

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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 :

**Modélisation et cartographie de la vulnérabilité
du littoral centre algérien face aux risques
d'inondation et de submersion marine**

Présenté par :

GRICHE Hocine

GREBICI Mohamed lamine

Soutenu le 24/06/2024, devant le jury composé de :

M. DAHMANI A.	Maitre conférence - ENSSMAL	Président
M. MEZOUAR K.	Professeur - ENSSMAL	Promoteur
Mme. BENALLOU I.	Maitre conférence B	Co-Promoteur
Mme SALEM CHRIF Y.	Maitre conférence - ENSSMAL	Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements :

Avant tout chose, nous tenons à remercier le bon dieu Allah, le tout puissant et le miséricordieux, de nous avoir donné la santé, la volonté, la force et la patience pour mener à terme notre Formation.

Ce mémoire n'aurait jamais été entrepris ni achevé sans l'assistance, les conseils, les orientations précieux et les appuis scientifique inestimable de notre promoteur, **Monsieur MEZOUAR.K**, et de notre Co-promotrice, **Madame BENALLO.I**, on les remercie infiniment.

Nous leur témoignons ici notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance.

Nos vifs remerciements vont aux membres du jury, **Monsieur DAHMANI.A** et **Madame SALEM CHRIF.Y** pour avoir accepté de présider et d'examiner notre travail Par leurs conseils et remarques, ils vont certainement contribuer à améliorer la qualité de ce travail.

On remercie fortement l'entreprise **SAETI** qui nous a accueilli chaleureusement et nous a offert tous les moyens pour réaliser ce projet, Merci à tout le personnel au près duquel nous avons trouvé l'aide et l'assistance dont on avait besoin,

Nos remerciements s'adressent particulièrement à **Mr MAHDJOUR.A**, ainsi qu'à toute l'équipe qui ont partagé généreusement toute leur expérience avec nous et qui nous ont transmis la passion du métier.

Nos profonds remerciements vont aussi à **Mme SALEM CHERIF. Y** et **Mme KERAGHEL.M** pour leur disponibilité, leur aide technique et leur patience.

Nous saisisons cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude l'ensemble des enseignants de **L'ENSSMAL**, A tous ceux qui nous ont aidé à accomplir ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicace

A ma mère que Dieu le protège

A mes frères et mes sœurs

A mon binôme Amine

A toute ma famille

A tous mes amis surtout la promo GPL

Je dédie ce modeste travail

Hocine

Dédicace

Je profite de l'occasion pour dédier ce travail à mes chers parents, que Dieu les protège. Sans leur amour indéfectible et leur soutien inconditionnel, je n'aurais jamais pu atteindre ce niveau de réussite. Je leur serai éternellement reconnaissant

À mon frère et surtout à ma sœur pour leur soutien moral tout au long de mon parcours.

À mes deux petites princesses, Meriem et Nelya.

À mon ami d'enfance et binôme, Hocine.

Hocine (Toutouss), un frère et un ami fidèle qui a toujours été présent dans les bons comme dans les mauvais moments,

À toute mon équipe, El-Hadi, Raouf, et Yaakoub.

Je dédie ce travail.

Amine.

Sommaire

Remerciements :	2
<i>Dédicace</i>	3
<i>Dédicace</i>	4
Sommaire	5
Liste Des Figures	8
Liste Des Tableaux	12
Liste Des Equations.....	13
Liste des Abréviation :	14
Introduction Générale :	16
I.1 Introduction :	18
I.2 Le système Littoral.....	18
I.3 Bassin versant :	18
I.3.1 Le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant :	19
I.4 Hydrodynamique des zones côtières :	19
I.4.1 Zonation du domaine côtier :	19
I.4.2 Les agents de la dynamique côtière :	20
I.5. Submersion et Inondation :	21
I.5.1 Submersion marine :	21
I.5.2 Inondation :	21
I.6 Changement climatique :	22
I.6.1 Cinquième rapport du GIEC 2021-2022 :	22
II.1 Situation Géographique de la zone d'étude :	24
II.1.1 Baie de Zemmouri :	24
II.1.2 La baie d'Alger :	24
II.1.3 La baie de Bou-Ismaïl :	24
II.2 Cadre géomorphologique :	26
II.2.1 Les Dunes Côtiers :	26
II.2.2 Les Plages :	27
II.3. Cadre Hydrographique :	33
II.3.1. Les Oueds :	33
II.4 Cadre climatique :	36
II.4.1 Précipitation :	36

II.4.2 Températures :.....	36
II.4.3 Vents :.....	37
II.4.3.1 Baie de Bou-Ismaïl :.....	37
II.4.3.2 Baie d’Alger :.....	38
II.4.3.3 Baie de Zemmouri :	38
II.5. Cadre Océanographique :.....	42
II.5.1 La Houle :.....	42
II.5.2 La Marée :.....	47
II.5.3 Les variations de niveau de la mer :	47
III.1 Introduction :.....	49
III.2 Méthodologie :.....	49
III.2.1 Collecte des données.....	49
III.2.2 Préparation de la géométrie des oueds	49
III.2.3 Insertion de la géométrie dans HEC-RAS :.....	52
III.2.4 Calcule hydrologique et les conditions aux limites :.....	54
III.3 Visualisation des Zones des risques du phénomène d’inondation :	64
III.3.1 Cartes des zones en risque d’inondation :.....	65
Conclusion et solution :.....	70
IV.1 Introduction :.....	72
IV.2 Théorie des valeurs extrêmes :.....	72
IV.2.1 Hauteur significative :	73
IV.2.2 La période pic :	74
IV.3 Méthode Peaks Over Threshold (POT):	76
V.1 Introduction :.....	88
V.2 Présentation du modèle :	88
V.2.1 Mesh Generator :.....	88
V.2.2 MIKE 21 SW :.....	88
V.2.3 MIKE 21 HD :.....	91
V.3 Méthodologie de travail :	93
V.3.1 Génération de la Mesh :	93
V.3.1.1 Données bathymétriques pour la génération de la Mesh :.....	93
V.3.2 Mesh et Bathymétrie résultante :.....	94
V.4 Scénarios de simulation :	99
V.5 Résultats des simulations :	102
V.5.1 Résultats et discussion des simulation pour la baie de Bou-Ismaïl :	102
V.5.2 Résultats et discussion des simulation pour la baie d’Alger :.....	110

V.5.3 Résultats et discussion des simulations pour la baie de Zemmouri :	118
Conclusion :	126
VI.1 Introduction :	128
VI.2 La submersion marine :	128
VI.3 Méthodologie de simulation de submersion marine :	130
VI.3.1 Scénarios de niveaux d'eau extrêmes :	131
VI.3.2 Scénarios d'inondations :	132
VI.4 Les zones à risque d'inondation :	134
VI.5 Interprétation des résultats :	135
VI.5.1 La baie de Zemmouri :	135
VI.5.2 La baie d'Alger :	137
VI.5.3 La baie de Bou-Ismaïl :	139
Conclusion :	145
VII.1 Introduction :	147
VII. 2 Méthodologie :	147
VII. 2.1 Simulation :	147
VII. 2.2 Résultats de la simulation :	149
VII.2.3 Interprétation des Résultats :	153
VII.2.4 Statistiques des zones Touché par le phénomène de submersion marine et d'inondation :	155
Conclusion :	159
Conclusion générale :	161
Références bibliographiques :	164

Liste Des Figures

Figure 1:Processus hydrodynamiques dans la zone côtière.....	20
Figure 2:Carte de la situation géographique de la zone d'étude.	25
Figure 3:Carte de bassin versant de El-Harrach	35
Figure 4:Carte de bassin versant de El-Hamiz	35
Figure 5:Carte de bassin versant de Corso	35
Figure 6:Carte de bassin versant de Mazafran	35
Figure 7:Les précipitations mensuelles moyennes dans la région Algéroise.	36
Figure 8:Distribution des températures dans la région Algéroise.....	37
Figure 9:Roses des vents au large de la baie de Bou-Ismaïl (1992-2020).....	39
Figure 10:Roses des vents au large de la baie d'Alger (1992-2019).....	40
Figure 11: Roses des vents au large de la baie de Zemmouri (1992-2020).....	41
Figure 12:Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie de Bou Ismaïl (1992-2020). 44	
Figure 13:Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie d'Alger (1992-2019).	45
Figure 14:Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie de Zemmouri (1992-2020). 46	
Figure 15:Model numérique de terrain.....	49
Figure 16:Résultat du découpage de l'MNT.....	50
Figure 17:Résultat de la géométrie.....	51
Figure 18:résultat finale de la géométrie (Axe d'écoulement + lignes des tabulations).....	52
Figure 19:Résultat de la géométrie dans HEC-RAS	53
Figure 20:Visualisation d'une section (Tabulation).....	54
Figure 21:Carte des Gradex (ANRH).....	55
Figure 22:Carte des Pj10(ANRH)	55
Figure 23:Interface fichier ANRH.....	56
Figure 24:Étapes d'insertion de la valeur de débits et la pente	59
Figure 25:Étapes de la simulation.....	59
Figure 26:Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued Corso.....	60
Figure 27:Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued El-Hamiz.....	61
Figure 28:Résultats des simulations d'inondation Cas d'Oued El-Harrach.....	62
Figure 29:Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued Mazafran	63
Figure 32:Carte des zones en risque d'inondation Cas d'Oued Corso	65
Figure 33:Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued El-Hamiz	66
Figure 34:Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued El-Harrach	67
Figure 35:Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued Mazafran	68
Figure 36:Schéma représentatif des méthodes blocks maxima et POT.....	72
Figure 37:Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Alger)	73
Figure 38:Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Bou-Ismaïl)	73
Figure 39:Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Zemmouri)	74
Figure 40:Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Bou-Ismaïl)	74
Figure 41:Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Zemmouri)	75
Figure 42:Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Alger)	75
Figure 43:Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Bou-Ismaïl).....	76
Figure 44:Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Zemmouri).	77
Figure 45:Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Alger).	77

Figure 46:Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2019(Alger).....	78
Figure 47:Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2020(Bou-Ismaïl)....	78
Figure 48:Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2020 (Zemmouri)....	79
Figure 49:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Bou-Ismaïl).....	79
Figure 50:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Alger) .	80
Figure 51:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Zemmouri)	80
Figure 52:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Bou-Ismaïl).....	81
Figure 53:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Alger) ..	82
Figure 54:Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Zemmouri)	83
Figure 55:Maillage de la mesh à échelle de la région de l'algéroise.....	94
Figure 56:maillage de la mesh à échelle de la baie de Boussmail et d'Oued Mazafran	94
Figure 57:Maillage de la mesh à l'échelle de la baie d'Alger et les Oueds (El-harrach/El-hamiz).....	95
Figure 58:maillage de la mesh à échelle de la baie de Zemmouri et d'Oued Corso	95
Figure 59:Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl.....	96
Figure 60:Carte bathymétrique de la baie d'Alger	97
Figure 61:Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri.	98
Figure 62:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (10ans).....	104
Figure 63:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (10ans)	104
Figure 64:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction N (10ans).....	104
Figure 65:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction (10ans).....	105
Figure 66:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (10ans)	105
Figure 67:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (10ans).....	105
Figure 68: champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (30ans)	106
Figure 69:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction N (30ans).....	106
Figure 70:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (30ans).....	106
Figure 71:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction N (30ans).....	107
Figure 72:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (30ans).....	107
Figure 73:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (30ans)	107
Figure 74:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (100ans)	108
Figure 75:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction Nord (100ans).....	108
Figure 76:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (100ans).....	108
Figure 77:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (100ans)	109
Figure 78:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (100ans).....	109
Figure 79:champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction Nord (100ans).....	109
Figure 80:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (10ans)	112
Figure 81:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (10ans)	112
Figure 82:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction Nord (10ans)	112
Figure 83:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (10ans)	112
Figure 84: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz Nord (10ans)	113
Figure 85:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (10ans)	113
Figure 86:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (10ans).....	113
Figure 87:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (10ans)	113
Figure 88:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction N (30ans).....	114
Figure 89:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (30ans)	114

Figure 90:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (30ans)	114
Figure 91:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (30ans)	114
Figure 92:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz N (30ans).....	115
Figure 93:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (30ans)	115
Figure 94: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (30ans)	115
Figure 95:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (30ans)	115
Figure 96: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (100ans)	116
Figure 97: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction Nord (100ans)	116
Figure 98: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (100ans)	116
Figure 99:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (100ans).....	116
Figure 100: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz N (100ans).....	117
Figure 101: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (100ans).....	117
Figure 102: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (100ans)	117
Figure 103:champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (100ans)	117
Figure 104: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (10ans).....	120
Figure 105: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (10ans).....	120
Figure 106:champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (10ans)	120
Figure 107: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (10ans)	121
Figure 108: champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (10ans)	121
Figure 109: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (10ans).....	121
Figure 110:champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (30ans).....	122
Figure 111: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (30ans)	122
Figure 112: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (10ans).....	122
Figure 113: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (30ans).....	123
Figure 114: champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (30ans)	123
Figure 115: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (30ans).....	123
Figure 116: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (100ans)	124
Figure 117: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (100ans).....	124
Figure 118: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (100ans).....	124
Figure 119: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (100ans).....	125
Figure 120: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (100ans)	125
Figure 121 : champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (100ans)	125
Figure 122:Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage)	129
Figure 123:Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage).	129
Figure 124:Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau.	130
.....	130
Figure 125:Carte d'occupation du sol de la zone d'étude	134
Figure 126:Carte de la submersion marine (N)	136
Figure 127:Carte de la submersion marine (NNE).....	136
Figure 128: Carte de la submersion marine (NNW).....	138
Figure 129:Carte de la submersion marine (N)	138
Figure 130:Carte de la submersion marine (NNW)	140
Figure 131:Carte de la submersion marine (NNE).....	140
Figure 132:Superficies des terres inondées	141
Figure 133:Paramètres de débits d'Oued	148
Figure 134:élevations de niveau d'Oued	148
Figure 135:Table des conditions aux limites en amont et en aval d'Oued.....	148

Figure 136:Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued Mazafran	149
Figure 137:Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie de Bou-Ismaïl.....	149
Figure 138:Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued El-Harrach	150
Figure 139:Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie d'Alger..	150
Figure 140:Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued El Hamiz	151
Figure 141:Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued Corso ..	152
Figure 142:Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie de Zemmouri	152

Liste Des Tableaux

Tableau 1:Liste des plages de la baie de Bou-Ismaïl (BOUKHENNAF,2024).	28
Tableau 2:Liste des Plages pour la Baie d'Alger (BOUKHENNAF,2024).	31
Tableau 3:Liste des plages pour la baie de Zemmouri (BOUKHENNAF,2024).	32
Tableau 4:Tables des scenarios des débits Cas Oued Corso	57
Tableau 5:Table des scenarios des débits Cas de Oued El-Hamiz	57
Tableau 6:Table des scenarios des débits Cas de Oued El-Harrach	58
Tableau 7: table des scenarios des débits Cas de Oued Mazafran	58
Tableau 8:Résultats des terres à risque d'inondation des oueds.	69
Tableau 9: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Bou-Ismaïl).	84
Tableau 10: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Alger).	85
Tableau 11: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Zemmouri).	86
Tableau 12: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie de Bou-Ismaïl.	99
Tableau 13: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie d'Alger.	100
Tableau 14: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie de Zemmouri	101
Tableau 15:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie de Boussmail)	132
Tableau 16:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie d'Alger)	132
Tableau 17:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie de Zemmouri)	132
Tableau 18:Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie de Boussmail	133
Tableau 19:Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie d'Alger	133
Tableau 20:Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie de Zemmouri	133
Tableau 21:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Zemmouri)	142
Tableau 22:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie d'Alger)	143
Tableau 23:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Bou-Ismaïl)	144
Tableau 24:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Bou-Ismaïl)	156
Tableau 25:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie d'Alger)	157
Tableau 26:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Zemmouri)	158

Liste Des Equations

Équation 1.....	56
Équation 2.....	56
Équation 3.....	76
Équation 4.....	89
Équation 5.....	89
Équation 6.....	89
Équation 7.....	89
Équation 8.....	90
Équation 9.....	90
Équation 10.....	90
Équation 11.....	90
Équation 12.....	90
Équation 13.....	91
Équation 14.....	91
Équation 15.....	91
Équation 16.....	91
Équation 17.....	91
Équation 18.....	92
Équation 19.....	92
Équation 20.....	92
Équation 21.....	93
Équation 22.....	93
Équation 23.....	93
Équation 24.....	93
Équation 25.....	131

Liste des Abréviation :

POT : Peak-Over-Threshold

DD : Développement Durable

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Evaluation du Climat

GIZC : Groupe Intergouvernemental Des zones cotières

HD : Hydrodynamic

SW : Spectral Wave

SIG : System d'Information Géographique

UTM : Universal Transverse Mercator

WGS : World Géodésique System

MNT : Modèles Numériques de Terrain

ANRH : Agence National des Ressources Hydraulique

PJ10 : La carte des pluies journalières

IDF : Courbes intensité durée fréquence

Introduction Générale

Introduction Générale :

La zone littorale est particulièrement vulnérable aux phénomènes météorologiques tels que la submersion marine et les inondations. Le littoral algérien n'échappe pas à cette vulnérabilité, étant soumis à divers forçages hydrodynamiques par les courants, les vagues, les tempêtes, les changements climatiques et les débits d'apport des oueds. Les impacts anthropiques, contrôlés par l'être humain, ajoutent une pression supplémentaire.

Sur le littoral algérien, les zones les plus menacées sont les embouchures des oueds. Ces zones peuvent subir la submersion marine du côté maritime ainsi que les inondations du côté fluvial. Parfois, ces deux phénomènes peuvent se produire simultanément, aggravant les dégâts potentiels. Par exemple, les inondations de Bab El Oued en 2001 et les récentes inondations de Boumerdes en 2023 ont montré à quel point ces phénomènes peuvent être dévastateurs. Il faut donc de prendre en considération des plans de secours ou de prévention pour lutter ou minimiser au maximum l'impact de ces catastrophes naturelles (**Boumezbeur et al., 2022**).

Dans la région centre de l'Algérie, plusieurs événements d'inondation et de submersion ont été recensés, menaçant les populations riveraines. Les embouchures des oueds Mazafran, El-Harrach, El-Hamiz et Corso dans les baies de Bousmail, Alger et Zemmouri sont particulièrement vulnérables. Dans le Chapitre 1, nous aborderons les deux phénomènes de la submersion et de l'inondation de manière générale.

Pour le Chapitre 2, nous discuterons de la zone d'étude qui sera, pour notre cas, le littoral centre algérien, plus précisément les zones d'embouchures pour les grands oueds présents dans les trois baies (Bousmail, Alger, Zemmouri). Nous parlerons également de la climatologie, de la géologie et de l'océanographie de cette zone.

Dans le Chapitre 3, nous effectuerons une modélisation numérique du phénomène d'inondation. Nous modéliserons le phénomène au niveau des oueds (Mazafran, El-Harrach, El-Hamiz, Corso) et cartographierons les zones à risque d'inondation le long de la zone d'étude.

Pour le Chapitre 4, nous estimerons des événements extrêmes via la théorie des valeurs extrêmes (POT).

Le Chapitre 5 sera dédié à la détermination de la propagation de la houle via la modélisation hydrodynamique en utilisant le modèle MIKE21.

Le Chapitre 6 sera consacré à la cartographie de l'aléa de la submersion marine.

Enfin, dans le Chapitre 7, nous réaliserons une action combinée pour les deux phénomènes simultanément et déterminerons les zones les plus en danger.

Chapitre I : Généralités

I.1 Introduction :

La submersion marine et les inondations côtières sont des phénomènes naturels complexes qui affectent les zones littorales de manière significative. Ces événements résultent de la combinaison de plusieurs facteurs, incluant les marées hautes, les tempêtes, les tsunamis, et l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique. Ils présentent un défi majeur pour les communautés côtières, les infrastructures, et les écosystèmes. La compréhension approfondie des mécanismes de la submersion marine et des inondations côtières est essentielle pour développer des stratégies de gestion et de protection efficaces. Cet enjeu prend une importance croissante dans le contexte actuel de l'urbanisation accélérée des zones côtières et de la fréquence accrue des événements météorologiques extrêmes. Ainsi, l'étude de ces phénomènes et la mise en place de mesures d'adaptation et de résilience sont cruciales pour la sécurité et la durabilité des régions littorales.

I.2 Le système Littoral

La côte est le lieu de rencontre entre le continent, l'océan et l'atmosphère. Ces trois environnements, contrôlés par de multiples processus physiques, interagissent au niveau du littoral (CARTER, 1988 ; BOAK et TURNER, 2005). Les processus évoluent à différentes échelles spatio-temporelles jusqu'aux étroites interactions qui existent entre le fluide et le sédiment (VAN Rijn, 1986).

Les littoraux sableux sont des systèmes dynamiques qui peuvent être « stables », subir une érosion, ou bien avoir tendance à s'engraisser selon les forçages naturels et anthropiques (PASKOFF, 1998 ; PASKOFF, 2005 ; PASKOFF et CLUS-AUBY, 2007) auxquels ils sont soumis.

Dans ces environnements, la tendance érosive naturelle est accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (PASKOFF 1998).

I.3 Bassin versant :

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval (Laborde, 2009).

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions :

- Bassin versant topographique Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.
- Bassin versant hydrogéologique : Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin.

I.3.1 Le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant :

Le fonctionnement de tout bassin versant obéit à quelques grands principes physiques, dont la prise en compte explicite permet de faciliter grandement son analyse et sa compréhension. Comme pour tout système - ensemble d'éléments en interaction - ce fonctionnement se manifeste par l'évolution au cours du temps et dans l'espace de certaines grandeurs décrivant les propriétés du milieu (**Ambroise, 1999**). Le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant se manifeste par 3 grands types de processus :

- **Processus de stockage/déstockage dans le bassin**, puisque l'eau (sous ses 3 phases vapeur, liquide, solide) peut y être plus ou moins retenue dans différents réservoirs : couche limite de surface atmosphérique, manteau neigeux, couvert végétal (sur et dans les plantes), surface du sol, sol non saturé, nappes, réseau hydrographique.
- **processus de transfert aux limites du bassin**, puisque des flux d'eau (sous chacune des 3 phases) peuvent être échangés entre le bassin et son environnement: verticalement, à travers la couche limite atmosphérique (précipitations, évapotranspiration); latéralement, par advection de vapeur d'eau dans la couche limite de surface, ou par des écoulements souterrains entre bassins voisins lorsque les limites hydrogéologiques ne coïncident pas avec les limites hydrographiques; par définition même du bassin versant les échanges latéraux en surface se limitent aux écoulements (essentiellement liquides) à l'exutoire.
- **Processus de transformation interne**, puisque l'eau présente dans le bassin peut y subir des changements de phase : condensation liquide ou solide de la vapeur d'eau, vaporisation ou congélation de l'eau liquide, liquéfaction ou sublimation de l'eau solide et même, mais en quantité le plus souvent négligeable, y être impliquée dans des réactions biogéochimiques (photosynthèse-respiration, hydratation).

A ces processus naturels s'ajoutent les activités humaines, aux impacts hydrologiques rapidement croissants : ainsi, la gestion des ressources en eau se traduit par des stockages, exportations ou importations artificiels d'eau (**Ambroise, 1999**).

I.4 Hydrodynamique des zones côtières :

I.4.1 Zonation du domaine côtier :

Une zonation du domaine côtier et de la plage s'effectue en fonction des processus hydrodynamique liés aux transformations des vagues lors de leur propagation :

- Zone du large "Offshore zone" désigne la zone qui s'étend du large jusqu'à la zone de rupture où le premier déferlement a lieu.
- Zone de déferlement "Surf zone" désigne la zone des brisants qui s'étend du début de la zone de rupture jusqu'au haut de plage mouillée par la mer.
- Zone de levée "Shoaling zone" désigne la zone de remontée des fonds qui engendre une cambrure de plus en plus forte de la houle, jusqu'à ce qu'il y ait rupture de la vague et déferlement.

- Zone de Swash "Swash zone" désigne la partie de la plage qui est alternativement recouverte par l'air ou par l'eau au rythme des vagues qui viennent la lécher (DAHMANI,2022).

La zone littorale est une zone complexe où se produisent de nombreuses interactions entre les agents dynamiques responsables des circulations hydrodynamiques. **La Figure 2** présente une vision schématique de la nature et de la répartition des divers processus hydrodynamiques dans la zone côtière (STEPANIAN, 2002).

