolution	Densité (Habitant/km <sup>2</sup> )
Mizrana	9384	10400	1,11	180
Tizirt	11962	21970	1,84	527
Iflissen	14288	14847	1,04	222
Azefoun	17435	20884	1,20	165
Ait Chaffa	3780	3749	0,99	44



Figure VII. 14 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable a réseaux routiers

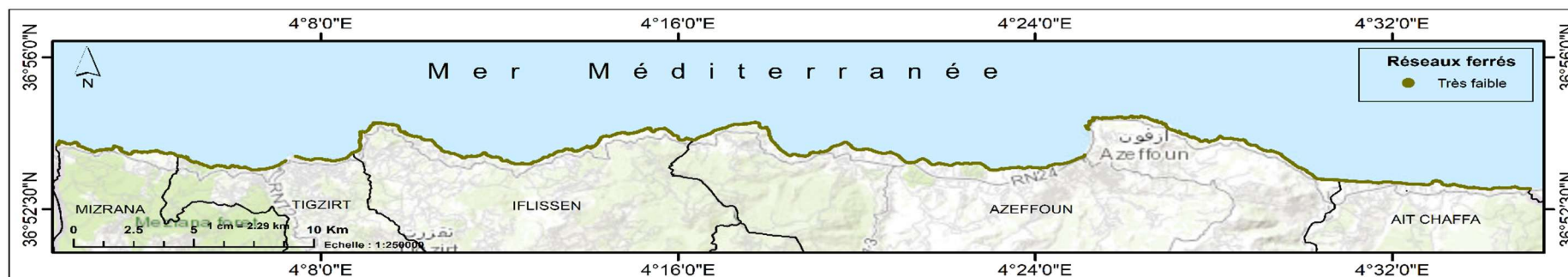


Figure VII. 15 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable des voies ferrées

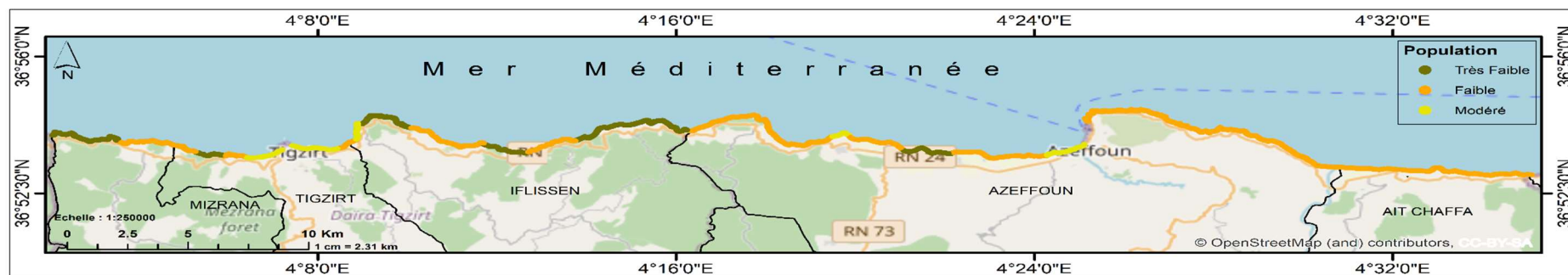


Figure VII. 16 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable Population

#### **VII.6.1.4. Variable d'occupation du sol**

L'exploitation des terres côtières joue un rôle crucial dans leur importance économique et leur vulnérabilité. Les zones urbanisées et industrialisées sont particulièrement vulnérables, tandis que les zones naturelles, telles que les terrains nus, les espaces verts et les cours d'eau, présentent une moindre vulnérabilité (McLaughlin et Cooper, 2010).

L'analyse globale a révélé que la zone d'étude possède une vulnérabilité de 5ème degré (très forte), surtout dans les endroits où les infrastructures lourdes sont installées, comme le port de Tizirt et le port d'Azeffoun. Cette vulnérabilité est également due à la forte présence industrielle dans ces zones. Le reste du littoral est réparti entre une vulnérabilité forte, principalement associée à l'activité agricole présente dans les communes d'Iflissen, Azeffoun et Ait Chaffa, et une vulnérabilité modérée, représentée par les forêts présentes dans toutes les communes à l'exception d'Ait Chaffa.

#### **VII.6.1.5. Variable de patrimoine culturel**

Le patrimoine culturel de la région englobe les monuments historiques et les sites archéologiques, ils constituent une grande valeur touristique, sociale et culturelle. La présence de ces vestiges indique une vulnérabilité élevée du segment côtier, tandis que leur absence suggère une vulnérabilité moindre (UNESCO. 2014).

Dans la zone d'étude et d'après le tableau de classification selon McLaughlin et al, (2002). Toute la zone est considérée comme étant vénérablement faible par rapport à cette variable (Figure VI.17). À l'exception de la commune d'iflissen et tizirt, compte un petit site archéologique, sont qualifiée par une très forte vulnérabilité.

#### **VII.6.1.6. Variable de statut de protection**

Le statut de protection s'applique aux zones côtières jugées importantes du point de vue environnemental et écologique. Ces zones sont délimitées et protégées par des législations nationales ou internationales. Les zones côtières ayant une désignation nationale sont considérées comme présentant une très forte vulnérabilité, tandis que celles ayant une désignation internationale montrent une vulnérabilité modérée. Cependant, dans notre zone d'étude, le statut de protection attribue un degré de vulnérabilité très bas, comme indiqué dans le tableau de McLaughlin et al. (2002).

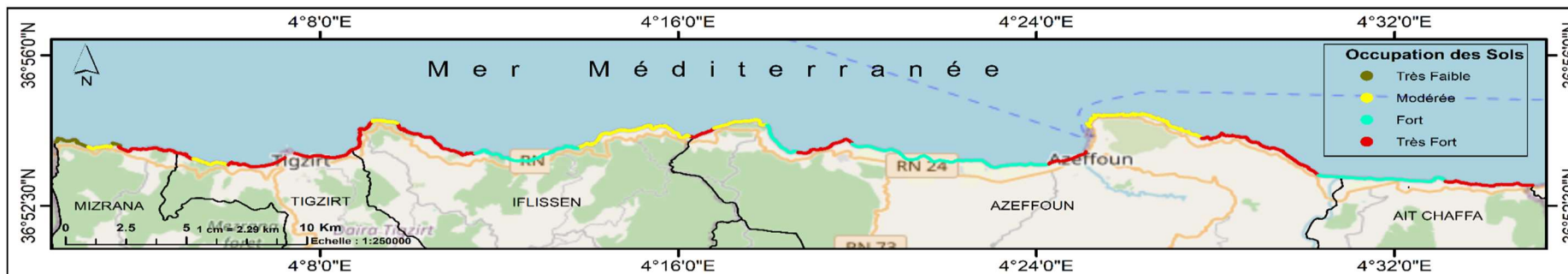


Figure VII. 17 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable d'occupation du sol

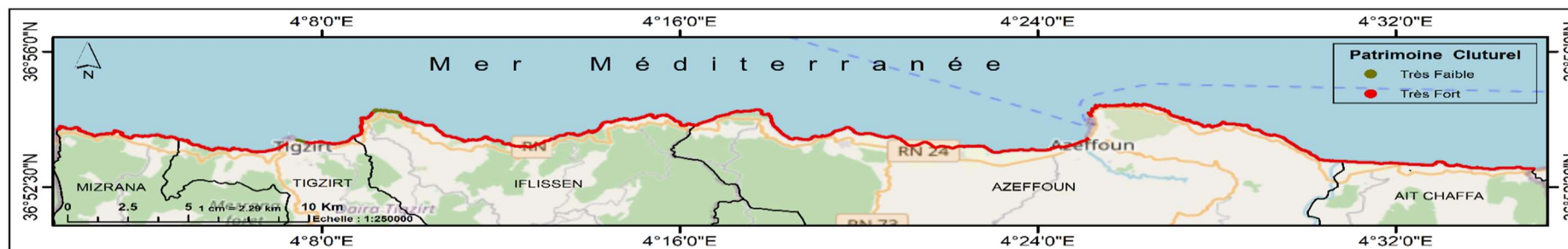


Figure VII. 18 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable de patrimoine culturel



Figure VII. 19 : Degré de la vulnérabilité liée à la variable statut de protection

### VII.6.2. Résultat de l'indice socio-économique

D'après la formule de (McLaughlin et al. (2002), McLaughlin et Cooper 2010). Et d'après les résultats des indicateurs, l'ICVSE calculés sont classés dans des intervalles égaux afin de leurs donner des niveaux de vulnérabilité. Le tableau suivant montre les différentes classes pour cet indice en fonction de traitement statistique, leurs intensités de vulnérabilité ainsi que leurs étendues en linéaire côtier.

Une fois que les six variables sont déterminées, les valeurs obtenues sont additionnées ensemble. Le score obtenu est ensuite divisé par 30 et finalement multiplié par 100. Les CVI calculés sont classés dans des intervalles égaux, afin de leurs donner des niveaux de vulnérabilité.

Tableau VII. 5 : Résultats du traitement statistique de la CVI socio-économique.

CVI	Intensité de la vulnérabilité	Equivalent en linéaire côtier (m)	Pourcentage de la côte (%)
26 – 40	Faible	1260	1.86
40 – 50	Modérée	10420	15.33
50 – 53	Fort	30190	44.41
53 – 60	Très Fort	26110	38.39

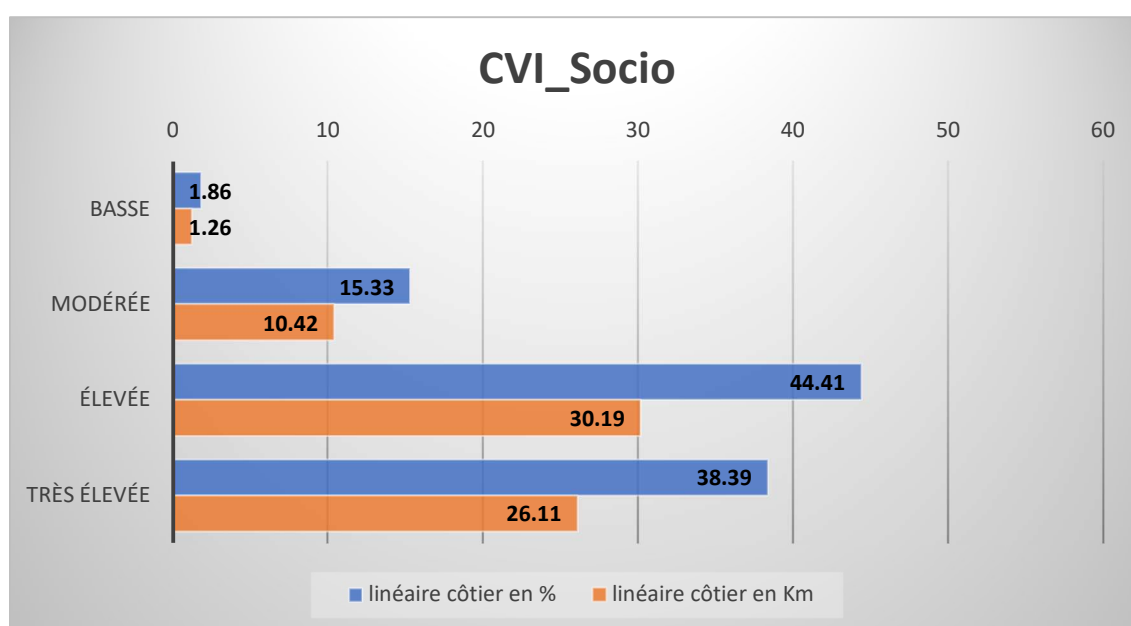


Figure VII. 20 : Degré de vulnérabilité en termes de pourcentage du linéaire côtier.