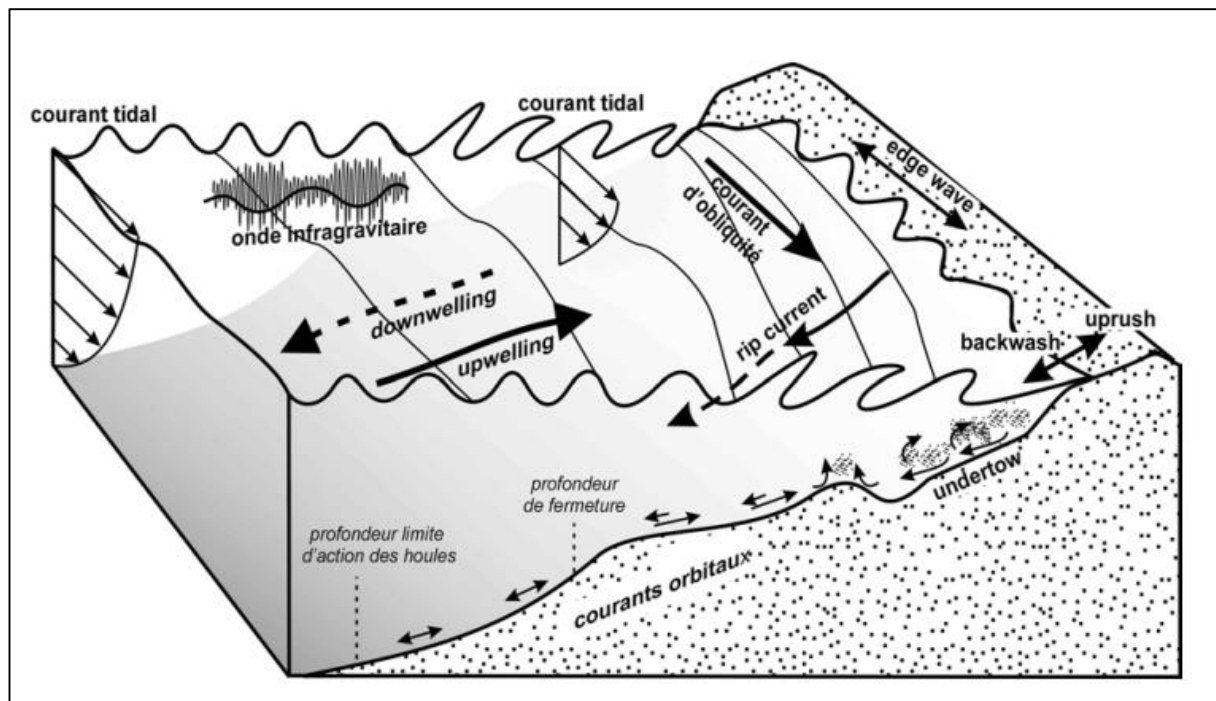


Figure 1:Processus hydrodynamiques dans la zone côtière (STEPANIAN, 2002).

I.4.2 Les agents de la dynamique côtière :

Le fonctionnement du système côtier est régulièrement impacté par divers phénomènes hydrodynamiques, qui agissent à différentes échelles de temps et géologiques. Parmi les forces naturelles les plus significatives, nous pouvons mentionner :

I.4.2.1 La houle :

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui est formé par un champ de vent éloigné de la zone d'observation nommé zone de Fetch. La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage, (BONNEFILLE, 2010).

I.4.2.2 Le vent :

Le vent est un élément important à prendre en considération dans toute étude relative à la zone côtière. En effet, les vents sont générateurs de vagues et de courants superficiels et leurs

impacts augmentent avec leurs vitesses. Les vents jouent un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux, surtout dans les côtes basses d'accumulation des régions à climat sec, (**BOUTIBA, 2006**). Ce facteur joue un rôle essentiel dans les transferts sédimentaires directement sur la partie aérienne et par les différents agents hydrodynamiques générés par ce dernier sur la partie immergée.

I.4.2.3 Les courants :

Le courant marin est essentiellement une circulation d'eau de mer générée par le vent, la force de Coriolis, ainsi que les fluctuations de température, de densité et de salinité. Ses principales caractéristiques incluent sa trajectoire, sa vitesse, son débit et sa température.

I.4.2.4 La marée :

La marée est un mouvement oscillatoire de niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (**BOUGIS, 2003**). D'une façon générale, la marée a une amplitude faible sur les côtes algériennes.

I.5. Submersion et Inondation :

I.5.1 Submersion marine :

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (**MATE,1997**), généralement né de la conjonction de phénomènes extrêmes (dépression atmosphérique, vent, houle, pluie) et de forts coefficients de marée provoquant une surcote importante du plan d'eau. D'après **NIELSEN (2009)** et **SHALLENGER (2000)**, les tempêtes peuvent causer deux types de phénomènes sur les espaces côtiers du globe. Les tempêtes entraînent une élévation du niveau moyen de l'eau car elles combinent les effets d'une faible pression atmosphérique et ceux de forts vents. Ensuite, les effets d'une forte houle s'ajoutent au phénomène : les vagues cassant sur les côtes, plus particulièrement sur les plages plates, vont s'étendre sur plusieurs mètres et générer des effets appelés "wave set up" et "swash" (**ANSELME et al., 2011**), ce qui a pour conséquence d'amplifier le phénomène et sur tout d'augmenter la taille de la zone atteinte.

I.5.2 Inondation :

L'inondation marine est définie comme une submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace terrestre. Cette inondation affecte généralement des terrains avoisinant un cours ou un plan d'eau à niveaux variables. Elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles ou artificielles prévues à cet effet (**ARIANE DROUIN, 2008**).

Les inondations sont ainsi un débordement d'eau qui submerge la terre. Elle est consécutive à des crues, consistant en l'étalement du flux d'eau en dehors du lit mineur de la rivière, provoquant la submersion des terres avoisinantes. Une catastrophe naturelle peut résulter d'une inondation par la pluie, un tsunami, un débordement de rivière.

I.6 Changement climatique :

Le changement climatique correspond à un changement du « temps moyen » observé dans une région donnée. Le temps moyen comprend tous les éléments associés au temps, à savoir la température, les caractéristiques des vents et les précipitations. Le terme de changement climatique, tel qu'utilisé par le GIEC, désigne tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou provoqué par les activités humaines. Pour la commission des changements climatiques « CCC », il désigne un changement attribué directement ou indirectement aux activités humaines, qui modifient la composition de l'atmosphère mondiale, ajouté à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables. Les tendances au réchauffement et au refroidissement font partie des cycles normaux du climat, et les conditions climatiques varient au cours d'une même année, d'une année à une autre et au cours des décennies, des siècles et des millénaires. Les données du passé révèlent que le climat a connu de nombreuses variations, fluctuant régulièrement entre des périodes chaudes et froides. De nombreuses études (**FOLLAND et al., 1990**) démontrent que le climat mondial s'est réchauffé au cours des 150 dernières années. La hausse de température n'a pas été constante ; des cycles de réchauffement et de refroidissement se sont succédé à des intervalles de plusieurs décennies. Néanmoins, la tendance à long terme est au réchauffement planétaire (**GIEC, 2001 ; 2007**).

I.6.1 Cinquième rapport du GIEC 2021-2022 :

Après 6 évaluations du climat par le GIEC, le 6ème rapport d'évaluation "Changement climatique 2021-2022" présente des preuves irréfutables que l'influence humaine a réchauffé l'atmosphère, l'océan et les terres émergées. De nombreux changements dans le système climatique sont sans précédent depuis des milliers, voire des millions d'années : réchauffement de l'atmosphère et des océans, diminution massive de la couverture neigeuse et de la banquise, élévation accélérée du niveau des mers et augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il est indéniable que l'activité humaine est la cause principale du réchauffement climatique observé depuis le milieu du XXe siècle. Le rapport confirme que les émissions passées et futures de gaz à effet de serre détermineront à quel point le climat continuera de changer dans les décennies à venir. Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude que toutes les autres depuis 1850. Ce rapport du GIEC, fruit du travail de centaines de scientifiques de par le monde, représente l'état actuel des connaissances sur le changement climatique. Ses conclusions alarmantes exigent une action urgente et ambitieuse de la part des décideurs et de la société dans son ensemble pour limiter les impacts dévastateurs à venir.

Chapitre II : État de connaissance de la zone d'étude

II.1 Situation Géographique de la zone d'étude :

Cette étude englobe les trois baies du littoral centre Algérien (Baie de Zemmouri, Baie d'Alger, Baie de Bou-Ismaïl), et les grandes bassins versants des Oueds qui se jettent dans ces trois baies, ces Oued sont (Oued Corso pour la baie de Zemmouri, Oued El-Hamiz et Oued El-Harrach pour la baie d'Alger, et Oued Mazafran pour la baie de Bou-Ismaïl). (BOUKHENNAF,2024).

II.1.1 Baie de Zemmouri :

Cette baie est située au sud du bassin occidental de la Méditerranée, s'étendant du centre de la côte algérienne jusqu'à l'est de la baie d'Alger. Elle présente une ouverture importante vers le nord, formant une sorte de creux et s'étend sur environ 53,7 km de côte. Ses limites sont définies par le Cap de Djinet (36°52' N et 3°45' E) à l'est et le Cap Matifou (36°49'N et 3°15'E) à l'ouest.

II.1.2 La baie d'Alger :

Cette baie est située au cœur du littoral d'Alger. Elle est caractérisée par une indentation formée dans le rivage entre le cap Matifou à l'Est (3°13' Est et 36°49' Nord) et le cap Caxine à l'Ouest (3°00' Est et 36°49' Nord). Sa forme ressemble à celle d'un demi-cercle presque parfait. Elle s'étend sur 15 km d'Est en Ouest et 7 km du Nord au Sud. La surface délimitée par une ligne d'environ 15,27 km de longueur reliant les deux caps et un contour périphérique de 42,46 km est de 98,8 km². Sa configuration géographique est presque insulaire. Elle est composée d'une plaine centrale et d'une bande côtière entourée d'une chaîne de montagnes et de collines.

II.1.3 La baie de Bou-Ismaïl :

La baie de Bou-Ismaïl, située au cœur de l'Algérie, englobe deux Wilayas : Alger à l'est et Tipaza à l'ouest, séparées par l'oued Mazafran. Elle s'étire du Cap Mont Chenoua à l'ouest (wilaya de Tipaza) jusqu'au Ras Acrata à l'est (wilaya d'Alger). La crique est orientée du nord-est au sud-ouest, couvrant une distance familière de 50 km entre les coordonnées 2°20'E et 2°55'E.

La partie orientale de la baie de Bou-Ismaïl est marquée par la présence d'une autre baie, la baie d'El Djamila, située à environ 20 kilomètres à l'ouest d'Alger. Elle se trouve entre 2° 50' 30" et 2° 54' 00' Est de Greenwich et entre 36° 45' et 36° 48 Nord de l'équateur. La baie de Bou Ismaïl est reconnue pour son potentiel agricole et touristique, en particulier dans sa partie ouest (Tipaza).

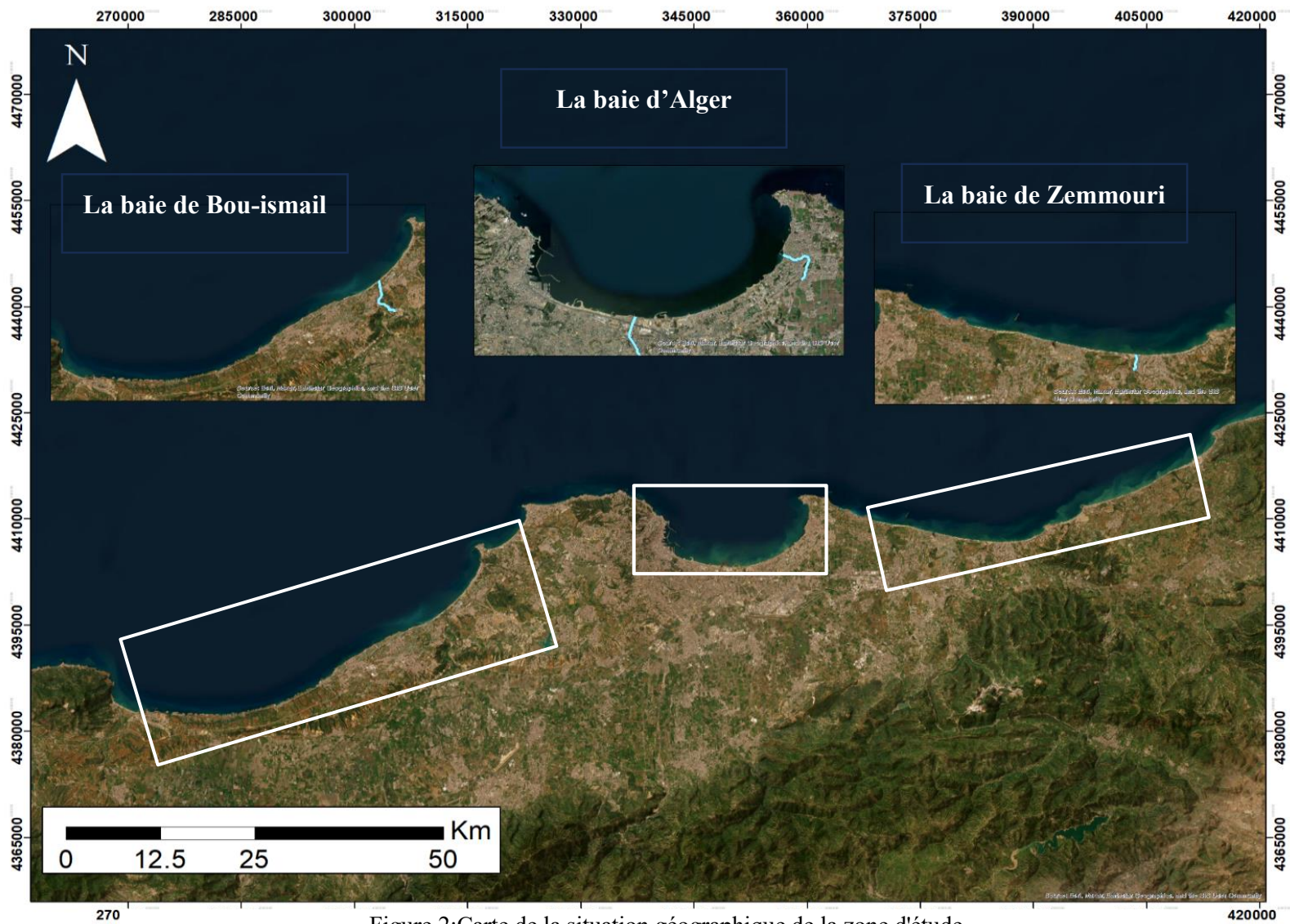


Figure 2: Carte de la situation géographique de la zone d'étude.

II.2 Cadre géomorphologique :

II.2.1 Les Dunes Côtiers :

Les dunes côtières sont des écosystèmes terrestres situés dans la transition entre l'environnement continental et marin, qui remplissent un certain nombre de fonctions uniques telles que la protection du littoral par sa capacité à absorber les tempêtes et son rôle dans la prévention des risques d'inondation (UICN, 2012).

Il y a quatre cordons dunaires dans **la baie de Bou Ismail** :

- Le premier, situé à l'est du complexe touristique de Matares, couvre une superficie de 2,37 ha. Il est malheureusement en état de dégradation avancée à cause de l'urbanisation et du pâturage.
- Le deuxième, le cordon dunaire Douaouda Marine, se trouve derrière la plage du Colonel Abbas. Il s'étend sur 49,2 ha et est remarquable pour sa biodiversité floristique et faunistique.
- Le troisième, le cordon dunaire de Zéralda, est situé derrière les plages de Kheloufi, Familiale et Champ de tir. Il couvre une superficie de 75,87 ha.
- Le quatrième, le cordon dunaire d'Ain Benian, a une superficie d'environ 4 ha. Il est également en état de dégradation avancée, principalement à cause du pillage du sable, de la construction sur le cordon dunaire, du piétinement et du pâturage.

Pour la baie d'Alger, d'après la consultation des images Google Earth Pro, la carte géologique détaillée (Document consulté : feuille d'Alger, carte géologique au 1 :50000, réalisée entre 1948 et 1962)

La baie de Zemmouri est marquée par la présence de neuf dunes côtières, réparties de l'Ouest à l'Est comme suit :

- La dune de Kadousse, qui s'étend sur 41,71 ha, est malheureusement en état de dégradation avancée à cause du pillage du sable, des constructions illégales, du pâturage et du piétinement de la végétation.
- Les dunes Mouilha, situées derrière la plage de Boudouaou Elbahri, couvrent une superficie de 9,2 ha. Elles sont colonisées par le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) et quelques touffes d'oyat (*Ammophila arenaria*).
- Le cordon dunaire du Corso, qui s'étend sur 7,13 ha et atteint une hauteur d'une vingtaine de mètres, est densément colonisé par des pistachiers (*Pistacia lentiscus*). Cependant, il est actuellement menacé de disparition en raison de la construction d'une station de dessalement.
- Le cordon dunaire Sahel, qui couvre environ 20 hectares, est également en état de dégradation très avancée.
- Le cordon dunaire des Grottes s'étend sur 11,89 ha.

- Le cordon dunaire de Sghirate, qui couvre 25,18 ha, présente une grande diversité floristique (*Pistacia lentiscus*, *Ammophila arenaria*, *Polygonum maritimum*, *Euphorbia paralias*) qui a contribué à la fixation de la dune.
- La dune de Zémouri, la plus importante avec une superficie de 105 ha, est classée comme réserve naturelle par le décret wilaya de Boumerdes. Cette dune est recouverte par des phyto-stabilisatrices telles que *Otanthus maritimus*, *Ammophila arenaria*, *Polygonum maritimum*, *Euphorbia paralias*.
- Le cordon dunaire de Safsaf Nabi, d'une superficie d'environ 12 ha, est en état de dégradation avancé.
- Le cordon dunaire de Djenet, situé à l'aval de la RN24 entre Ouled Bounoua et Souanine, a une superficie d'environ 60 ha et une hauteur moyenne de 7m.

II.2.2 Les Plages :

Les plages correspondent à des rivages où la mer dépose des matériaux qui se déplacent librement les uns par rapport aux autres sous l'influence de l'agitation de l'eau. Il s'agit notamment de sable (entre 0,02 et 2 mm), de granulés et de gravier (entre 2 mm et 2 cm), de gravier (entre 2 cm et 20 m) et même de rochers (plus de 20 cm) (**Paskoff, 1970**). La plupart des plages Algéroises sont sableuses.

La partie occidentale de **la baie de Bou Ismail** est caractérisée par des plages en poche d'une longueur de 100 m et d'une largeur moyenne de 20 m, tandis que la partie orientale est caractérisée par des plages rectilignes d'une longueur pouvant dépasser 1 000 m et d'une largeur moyenne de 50 m. (**BOUKHENNAF,2024**).

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

Les plages de **la baie de Zémouri** sont sablonneuses, à l'exception de quelques plages en poche et de plages au pied des falaises dans la partie orientale de la baie (**BOUKHENNAF,2024**).

Tableau 1: Liste des plages de la baie de Bou-Ismaïl (BOUKHENNAF, 2024).

Nom de la plage	Caratéristiques	Commune	X	Y
Les Galets	Petite plage couverte de galets, de 80 m de longueur et de quelques mètres de largeur.	Tipasa	2.407719135°	36.608046108°
Chenoua	Plage de sable de 1000 m de long et de largeur varie entre 20m à 40m.	Tipasa	2.411647934°	36.602612461°
CRF Tipasa	Plage de sable moyen de 900m de long sur 90m de large.	Tipasa	2.425908256°	36.595937102°
Matarès	Plage sableuse d'une 500 m de long et de 20 à 70 mètres de large.	Tipasa	2.425908256°	36.595937102°
Corne d'Or	Une plage en forme de poche de 90 m de long et de quelques mètres de large.	Tipasa	2.47252017°	36.593647514°
CET Tipasa	Une plage en forme de poche de 100 m de long et de quelques mètres de large.	Tipasa	2.478676182°	36.59229639°
Anse de Kouali	Plage de sable protégée, de 500 m de long et de quelques mètres de large, caractérisée par la présence d'herbiers de posidonies.	Tipasa	2.4937837085°	36.589934904°
Mahieddine	Une plage de sable en forme de poche d'environ 300 m de long et quelques mètres de large.	Ain Tagouri	2.62602437°	36.61107967°
Saidia	Plage de sable doré avec quelques roches, 90m de long et 10m de large.	Bouharoun	2.641354553°	36.61733379°
Crachate Ouest	Longueur de 100m et large de 10m en moyenne.	Bouharoun	2.647138285	36.618741995
Crachate Est	Une plage de sable moyenne de 100 m de long et de 10 à 15 m de large.	Bouharoun	2.649200044°	36.620462357°
La fermette	De très petites plages de sable se développent à l'abri des rochers.	Bouharoun	2.663414323°	36.629823058°
Sidi Boumaaza	Longueur de 150m et large de 15m en moyenne.	Bou Ismaïl	2.681059586°	36.642581131°
Front de mer de Bou Ismaïl	Plage de sable de 400 m de long et 15 m de large en moyenne.	Bou Ismaïl	2.6994368895°	36.65232980°
Douaouda	Sa longueur est de 900 mètres et sa largeur moyenne de 20 mètres. Elle est découpée en deux plages : La plage du CRF Douaouda et la plage du Colonel Haoues.	Douaouda	2.7767564889°	36.683254504°
Colonel Abbes	Longue de 2255m large de 50m. Elle est limitée à l'Ouest par des enrochements naturels et à l'Est par Oued Mazafran. Elle est découpée en deux plages : Colonel Abbes Ouest et Est	Douaouda	2.7888202616°	36.68894496°
Kheloufi I	Longue de 650 m et large de 70 m en moyenne, cette plage de sable S'adosse à un massif dunaire dégradé, peut-être à la suite des constructions.	Zéralda	2.805611°	36.699989°

Kheloufi II	Longue de 1200 m et large de 100 m en moyenne, cette plage de sable est adossée à un massif dunaire en général en bon état.	Zéralda	2.816774°	36.708444°
Plage Familiale	Plage longue de 1500m et large de 90m en moyenne. Cette plage est constituée de sable fin.	Zéralda	2.824134°	36.714754°
Champ de Tir	520m de longueur et largeur de 40 à 50m. elle est constituée de sable fin. Cette plage est bordée au sud par la station de dessalement et des constructions.	Zéralda	2.831249°	36.722649°
Complexe touristique	Plage de sable fin de 650 m de long et 60 m de large en moyenne, protégée par trois brise-lames et un épi.	Zéralda	2.834172°	36.727025°
CRF	Longue de 360m par 60m de large, cette plage est constituée de sable fin.	Zéralda	2.837831°	36.73057°
Sable d'Or	Longue de 200m par 90m de large, cette plage est constituée de sable fin.	Zéralda	2.839527°	36.732766°
Azur Plage et Palm Beach	S'étendent sur 1140 m de long et forment une série de brise-lames. Elles sont constituées de sable fin à moyen.	Staoueli	2.841139°	36.736356°
Centre Familiale	1170 m de long avec une largeur variable. Elle est constituée d'une série d'épis, d'un brise-lames et d'un port d'échouage.	Staoueli	2.845688°	36.747044°
Sidi Fredj Ouest	La plage de sable, d'une longueur d'environ 450 mètres, est adossée à des zones urbaines et est très étroite. La partie orientale de la plage a pratiquement disparu.	Staoueli	2.845507°	36.754577°
Thalassothérapie	Située entre les promontoires rocheux à l'Est et un épi à l'Ouest, Sa longueur est de 200 m.	Staoueli	2.841399°	36.760444°
Sidi Fredj Est	Située entre le port Sidi Fredj à l'ouest et l'épi à l'Est. Sa longueur est de 420m et sa largeur de 70m. elle est constituée de sable fin.	Staoueli	2.84867629°	36.7609201°
El Rhiad	Plage coincée entre un épi en forme de L et un brise-lames. Largeur très étroite. Elle est constituée de sable fin à moyen.	Staoueli	2.854019°	36.759777°
El Menzeh	Cette plage forme un demi-cercle, coincée entre deux brise-lames. Elle est constituée de sable fin.	Staoueli	2.852684°	36.75919°
Moretti	780 m de long et 10 à 40 m de large, constitué de sable fin.	Staoueli	2.86404	36.76140
Sahel	320m de long et 20m de large, constitué de sable fin.	Staoueli	2.86848°	36.76266°
Sheraton	440m de long et 60m de large en	Staoueli	2.871798°	36.764061°

	moyenne.			
Club des Pins	La plage, d'une longueur de 1800 m et d'une largeur variable, est constituée de sable fin.	Chéraga	2.87878°	36.768336°
Dauphin	Plage de sable de 600m de long, elle est limitée à l'est par oued Beni Messous.	Chéraga	2.892191°	36.77985°
El Bahdja	Plage de sable de 1140 m de long, limitée à l'ouest par l'oued Beni Messous. Cette plage est bordée au sud par la station d'épuration et des constructions.	Ain Benin	2.898183°	36.788724°
La Fontaine	La plage de gravier mesure 270 m de long et moins de 15 m de large.	Ain banian	2.899475°	36.79094°
Jeunesse	200m de longueur et moins de 20m de largeur. Elle est limitée à l'ouest par un enrochement naturel et à l'est par un épi.	Ain Baniann	2.900336°	36.797053°
Méditerranée	Plage de sable coincée entre un épi à l'ouest et le port d'El Djamila à l'est. Elle est large près du port et étroite près de l'épi. Sa longueur est de 200m.	Ain Baniann	2.900405°	36.799404°
El Djamila	Plage artificielle, fait une longueur de 110m et une largeur de 75m. elle est protégée par une digue.	Ain Baniann	2.894913°	36.803188°

Tableau 2: Liste des Plages pour la Baie d'Alger (BOUKHENNAF, 2024).

Nom de la plage	Caractéristiques	Commune	X	Y
Sablette et Piquet Blanc	Ce littoral long de 5060m, situé entre le port d'Alger à l'ouest et l'oued El Harrach à l'est, il est Totalement artificialisé.	Bel Ouizdad	3.0854713°	36.7498254°
Mazela	Longue de 1170m, cette plage est en cours d'aménagement (rechargement en sable, des constructions d'épis, de digue, Alger médina).	Mohammadia	3.14243015°	36.7415511°
Pins Maritime	Longueur de 800 m et largeur réduite, il est protégé par un épi à l'ouest et un épi en forme de L à l'est.	Mohammadia	3.1737866°	36.744805°
Sirène I et II	Découpé en deux plage Sirène I et Sirène II. Recouvre 1420 m de long Et protégée par quatre brise-lames et un épi en forme de L	Bordj El Kifane	3.186109°	36.748243°
Verte Rive	1700m de long. Ce littoral est protégé par une digue sur 1400 m de long.	Bordj El Kifane	3.206238°	36.756697°
Bateau Cassé	900m de long, largeur variable D'ouest en est. Elle est constituée de sable moyen	Bordj El Kifane	3.220922°	36.766631°
Stamboul	610m de long et 35m de large, sable Moyen	Bordj El Kifane	3.230605°	36.774916°
Coco Plage	400m de long, limitée au sud par l'Oued El Hamiz et au nord par le Petit Port.	Bordj El Kifane	3.231042	36.779209
La Frégate	700m de long, protégé par une Digue	Bordj El Kifane	3.23361639514	36.7864261411
Alger Plage	100m de long, limitée au nord par Marina Palm	Bordj el bahri	3.236145	36.791362
Les Ondines Sud	410m de long et de largeur variable, limitée au sud par Marina Palm. Elle constituée de sable moyen.	Bordj el bahri	3.235774	36.79439
Les Ondines Nord	100m de long et 10m de large.	Bordj el bahri	3.23683	36.797603
Tamenfoust Est	300m de long et largeur varie de 10m à 20m. Elle constituée de sable Grossier	El Marsa	3.23359	36.806399
Tamenfoust Ouest	680m de long et de largeur variable. Elle est protégée par quatre épis.	El Marsa	3.22903797243	36.8069378128

Tableau 3: Liste des plages pour la baie de Zemmouri (BOUKHENNAF,2024).

Nom de la plage	Caractéristiques	Commune	X	Y
El Marsa Centre	300m de long, 10m de large, elle constituée de sables grossiers.	El Marsa	3.256413	36.811519
Plage Zerzouria	2000m de long et 10m de largeur, elle constituée de galets.	El Marsa	3.273844	36.800914
Tamaris	440m de long et 20m de large, constituée de sable moyen.	Ain Taya	3.293160	36.793811
Kef El Arar	80m de long et 10m, constituée de sable fin.	Ain Taya	3.300471	36.792656
Flot bleu	600m de long, sable moyen, protégée par quatre brise-lames.	Ain Taya	3.308505	36.790574
Surcouf	600m de long, largeur variable, sable moyen.	Ain Taya	3.313602	36.788453
Deca Plage	620m de long, 40m de large, sable Grossier.	Ain Taya	3.31999	36.7870270
Tarfaya	600m de long, 40m de large, sable Grossier.	Heuraoua	3.324908	36.78616
El Kadous	2000m de long, largeur variable, sable fin.	Heuraoua	3.337106	36.784146
Réghaïa Plage	1200m de long, 50m de large, sable fin.	Réghaïa	3.356812	36.782556
Sidi El Khither	1000m de long, 20m de large.	Boudaouaou EL Bahri	3.3640089	36.781051
Ben Abde Allah	1000m de long, la longueur de 15m à 20m.	Boudaouaou EL Bahri	3.376752	36.777817
Plage El Koudia	900m de long, 25m de long.	Boudaouaou EL Bahri	3.395880	36.7742
Gourarai	900m de long, 15m de long.	Boudaouaou EL Bahri	3.39588	36.7742
Bouzegza	400m de long, 30m de large, limitée à l'est par une digue.	Boudaouaou EL Bahri	3.401531	36.773497
El Mamarine	400m de long, 80m de large.	Boudaouaou EL Bahri	3.411423	36.771406
Mouilha	600m de long, 90m de large, limitée à l'est par Oued Boudaouaou.	Boudaouaou EL Bahri	3.416089	36.770486
El Raboua El Khadra	Long de 2460m, elle est limitée à l'ouest par Oued Boudaouaou et à l'est par la station de dessalement de Corso. Sur les 500 premiers mètres du côté d'Oued Boudouaou, la largeur de la plage est de 100 mètres, puis elle se rétrécit à 30 mètres.	Corso	3.424164	36.769995
Plage Corso	730m de long, 90m de large, elle est limitée à l'est par Oued Corso et à l'ouest par station de dessalement.	Corso	3.452392	36.766843
Jardin El Nacer	500m de long, limitée à l'ouest par Oued Corso.	Boumerdes	3.457091	36.766866
Plage El Assil	500m de long, limitée à l'est par Oued Tatareg.	Boumerdes	3.462114	36.766841
El Naoures	400m de long, 70m de large. Elle est protégée par deux épis.	Boumerdes	3.467418	36.7666638
Plage Dauphin	600m de long, limitée à l'est par Oued Boumerdes. Elle est protégée par un brise-lame de 120m.	Boumerdes	3.474179	36.766946
Plage rocher Noir	840m de long, 65m de large.	Boumerdes	3.748645	36.7673660
El Djawhara	600m de long, 70mde large.	Boumerdes	3.493614	36.768609
Rocher Pourri	800m de long, 100m de large.			

Plage El Azrek	870m de long, 70m de large.	Boumerdes	3.51225	36.775296
El Yassamine	460m de long, 60m de large.	Boumerdes	3.514449	36.776898
Seghirat	450m de long, 120 de large.	Thenia	3.539308	36.786959
Oued Elime	400m de long, 130m de large.	Thenia	3.545842	36.788491
Ben younes	1200m de long, 80m de large.	Zemmouri	3.549032	36.790194
El Dzera	700m de long, 35m de large.	Zemmouri	3.561466	36.800555
El kebkab	700m de long, 60m de large.	Zemmouri	3.566167	36.803988
El Takhayum	1000m de long, 90m de large.	Zemmouri	3.571826	36.804345
El Kuthban Elramlia	1000m de long, 90m de large.	Zemmouri	3.577822	36.805862
Sable D'or	800m de long, 100m de large.	Zemmouri	3.584326	36.807091
Foret sahel	700m de long, 130m de large.	Zemmouri	3.593584	36.809413
El Shweisha	2000m de long, 60m de large.	Zemmouri	3.60735	36.81294
Hadj Ahmed	2200m de long, 60m de large.	Zemmouri	3.62923	36.82013
Mandoura	Elle présente une longueur de 6565m et une largeur de 50m, limitée à l'est par Oued Isser. Elle est découpée en trois plages : Elbahria (600m), El yad Eldhahabia (600m), Mandoura ouest.	Lekhata	3.658253	36.834298
Dar Mendil	2360m de long, 100m de large. Elle est limitée à l'est par la centrale électrique et à l'ouest par Oued Isser.	Djenet	3.686105	36.845132
El Hamdanya	1000m de long, 35m de large.	Djenet	3.706954	36.857906
El azraq Elkabir	900m de long, 30m de large.	Djenet	3.708582	36.859015
Oued Elgharaf	900m de long, 60m de large.	Djenet	3.719284	36.869277
Stara	S'étend sur une longueur de 430m et une largeur moyenne de 70m. Elle est limitée à l'est par port de Djenet et à l'ouest par l'épi.	Djenet	3.720422	36.873388

II.3. Cadre Hydrographique :

II.3.1. Les Oueds :

Les fleuves et les rivières jouent un rôle déterminant dans la production et la mise en circulation des sédiments, en transférant et/ou en tamponnant les flux des sources et des montagnes vers les environnements alluviaux en aval (**Fryirs, 2013**). La quantité de sédiments (naturellement fluctuante dans le temps) transférée des rivières au système côtier détermine un bilan de masse qui a des effets importants sur la position et la morphologie du littoral (**Bombino et al., 2022 ; Falqués, 2006**).

Les principaux oueds que s'intéresse cette étude sont :

- **Oued Mazafran** : c'est le plus important des oueds dans la région de Bou Ismail, la Superficie de son bassin versant est de 1889 km². Il est formé par la réunion de trois principaux Oueds : Oued Djer, Oued Chiffa et Oued Bou Roumi. Son apports solides moyenne annuelle est de 1610 t/km² /an (**A.N.R.H, 2004**).

- **Oued El Harrach** : Son bassin versant couvre une superficie de 966 km², il traverse l'Atlas Blidéen, la plaine Mitidja et le Sahel finalement il diverse vers la mer. Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.41m³/s (**Bachari Houma, 2009a**).
- **Oued El Hamiz** : La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. Il diverse à l'est de la baie d'Alger près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer. (**Bachari Houma, 2009b**).
- **Oued Corso** : se diverse au centre de la baie de Zemmouri au niveau de la plage. La superficie du bassin versant est de 100 km², son volume annuel moyen est évalué à 0.11 Mm³ (**A.N.R.H, 2004**).

Chapitre II

Etat de connaissance de la zone d'étude

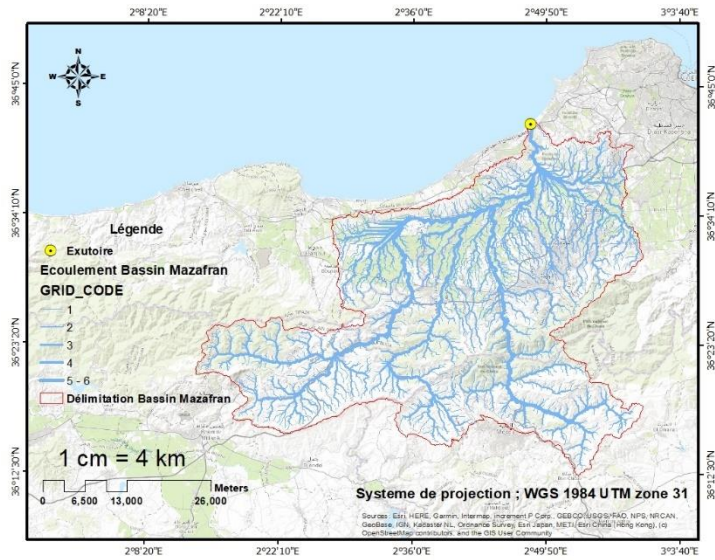


Figure 6: Carte de bassin versant de Mazafran

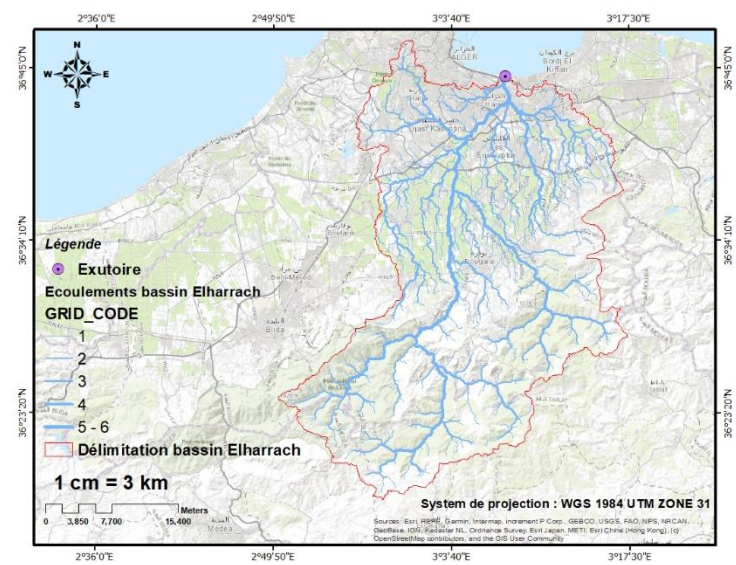


Figure 3: Carte de bassin versant de El-Harrach

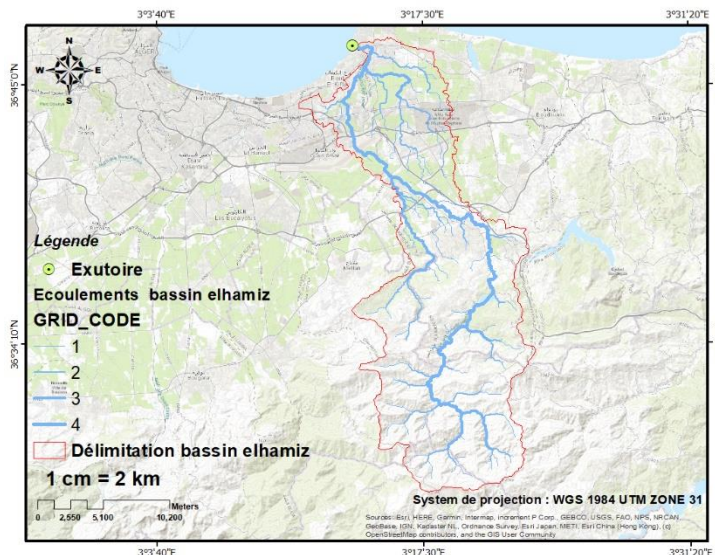


Figure 4: Carte de bassin versant de El-Hamiz

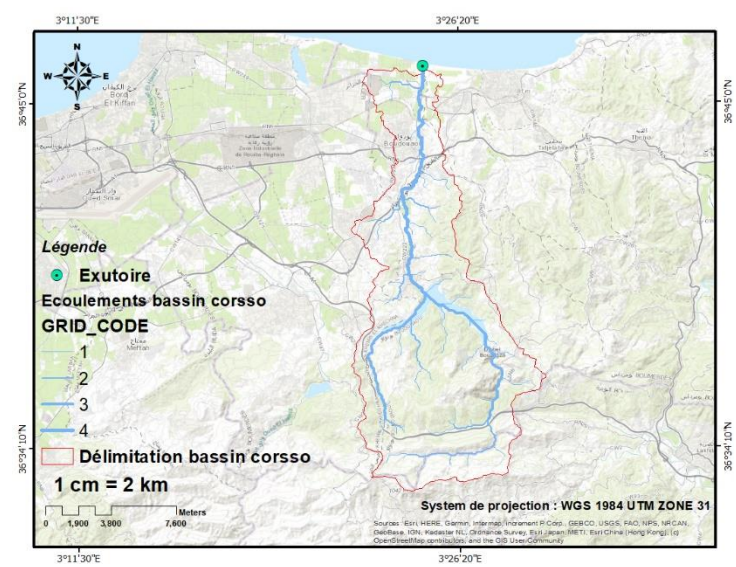


Figure 5: Carte de bassin versant de Corso

II.4 Cadre climatique :

II.4.1 Précipitation :

L'analyse des précipitations (Figure.6) montre des irrégularités mensuelles. Le minimum de précipitations est enregistré en juillet et le maximum en novembre.

La moyenne des précipitations entre janvier 1982 et décembre 2021 est de 370,3 mm (wofrance, 2023).

II.4.2 Températures :

Les températures annuelles ont connu une augmentation, l'analyse des températures moyenne mensuelles de la région Algéroise montre que les températures les plus élevées enregistrées sont le mois de juillet et août et les températures minimums enregistrées les mois de janvier et février (Figure.7) La température moyenne entre janvier 1982 et décembre 2022 était de 18,3°C (wofrance, 2023).

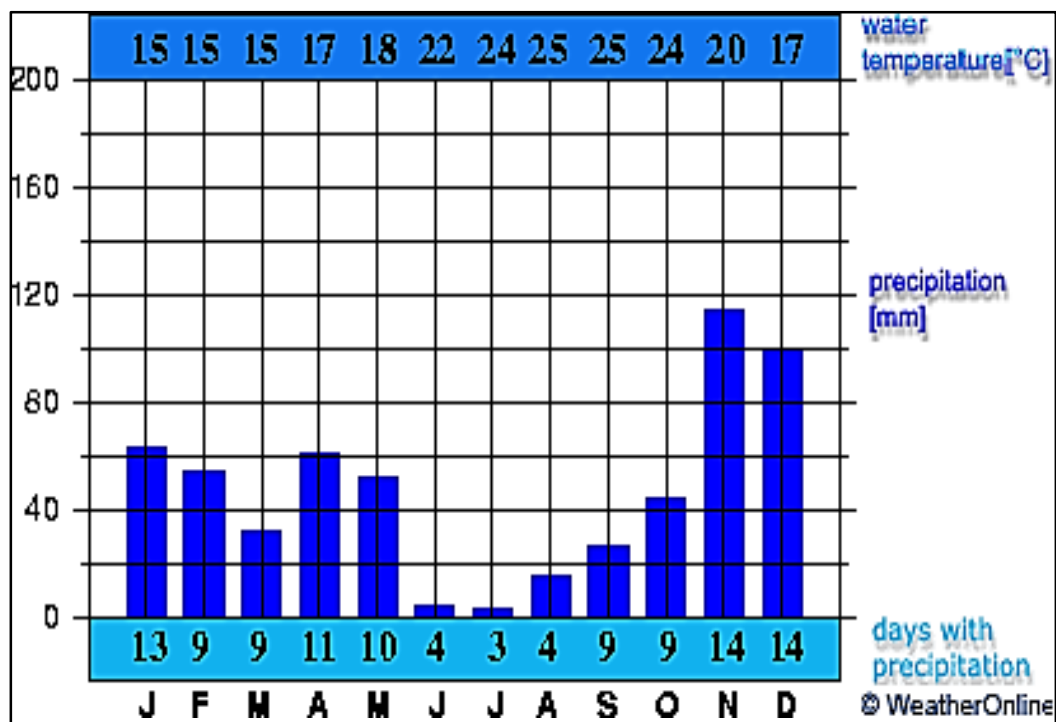


Figure 7: Les précipitations mensuelles moyennes dans la région Algéroise (wofrance, 2023).

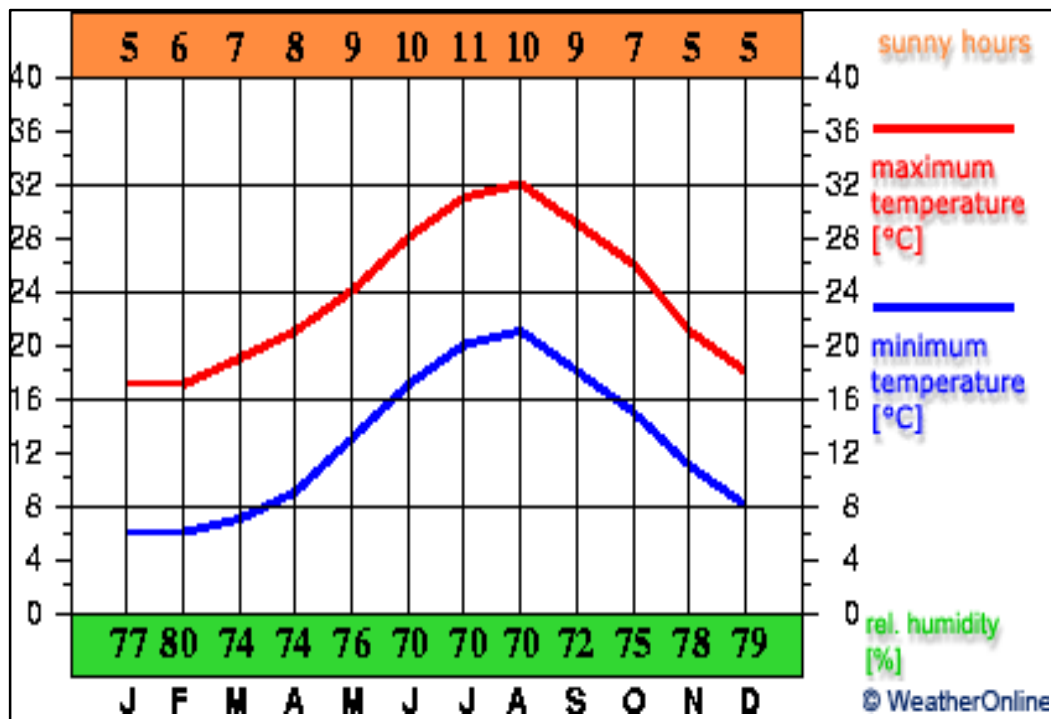


Figure 8: Distribution des températures dans la région Algéroise (wofrance, 2023).

II.4.3 Vents :

Les informations concernant les vents en mer ont été recueillies à partir de la base de données disponible sur www.waveclimate.com, couvrant une période de 29 ans, de 1992 à 2021. Cette base de données compile les statistiques des vents en mer pour diverses zones côtières. Les données relatives à la vitesse et à la direction des vents sont présentées graphiquement sous forme de roses dans les figures suivantes (Figure.8-9-10).

II.4.3.1 Baie de Bou-Ismaïl :

Les observations du vent effectuées au large de la baie de Bou-Ismaïl ont été représentées sous forme de roses des vents pour chaque trimestre (Figure.8). Les données indiquent une prédominance des vents provenant des directions WSW et NE, avec des fréquences respectives de 25% et 18% pour les trimestres d'hiver et d'été, et des vitesses variantes entre 12 et 15m/s. Les directions NE, WSW et SW sont également fréquentes au printemps et en automne, bien que moins fréquentes, avec des fréquences de 10% à 11%, et la plupart de ces vents ont des vitesses comprises entre 8 et 12m/s.

II.4.3.2 Baie d'Alger :

Le régime et la vitesse des vents au large de la baie d'Alger peuvent être résumés dans les roses des vents suivantes (Figure.9), dont on distingue les principales directions dominantes en fonction des saisons :

- En été, les vents dominants proviennent des secteurs NE et E, avec des fréquences respectives de 23% et 17%, et une vitesse moyenne de 8 à 13 m/s.
- En hiver, ce sont les vents venant des secteurs SW et W qui prédominent, avec des fréquences de 18% et 13% et des vitesses allant de 15 à 18 m/s.
- En automne et au printemps, les vents de secteur NE et SW sont les plus fréquents, avec des fréquences respectives de 16% et 13% au printemps et de 11% chacun en automne, et des vitesses variant entre 12 et 16 m/s.

II.4.3.3 Baie de Zemmouri :

L'analyse statique de ces données de vent (Figure.10) montre que les directions les plus dominantes sont :

- Printemps et automne : Prédominance des vents d'Ouest à Sud-Ouest et d'Est à Nord-Est, avec des fréquences respectives de 18,99% et 19,38%. Les vents de cette direction ont des vitesses supérieures à 16 m/s.
- Période hivernale : les vents d'ouest ont une fréquence élevée de 26,31% avec une vitesse comprise entre 12 et 16 m/s. Les autres directions sont moins fréquentes, avec des fréquences relativement faibles. Les autres directions sont moins fréquentes, avec des fréquences relativement faibles.
- Période estivale : les vents les plus dominants sont ceux des deux directions Nord-Est et en particulier Est avec des fréquences d'occurrence de 24,26% et 33,44% respectivement.
- Les directions de vent Nord-Ouest et Nord sont présentes mais avec une prédominance moins remarquable.
- Fréquence annuelle : les directions de vent les plus dominantes sont l'Est, l'Ouest et le Nord-Est, avec des fréquences estimées à 20,51%, 18,46% et 14,75% respectivement.

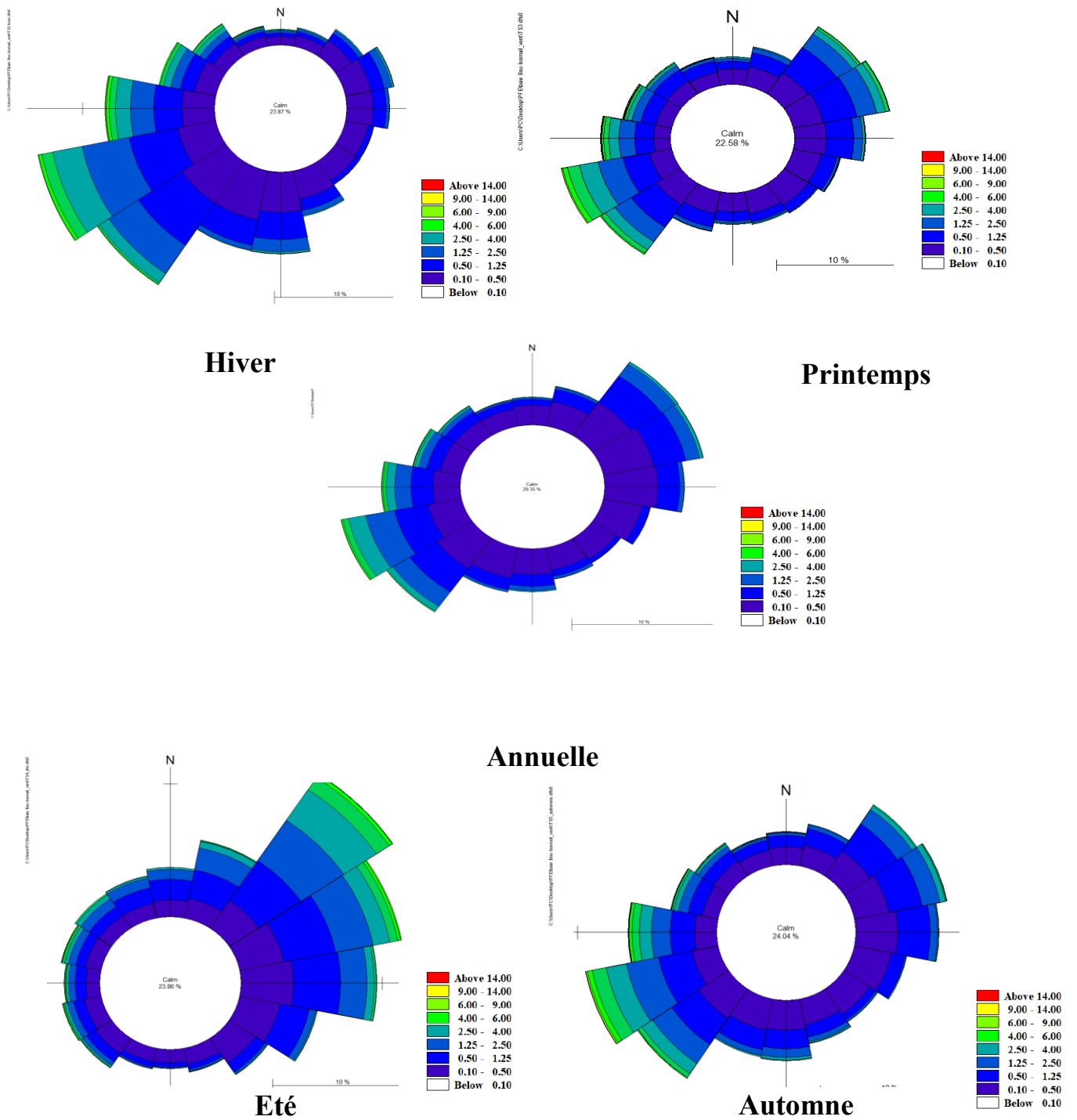


Figure 9: Roses des vents au large de la baie de Bou-Ismaïl (1992-2020).