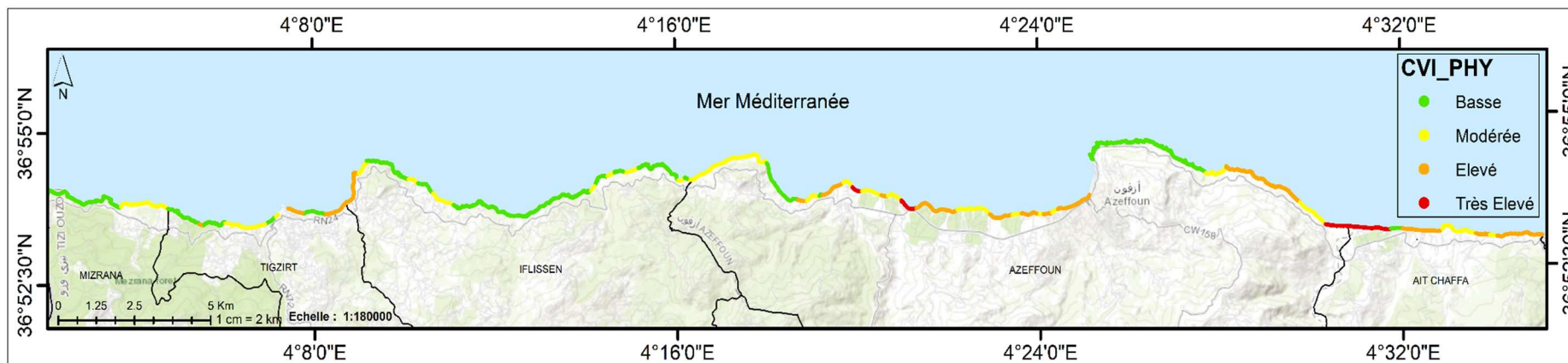


Figure VII. 21 : Carte de synthèse représentant le CVI PHYDIQUE de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou.

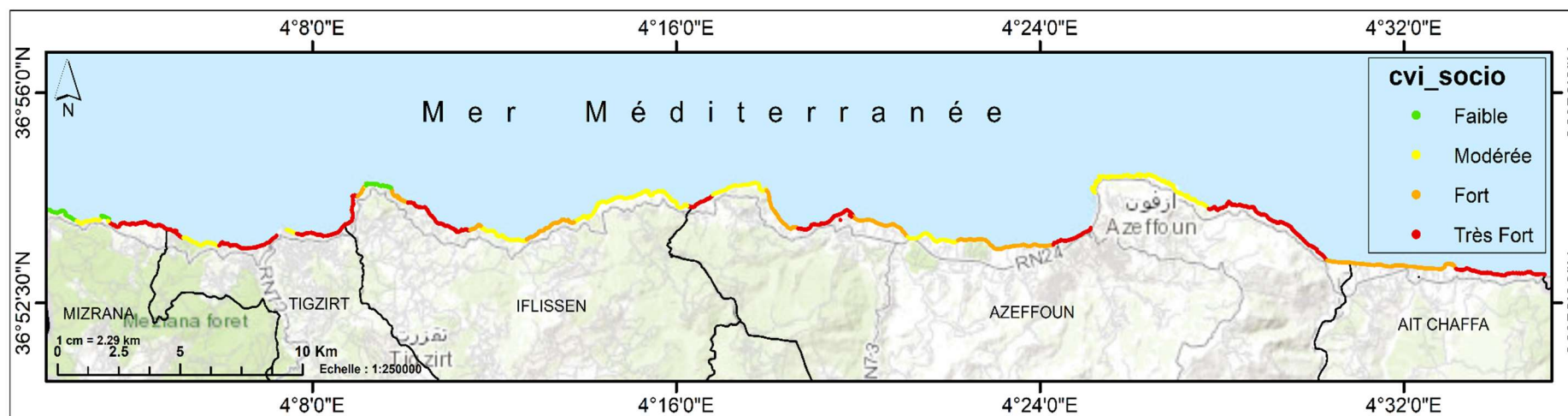


Figure VII. 22 : Carte de synthèse représentant le CVI SOCIO-ECONOMIQUE du littoral de la wilaya de Tizi-Ouzo

La carte de synthèse de la vulnérabilité socio-économique de la zone étudiée Figure VI.22 révèle que 2% du linéaire est caractérisé par une vulnérabilité faible, notamment la faible présence des patrimoines culturels au niveau du littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou. A l'Ouest on comptabilise le site archéologique de Tizirt et Mausolée de Taksebt (Iflissen).

Une CVI modérée est enregistrée sur 15% du linéaire distribuée au niveau de tout le littoral de la zone d'étude, représentée par les routes, les petites villes et les forêts au niveau de la bande littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Un degré élevé de vulnérabilité est enregistré sur 45% de la côte étudiée. Le secteur correspondrait aux terres agricoles qui sont présent dans l'Est de littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou (Iflissen, Azeffoun et Ait Chaffa).

Par ailleurs, 38 % du linéaire côtier présente un degré très élevé de vulnérabilité, ce qui concorde avec les observations de terrain. En effet, la forte présence des zones urbaines et l'absence presque totale du patrimoine culturel dans la bande littorale de la wilaya de Tizi-Ouzou.

### VII.7. Conclusion

L'étude de la vulnérabilité côtière, en utilisant des indices tels que l'Indice de Vulnérabilité Côtière Physique (ICVphys) et l'Indice de Vulnérabilité Côtière Socio-Économique (ICVSE), joue un rôle crucial dans la gestion durable des littoraux. La gestion durable du littoral, est guidée par ces outils (indices), est essentielle pour préserver la santé environnementale, économique et sociale des zones côtières

La cartographie de la vulnérabilité à l'aide de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI) est un processus simple et facilement reproductible à différentes échelles géographiques (**Mukhopadhyay et al., 2012**). L'utilisation des méthodes de (Gornitz et al. 1994) et (McLaughlin et al. 2002, McLaughlin et Cooper 2010) permet d'analyser et de suivre l'évaluation de la vulnérabilité. Il est essentiel de mentionner que la zone intérêt dans notre travail ferait face une forte vulnérabilité côtière. Un engagement collectif et des actions concertées sont nécessaires pour assurer la résilience et la durabilité des littoraux face aux changements climatiques et l'expansion des activités anthropiques.

# **Conclusion Générale**

La wilaya de Tizi-Ouzou, avec son littoral riche et varié, est confrontée à des défis significatifs en matière de Géorisques côtiers. L'évaluation détaillée, répartie en sept chapitres, a révélé les caractéristiques hydrodynamiques, climatiques et géologiques qui influencent le comportement de la côte étudiée.

Les résultats de notre étude montrent que l'érosion côtière, la submersion marine et les événements climatiques extrêmes sont des facteurs majeurs qui modifient constamment le trait de côte et menacent les infrastructures et les populations littorales. L'application de l'Indice de Vulnérabilité Côtière (CVI) a permis d'identifier les segments les plus vulnérables du littoral, intégrant des aspects physiques et socio-économiques dans l'évaluation.

La compréhension du cadre géologique a permis de décrire la sismicité de la zone d'étude et de la classer comme étant une zone à activité faible à modéré. Historiquement, la zone d'étude n'a présenté de perte matérielle que lors du séisme de Boumerdes ; quant aux pertes humaines, elles n'ont jamais été enregistrées.

L'analyse diachronique de la cinématique du trait de côte a révélé que ce littoral a été fortement impacté au cours de la période d'étude entre 2009-2023. On a pu constater que le trait de côte révèle une tendance générale à l'accrétion de  $EPR = 0.4 \text{ m/an}$  à l'exception des zones aux limites de Azzefoun et Aitchafa qui présentent une érosion avec une valeur de  $EPR = -0.51 \text{ m}$ . Cette faible érosion pourrait être dû à la nature rocheuse prédominante de la côte ; quant aux zones à proximité des oueds ; l'activité de ces derniers favorise la stabilité (faible érosion) du trait de côte à leur niveau.

L'analyse du climat a montré que les directions les plus fréquentes au large de notre zone d'étude sont le N-E et le W-S-W pour le vent, et la direction N et ENE pour les houles.

L'analyse omnidirectionnelle des événements extrême a permis de dresser des scénarios de houle de tempêtes biannuelle, quinquennale, décennale, vingtennale, cinquantiennale et centennale. Les hauteurs prédites au large varient entre 6m et 7.88m. La modélisation numérique des houles extrêmes ainsi que les houles moyennes ont permis de déduire que les houles pénalisantes proviennent du secteur Nord.

Les résultats des simulations hydrodynamiques ont permis la désignation des scénarios décrivant les niveaux de submersion qui varient entre 6m et 8m. le phénomène de submersion simulé a montré que la superficie des terres vulnérables à la submersion est de l'ordre de 599 hectares pour le niveau maximal de 8m. les parcelles principalement touchées sont les zones urbaines côtières, les terres agricoles et les plages.

L'application de la CVI permet de déterminer les indicateurs influant sur la vulnérabilité de la zone d'étude, qu'ils soient physiques ou socio-économiques. On constate que l'indice de vulnérabilité physique est bas. Par ailleurs, l'indice de vulnérabilité socio-économique présente un degré de vulnérabilité élevé.

Cette étude a permis d'effectuer un état des lieux de la côte de Tizi-Ouzou ; c'est ce qui a initié un projet de construction d'une base de données sur la wilaya. Ce travail nous a aussi permis d'ouvrir des perspectives de travail sur l'évaluation de la vulnérabilité par rapport à d'autres géorisques susceptibles d'impacter la côte de la wilaya de Tizi-Ouzou.