Chapitre II

Etat de connaissance de la zone d'étude

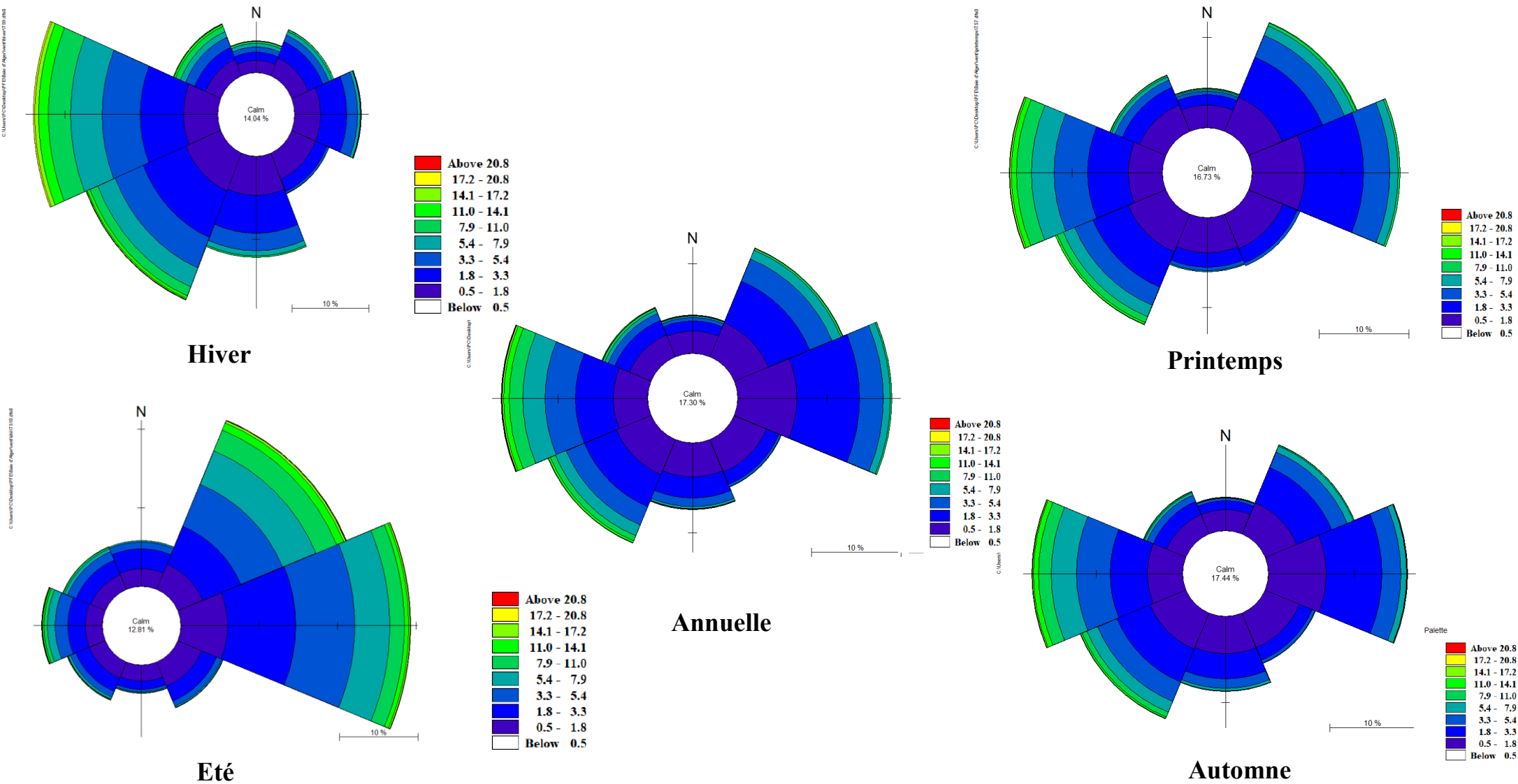


Figure 10: Roses des vents au large de la baie d'Alger (1992-2019).

Chapitre II

Etat de connaissance de la zone d'étude

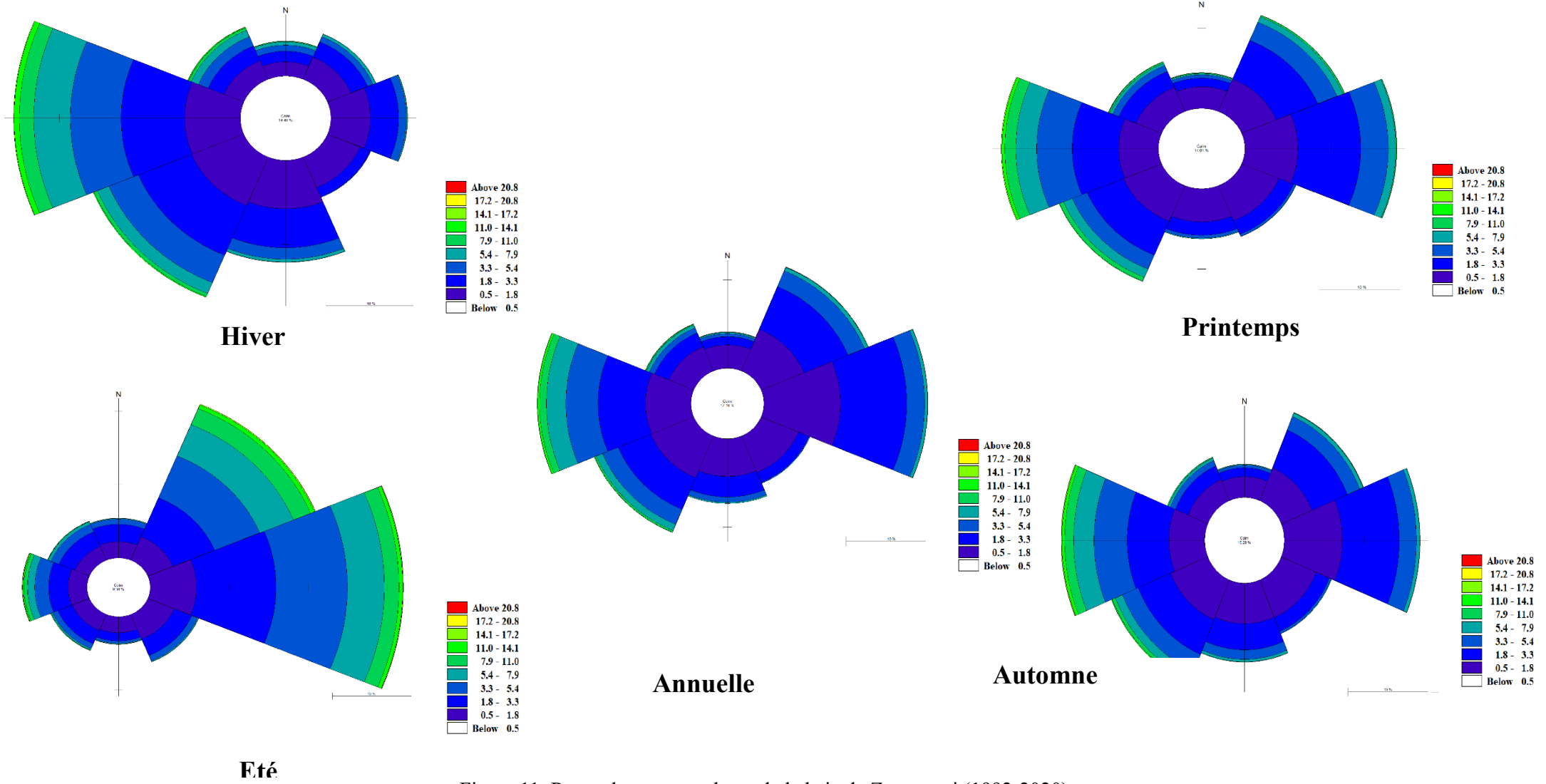


Figure 11: Roses des vents au large de la baie de Zemouri (1992-2020).

II.5. Cadre Océanographique :

II.5.1 La Houle :

Dans toutes les études de zones côtières, l'étude de la houle est particulièrement importante pour ses impacts directs ou indirects sur la mobilité du littoral. La hauteur significative des vagues est définie comme étant la hauteur moyenne, différence de hauteur entre le creux et la crête, du tiers des ondes les plus élevées (**Vanem, 2016**).

L'analyse statistique des données du site www.waveclimate.com a permis de tracer les roses des houles trimestrielles et annuelles au large des côtes Algéroise pour la période 1992- 2021 (Figures II.13, II.14 et II.15). L'analyse de ces roses révèle la prédominance des houles provenant de différents secteurs au large.

II.5.1.1 La baie de Bou Ismail :

Au large de la baie de Bou Ismail, les houles annuelles dominantes proviennent principalement des secteurs NE et NNE, avec plus de 40%, et des secteurs W, WNW avec environ 30%. Plus de 70% des hauteurs enregistrées de ces secteurs oscillent entre 0 m et 2,5 m, 1% des houles de secteur Ouest représentent des hauteurs allant de 2,5 m à 4 m.

Les roses saisonnières au large de la baie de Bou Ismail montrent que :

- Durant l'hiver, le maximum de fréquence provient des houles du secteur W et NNE avec respectivement des fréquences de 18% et 22% et une houle significative maximale de 6.36 m.
- Au printemps, les houles plus fréquentes proviennent de secteur W, NE et NNE, elles représentent respectivement des fréquences de 23%, 25% et 21% et une houle maximale enregistrée de 4m de secteur Ouest.
- En été, ce sont les houles de secteurs NE et NNE qui sont les plus fréquentes, elles représentent respectivement des fréquences de 45% et 19% et une houle significative maximale comprise entre 1.25 et 2.25m.
- En automne, les directions dominantes de la houle sont NNE (27%), NE (25%), W (20%) et WNW (16%). La houle maximale d'Ouest est de 4m.

II.5.1.2 La baie d'Alger :

Au large de la baie d'Alger, les principales directions annuelles sont l'Ouest, le Nord-Nord-Est (NNE), le Nord-Est (NE) et l'Est-Nord-Est (ENE), représentant respectivement 21%, 17%, 23% et 17% des observations.

- Pendant la période hivernale, les directions prédominantes sont l'Ouest avec 28%, le NNE avec 22% et le NE avec 11% des observations.
- Au printemps, environ 30% des houles proviennent de l'Ouest, 25% du NE, 18% du NNE et 15% de l'ENE.
- En été, les houles dominantes viennent du NE avec 35% et de l'ENE avec 30%.
- En automne, 27% des houles proviennent du NNE, 23% du NE, 18% du Nord-Ouest (NW) et 15% du Nord (N).

II.5.1.3 La baie de Zemmouri :

La rose des houles annuelles montre une dominance des directions W, NE, NNE et ENE avec des pourcentages respectivement de 22%, 26%, 24% et 20%.

- Les roses saisonnières montrent que les caractéristiques des houles au large de la zone d'étude fournissent la diversification d'une saison à l'autre :
- En hiver, les houles dominantes proviennent des secteurs NNE, W, WNW et N, représentant successivement 27%, 24%, 17% et 14%.
- Au printemps, les houles viennent de différentes directions, W (21%), NE (22%), NNE (19%), ENE (15%) et WNW (13%).
- Durant l'été, la majorité des fréquences de houle provient du secteur NE (43%), du secteur ENE (37%) et du secteur NNE (22%).
- Au printemps, les houles provenaient de différentes zones, elles sont venues des directions NNE (31%), W (27%), NE (26%), WNW (19%), ENE (17%) et du secteur Nord (13%).

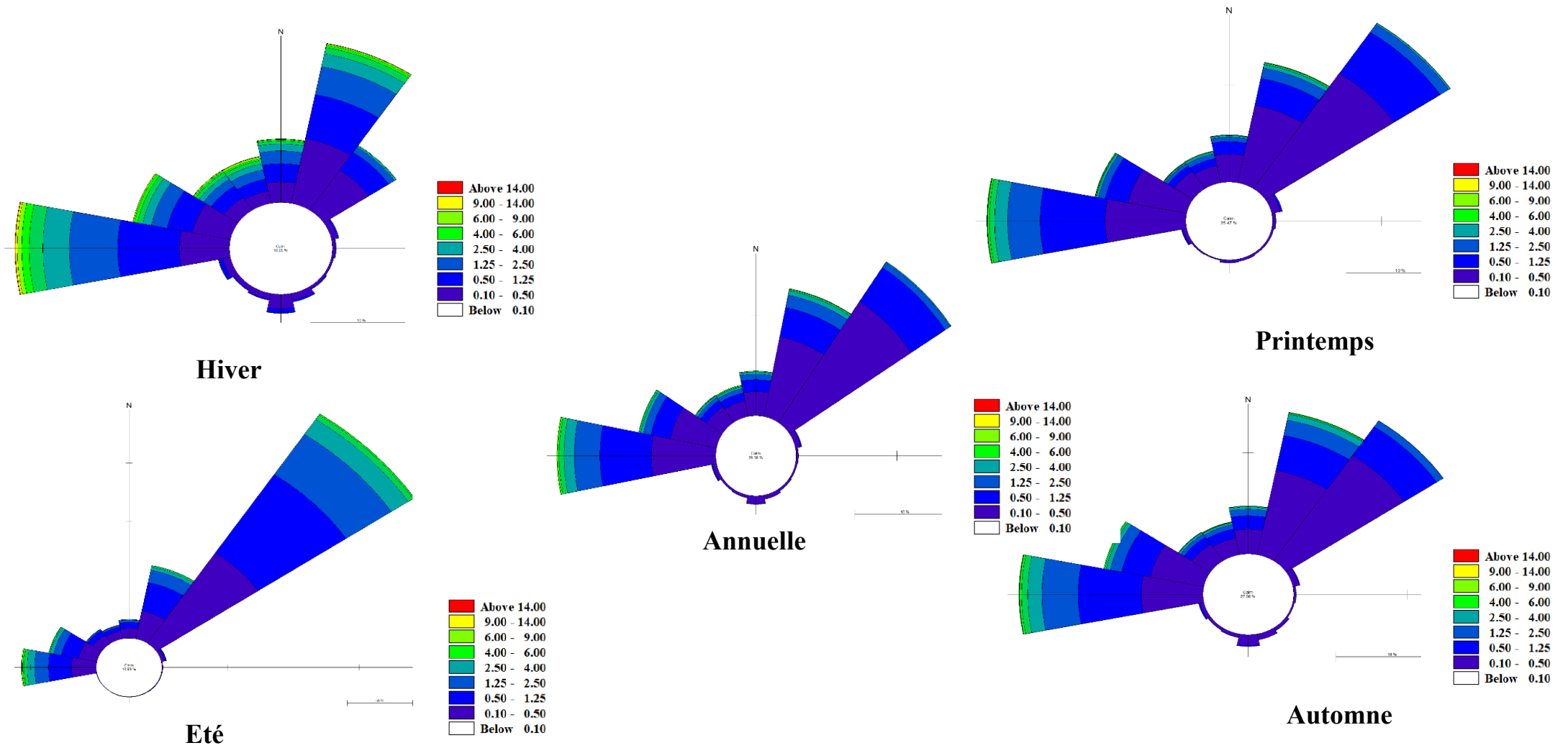


Figure 12: Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie de Bou Ismail (1992-2020).

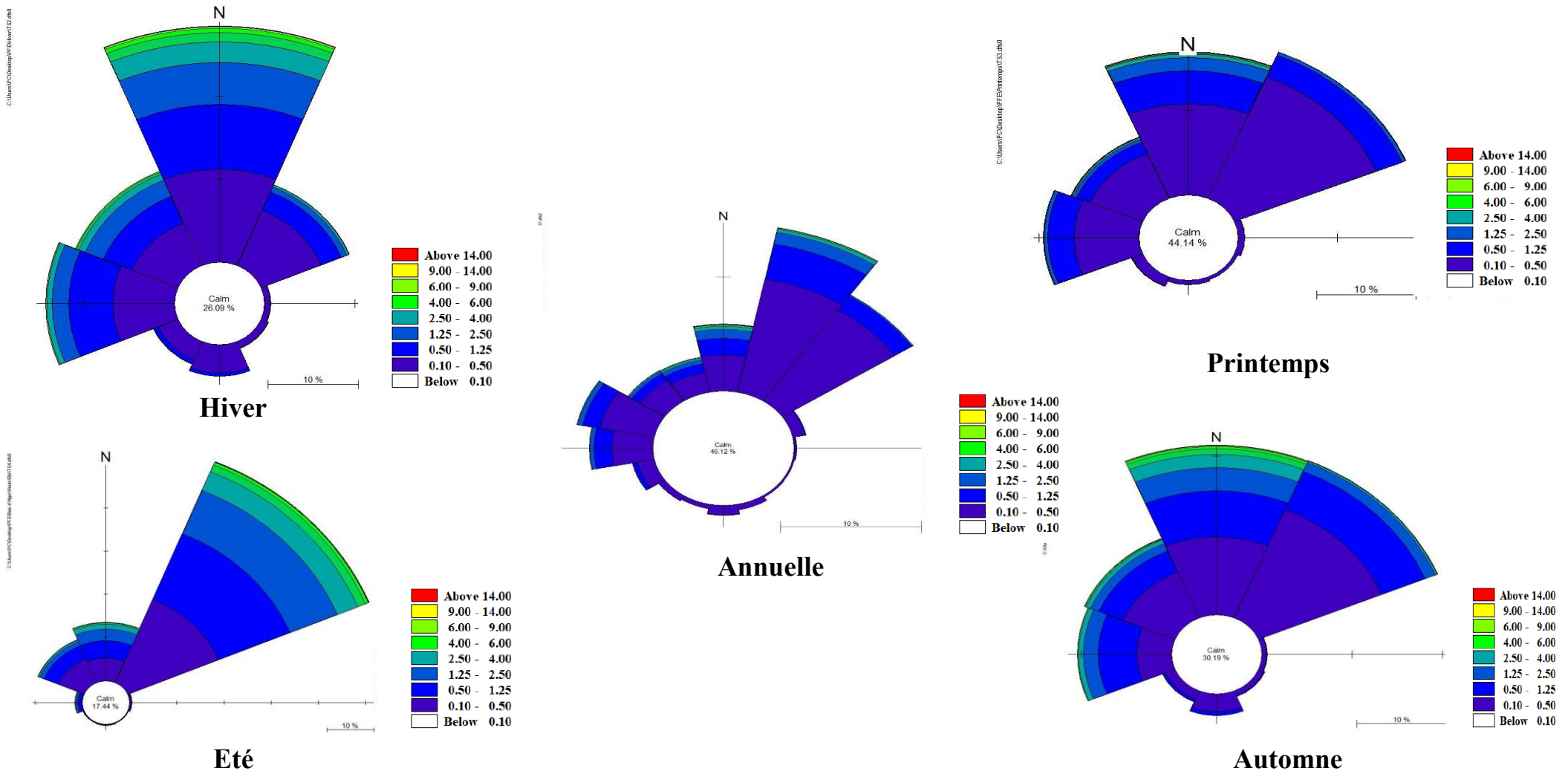


Figure 13: Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie d'Alger (1992-2019).

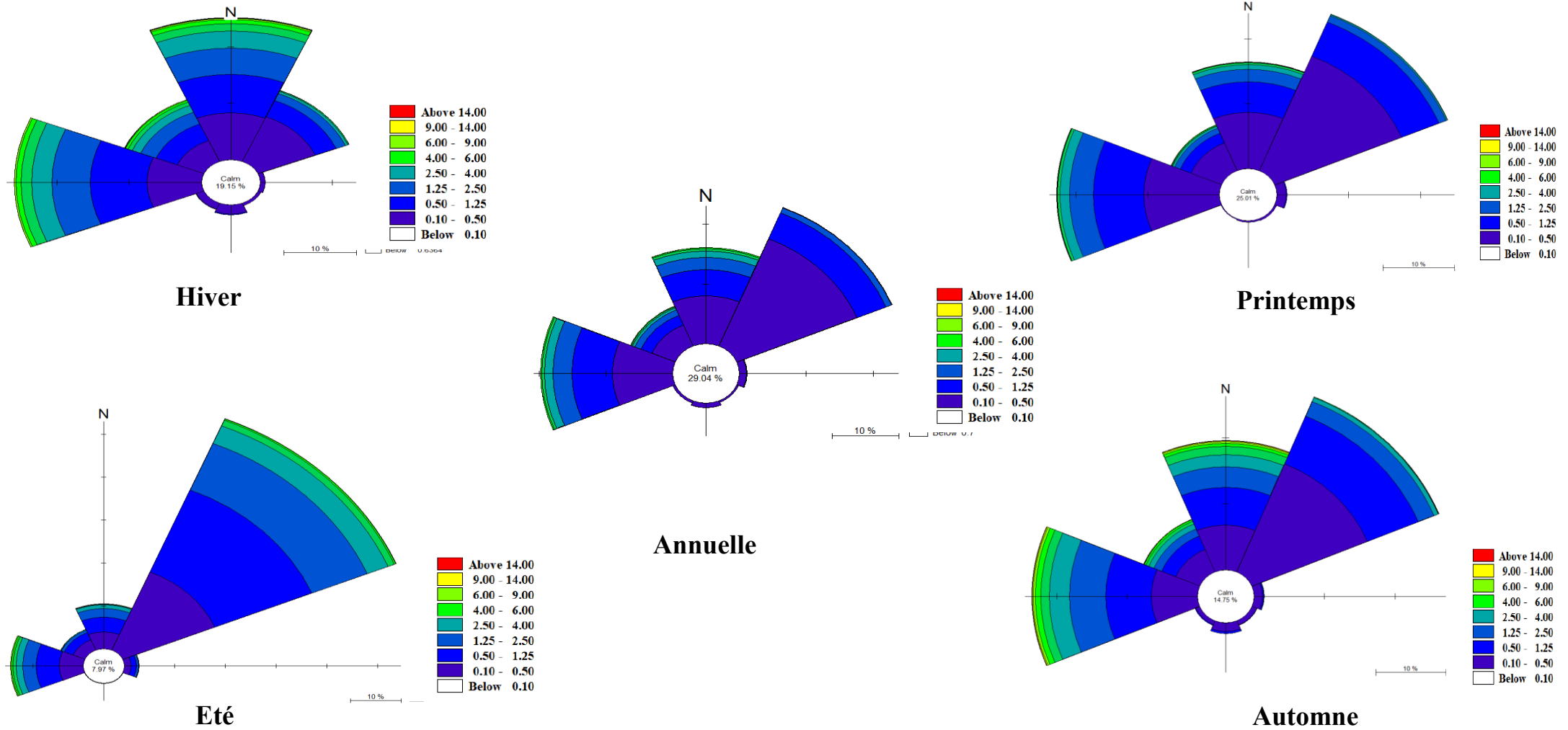


Figure 14: Roses des houles saisonnières et annuelles au large de la baie de Zemmouri (1992-2020).

II.5.2 La Marée :

Les marées sont des oscillations régulières du niveau de l'eau des mers et des océans sur un cycle quotidien. Cette oscillation régulière quotidienne peut aller de quelques décimètres à plus de 15 m dans certaines régions du monde. Ces fluctuations de la marée sont très importantes dans les zones côtières. Elles provoquent des inondations permanentes et épisodiques, notamment en affectant les processus physiques côtiers tels que l'élargissement vers la côte de la zone d'action des vagues. Le marnage moyen a été obtenu à partir des données du marégraphe disponible au port d'Alger. Le marnage résultant est de type micro tidal. Le niveau moyen de la mer est de 40,6 cm au port d'Alger (Rami et al., 2016).

II.5.3 Les variations de niveau de la mer :

Le niveau de la mer représente la hauteur moyenne de la surface de l'océan, servant de référence stable. En termes simples, il est situé entre les marées basses et hautes moyennes à un endroit donné le long de la côte, excluant les effets des vagues, et est calculé sur une période d'au moins un an. Les variations absolues du niveau de la mer sont mesurées par rapport à un ellipsoïde de référence défini par la géodésie. Le terme "eustatisme" fait référence aux changements globaux absolus du niveau de la mer. Le niveau marin relatif est mesuré par rapport à un point de référence sur le sol, incluant la subsidence et excluant l'épaisseur des sédiments. L'accommodation désigne l'espace disponible pour les sédiments, tandis que l'espace disponible non comblé représente la fraction inutilisée de cet espace.

Selon la synthèse des connaissances scientifiques publiée en 2021 par le GIEC, le niveau de la mer a augmenté de 0,20 m (intervalle de confiance très probable : 0,15 à 0,25 m) entre 1901 et 2018. Le rythme de hausse de niveau de la mer s'accélère. Selon la synthèse de 2021 du GIEC, la vitesse d'augmentation du niveau de la mer était de 1,3 mm/an (intervalle de confiance très probable : 0,6 à 2,1 mm/an) entre 1901 et 1971, elle a augmenté à 1,9 mm/an (intervalle de confiance très probable : 0,8 à 2,9 mm/an) entre 1971 et 2006, puis à 3,7 mm/an (intervalle de confiance très probable : 3,2 à 4,2 mm/an) entre 2006 et 2018. Fin 2022, un rapport de l'Organisation météorologique mondiale indique que le niveau eustatique a monté d'un centimètre en moins de trois ans, le rythme annuel ayant doublé depuis 1993.

**Chapitre III :
Hydrographie et
Inondation**

III.1 Introduction :

L'hydraulique est un domaine qui s'intéresse de près aux inondations, des phénomènes ayant un impact significatif sur les infrastructures et les populations. Ces inondations peuvent être déclenchées et régulées par le taux de précipitations, mais également par des événements extrêmes survenant dans les zones d'embouchure. Dans ce chapitre, nous allons examiner ces phénomènes au niveau des points de sortie des oueds. Pour ce faire, nous utiliserons des logiciels et des modèles spécifiques qui faciliteront notre travail.

III.2 Méthodologie :

Ce chapitre, nous emmène à faire une modélisation numérique pour les oueds de la région centrale de l'Algérie. Notre objectif est d'étudier le phénomène d'inondation près des oueds suivants : Oued CORSO, Oued EL-HAMIZ, Oued EL-HARRACH et Oued MAZAFRAN. Pour ce faire, nous utiliserons des logiciels spécifiques tels que HEC-RAS, ArcGIS et AutoCad CIVIL 3D. pour cela on a suivi les étapes suivantes :

III.2.1 Collecte des données : Pour réaliser un modèle numérique spécifique à un oued, nous sommes besoin de certaines données.

- Un modèle numérique de terrain (MNT) de résolution de 2metres pour obtenir la géométrie de l'oued. Pour plus de précision, il est recommandé d'utiliser un levé topographique.
- Courbes intensité durée fréquence (IDF) pour les utiliser dans les formules de calcul hydrologique de l'oued.
- Carte des pluies journalières (Pj10) et cartes des Gradex
- Données géotechniques sur la nature du sol au niveau des oueds.
- Cartes des bassins versants de chaque oued avec des cartes des pentes.

III.2.2 Préparation de la géométrie des oueds : pour ce faire, on a utilisé un model numérique du terrain avec **précisions de 2metre** pour les oueds (CORSO, EL-HAMIZ, EL-HARRACH et MAZAFRAN).



Figure 15: Model numérique de terrain

On commence avec le découpage de l'MNT selon la surface qu'on doit l'étudier :

- Création d'un shapefile type polygone pour dessiner les limites d'Oued.
- Création d'un shapefile type polyline pour dessiner la ligne d'écoulement.
- On assure que les deux shapefiles sont géoréférencés avec le système de projection **WGS 1984 UTM ZONE 31**.
- Utiliser le géotraitement **EXTRACT BY MASK** pour finaliser le processus de découpage.

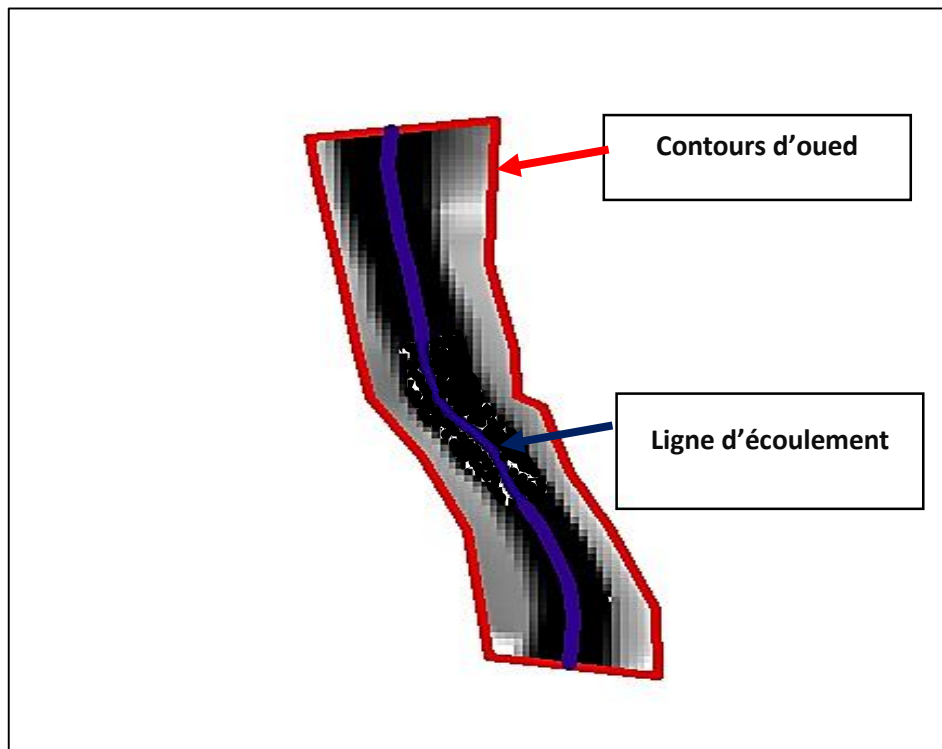


Figure 16: Résultat du découpage de l'MNT

Après avoir du résultat de découpage, on passe à l'enregistrement des résultats obtenu :

- Exporter la ligne d'écoulement, en format CAD en cliquant sur <Data>, <Export data>, <Export to CAD>
- Enregistrer les contours d'Oued en format TIFF en cliquant sur <Data>, <Export data>, <format TIFF>

Logiciel CIVIL 3D :

Civil 3D est un logiciel de modélisation 3D adapté aux besoins des ingénieurs, concepteurs et architectes travaillant dans le domaine du génie civil, Il permet aux ingénieurs en génie civil de réaliser les projets d'infrastructure les plus complexes dans un environnement basé sur des modèles 3D , parmi les fonctionnalités de logiciel qui on auront besoin dans notre étude :

Modélisation de terrain : Création de modèles numériques de topographie pour les études

d'occupation des sols, la planification des systèmes de transport et les simulations d'écoulement de l'eau.

Avant de commencer la manipulation :

- Utilisez le kit français pour ne pas avoir des problèmes avec les unités de mesure
- Création d'une surface de travail.
- Définition de la surface de travail avec l'image TIFF qu'on a obtenu via ArcGIS.

Après avoir sélectionné l'image TIFF on obtient la géométrie représentée par des triangles verts :

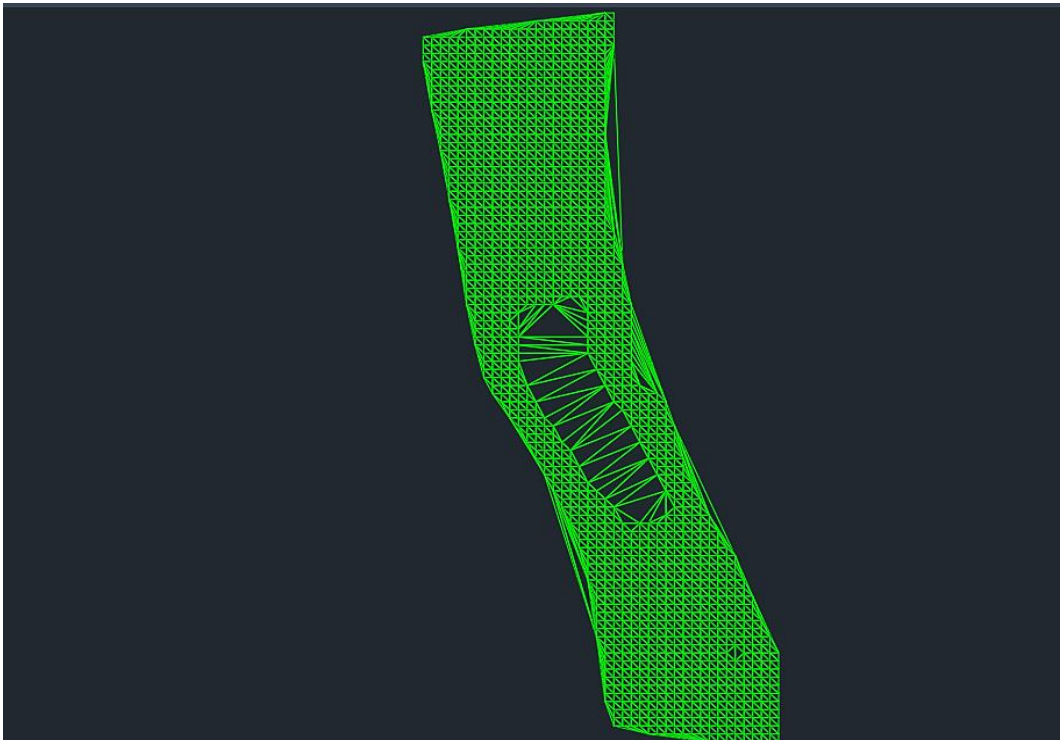


Figure 17: Résultat de la géométrie

Méthode des triangles verts :

La méthode des triangles verts est une technique d'interpolation utilisée pour estimer des valeurs inconnues dans un espace tridimensionnel à partir de points dont les coordonnées XYZ sont connues. Cette méthode est basée sur la création de triangles entre les points connus, formant ainsi une surface maillée. Chaque point inconnu est alors estimé en se basant sur les valeurs des sommets du triangle dans lequel il se trouve. Cette technique est particulièrement utile dans divers domaines tels que la géographie, l'ingénierie et la modélisation 3D.

Après l'importation du modèle numérique de terrain nous allons manipuler le MNT. à cette étape nous allons :

- Définir l'axe d'écoulement principale, pour ce faire, nous allons créer l'axe d'écoulement à partir d'un objet.
- On assure la direction correcte de la ligne d'écoulement.
- Création des groupes des tabulations qui sont des lignes à travers qui relient les berges d'Oued.
- On assure que l'ensemble des tabulations sont dans le modèle numérique de terrain. Si une des tabulations est en dehors des limites du modèle, elle est considérée comme une faute. Cela peut fausser les résultats de l'analyse du terrain.

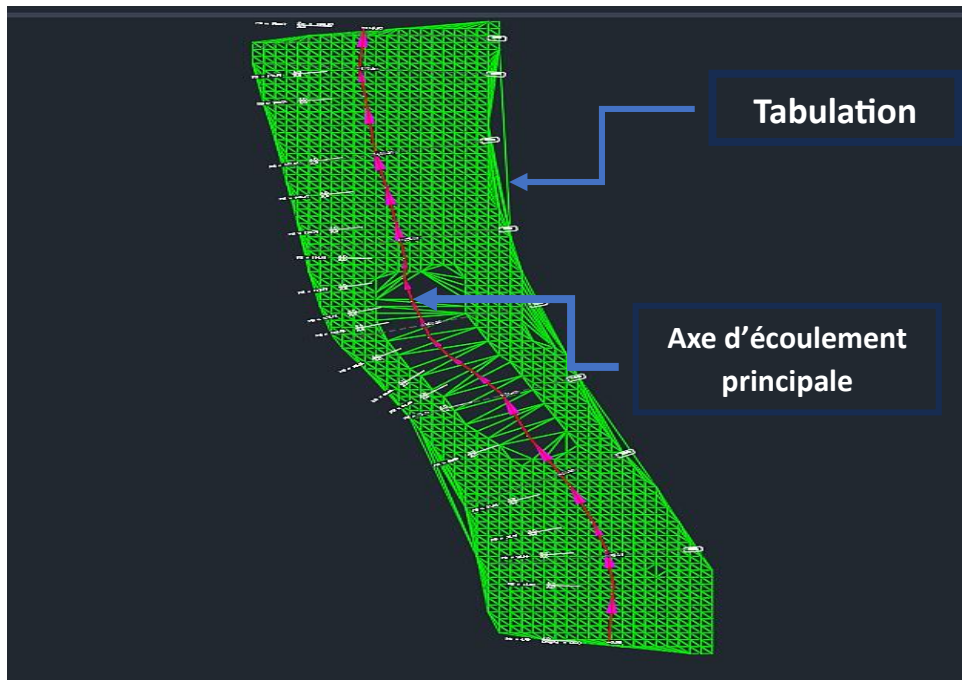


Figure 18: résultat finale de la géométrie (Axe d'écoulement + lignes des tabulations)

Lorsque qu'on obtient notre modèle qui inclus l'axe d'écoulement et le groupe des tabulations, on passe à l'enregistrement du model on format HEC-RAS, on assure aussi que le fichier de sortie est un format "Géo".

III.2.3 Insertion de la géométrie dans HEC-RAS :

Logiciel HEC-RAS

HEC-RAS, qui signifie Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique), est un logiciel de modélisation hydraulique. Il est conçu pour simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux (**Manuelle d'utilisation HEC-RAS-2001**).

Parmi les fonctionnalités de logiciel c'est :

- **Modélisation des écoulements** : Le logiciel peut simuler différents types de régimes d'écoulement (subcritique, de transition, supercritique) en prenant en compte les effets des ouvrages hydrauliques comme les ponts et les seuils. (**Manuelle d'utilisation HEC-RAS-2001**).
- **Simulation de la qualité de l'eau** : Il permet également de simuler l'évolution de la qualité de l'eau, le transport sédimentaire, les zones inondées ou encore les ruptures de digue. (**Manuelle d'utilisation HEC-RAS**).
- **Calculs pour des écoulements stationnaires ou non** : Les calculs peuvent se réaliser pour des écoulements stationnaires (débits constant) ou suivant des hydrogrammes par exemple. (**Manuelle d'utilisation HEC-RAS**).

Comme une première étape de la manipulation, nous allons intégrer la géométrie que nous avons obtenue à partir des deux logiciels précédents (**ArcGis, CIVIL 3D**). Cela nous permettra de disposer du modèle numérique de l'oued que nous allons étudier.

Pour commencer un nouveau projet dans HEC-RAS on doit :

- Création d'un fichier de sortie pour enregistrer les résultats en cliquant sur NEW PROJECT.
- Insertion de la géométrie obtenue via CIVIL 3D en cliquant sur **Geometric data**, on assure que le system d'unité est le Mètre.

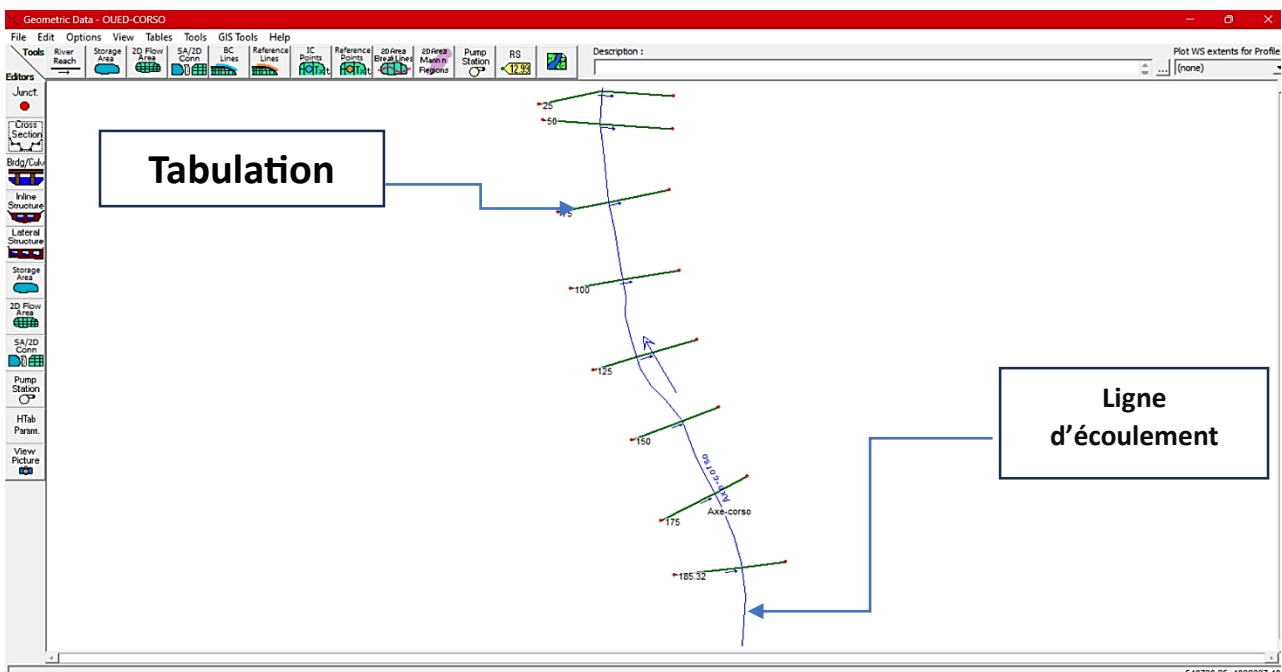


Figure 19:Résultat de la géométrie dans HEC-RAS

On peut aussi visualiser les tabulations en cliquant sur `Cross Section` :

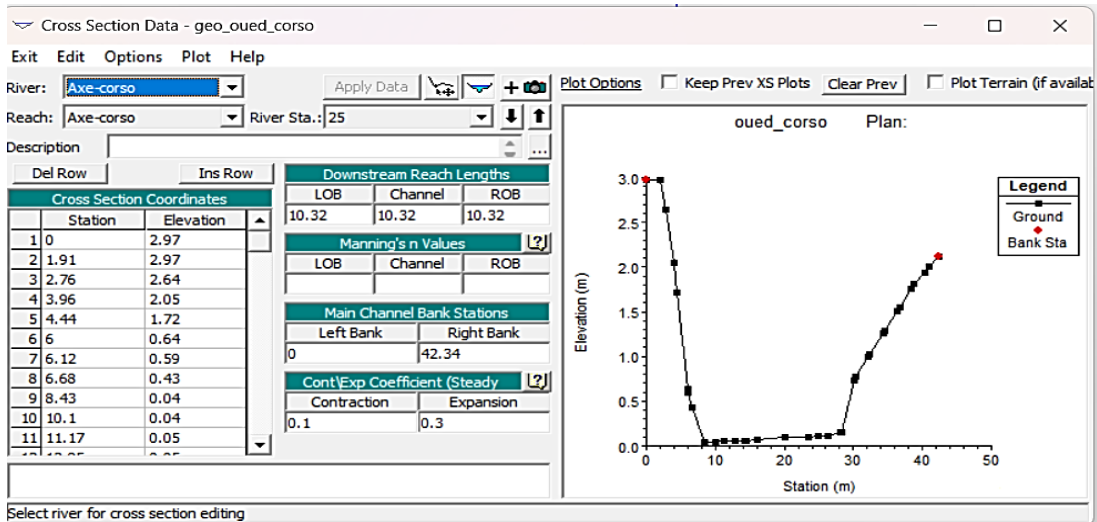


Figure 20: Visualisation d'une section (Tabulation)

III.2.4 Calcule hydrologique et les conditions aux limites :

III.2.4.1 Calcule hydrologique :

Notre objectif est de déterminer le débit d'apport de chaque oued en utilisant des formules de calcul élaborée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Cette méthode nous permettra d'établir des scénarios de débits d'apport en fonction de différentes périodes de retour. Notre étude se concentrera spécifiquement sur des périodes de retour de 2 ans, 5ans, 10ans, 20ans, 30ans, 50ans et 100 ans.

La méthode de calcul des débits, élaborée par l'ANRH dépend de :

- La superficie des bassins versants
- La pente moyenne du bassin
- Le nombre de Gradex de la région étudiée
- La pluviométrie (pluie journalière pj10)
- Période de retour.

Ces informations sont introduites dans des cases spécifiques dans un fichier Excel, permettant au logiciel de calculer les débits pour une période de retour donnée. De plus, cette méthode offre la flexibilité de contrôler la durée de la tempête, ce qui nous permet d'explorer plusieurs scénarios en ajustant ce paramètre.

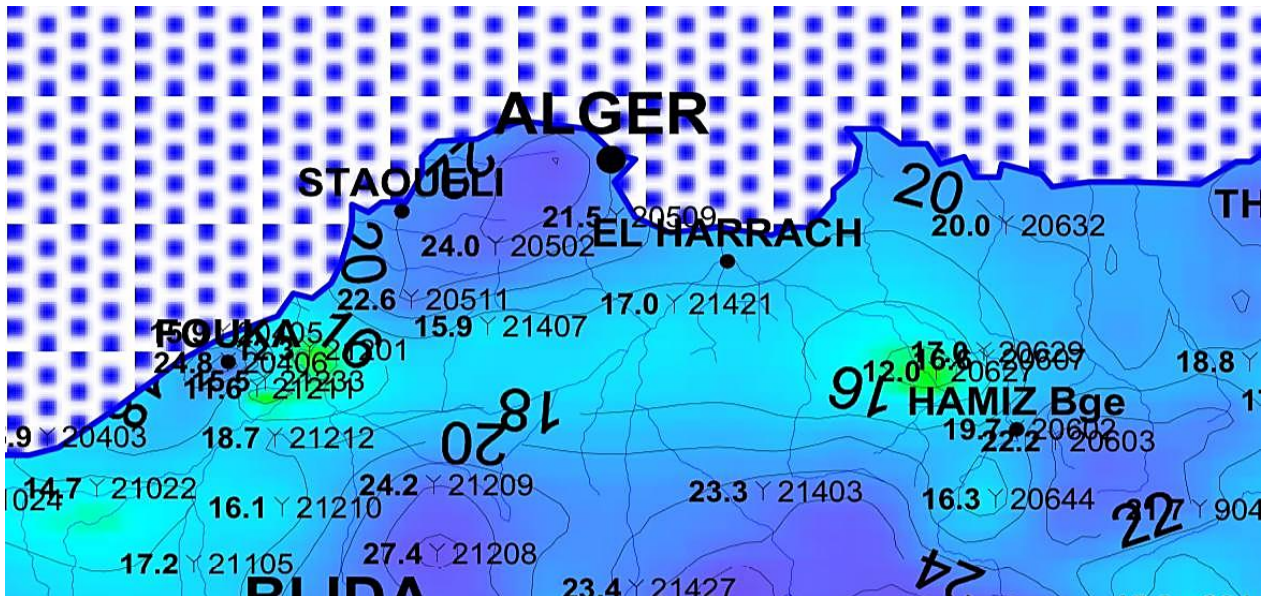


Figure 21: Carte des Gradex (ANRH)

Le nombre des Gradex: est développée par EDF pour la sécurité des grands barrages, couramment utilisée en France pour l’estimation des débits de fréquences rares et exceptionnelles. Cette méthode utilise l’information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits. Le Gradex des pluies est le coefficient directeur de la droite d’ajustement de l’échantillon pluviométrique à une loi de Gumbel. Il est déterminé à partir des courbes intensité-fréquence des postes pluviométriques, pour diverses durées de pluie.)