# **Références**

# **Bibliographique**

## Références Bibliographique

- **Achab, M., Meziani, R., & Belkaid, S. (2014).** Impact des tempêtes sur les plages algériennes. *Journal of Coastal Research*.
- **Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockström, J. (2005).** Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), P.P. 1036-1039.
- **AFPS., (2005) ;** Vulnérabilité Sismique Du Bâti Existant : Approche D'ensemble, document de travail, version 2.2.
- **Ahrens, C. D. (2012).** *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Brooks Cole.
- **Amarni, N. (2021).** Évaluation de la vulnérabilité côtière en Algérie.
- **Araújo, M. B., Nogués-Bravo, D., Reginster, I., Rounsevell, M., & Whittaker, R. J. (2008).** Exposure of European biodiversity to changes in human-induced pressures. *Environmental Science & Policy*, 11(1), P.P.38-45.
- **Ayadi, A., Ousadou, F., Harbi, A Et Maouche, S., (2004);** The Major Earthquakes in Northern Algeria, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 05998.
- **Ballesteros, C. J., Ruano, A. M., & Gonzalez, D. F. (2018).** Coastal vulnerability assessment to sea-level rise in Mediterranean coast. *Ocean & Coastal Management*, 160, P.P.45-50.
- **Benavente, J., Del Río, L., Gracia, F. J., & Martínez-del-Pozo, J. A. (2006).** Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Bay of Cádiz, SW Spain). *Continental Shelf Research*, 26(9), P.P.1061-1076.
- **Bennouar, D., (1994);** Materials for the Investigation of the Seismicity of Algeria and Adjacent Regions during the Twentieth Century. *Annali di geophysics*, Volume XXXXVII, N.4.
- **Bonaduce, A., Pinaridi, N., Oddo, P., Spada, G., & Androssov, A. (2016).** Sea-level variability in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauges. *Climate Dynamics*, 47(9), P.P.2851-2866.
- **Boudiaf, A., (1996) ;** Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie, (Algérie), Thèse de Doctorat. France, Languedoc, Univ. Scien P274.
- **Bouillin, J. P. (1977).** *Géologie de la chaîne alpine en Algérie*. Presses Universitaires de France.
- **Bourail, S., (2017).** Etude géologique et contexte Sismotectonique de la partie Est du Bassin De Tizi-Ouzou. Mémoire d'ingénieure en science de la terre, P.P. 40–43.
- **Brown, S., Nicholls, R. J., & Hanson, S. (2018).** Impacts of climate change on coastal areas. In R. Nicholls, S. Brown, & S. Hanson (Eds.), *Handbook of coastal processes and dynamics* (P.P. 320-342).

- **C.R.A.A.G., (1994)** ; Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. Publication du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique
- **Cai, W., Wang, G., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., Jin, F. F., ... & Ashok, K. (2009).** Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), P.P.111-116.
- **Calvo, M., García, L. L., & Flores, L. (2011).** Estimation of the potential for marine submersion on the Algerian coast. *Mediterranean Marine Science*.
- **Cariolet, J. M. (2011a).** Submersion marine et risques associés. *Études de Géographie Physique*.
- **Cazenave, A., & Cozannet, G. L. (2014).** Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2(2), P.P.15-34.
- **Cazes-Duvat, V. (2005).** Coastal erosion and management issues on La Réunion (Indian Ocean). *Journal of Coastal Research*, 21(2), P.P.295-307.
- **Chabou, A. (2015).** Les différents domaines du Nord Algérie. Modifiée d'après Haddoum.
- **Chebance, M., (2001)** ; Les méthodologies d'évaluation de l'aléa sismique, période 1995-2001, Ecole Nationale Supérieure Des Sciences de l'Information et des Bibliothèques Université Claude Bernard Lyon 1, Rapport de Recherche Bibliographique.
- **Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988).** *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- **Church, J. A., & White, N. J. (2011).** Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32, P.P.585-596
- **Cipriani, L. E., D'Alessandro, L., & Silvestri, G. (2004).** Coastal erosion: mechanisms and mitigation strategies. *Coastal Engineering Journal*, 51(1), P.P.13-33.
- **Clotaire, M., (2007)** ; Vulnérabilité Sismique de l'échelle du bâtiment à celle de la ville, Thèse de doctorat, l'Université Joseph Fourier - Grenoble I.
- **Coles, S. (2001).** *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer.
- **Cornel, D. (2015).** *Statistical Methods for Extreme Values*. John Wiley & Sons.
- **Cornel, D., & Stander, J. (2015).** *Modelling Extreme Events: With Applications to Climate Change*.
- **CRAAG. (2023).** Les principaux séismes qui ont frappé Tizi-Ouzou entre 2021 et 2023.
- **CZM. (2005).** Coastal Zone Management Plan.
- **Dauphiné, A. (2001).** *Risque et société*. Paris: Armand Colin.
- **Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991).** *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. World Scientific.

- **Delannoy, J., Duraffourg, C., Deslandes, J. M., & Le Berre, I. (2012).** Géomorphologie littorale. *Revue de géographie alpine*, 99(1), P.P.93-109.
- **Delcaillau, B., et al. (2018).** Les théorèmes des Blocs Maxima : Applications et Limites. *Revue des Géographes*.
- **D.H.I. (2014).** MIKE 21 Flow Model FM. Danish Hydraulics Institute.
- **Djouder, L., & Boutiba, M. (2017).** Vulnerability of coastal zones to sea level rise: A case study of the Algerian coast. *Ocean & Coastal Management*, 136, P.P.1-9.
- **Domzig, A., Yelles-Chaouche, A.K., Le Roy, C., Deverchere, J., (2006).** Searching for the Africa–Eurasia Miocene boundary offshore western Algeria (MARADJA'03 cruise). *Comptes Rendus Geosciences* January; 338(1-2): P.P.80-91 .
- **Domzing, A. (2006).** Carte position des différentes unités géologiques des Maghrébides.
- **DPSB. (2001).** Direction de la Protection de la Sécurité et de la Biodiversité.
- **Dwarakish, G. S., & Salim, A. M. (2008).** Review on the role of coastal geomorphology in coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 51(4), P.P. 241-249.
- **ESRI. (2006).** ArcGIS: A Complete System for Geographic Information.
- **Fairbank, M., Griffiths, M., & Nunez, P. (2006).** Regional Coastal Mapping and Monitoring. *Coastal Engineering Journal*, 48(4), P.P.297-319.
- **Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., ... & Midgley, P. M. (2012).** *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press.
- **Firlas, A., Guen, C., & Shephard, D. (2016).** Biodiversity of Coastal Ecosystems: A Tizi Ouzou Case Study. *Journal of Marine Science*, 12(3), P.P.237-249.
- **Frédéric, L. (2021).** Évaluation de la sensibilité des zones côtières à l'endommagement.
- **Gaki Papanastassiou, D., Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., & Vassilopoulos, A. (2010).** Coastal vulnerability assessment based on geomorphological and social aspects. *Journal of Coastal Research*, 26(2), P.P.170-175.
- **GIEC. (2006).** Rapports d'évaluation du GIEC sur les changements climatiques.
- **Gill, A. E. (1982).** *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press.
- **Gornitz, V. (1991).** Vulnerability of the East Coast, U.S.A. to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 9, P.P.201-237.
- **Gornitz, V., Daniels, R. C., White, T. W., & Birdwell, K. R. (1994).** The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research*, 12, P.P.327-338.

- **Grenier, H., & Dubois, J. (1990).** Historical Cartography and Coastal Evolution. In Proceedings of the International Coastal Symposium.
- **Gueguen, P. (2006),** Evaluation de la vulnérabilité, Rapport final, Laboratoire de Géophysique et Tectonophysique Observatoire de Grenoble.
- **Guemache, M.A. (2010):** Evolution Géodynamique des Bassins Sismogènes de l'Algérois (Algérie): Approche Pluridisciplinaire Méthodes Géologiques et Géophysiques. Thèse Doc. Alger, Univ. USTHB.
- **Haddoum, H. (2015).** Les différents domaines du Nord Algérie. Modifiée d'après Chabou.
- **Harbi, A. (2001):** Analyse de la sismicité et mise en évidence d'accidents actifs dans le Nord-est-Algérienne“ -Thèse de magister en science de la terre, Alger ; U.S.T.H.B.
- **Harbi, A. (2006) :** Evaluation de l'Aléa Sismique en Algérie du Nord par la Modélisation de l'Input Sismique dans les Zones Urbaines et l'Etablissement d'un Catalogue, Thèse Doctorat d'Etat en Sciences de la Terre, Spécialité : Géophysique, Alger, USTHB.
- **Hée, A. (1950) :** Catalogue des séismes algériens de 1850 à 1911, Ann. Inst. Phys. Globe, Strasbourg, 6, P.P.41-49.
- **Holthuijsen, L. H. (2007).** Waves in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge University Press.
- **Huang, X., Zhu, J., Liu, Z., & Li, M. (2010).** Marine Modeling and Simulations. Journal of Marine Science, 24(2), P.P.115-128.
- **Info-Climat. (2021).** Variations de moyennes mensuelles des précipitations.
- **Infoplaza (2024).** [www.waveclimate.com](http://www.waveclimate.com)
- **Jones, A. (2010).** Sensitivity of coastal systems to climate change. Climate Change Research, 24(1), P.P.17-27.
- **Khaldi, Y. (2016).** Turbidity currents and deep marine deposits of the Maghreb Basin. Journal of African Earth Sciences, 117, P.P.213-225.
- **LEGOS. (2003).** Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2007).
- **Leprêtre, A. (2013).** Catalogue NEIC de 1973 à 2012 : Distribution des séismes algériens.
- **Lounis, R. (2005) :** la déformation fragile dans le massif de Grande Kabylie centro-orientale (Algérie). Thèse Mag.Alger, Univ. USTHB.
- **Maouche, Set Ayadi, A. (1999):** Neotectonique and associate seismicity in the eastern tellian atlas of Algeria, Journal of Seismology 3: P.P.95-104.
- **McLaughlin, S., & Cooper, J. A. G. (2010).** A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? Environmental Hazards, 9(3), P.P.233-248.

- **Menasri, Y. (2009).** Évaluation de Vulnérabilité Sismique des Bâti Existant « Structure portique en béton armé » P.P.49-54.
- **Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014).** Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons.
- **Moussaoui, N. (2009).** ETUDE DE LA MICROSISMICITE DE LA REGION DE KHERRATA. P.P.16–17.
- **Moussaoui, N. (2009).** ETUDE DE LA MICROSISMICITE DE LA REGION DE KHERRATA. P.P.14–17.
- **Mukhopadhyay, A., Hazra, S., & Danda, A. A. (2012).** Coastal vulnerability and sustainability: A case study from Sundarbans, India. In A. Mukhopadhyay & S. Hazra (Eds.), Coastal hazards and vulnerability P.P.137-156.
- **Open University, (1989).** Ocean Circulation. Pergamon Press.
- **Otmani, H. (2020).** Évaluation de la vulnérabilité côtière en Algérie.
- **Pugh, D. T. (1987).** Tides, Surges and Mean Sea-Level. John Wiley & Sons.
- **QGIS.org. (2005).** QGIS: A Free and Open-Source Geographic Information System. Retrieved from <https://qgis.org/en/site/>.
- **Roussel J ; (1973):** L'activité sismique en Algérie de 1951 à 1970 inclus. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord. Alger, t.64, fasc.3-4, [en ligne], [consulté le 20/03/2024], disponible sur le web :
- **Shepherd, P., & Carter, R. (2000).** Coastal Dynamics and Geomorphological Interactions. Coastal Engineering Journal, 22(4), P.P.123-135.
- **SPIRAL. (2003).** Study on Sedimentary Basin Fracturation.
- **Stépanian, G. (2002).** Morpho-Dynamic Systems: An Overview. Earth Science Reviews, 58(1-2), P.P.1-12.
- **Stull, R. B. (1988).** An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers.
- **Thieler, E. R., & Hammar-Klose, E. S. (1999).** National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report P.P.99-593. [thinkhazard.org/fr/report/39114-algeria-tizi-ouzou-tizi-ouzou/EQ](http://thinkhazard.org/fr/report/39114-algeria-tizi-ouzou-tizi-ouzou/EQ).
- **UNEP/MAP - Plan Bleu. (2012).** State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment.
- **USGS/IRSA. (2001).** Tableau des principaux séismes survenus avec les failles associées.
- **Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006).** Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Pres.
- **Yelles, C., Boudiaf, A., Djellit, H Et Bracene, R. (2006) :** La tectonique active de la région nord-algérienne, C. R. Géoscience 338, P.P.126-139.