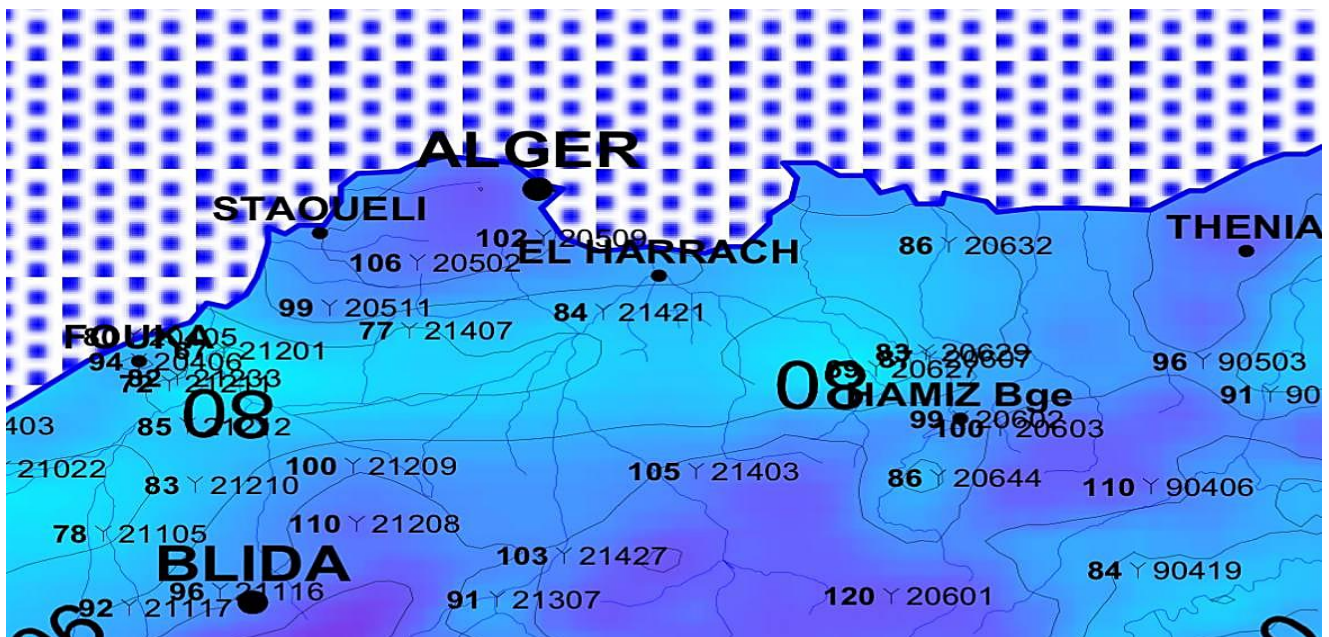


Figure 22: Carte des Pj10(ANRH)

La carte des pluies journalières PJ10 : est un outil utilisé en hydrologie pour l'analyse des précipitations¹. Elle est basée sur le traitement systématique des pluies journalières en calcul automatique.

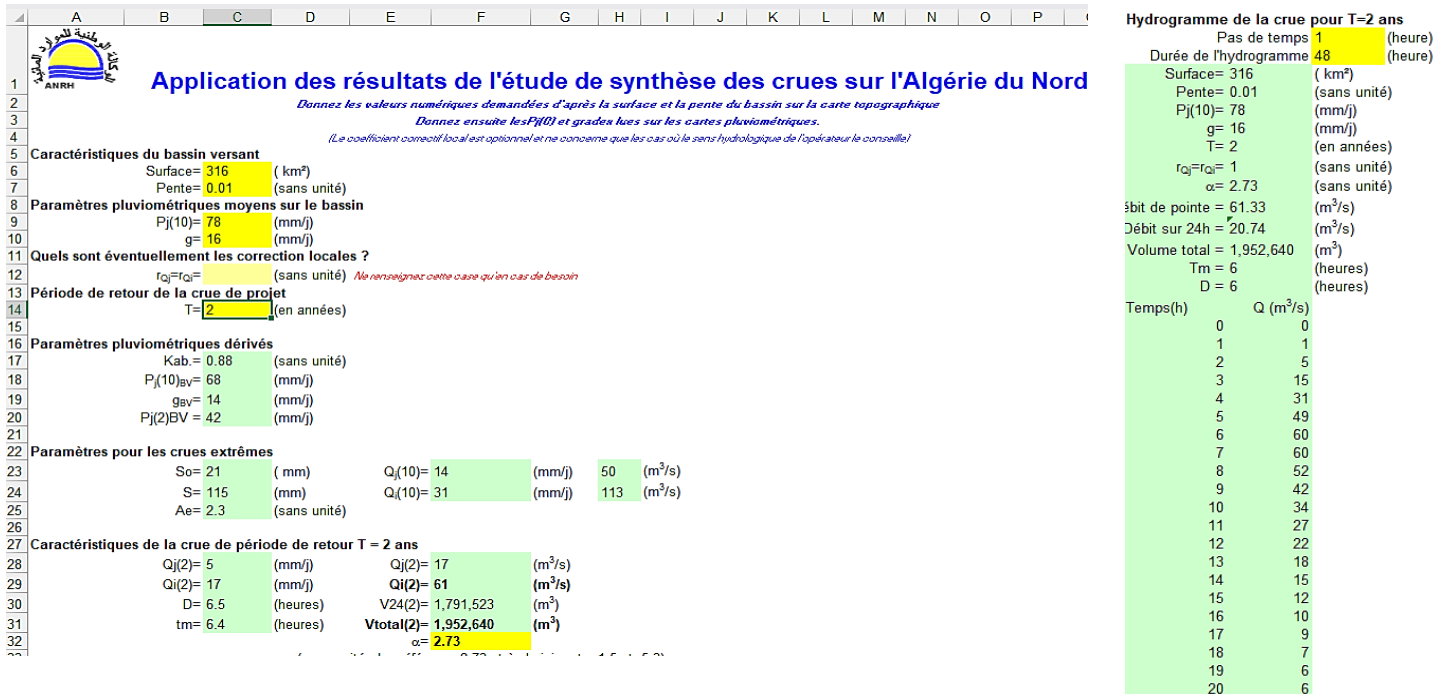


Figure 23:Interface fichier ANRH

a) Mode de fonctionnement :

Le fichier Excel développé par l'agence national des ressours hydraulique (ANRH) se base sur deux lois principales, **la loi normale** et **la loi de Gumbel**.

Pour la loi normale : En hydrologie, la loi normale peut être utilisée pour analyser la distribution statistique des cumuls pluviométriques

Équation 1

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Pour la loi Gumbel : Elle est très utilisée en hydrologie et en climatologie pour estimer les valeurs extrêmes de phénomènes, comme des catastrophes naturelles

Équation 2

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left[-\frac{x-\mu}{\beta}\right]\right)$$

Scenarios des débits d'apport selon des périodes de retour et de durée de tempête :

Cas de Oued Corso :

Surface du bassin versant : $82km^2$

Pente=0.05

Carte des pluie $P_j(10) = 86(mm/j)$

(Carte de gradex) $g = 20 (mm/j)$

Tableau 4:Tables des scenarios des débits Cas Oued Corso

Durée de tempête (Heurs)	Période de retour (Ans)							Q en m^3/s
	2	5	10	20	30	50	100	
6	34	80	106	141	162	189	225	
12	7	25	37	49	56	65	78	
24	1	4	6	84	9	10	12	
36	1	1	2	2	3	3	4	
48	0	1	1	1	1	2	2	
	Qmax=38	Qmax=80	Qmax=106	Qmax=141	Qmax=162	Qmax=189	Qmax=225	Qmax=225

Cas de Oued El-HAMIZ :

Surface du bassin versant : $139km^2$

Pente=0.02

Carte des pluie $P_j (10) = 83(mm/j)$

(Carte de gradex) $g = 17(mm/j)$

Tableau 5:Table des scenarios des débits Cas de Oued El-Hamiz

Durée de tempête (Heurs)	Période de retour (Ans)							Q en m^3/s
	2	5	10	20	30	50	100	
6	42	59	64	87	101	119	145	
12	11	42	65	88	102	120	145	
24	2	7	11	15	18	21	25	
36	1	2	4	5	6	7	8	
48	0	1	2	2	3	3	4	
	Qmax=42	Qmax=69	Qmax=94	Qmax=128	Qmax=149	Qmax=175	Qmax=212	Qmax(212)

Cas de Oued EL-HARRACH :

Surface du bassin versant : 966km^2

Pente=0.02

Carte des pluie $P_j (10) = 84(\text{mm}/\text{j})$

(Carte de gradex) $g = 17(\text{mm}/\text{j})$

Tableau 6:Table des scenarios des débits Cas de Oued El-Harrach

Durée de tempête (Heurs)	Période de retour (Ans)							Q en m^3/s
	2	5	10	20	30	50	100	
6	48	66	78	106	124	147	180	
12	184	280	342	468	546	647	790	
24	62	111	143	196	229	271	331	
36	21	38	49	67	79	93	114	
48	10	17	22	31	36	43	52	
	Qmax=184	Qmax=280	Qmax=342	Qmax=468	Qmax=546	Qmax=647	Qmax=790	Qmax=790

Cas de Oued MAZAFRAN :

Surface du bassin versant : 1889km^2

Pente=0.01

Carte des pluie $P_j (10) = 78 (\text{mm}/\text{j})$

(Carte de gradex) $g = 16 (\text{mm}/\text{j})$

Tableau 7: table des scenarios des débits Cas de Oued Mazafran

Durée de tempête (Heurs)	Période de retour (Ans)							Q en m^3/s
	2	5	10	20	30	50	100	
6	56	45	42	59	69	83	103	
12	233	248	247	345	406	486	601	
24	87	191	267	372	438	525	649	
36	30	69	101	141	166	199	246	
48	14	32	47	65	77	92	114	
	Qmax=233	Qmax=248	Qmax=267	Qmax=372	Qmax=438	Qmax=525	Qmax=649	Qmax=649

b) Conditions aux limites :

Avant de lancer la simulation avec HEC-RAS, logiciel a besoin de :

- La pente en amont et en aval d'Oued
- Valeur du coefficient de Manning

Coefficient de Manning :

Le coefficient de Manning, souvent noté par “n”, est un paramètre empirique utilisé dans la formule de Manning pour estimer la vitesse moyenne d'un fluide s'écoulant en surface libre, c'est-à-dire dans un conduit où le fluide ne remplit pas complètement la section ou dans un canal ouvert¹. Ce coefficient dépend de la rugosité de la surface sur laquelle le fluide s'écoule

Le coefficient de Manning dans la zone centre de l'Algérie varie entre 0,02 et 0,05, on note la valeur 0.03 (A. LAHRECH1 & M.H. BOUTELLI 2 & N. MEKHLOUFI UNIVERSITE DE OURGLA-2017)

Concernant les pentes, nous faisons l'hypothèse que la pente est la même en amont et en aval des oueds. Par conséquent, nous travaillons avec la pente moyenne pour nos calculs.

Pour intégrer la valeur de la pente dans notre modèle, nous utilisons l'option <Edit steady flow data> du logiciel. Cela nous permet aussi d'intégrer la valeur du débit que nous avons déjà calculé.

Ensuite, nous utilisons l'option <Reach boundary conditions> pour introduire la valeur de la pente. Ainsi, on note qu'on travaille dans une période de retour de 100ans

Après l'insertion de la valeur de débit et la pente, on ajoute la valeur du coefficient de Manning, on va donc sur <Edit geometric data> puis dans <Table> <Manning's n or K value>

Et on ajout la valeur 0.03

III.2.4.2 Simulation :

Une fois que nous avons inséré les conditions aux limites et le débit d'apport, nous passons à la phase de simulation du modèle. Pour ce faire, nous cliquons sur l'option <Perform a steady flow simulation> dans le logiciel. Cette action lance le processus de simulation qui utilise toutes les données et paramètres que nous avons précédemment définis.

Lors de cette étape, il est important de sélectionner le type de flux approprié pour notre simulation. Dans notre cas, nous choisissons l'option “Mixe” (Mixed). Ce choix nous permet de simuler à la fois les flux surcritiques et supercritiques, offrant ainsi une représentation plus complète et précise des conditions d'écoulement dans notre modèle.

III.2.4.3 Résultats des simulations :

Voici les résultats obtenus pour les oueds étudié (CORSO, EL-HAMIZ, EL-HARRACH, MAZAFRAN)

Cas de Oued Corso :

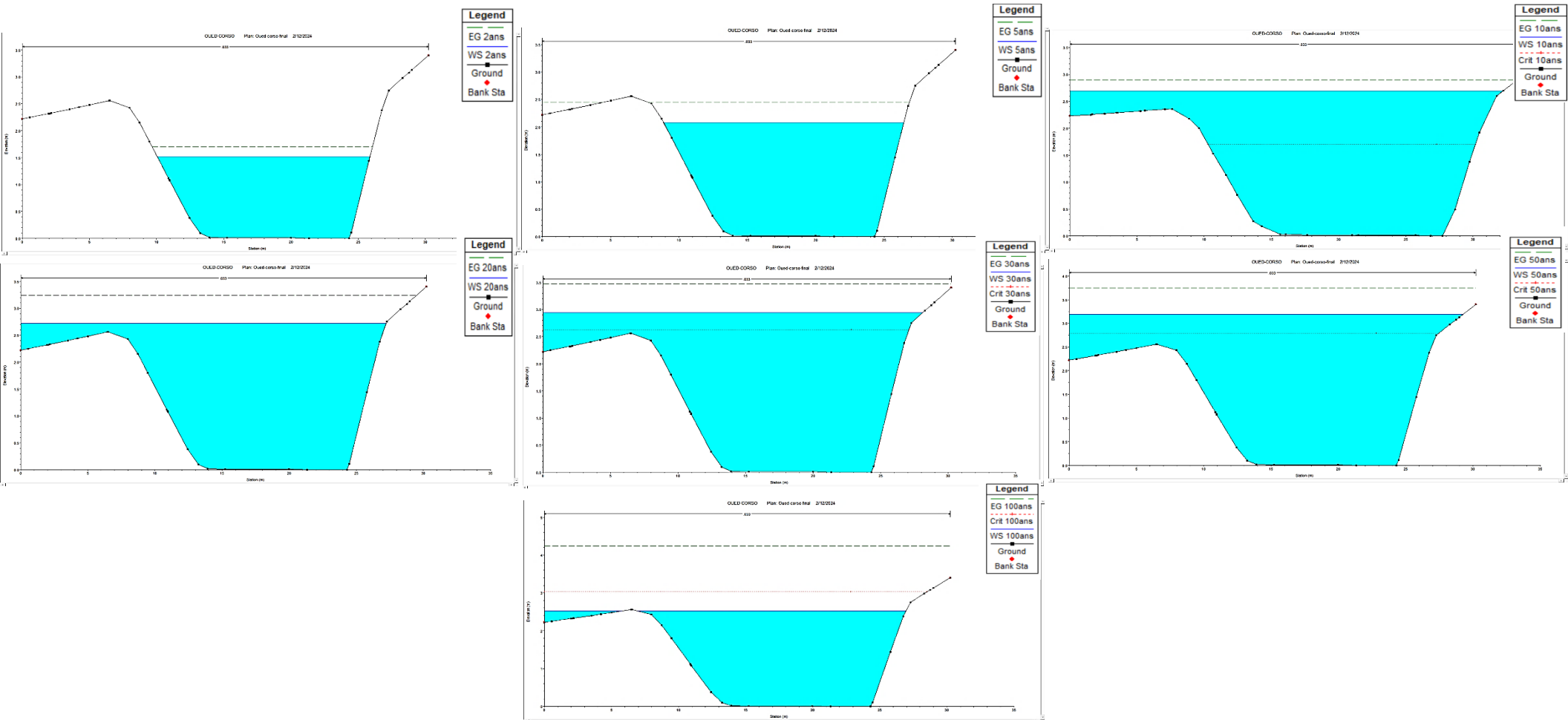


Figure 26: Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued Corso

Cas d'oued El-Hamiz :

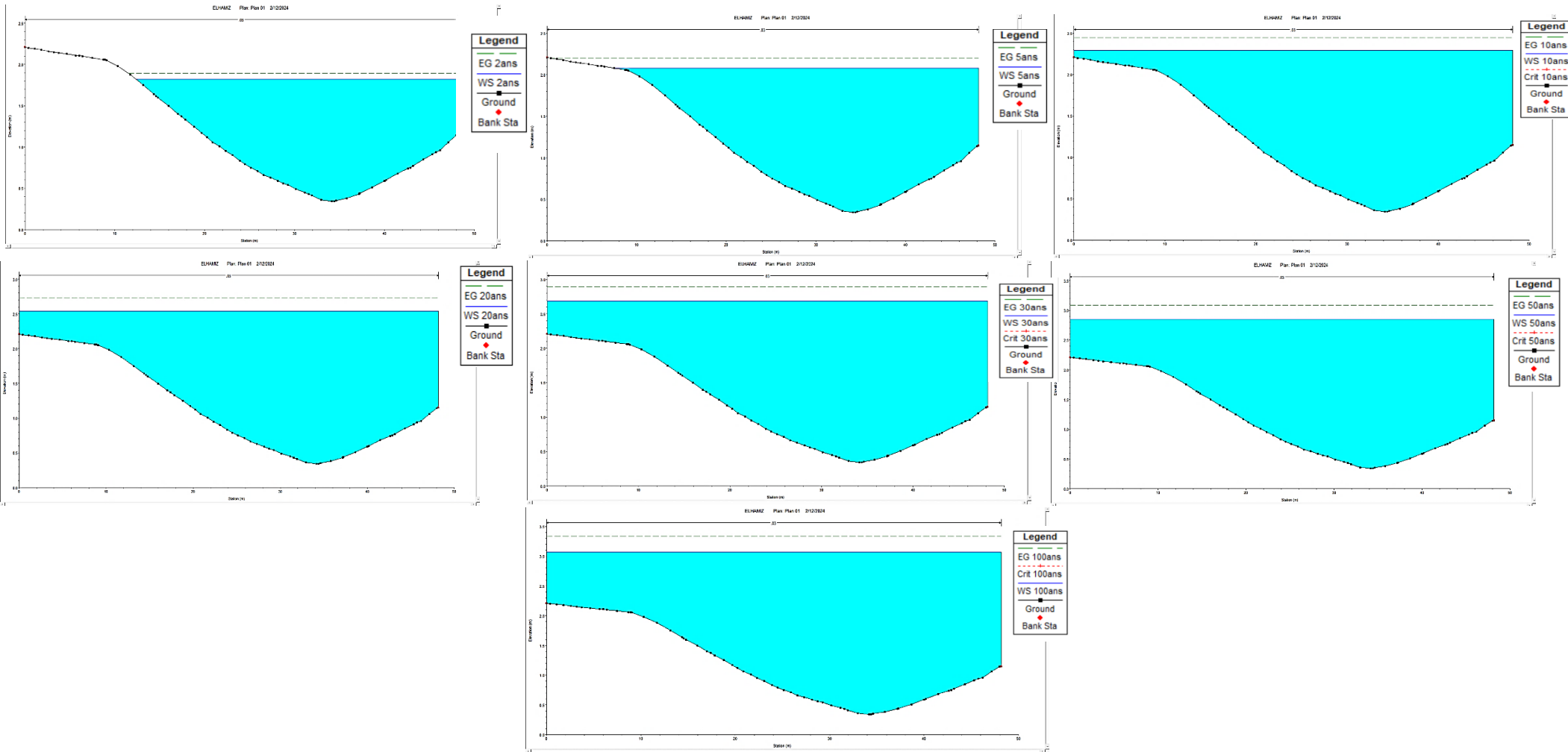


Figure 27: Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued El-Hamiz

Cas de Oued El-Harrach :

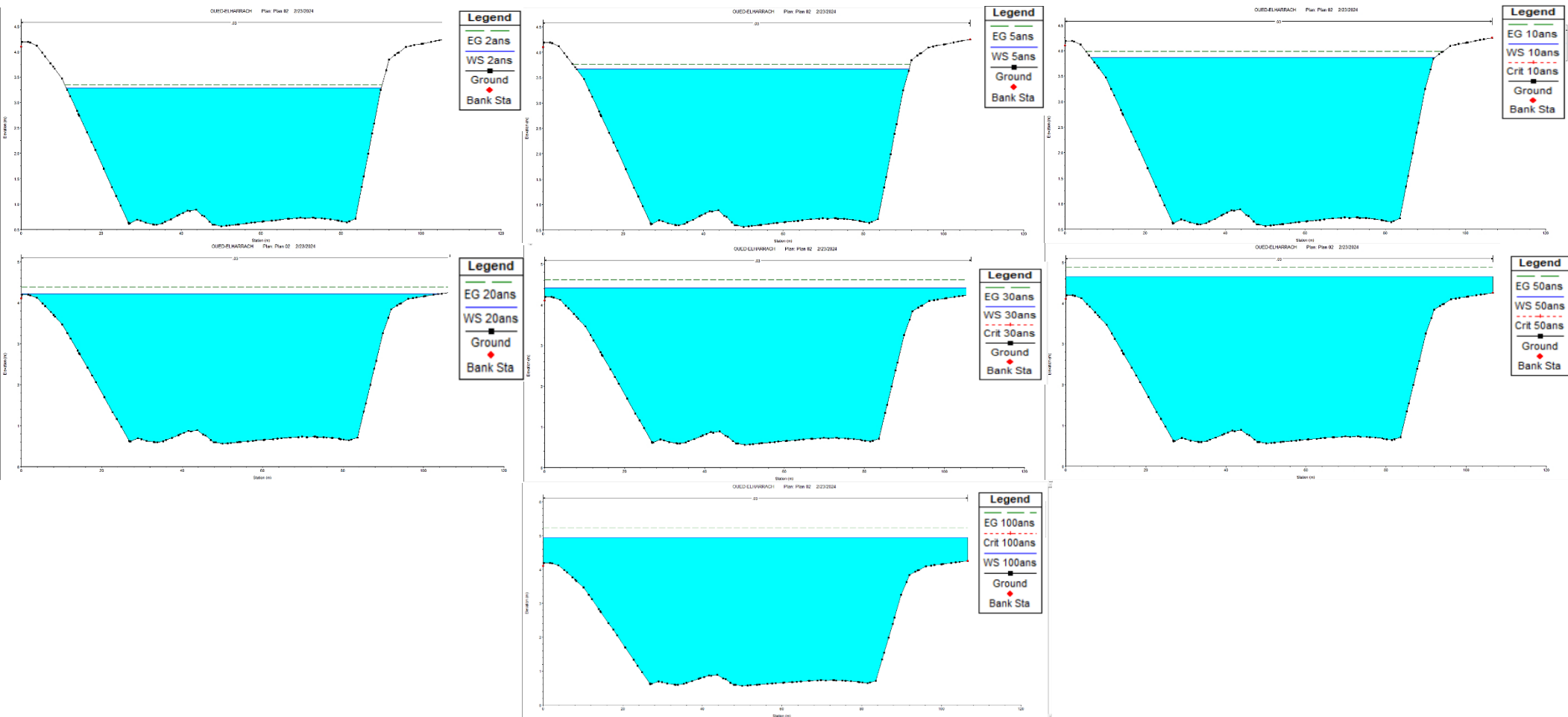


Figure 28: Résultats des simulations d'inondation Cas d'Oued El-Harrach

Cas d'Oued Mazafran :

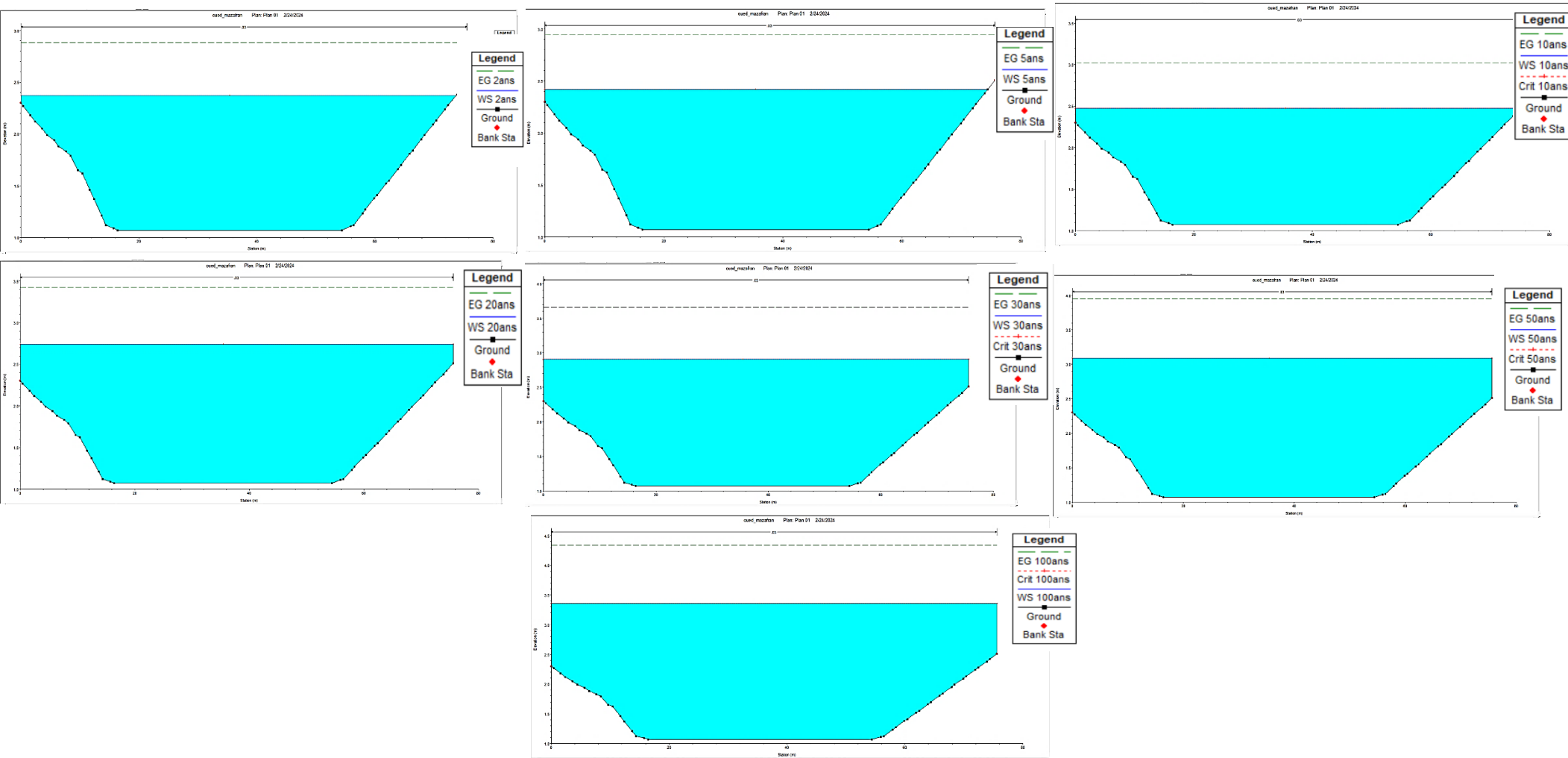


Figure 29: Résultats des simulations d'inondation cas d'Oued Mazafran

III.2.4.4 Interprétation des résultats obtenu :

- Dans le cas de l'oued Corso, les résultats de simulation (Figure26) nos observations indiquent que ce cours d'eau atteindra son niveau maximal lors d'une période de retour de 50 ans avec une hauteur d'eau maximal de 3.2m. Malgré cette élévation, aucune inondation n'est prévue pour cet oued.
- En ce qui concerne l'oued El-Hamiz, les résultats de la simulation (Figure27) montrent qu'il est le plus vulnérable aux inondations. Cette vulnérabilité pourrait être due à un manque de données géométriques pour cette zone. Pour obtenir des résultats plus précis et plus corrects, il serait donc nécessaire d'améliorer la résolution de la géométrie.
- Pour l'oued El-Harrach, les résultats de simulation (Figure28) obtenus indiquent que ce cours d'eau est susceptible d'être inondé lors des périodes de retour de 100 ans, 50 ans et 30 ans. Il est donc essentiel d'anticiper pour éviter des inondations dans cet oued.
- L'oued Mazafran (Figure29) est également menacé par les inondations lors des périodes de retour de 100 et 50 ans. Il est donc impératif d'anticiper pour éviter des dommages aux Infrastructures ou aux habitations situées près de cet oued.