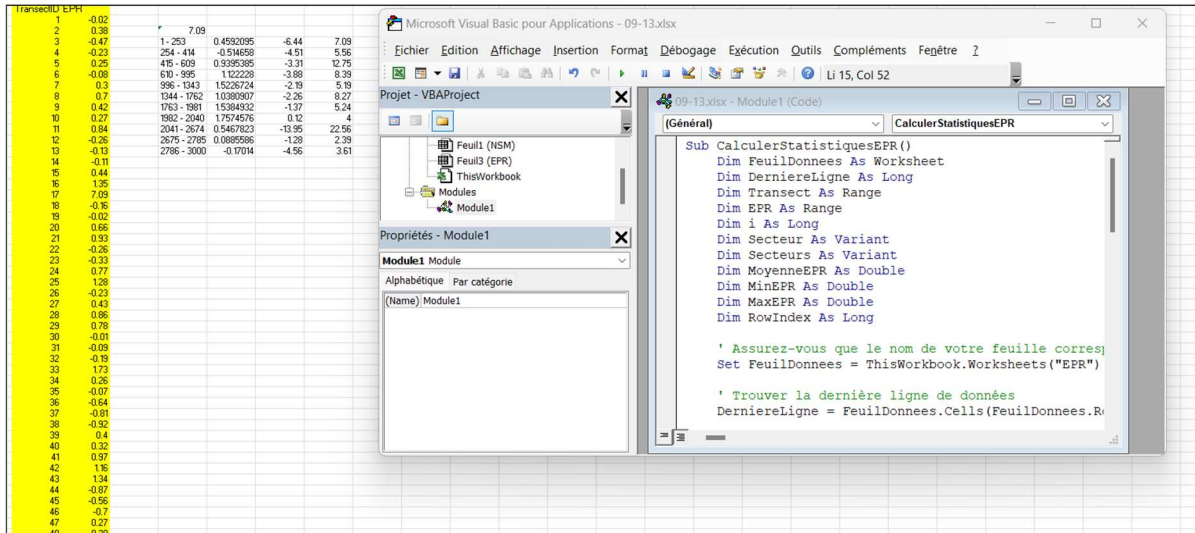
# **Annexe**

ANNEX 1 : Tableau représenter la Vitesses du vent selon l'échelle de Beaufort

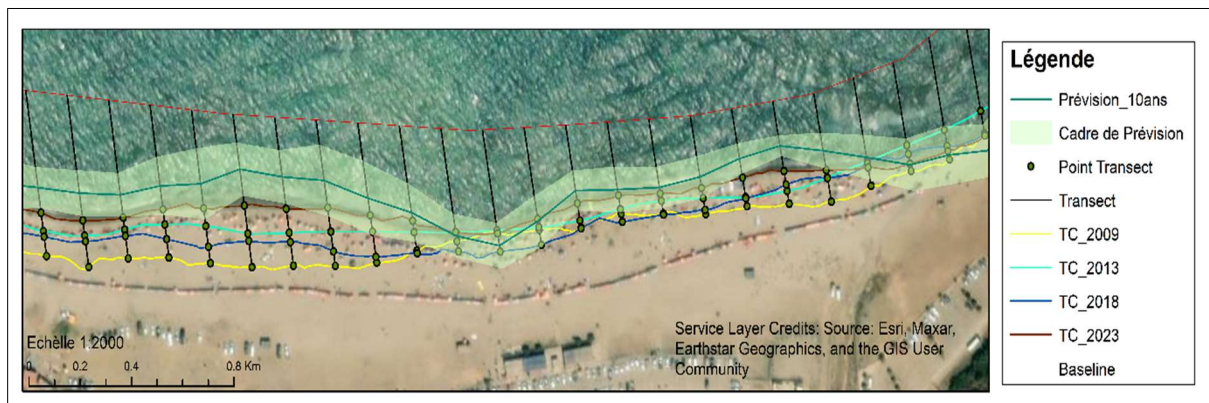
<b>Force de Beaufort</b>	<b>Vitesse en m/s</b>	<b>Définition Marine</b>
0	0	Calme plat
1	0.5 à 1.8	Très légère brise
2	1.9 à 3.3	Légère brise
3	3.4 à 5.4	Petite brise
4	5.5 à 7.9	Jolie brise
5	8 à 11	Bonne brise
6	11.1 à 14.1	Vent frais
7	14.2 à 17.2	Grand frais
8	17.3 à 20.8	Coup de vent
9	20.9 à 24.4	Fort coup de vent
10	24.5 à 28.5	Tempête
11	28.6 à 32.6	Violente tempête
12	> 32.6	Ouragon

ANNEX 2 : Tableau représenter Hauteurs de houles selon l'échelle de Douglas

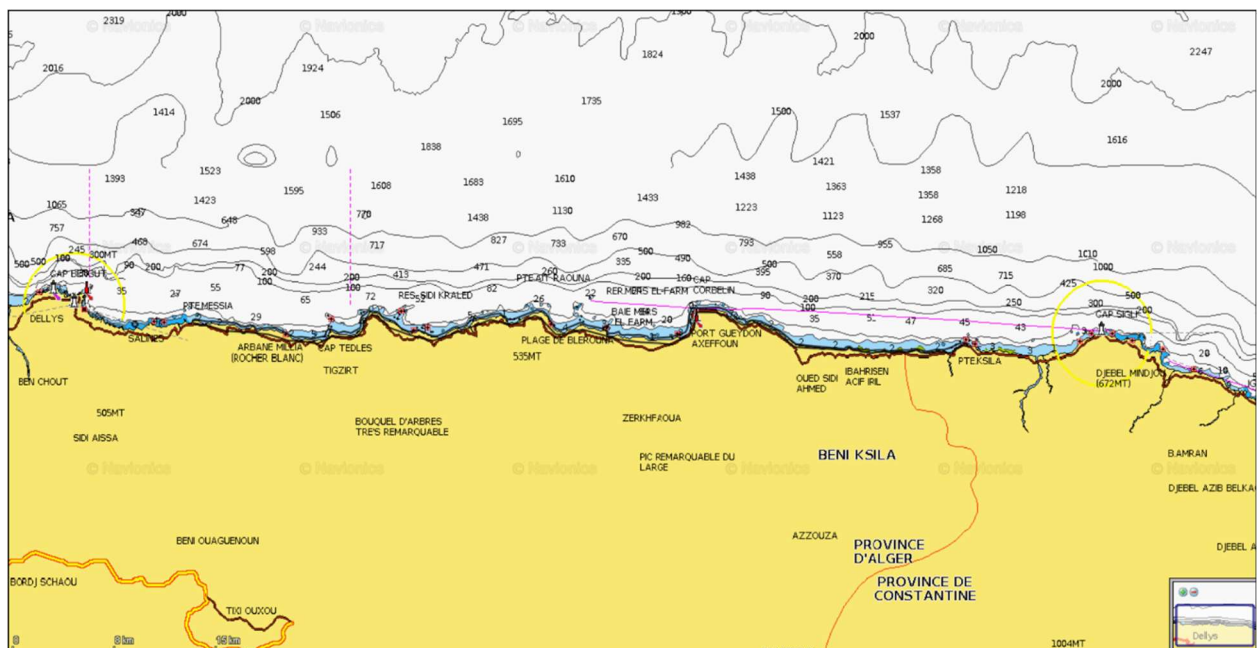
<b>Echelle de Douglas</b>	<b>Hauteur des houles (m)</b>	<b>Définition</b>
0	0	Plate
1	0 à 0.1	Calme
2	0.1 à 0.5	Belle
3	0.5 à 1.25	Peu agitée
4	1.25 à 2.5	Agitée
5	2.5 à 4	Fort
6	4 à 6	Très fort
7	6 à 9	Grosse
8	6 à 9	Très grosse
9	>14	Enorme



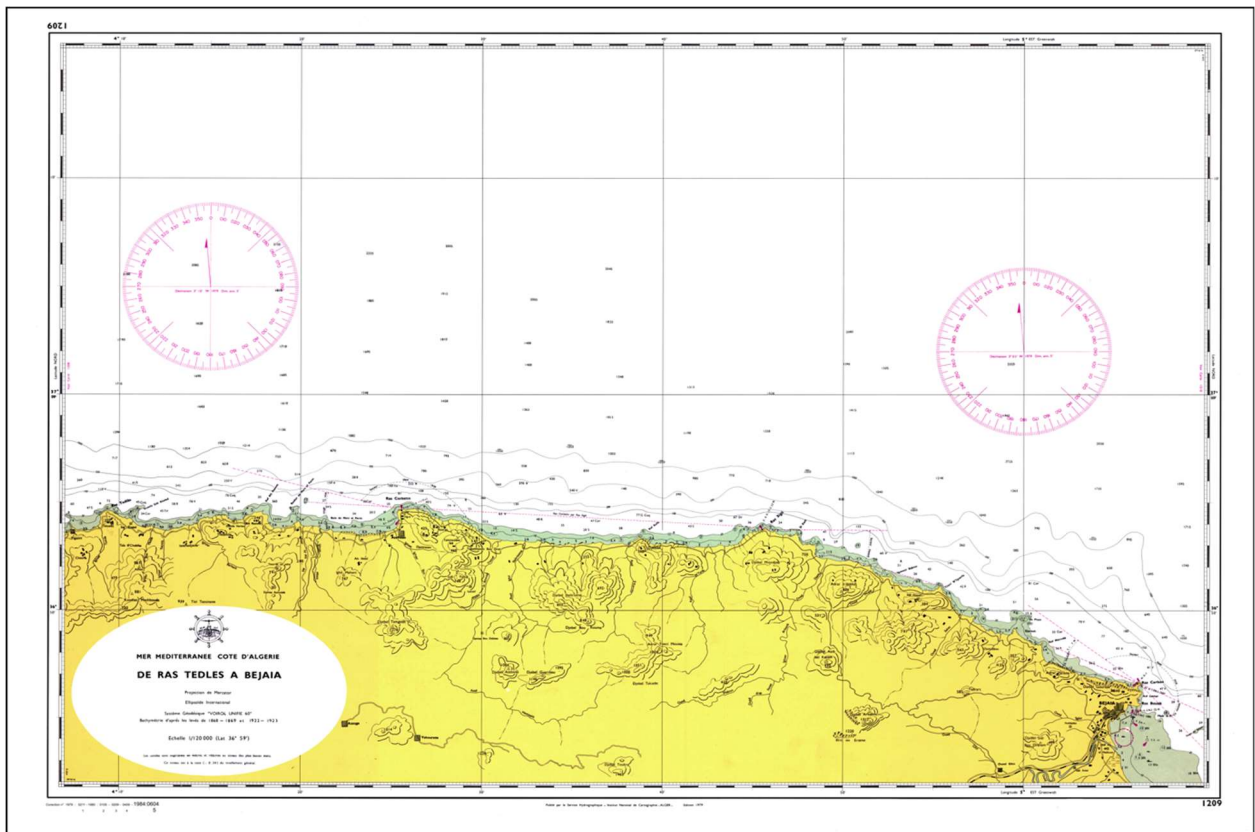
ANNEX 3 : Interface du Module VBA utiliser pour l'organisation de transect