III.3 Visualisation des Zones des risques du phénomène d'inondation :

La visualisation des zones qui sont menacer par le phénomène d'inondation nous permettra de mettre en question des mesures de précotions pour minimiser les dégâts subis par les inondations sur les infrastructures, les terres agricoles, les habitations...etc.

La visualisation des zones des risques d'inondation on la fait à partir de logiciel **HEC-RAS (Ras-Mapper)** sur un plan 2D, dans cette étude, nous aurons besoin de :

- Un model numérique de terrain (MNT)
- Résultats de la simulation dans logiciel HEC-RAS pour retirer l'élévation maximale de niveau d'Oued
- Un système de projection télécharger via logiciel **Global Mapper**
- Line d'écoulement principale
- Groupes des Tabulations

III.3.1 Cartes des zones en risque d'inondation :

D'après les simulations obtenues via le logiciel HEC-RAS, nous avons pu déterminer et calculer les zones et les surfaces qui vont être touchées par le phénomène d'inondation. Les résultats sont représentés dans les figures (30, 31, 32, 33).

On remarque que les inondations près des Oueds sont dominantes sur une seule berge, cela due a l'effet de la géomorphologie de la zone.

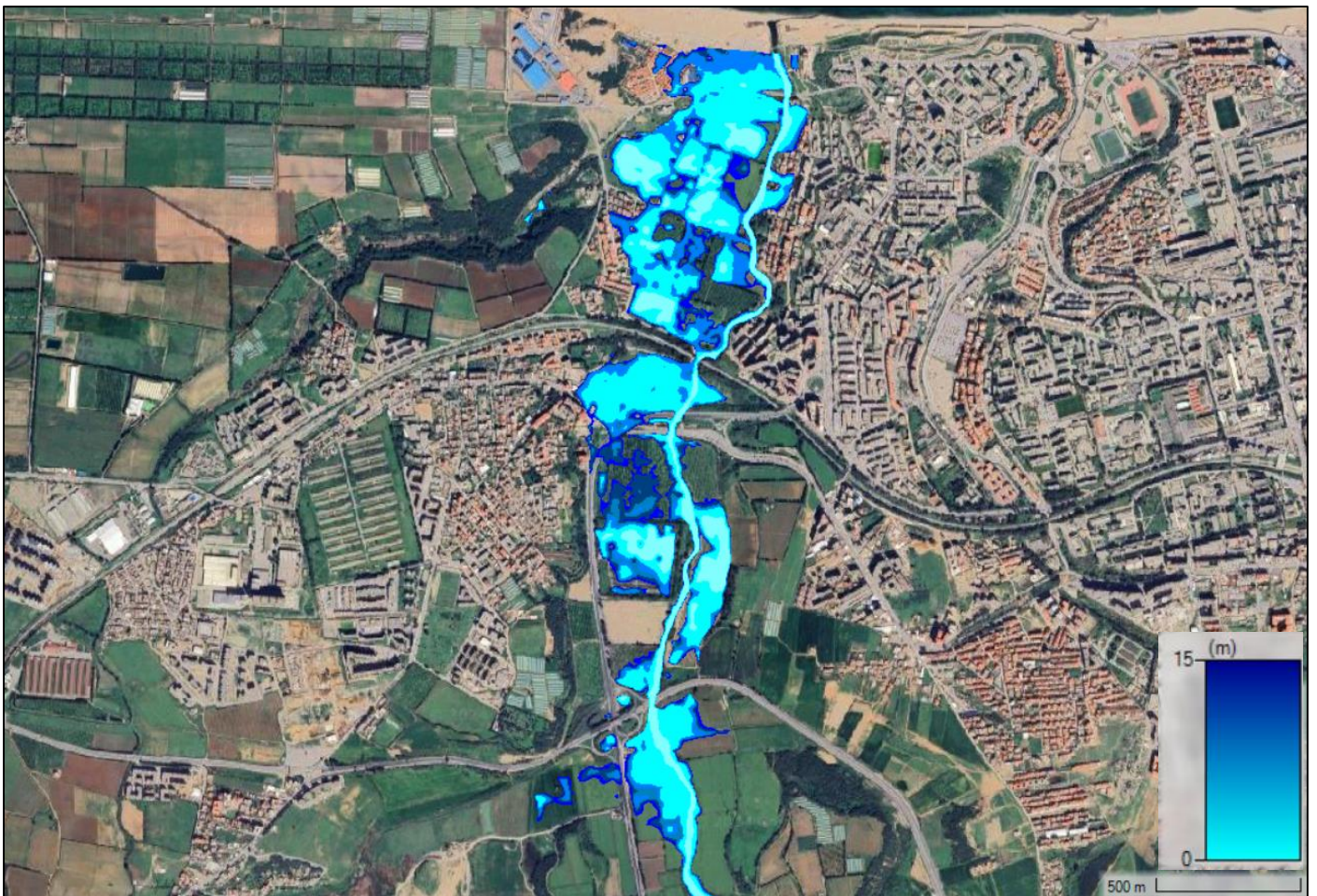


Figure 30: Carte des zones en risque d'inondation Cas d'Oued Corso

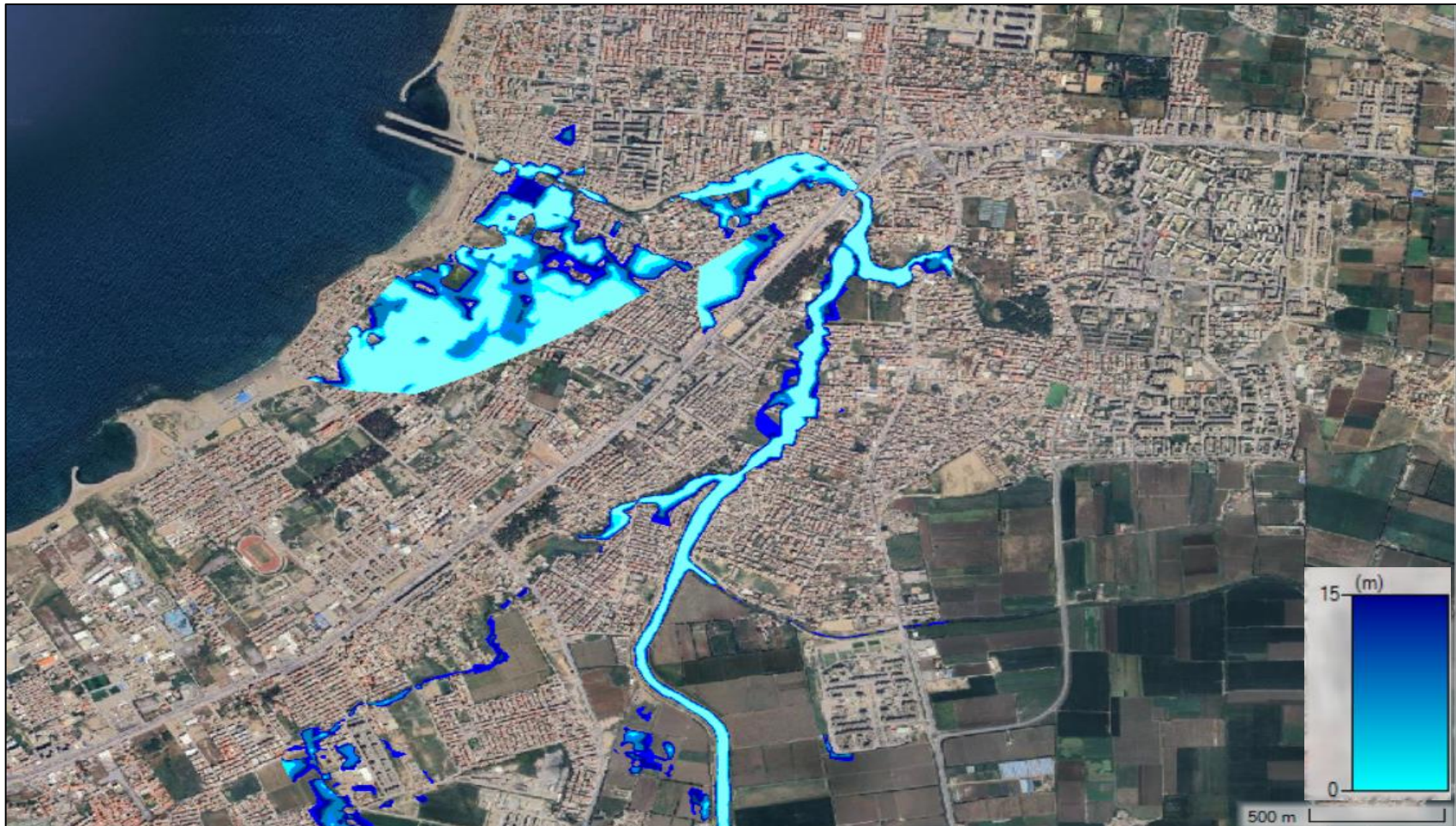


Figure 31: Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued El-Hamiz

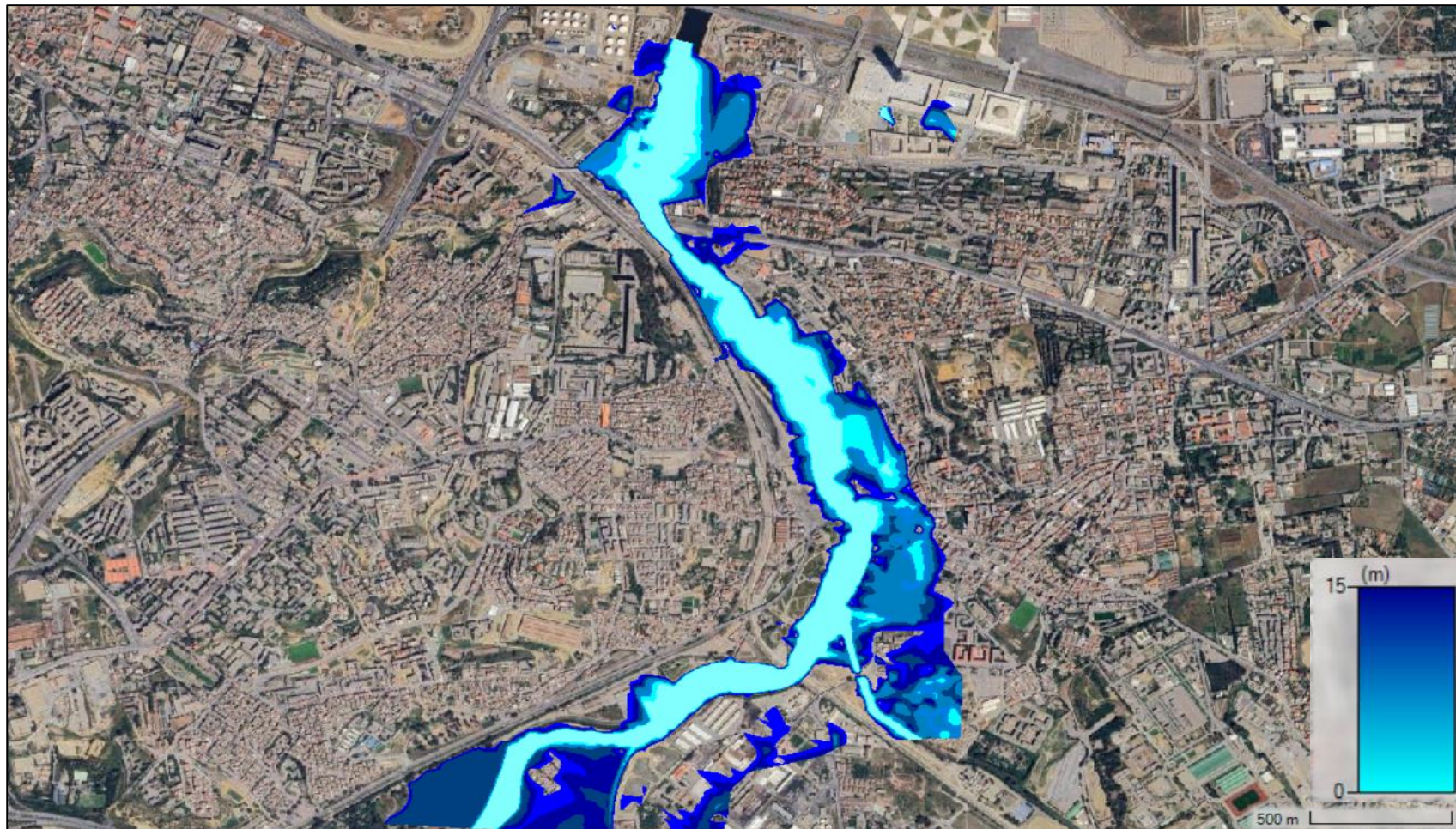


Figure 32: Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued El-Harrach

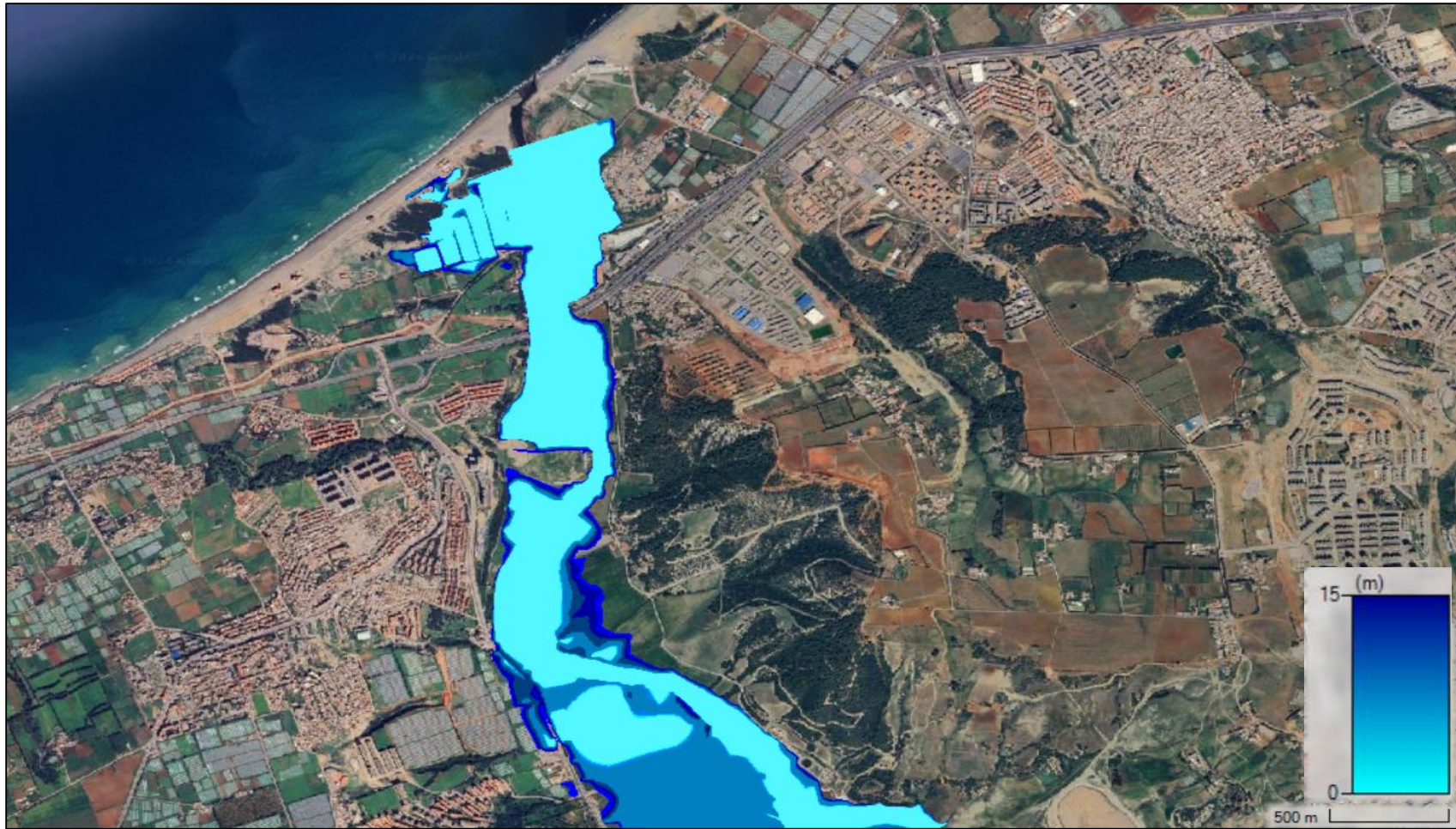


Figure 33: Carte des zones en risque d'inondation cas d'Oued Mazafran

Tableau 8: Résultats des terres à risque d'inondation des oueds

Type d'occupation du sol	Niveau d'inondation Oued Corso 3.2 m(R = 100 ans)	Niveau d'inondation Oued El-Hamiz 3.1 m(R = 100 ans)	Niveau d'inondation Oued El-Harrach 4.9 m(R = 100 ans)	Niveau d'inondation Oued Mazafran 3.4 m(R = 100 ans)
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Zones urbanisées	76	63	76	44
Ports et ouvrages de protection	0	0	0	0
Plages	0	0	0	0
Côtes rocheuses	0	0	0	0
Forêts	8	6	5	14
Espace vert	13	2	12	15
Terres agricoles	0.25	2	3	20
Terrain nu	14	14	15	5
Végétation	11	11	12	4
Total	122.25	98	123	102

Conclusion et solution :

Le but de cette étude est de mieux comprendre le phénomène d'inondation afin de faire face à ce phénomène et de préserver les infrastructures qui sont menacées par ce dernier. Cette étude nous permet de suggérer des solutions pour diminuer l'effet intense de l'inondation par l'adaptation des ouvrages de protection au niveau des oueds, tels que les endiguements, l'augmentation de la pente des rives, et la valorisation de la végétation au niveau des oueds.

D'après l'hydrographie des oueds, nous avons trouvé que l'Oued Corso et l'Oued El-Harrach sont les plus inondés avec une hauteur d'eau maximal de 4.9 m et 3.2 m avec une superficie de 123 ha et 122.25 ha.

Chapitre IV : Analyse des événements extrêmes

IV.1 Introduction :

La réussite de la simulation de l'érosion côtière et de la submersion marine et le dimensionnement des structures de défense côtière repose essentiellement sur la compréhension des conditions extrêmes futures auxquelles ils seront confrontés. En général, ces simulations sont élaborées pour offrir une prévision adéquate pour se protéger contre les inondations ou l'érosion jusqu'à un niveau de retour spécifique, tel que 100 ans. Ainsi, l'évaluation des niveaux de retour et de leur incertitude revêt une importance technique majeure, notamment dans le domaine de la conception des ouvrages de défense côtière. Une méthodologie statistique est donc nécessaire pour mener à bien de telles estimations.

Pour arriver à des résultats concluants on a fait le choix de travailler avec la théorie des valeurs extrêmes.

IV.2 Théorie des valeurs extrêmes :

La théorie des valeurs extrêmes est une méthode utilisée dans d'estimation de la probabilité des événements plus extrêmes (Coles 2001). En d'autres termes, il est utilisé pour déterminer des distributions limites en estimant des modèles statistiques qui optimisent les valeurs extrêmes des données observées.

En statistique, il existe deux méthodes principales pour définir les valeurs extrêmes. La première est l'approche des Blocs Maximas. Pour cette approche, la période couverte par l'ensemble de données est divisée en blocs, la valeur la plus extrême de chaque bloc étant utilisée pour les analyses futures (par exemple, les maxima quotidiens ou mensuels). La deuxième méthode est basée sur les dépassements d'un seuil choisi (u), appelée la méthode Peaks Over Threshold (POT) (Cornel Stander, 2015).

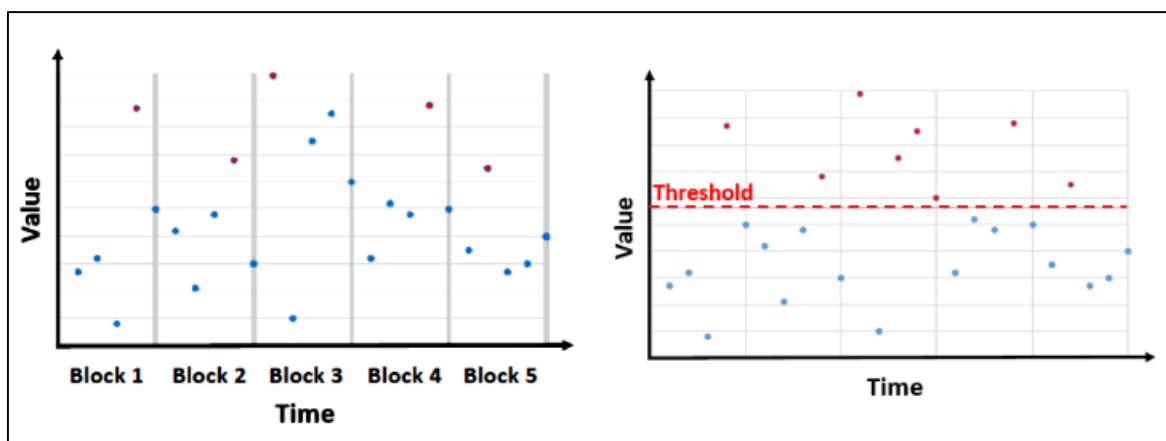


Figure 34: Schéma représentatif des méthodes blocks maxima et POT.

L'inconvénient de l'approche des Blocs Maximas est qu'elle ne considère qu'un seul maximum dans chaque bloc. Cela crée le risque de perdre des données significatives. Par exemple, si deux grandes valeurs apparaissent dans un bloc, seule la plus grande des deux est prise en compte. La méthode POT, quant à elle, élimine ce risque en prenant en considération toutes les valeurs supérieures au seuil choisi (Cornel Stander, 2015).

IV.2.1 Hauteur significative :

D'après l'analyse des figures 39,40 et 41 on constate que l'ensemble des enregistrements durant la période étalant du 1992 jusqu'à 2021 indique que la hauteur significative de la houle (Hs) varie entre de 0.03 m et 6.56 m avec une moyenne de 0.92 m.