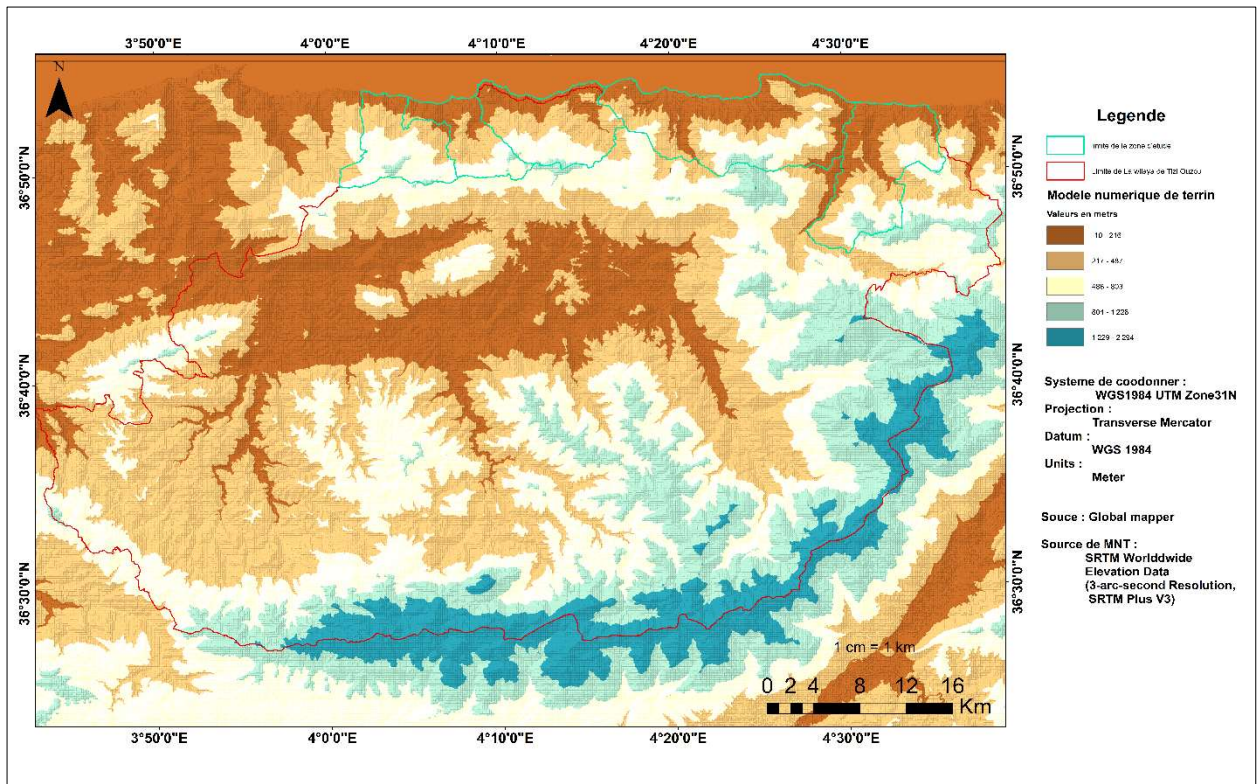
ANNEX 4 : Figure représenté la légende de l'évolution du trait de cote



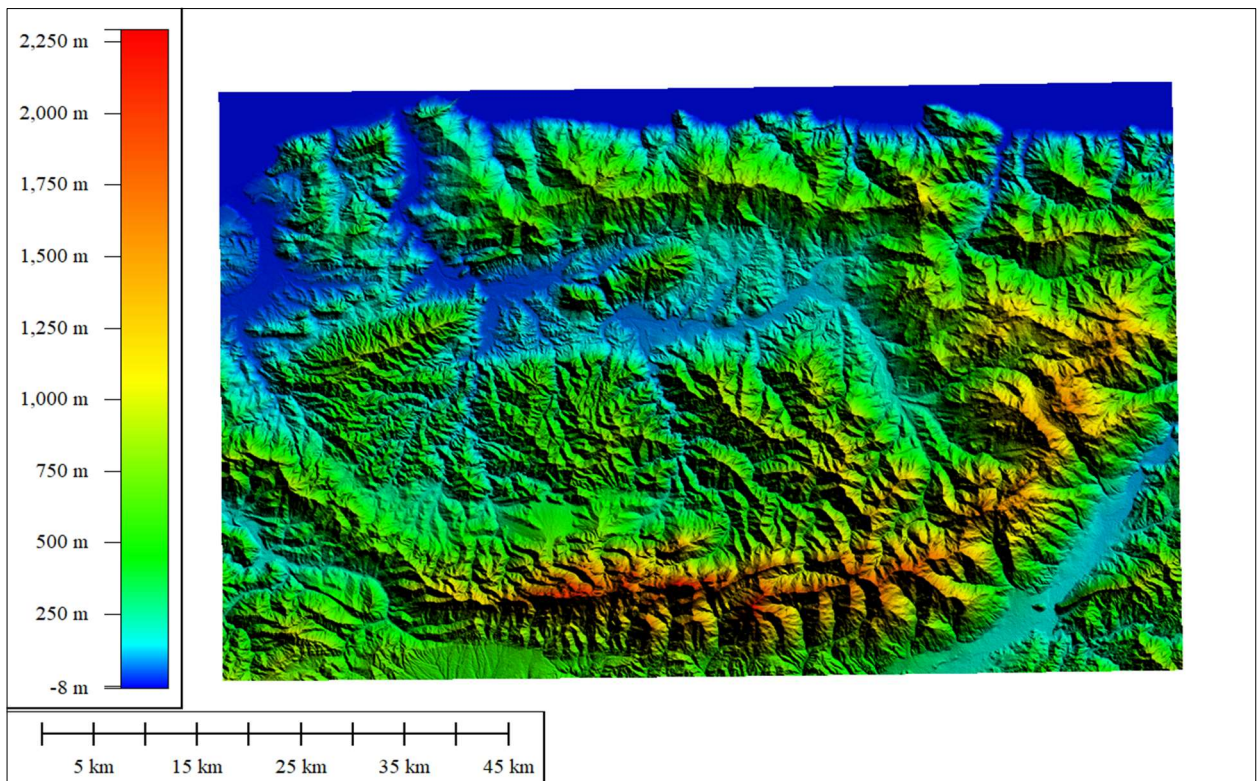
ANNEX 5 : Carte charte Marine (Source Navionics)



ANNEX 6 : Carte Marine (Source INCT)



ANNEX 7 : Carte Hypsométrie de notre Zone d'étude



ANNEX 8 : Modèle d'élévation de Terrain (DEA)(Source Global-Mapper)



ANNEX 9 : Carte Prévisionnelle de 10 ans par commun

# ANNEX 10 : Business Module Canva (BMC)

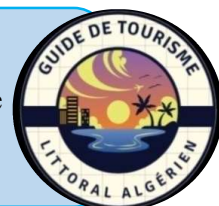
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEINGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER  
ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



**Obtention du diplôme start-up**

**Projet :**

**Guider et accompagner les touristes nationaux et étrangers le long des côtes algériennes à l'aide de l'intelligence artificielle**



**Soutenu dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275**

**Présenté par :**

- BENREKIA Akram
- BENABID Ilyes

# Sommaire

## Table des matières

Introduction .....	1
1. Premier axe : Présentation du projet .....	1
1.1. L'IDEE DE PROJET ET LES VALEURS SUGGEREES : .....	1
1.2. PARMIS LES OBJECTIFS DE NOTRE PROJET : .....	2
2. Deuxième axe : aspects innovants .....	3
2.1. NATURE DES INNOVATIONS : .....	3
2.2. DOMAINES D'INNOVATION : .....	4
3. Troisième axe : Analyse stratégique du marché.....	4
3.1. ANALYSE DU MARCHE .....	4
3.2. MARKETING .....	5
4. Quatrième axe : Plan de production et organisation .....	5
4.1. LE PROCESSUS DE PRODUCTION.....	5
5. Cinquième axe : Plan financier .....	6
.6..... Sixième axe : Prototype expérimental.	
.....	10
6.1. MODELE D'AFFAIRES (BUSINESS MODEL CANEVAS) .....	11
7. Conclusion .....	16

## Liste de Figure

FIGURE 1 : LES HUIT EXEMPLES DE L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE. ....	3
FIGURE 2 : QUANTITE DE SERVICE PREVISIONNEL POUR LES APPARTEMENTS. ....	9
FIGURE 3 : QUANTITE DE SERVICE PREVISIONNEL POUR LES HOTELS. ....	9
FIGURE 4 : QUANTITE DE SERVICE PREVISIONNEL POUR LES COMPLEXES TOURISTIQUES. ....	9
FIGURE 5 : QUANTITE DE SERVICE PREVISIONNEL TOTALE. ....	10

## Liste des Tableaux

TABLEAU 1 : L'EQUIPE DE TRAVAIL DU PROJET .....	2
TABLEAU 2 : CALENDRIER DE REALISATION DU PROJET .....	3
TABLEAU 3 : LE COUT DE PROJET .....	7
TABLEAU 4 : LES SERVICES PROVISIONALS .....	7
TABLEAU 5 : LE BENEFICE TOTAL DE PROJET .....	8
TABLEAU 6 : LE SOLDE TOTAL DE PROJET .....	8
TABLEAU 7 : LES SERVICES ANNUELS POUR LES APPARTEMENTS.....	13
TABLEAU 8 : LES SERVICES ANNUELS POUR LES HOTELS.....	14
TABLEAU 9 : LES SERVICES ANNUELS POUR LES COMPLEXES TOURISTIQUE .....	15

## **Introduction**

Notre concept de projet, guider et accompagner les touristes nationaux et étrangers le long des côtes algériennes à l'aide de l'intelligence artificielle. Il y a une idée qui existe en Algérie de manière générale, que ce soit dans les réseaux sociaux ou en accompagnant les touristes sur le terrain. Cependant, la plupart du temps, le partage des informations sur les lieux touristiques est très limité, ce qui reste une image floue pour les touristes. De plus, l'absence de diverses informations sur les côtes algériennes par exemple, fait du domaine littoral la principale destination pour les touristes, donc nous pensons pour développer le tourisme dans l'Algérie. On a créé un site web a été développé pour simplifier les choses pour les touristes étrangers et pour les touristes nationaux aussi, qui partager sur elle les photos des plages avec les données présentatifs, météorologiques et hydrodynamiques même si les logements sont loués et les hôtels. Ce site basé sur l'intelligence artificiel, les touristes peuvent poser toutes les questions en lien avec (plage, l'hôtel, restaurant, complexe touristique, les endroits qui louer (kayak, jet-ski, parachute, bateaux,), les prix de chaque service...) Afin de simplifier les recherches et de déterminer le service préféré du client, notre site web affiche les mises à jour des prix et des données qui ont changé, car les données météorologiques et hydrodynamiques évoluent constamment tout au long de l'année.

### **1.Premier axe : Présentation du projet**

#### **1.1. L'idée de projet et les valeurs suggérées :**

Il existe un groupe soutient le développement du tourisme dans d'autres pays, tels que l'Algérie. Nous visons à promouvoir les magnifiques plages d'Algérie (comme la première destination estivale) le long de la côte algérienne, qui s'étend sur 1 622 km, tout en présentant différents hôtels et les maisons qui louez près de chaque plage. Des individus actifs sur les plateformes de médias sociaux publient des logements à louer, mais la majorité des fois, ce n'est pas la destination privilégiée des touristes.

Un des bénéfices de notre site Web réside dans la facilité pour le client de sélectionner la plage qu'il désire. Après avoir examiné les diverses plages de la côte algérienne à partir (des photos, type de plage, profondeur de plage, données hydrodynamiques, etc.) J'ai pu identifier leurs caractéristiques, leurs avantages est leurs défauts (familial ou non, pente douce ou abrupte, présence des roché ou non, plage surveillait ou non, présence de parking ou non, présence

l'accès (escaliers), localisation, etc.). À proximité de chaque plage, on lui offre ensuite un ensemble des hôtels et logements adaptés à ses besoins, avec différentes caractéristiques (tailles, prix, distance à la mer, pension, les jours déjà réservés et les chambres vides pour les hôtels, ainsi que la période en cours de réservation, localisation, etc.).

## 1.2. Parmi les objectifs de notre projet :

- Favoriser la promotion du tourisme en Algérie.
- Instruire les parents à éviter les plages sombres afin de garantir la sécurité de leurs enfants.
- La mise à jour des données climatique et hydrodynamique.
- Faciliter les choses afin d'assurer le confort des touristes.
- Sensibiliser les visiteurs à veiller à la propreté des endroits.

Tableau 1 : l'équipe de travail du projet

<b>Nom et prénom</b>	<b>Formateur</b>	<b>Compétence</b>	<b>Rôle</b>
Benrekia Akram	ENSSMAL	Gestion et protection littoral, marketing, finance, management des projets, business modèles canevas...	Diriger le projet, l'étude de marché, le marketing et rassemblement des données, ...
Benabid Ilyas	ENSSMAL	Gestion et protection littoral, cartographie, mesure l'adaptation, finance, management des projets, business modèles canevas...	Diriger le projet, l'étude de marché, le marketing et rassemblement des données, ...
Ould Rouis Zakaria	USTHB	L'intelligence artificielle, design, compétent dans la programmation avec : tailwind, django et python.,	Développer le site web du projet, désigné les photos et les publications dans le site Web, saisir les données sur le site web...
Benkhaoua Oussama	ESIAlger	L'intelligence artificielle et le codage de programmation, photographie,	Protéger le site web, régler les problèmes de site, photographies, saisir les données sur le site web

Tableau 2 : Calendrier de réalisation du projet

			MOIS						
			1	2	3	4	5	6	7
T R A V A U X	1	Préparation des documents nécessaires	✓	✓					
	2	Location de siège de travail			✓				
	3	Commande des équipements			✓				
	4	Installation des équipements			✓				
	5	Recueillir et ajouter les données nécessaires				✓	✓	✓	
	6	Lancement du prototype							✓

## 2. Deuxième axe : aspects innovants

### 2.1. Nature des innovations :

La nature de l'innovation adoptée dans notre projet est une innovation technologique car elle est basée sur l'intelligence artificielle, fait partie des utiles de l'innovation technologique comment on représente dans la figure 1 dessus :



Figure 3 : les huit exemples de l'innovation technologique.

## **2.2. Domaines d'innovation :**

Notre site web permet au touriste de choisir facilement les plages qu'il souhaite visiter, et lui permet également de choisir plus facilement une nuitée avec les spécifications qu'il souhaite de plus, il paie le montant de la nuitée par le même site, et il existe une fonctionnalité de paiement en euros pour les étrangers, donc l'innovation peut inclure les domaines suivants :

- C'est le premier guide touristique en Algérie basé sur l'intelligence artificiel.
- C'est le premier site web en Algérie qui aide les touristes à finaliser leur réservation dans (Hôtels, complexes touristiques, appartement,) par le paiement tout suite en dinars algériens.
- C'est le premier site web en Algérie qui contient la fonctionnalité de paiement en euro pour les touristes étrangers.
- C'est le premier site internet en Algérie qui couvre l'ensemble des données des 14 wilayas de la côte Algérienne.
- C'est le premier site internet en Algérie qui couvre l'ensemble des données climatiques et hydrauliques de toutes les plages.

## **3. Troisième axe : Analyse stratégique du marché.**

### **3.1. Analyse du marché**

S'appuyer sur les données du marché pour bien comprendre le nombre de touristes nationaux et internationaux qui viennent sur la côte algérienne. Cette analyse comprendra la division du marché en segments basés sur les nationalités, les intérêts, l'âge et le comportement. Analyse des besoins des touristes : les touristes peuvent avoir besoin de services en plusieurs langues (français, anglais, arabe, etc.) et comprennent l'importance des informations précises et en direct sur (les sites touristiques, les restaurants, les événements, et les prévisions météorologiques). Les touristes veulent des expériences personnalisées selon leurs propres capacités et leurs propres préférences donc on peut guider les touristes pour, de cette manière, nous sommes en mesure de proposer aux touristes de nouvelles expériences et aventures (jet-ski, bateaux, kayak, planche à voile, etc.) et de leur simplifier la recherche.

D'autre part, la concurrence actuelle doit être analysée : les services des agences de voyage, les applications de tourisme actuelles, les pages sur les réseaux sociaux, les services de guide touristiques doivent être évalués, il existe plusieurs concurrents, mais chacun se spécialise dans

une zone spécifique. Cependant, nous nous concentrons sur le littoral algérien complet avec des services supplémentaires.

Parmi leurs atouts, citons leur ancienneté sur le marché algérien et la relation solide avec les responsables des hôtels et des appartements.

Parmi leurs faiblesses, l'absence de fluctuations des logements et des tarifs

### **3.2. Marketing**

- Online visibilité : marketing à travers les canaux sociaux, les blogs de voyage et les forums. La création de liens.
- Campagne publicitaire ciblée : publicité en ligne axée sur l'utilisateur basée sur les segments du marché.
- Expérience des utilisateurs : incité les utilisateurs rendre compte de leurs expériences et opinions, trustee la plateforme pour s'établir. La conclusion d'une étude de cas sur la catégorie la plus fréquemment utilisée pour un montant spécifique afin de pouvoir identifier le plus de recherches sur cette somme.

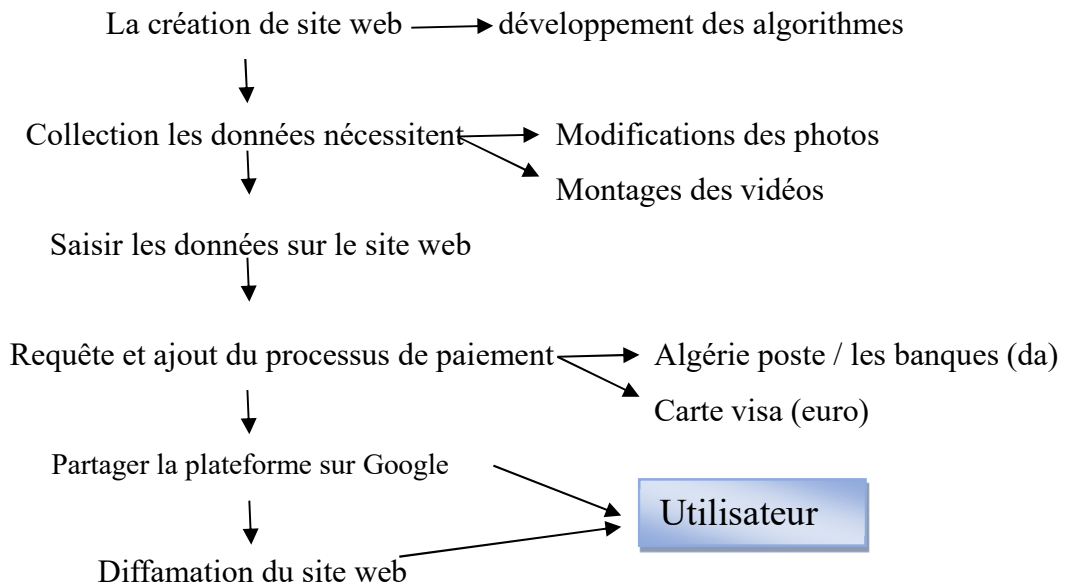
## **4. Quatrième axe : Plan de production et organisation**

### **4.1. Le Processus de production**

Le processus de production passe par plusieurs étapes qui doivent être rédigées de manière à permettre de mieux comprendre le procédé de production et de mettre en relief la qualité du produit réalisé.

- Développer les algorithmes d'IA pour la création de site web.
- Collection les données nécessitent.
- Désigné «back-end» et «front-end» de site.
- Les modifications des photos et montages des vidéos.
- Saisir les données sur site.
- Requête et ajout du processus de paiement.
- Partager la plateforme sur Google
- Diffamation du site web

Nous pouvons utiliser un schéma qui explique les étapes du processus de production



Dans le processus d'achat, nous avons besoin des PC, camera, voiture et fourniture de bureau. Il s'agit des articles disponibles sur le marché algérien, ce qui rend l'achat facile.

Notre projet crée environ 8 emplois directs et près de 4 emplois indirects. Notre projet ne nécessite pas de spécialisations précises sauf pour les ingénieurs et techniciens travaillant sur des équipements de pointe (05 ingénieurs et 03 techniciens).

Les partenariats les plus importants dans notre cas sont les offices de tourisme, les hôtels, les restaurants, commissariat national de littoral (CNL), protection civile, les complexes touristique et les appartements à louer, au regard de l'importance de leurs prestations pour la réussite du projet. Les incubateurs universitaires aussi fournissent une aide précieuse aux projets. Sans oublier le poids des structures de financement...

## 5.Cinquième axe : Plan financier

### 5.1. Le coût de projet

Le coût de notre projet incluant les outils (équipement et les besoins en fonds de roulement), s'élève à 8270000 DA

Tableau 3 : Le coût de projet

		Le coût (da)	
<b>Équipement</b>	Équipement de l'informatique	600000	
	Équipement de bureautiques	400000	
	Camera	200000	
	Voiture	2500000	3700000
<b>Besoins en fonds de roulement</b>	Louer	1200000	
	Salaires	2500000	
	Électricité	40000	
	Annonces publicitaires	500000	
	Abonnement de l'internet	120000	
	Tarifs de missions	700000	
	Tarifs de partager le site sur Google	10000	5070000
<b>la somme (coût de projet)</b>		<b>8770000</b>	

## 5.2. Les services prévisionnels

Une fois que l'étude a été réalisée pour estimer la quantité de service par mois, il a été constaté que la quantité annuelle de service pour les appartements est de 38370, la quantité annuelle de service pour les hôtels est de 164650 et la quantité annuelle de service pour les complexes touristiques est de 16960, donc la quantité prévisionnelle total des services est de 219980.

Tableau 4 : Les services Provisionals

	Quantité service pour les appartements	Quantité service pour les hôtels	Quantité service pour les complexes touristiques	Quantité service totale
Janvier	500	6000	400	6900
Février	0	0	0	0
Mars	560	3000	400	3960
Avril	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0
Juin	2400	12000	900	15300
Juillet	12400	54250	4960	71610

Aout	20150	74400	7750	102300
Septembre	1800	9000	1350	12150
Octobre	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0
Décembre	560	6000	1200	7760
La somme	38370	164650	16960	219980

### 5.3. Le bénéfice total de projet :

Notre projet repose sur la nécessité de négocier avec : les responsables d'hôtels, Les directeurs des complexes touristiques et les propriétaires à louer seront tenus de payer un petit pourcentage avec eux pour chaque réservation. Ensuite, nous allons additionner la quantité des services prévisionnels par le faible pourcentage obtenu dans chaque réservation, ce qui nous amène à un bénéfice de 37376000 da.

Tableau 5 : Le bénéfice total de projet

	Le prix en da
La somme annuelle pour les appartements	19215000
La somme annuelle pour les hôtels	16465000
La somme annuelle pour les complexes touristiques	1696000
Bénéfice total de projet	37376000

### 5.4. Le solde total de projet :

Une fois que nous avons calculé le bénéfice total du projet, nous allons réduire le coût du projet afin d'obtenir le solde total du projet, qui s'élève à 29106000 da.

Tableau 6 : Le solde total de projet

	Le prix en da
Cout de projet	8270000
Bénéfice total de projet	37376000
Solde total	29106000

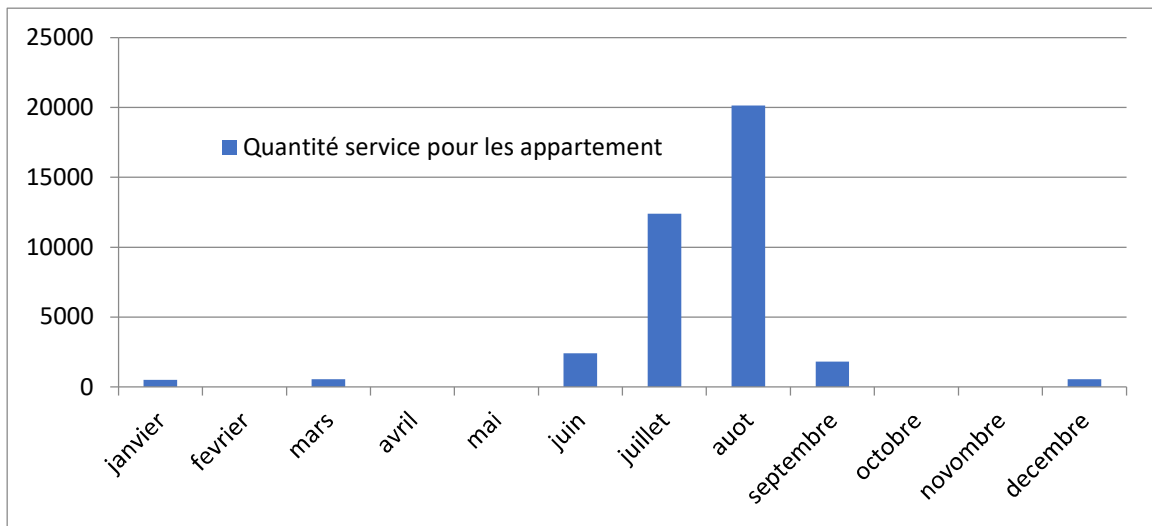


Figure 4 : Quantité de service prévisionnel pour les appartements.

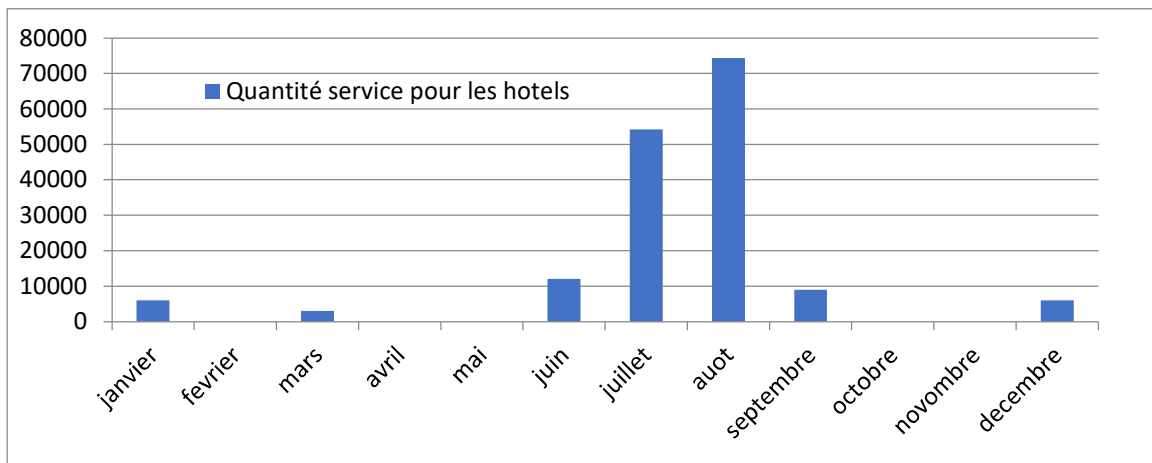


Figure 5 : Quantité de service prévisionnel pour les hôtels.

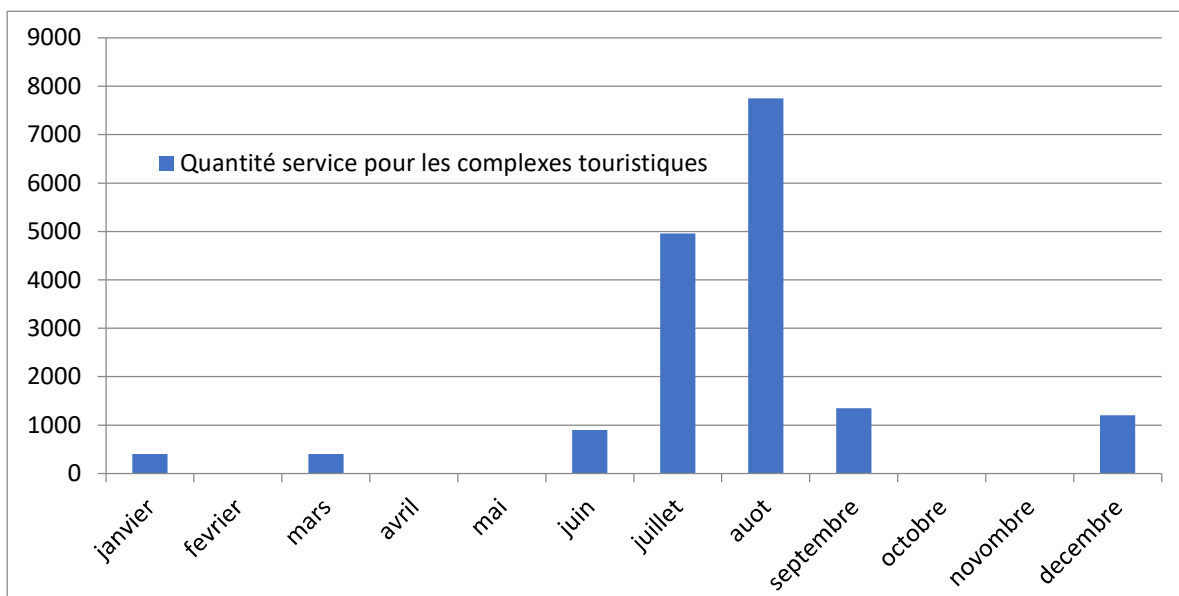


Figure 6 : Quantité de service prévisionnel pour les complexes touristiques.

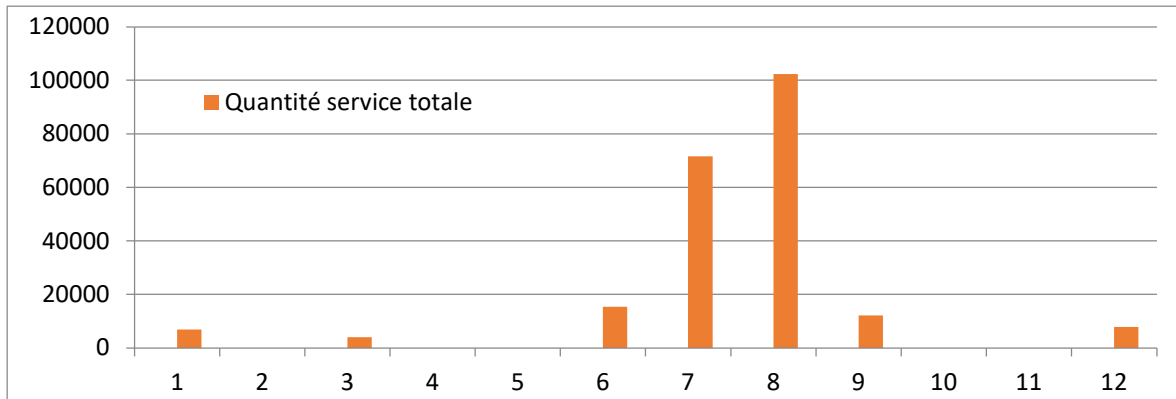


Figure 7 : Quantité de service prévisionnel totale.

## 6. Sixième axe : Prototype expérimental.

### 6.1. Prototype expérimental :

Notre site web est initialement basé sur une représentation des plages et des hôtels près de la plage. Ensuite, nous avons ajouté plusieurs fonctionnalités, telles que :

- Une barre de recherche qui simplifie la tâche du client en lui permettant d'écrire sa recherche.
- Incorporation d'autres sites tels que la climatologie et l'hydrodynamique afin de mettre automatiquement à jour les données.
- Inscrire la réservation auprès de la police afin de finaliser la réservation conformément aux lois en vigueur et simplifier les échanges entre le client, le responsable et la police.
- Utilisez une barre de notation des plages, des hôtels, des appartements, des complexes touristiques, afin de constater que les lieux les plus appréciés.
- Ajouter des données concernant la côte de l'Algérie.

Les images ci-dessous illustrent comment le prototype expérimental fonctionne :

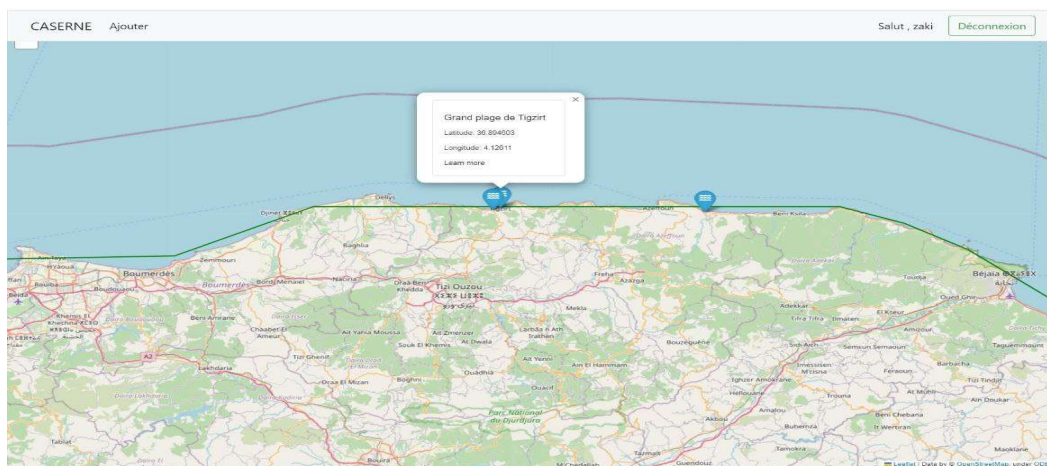


Figure 8: la fenêtre de client après la création du compte.

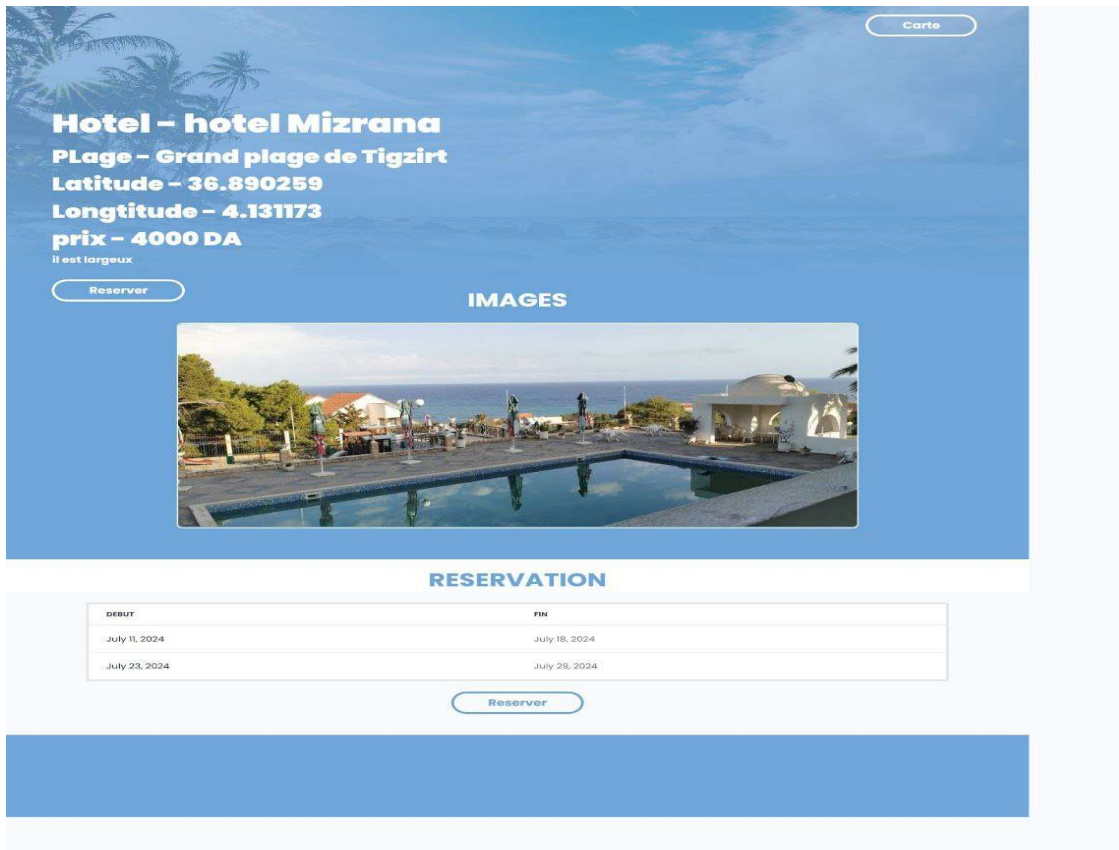


Figure 9: la page qui transmet les données et les images concernant l'hôtel.

CASERNE [Ajouter](#) Salut , zaki [Déconnexion](#)

Start:

End:

Total Price: 0 DA

Figure 10: La réservation se fait en sélectionnant les jours et en affichant le montant total.

## 6.2. Modèle d'affaires (Business Model Canevas)

Avant de présenter le premier prototype de notre projet d'entretien et de guider et accompagner les touristes à l'aide de l'intelligence artificiel, nous exposant le BMC qui résume la situation ou l'image de notre future entreprise Tableau suivant :

**Code de CNRC : 605030**

<p><b>Partenaires Clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Les responsables d'hôtels ;</li> <li>-Les responsables des complexes touristiques ;</li> <li>-Propriétaires à louer ;</li> <li>-Les individus qui louent des plages ;</li> <li>-Commissariat National du Littoral (CNL) ;</li> <li>-Protection Civil ;</li> <li>-Les investisseurs;</li> <li>-NASDA.</li> </ul>	<p><b>Activités Clés :</b></p> <p>L'intelligence artificielle a suscité une forte demande dans différents secteurs, ce qui a conduit à son intégration dans le domaine du tourisme sur la côte algérienne.</p>	<p><b>Proposition de valeur :</b></p> <p>Notre site internet met en évidence des plages, des lieux d'hébergement et des activités divertissantes, en affichant gratuitement les différents paramètres nécessaires à notre client.</p>	<p><b>Relation Client :</b></p> <p>Mise en place d'une fonction de recherche assiste notre client d l'obtention des offres attrayantes.</p>
<p><b>Structure de Coûts :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Équipement de l'informatique et de bureautique</li> <li>- Voiture et camera</li> <li>- Loyer</li> <li>- Salaires et assurances des employés</li> <li>- Autres charge de fonctionnement (électricité, internet, publicité, mission et service de Google...)</li> </ul> <p><b>8270000</b> dinars algériens</p>	<p><b>Ressources Clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Les ingénieurs compétentes ;</li> <li>Max de contact avec les partenaires ;</li> <li>Formation pour les techniciens ;</li> <li>Le bien-être du client après la prestation.</li> </ul>		<p><b>Canaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site web</li> <li>Application</li> <li>Radio</li> <li>Réseaux socio</li> </ul>
	<p><b>Flux de revenus :</b></p> <p><b>37376000</b> dinars algériens</p>		

Tableau 7 : Les services annuels pour les appartements

A P P A R T E M E N T S		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	<b>Nombre des appartements</b>	56	0	56	0	0	240	400	650	120	0	0	56
	<b>Nombre des jours</b>	10	0	10	0	0	10	31	31	15	0	0	10
	<b>Quantité</b>	560	0	560	0	0	2400	12400	20150	1800	0	0	560
	<b>Le prix</b>	500	0	500	0	0	500	500	500	500	0	0	500
	<b>La somme</b>	280000	0	280000	0	0	1200000	6200000	10075000	900000	0	0	280000
	<b>La somme annuel</b>	19215000											

Tableau 8 : Les services annuels pour les hôtels

L E S H O T E L S		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	<b>Nombre des hôtels</b>	20	0	15	0	0	30	35	40	20	0	0	20
	<b>Nombre de chambre dans l'hôtel</b>	30	0	20	0	0	40	50	60	30	0	0	30
	<b>Nombre des jours</b>	10	0	10	0	0	10	31	31	15	0	0	10
	<b>Quantité</b>	6000	0	3000	0	0	12000	54250	74400	9000	0	0	6000
	<b>Le prix</b>	100	0	100	0	0	100	100	100	100	0	0	100
	<b>La somme</b>	600000	0	300000	0	0	1200000	5425000	7440000	900000	0	0	600000
	<b>La somme annuel</b>	16465000											

Tableau 9 : Les services annuels pour les complexes touristique

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Nombre des complexes touristiques	4	0	4	0	0	6	8	10	6	0	0	4
Nombre de chambre dans complexes touristiques	10	0	10	0	0	15	20	25	15	0	0	30
Nombre des jours	10	0	10	0	0	10	31	31	15	0	0	10
Quantité	400	0	400	0	0	900	4960	7750	1350	0	0	1200
le prix	100	0	100	0	0	100	100	100	100	0	0	100
la somme	40000	0	40000	0	0	90000	496000	775000	135000	0	0	120000
la somme annuel	1696000											

## **Conclusion**

La conclusion de notre projet est que c'est un projet novateur qui vise à développer le tourisme en Algérie et à stimuler l'économie de notre pays. Le site web présente la beauté de notre pays au monde, ce qui attire de nombreux visiteurs pour l'Algérie.

Notre projet vise à atteindre un plus grand nombre de touristes algériens afin de visiter et d'explorer leur pays vaste et magnifique, tout en renforçant la réalité des citoyens, sans prendre en compte les opinions des ennemis du pays qui ne favorisent pas le tourisme en Algérie.

Étant donné que nous connaissons et entendons parler chaque année des statistiques de décès par noyade en mer, qui sont considérées comme un nombre considérable, notre site Internet informe les touristes sur les évolutions hydrodynamiques et le changement climatique, dans un souci d'interdiction, ainsi que sur la distance de la côte jusqu'à la profondeur de la mer, qui est de 1,2 m et 1,5 m, et c'est pour savoir si le rivage convient ou non aux enfants.

Notre service simplifie les démarches des touristes pour trouver le bon logement, que ce soit pendant leurs vacances.

## ملخص

تتناول هذه الدراسة تحليل الحالة الأولية والواجهة الساحلية لولاية تيزي وزو. وتهدف إلى تقييم التنقل والحركية للشريط الساحلي، وكذلك دراسة الظواهر المتعلقة بالأحداث المناخية المتطرفة وارتفاع مستوى البحر الأبيض المتوسط، وهي قضايا تهم بشكل خاص المجتمع العلمي. استجابةً لهذه الانشغالات، سعت العديد من الأبحاث إلى المساهمة في تقييم القابلية للتعرض والتكيف في المناطق الساحلية. تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تحليل مفصل للديناميكيات الساحلية من خلال دمج الجوانب الهيدروديناميكية والمناخية والجيولوجية. بالإضافة إلى ذلك، تستخدم أدوات متقدمة للنمذجة الرقمية وتقييم المخاطر لتوفير فهم عميق للتأثيرات لهذه المنطقة الساحلية.

**الكلمات المفتاحية:** تغير المناخ، الحركية الساحلية، الأحداث الخارجية، ارتفاع مستوى البحر، الغمر، القابلية للهشاشة.

## Résumer

Cette étude porte sur l'analyse de l'état initial et de l'interface côtière de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle vise à évaluer la mobilité et la cinématique de la bande côtière, ainsi qu'à étudier les phénomènes des événements extrêmes liés au changement climatique et à face de geo-resque, lesquels préoccupent particulièrement la communauté scientifique. Face à ces préoccupations, de nombreuses recherches ont cherché à contribuer à l'évaluation de la vulnérabilité et à l'adaptation des zones côtières. Cette étude a pour objectif de fournir une analyse détaillée des dynamiques côtières en intégrant des aspects hydrodynamiques, climatiques et géologiques. De plus, elle utilise des outils avancés de modélisation numérique et d'évaluation des risques.

**Mots clés :** Changement climatique, cinématique côtière, évènement extrême, élévation du niveau de la mer, submersion, vulnérabilité.

## Abstract

This study focuses on the analysis of the initial state and the coastal interface of the Wilaya of Tizi-Ouzou. It aims to evaluate the mobility and kinematics of the coastal strip, as well as to study the phenomena of extreme events related to climate change and the rise in the Mediterranean Sea level, which are of particular concern to the scientific community. In response to these concerns, numerous studies have sought to contribute to the assessment of vulnerability and adaptation in coastal areas. The objective of this study is to provide a detailed analysis of coastal dynamics by integrating hydrodynamic, climatic, and geological aspects. Moreover, it uses advanced tools for numerical modeling and risk assessment to offer an in-depth understanding of potential impacts.

**Keywords:** Climate change, coastal kinematics, extreme event, sea level rise, submersion, vulnerability