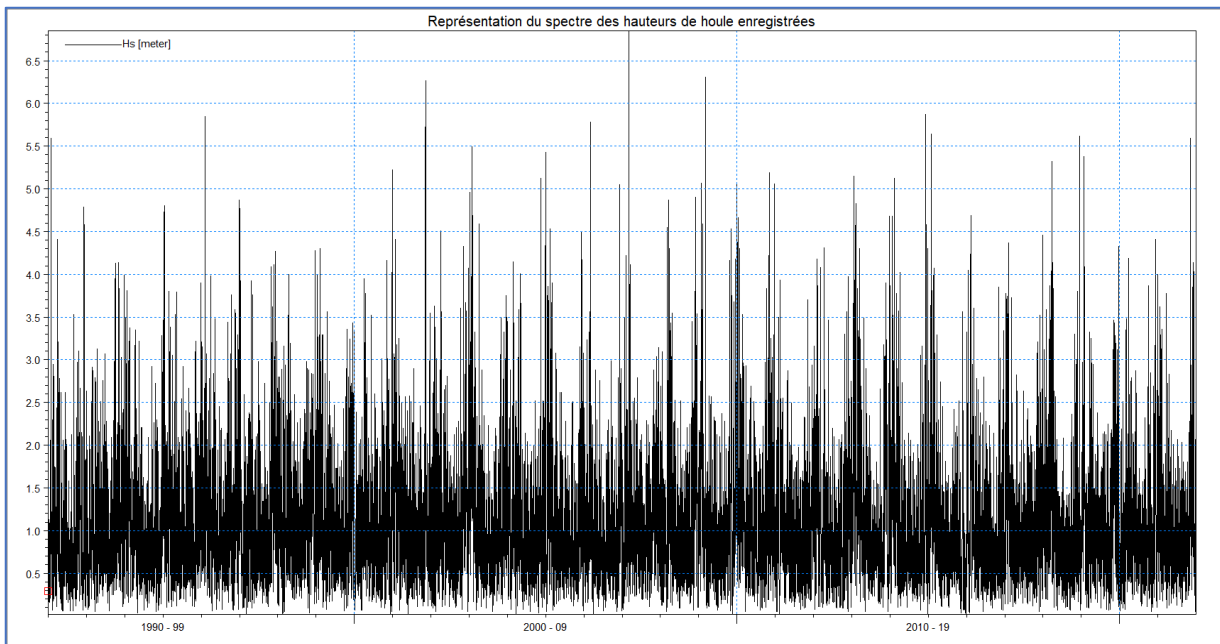


Figure 35: Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Alger)

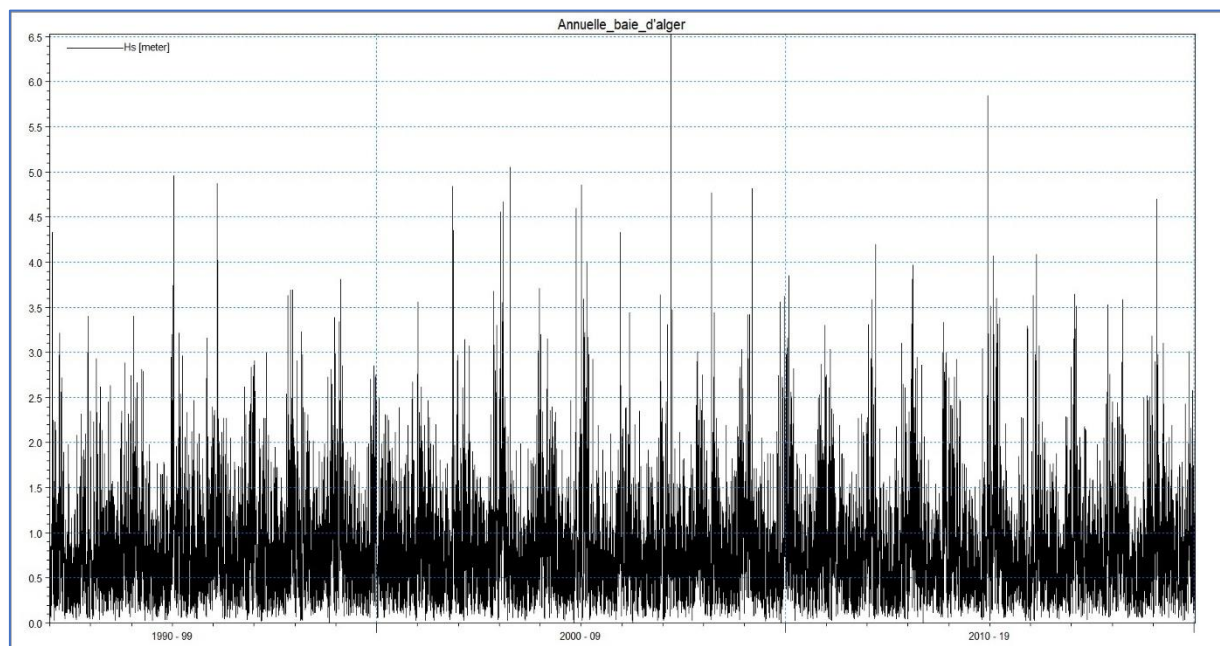


Figure 36: Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Bou-Ismaïl)

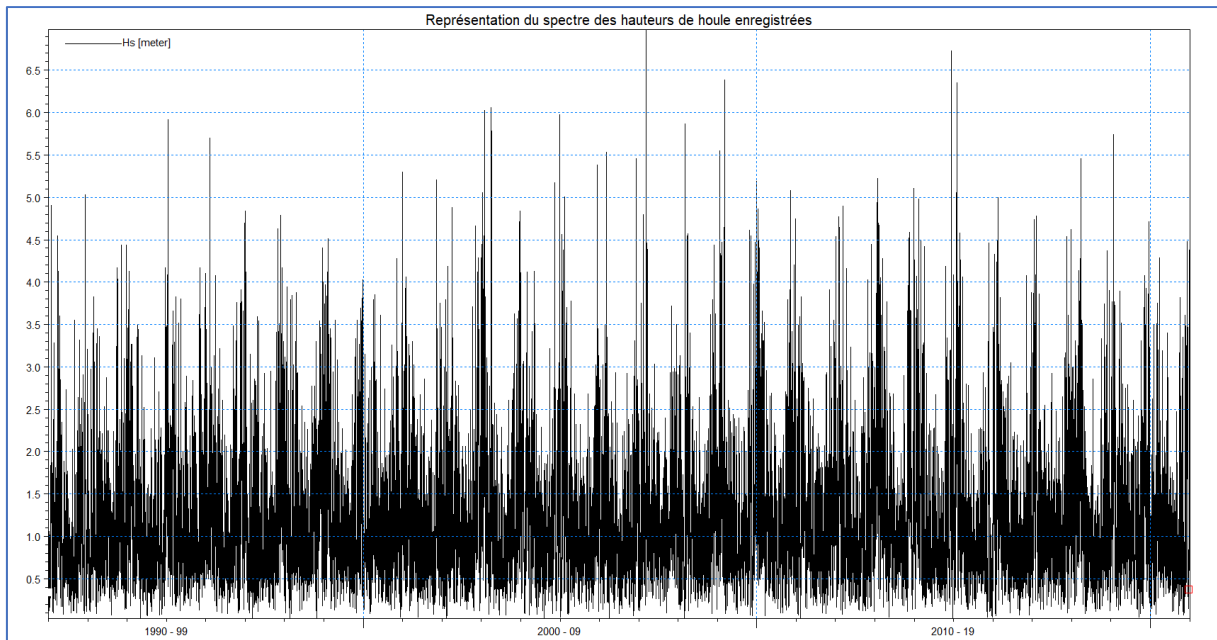


Figure 37: Représentation du spectre des hauteurs de houle enregistrées (Zemmouri)

A partir des Figures 39, 40 et 41, on distingue que les houles au large de la baie de Bou-Ismaïl, Alger et Zemmouri sont dans leur ensemble inférieur à 3 m, avec quelques épisodes extrêmes à peu près chaque 4 à 8 ans dépassant les 5 m.

IV.2.2 La période pic :

Les périodes enregistrées sont dans une gamme assez large allant de 1.5s à 18.5s, les périodes sont globalement entre 3s et 9s.

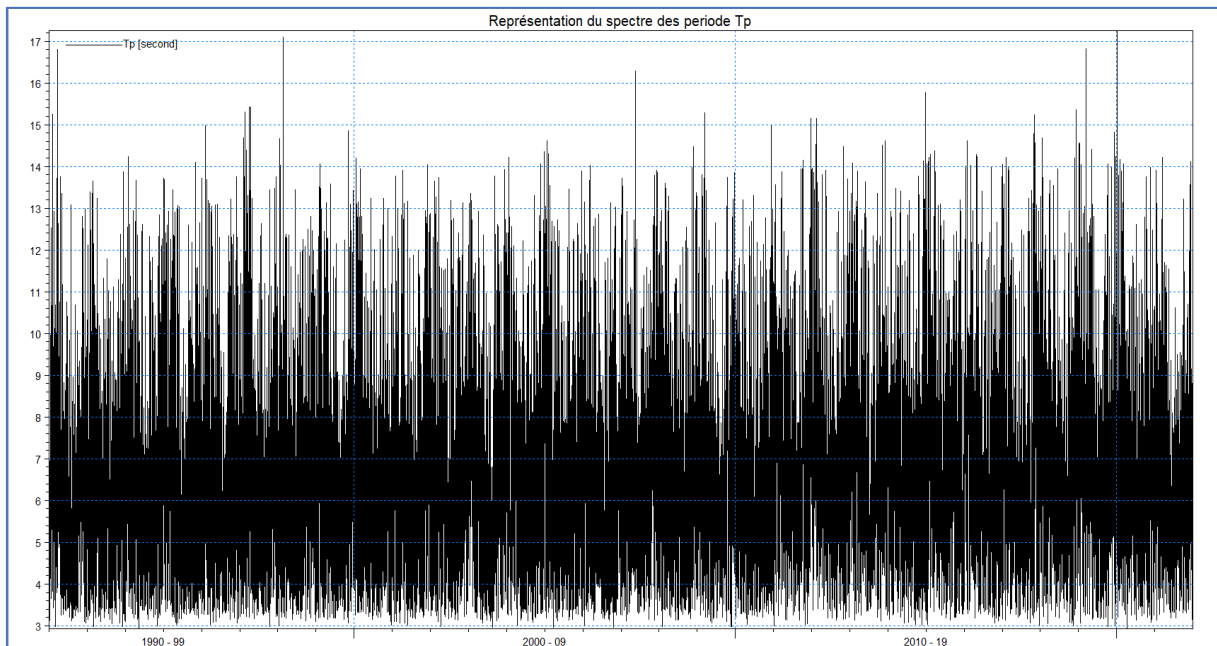


Figure 38: Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Bou-Ismaïl)

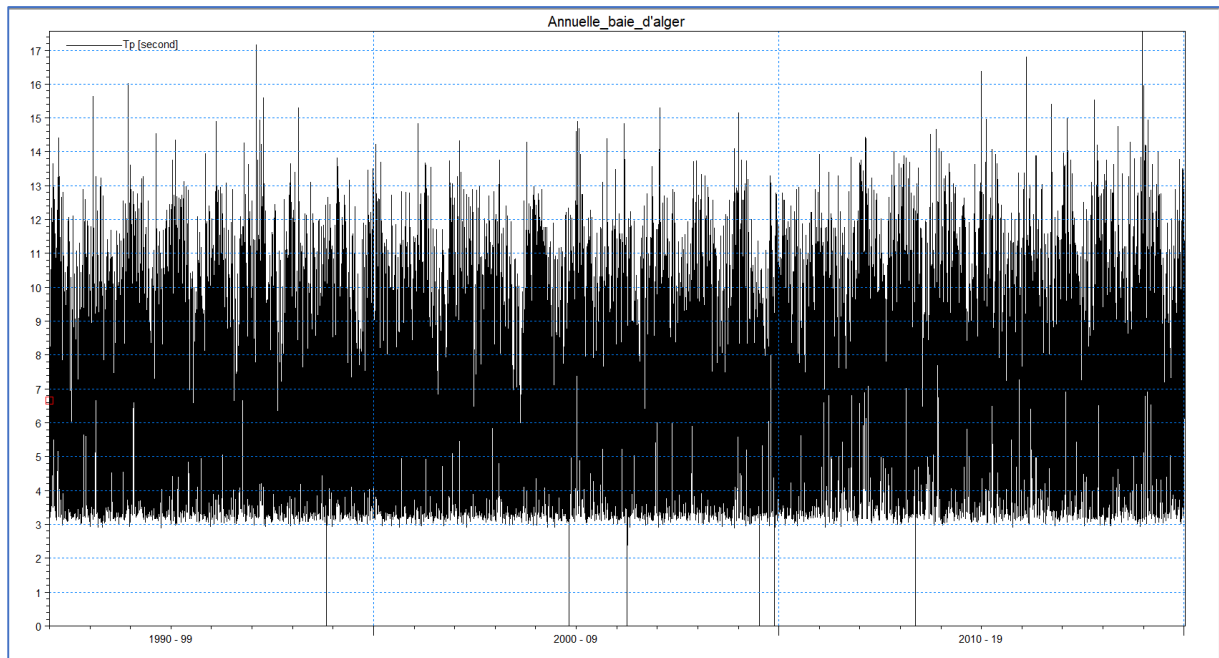


Figure 40: Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Zemmouri)

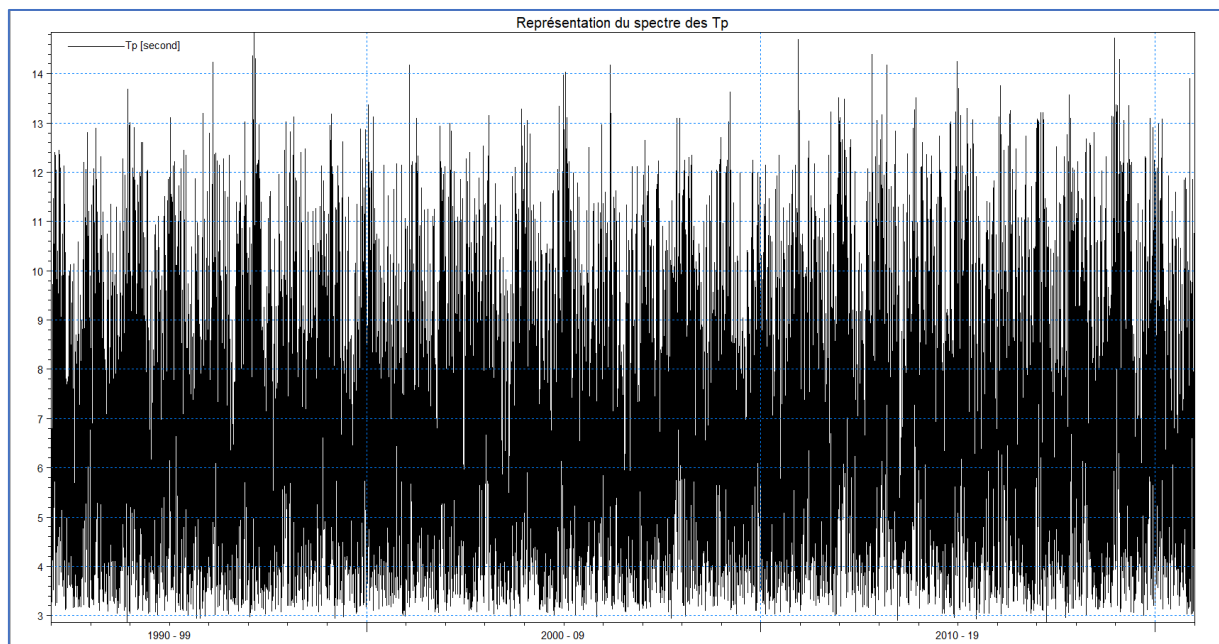


Figure 39: Représentation du spectre des périodes de houle enregistrées (Alger)

IV.3 Méthode Peaks Over Threshold (POT):

D'après (Tilbi. K. et al., 2018), cette méthode est basée sur l'approximation de la distribution des excès pour la loi de Pareto généralisée. De plus elle présente un avantage par rapport à la méthode des blocs, en ce sens qu'il est plus facile d'avoir un échantillon d'excès que de max. Dans la pratique, on remplace u par $X_{(n-k+1, n)}$ qui représente la K plus grande observation de l'échantillon. Pour réaliser cette méthode, on va suivre les étapes suivantes :

- Soit X_1, \dots, X_n un échantillon, à partir d'un certain seuil u , on note N_u le nombre d'observation qui dépassent ce seuil.
- Soit Y_1, \dots, Y_{N_u} un échantillon des excès au-dessus du seuil u de distribution conditionnelle.

$$F_u(x) = \Pr(X - u \leq x | X > u) = \frac{F(x + u) - F(u)}{1 - F(u)}$$

Équation 3

Avant de fixer le seuil, nous avons procédé au calcul de la moyenne résiduelle avec **le langage python** via la bibliothèque **pyextreme** afin de suivre ses variations et de pouvoir choisir le meilleur seuil possible. Le seuil doit être sur la ligne droite avant les variations de la moyenne résiduelle.

Le choix du seuil, c'est porté sur la valeur 3.5 m pour la baie de Bou-Ismaïl (Figure 8), 3.3 m pour la baie d'Alger (Figure 9) et 3.8 m pour la baie de Zemmouri (Figure 10).

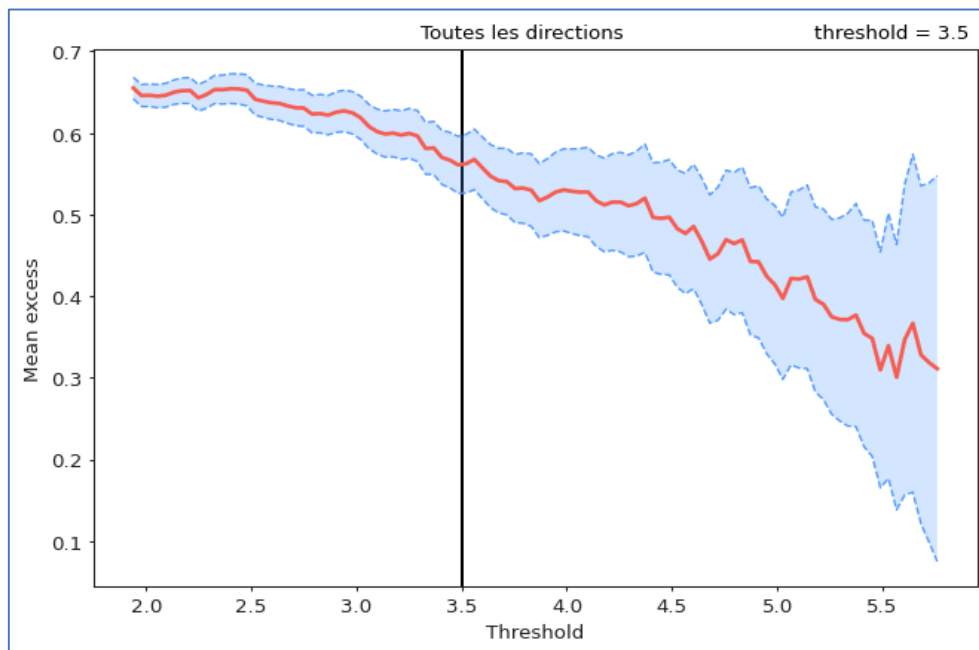


Figure 41: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Bou-Ismaïl).

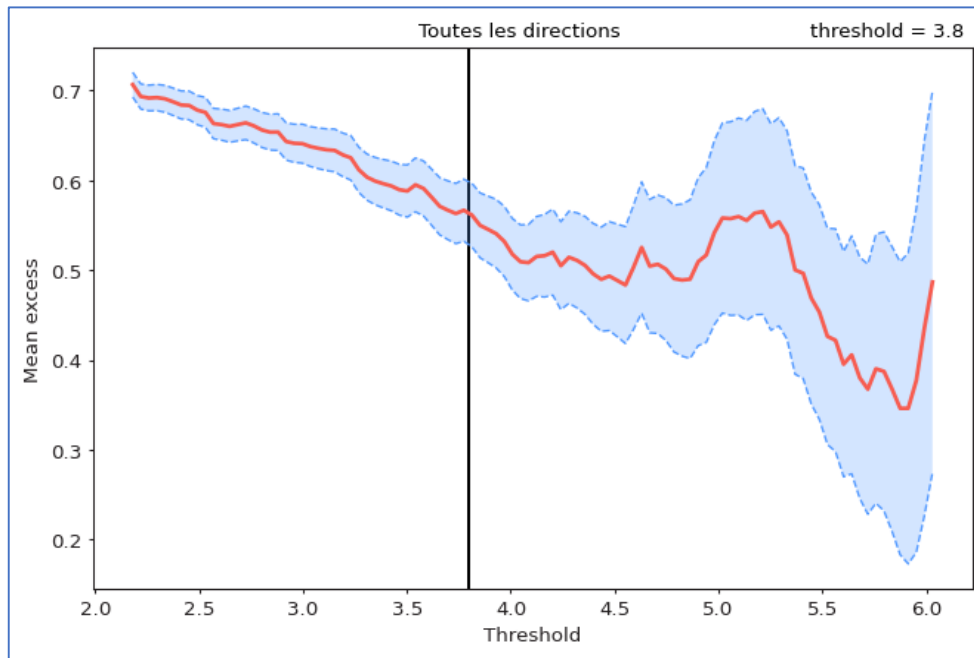


Figure 42: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Zemmouri).

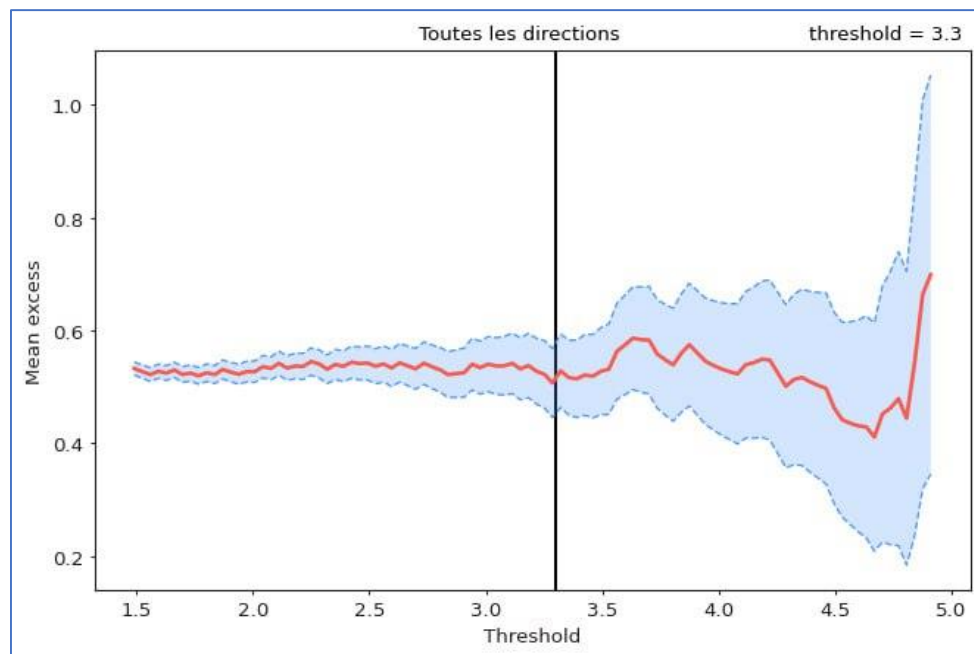


Figure 43: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement (Alger).

Ensemble des points retenus pour le calcul sont représentés dans les figures ces-dessous.

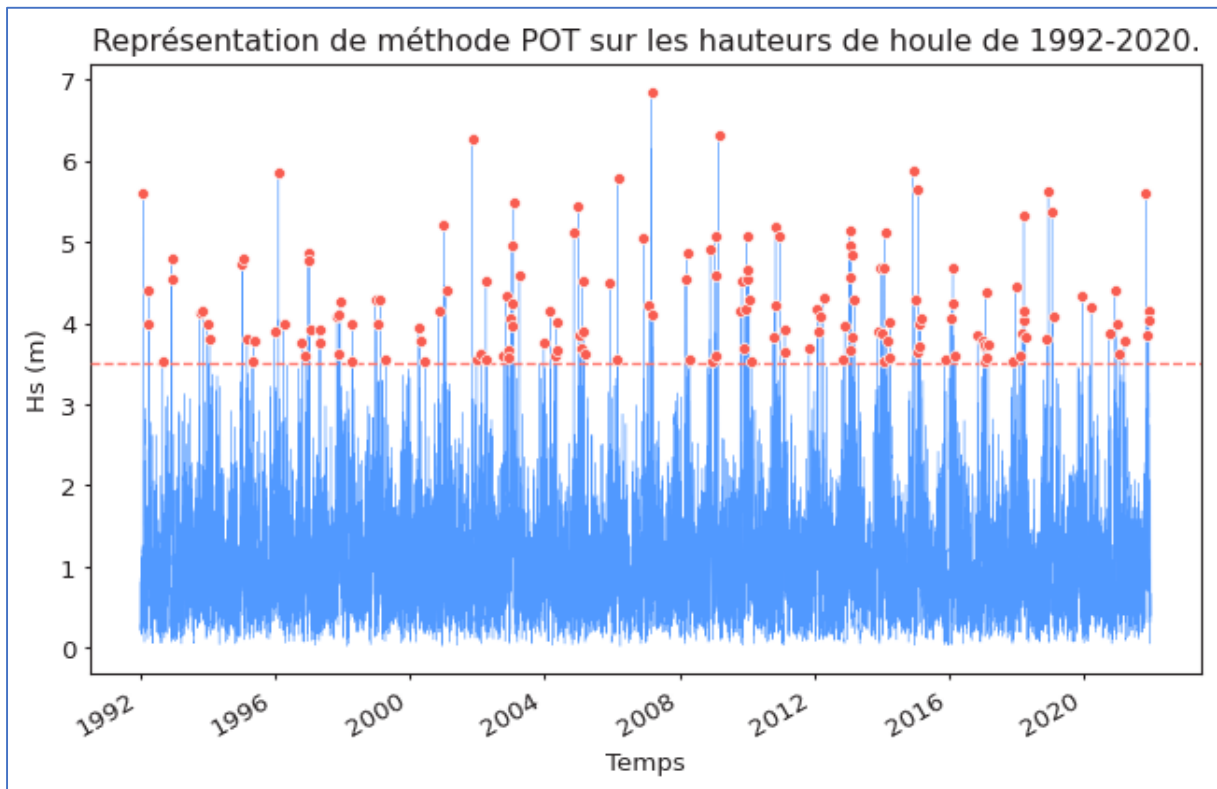


Figure 45: Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2020(Bou-Ismaïl)

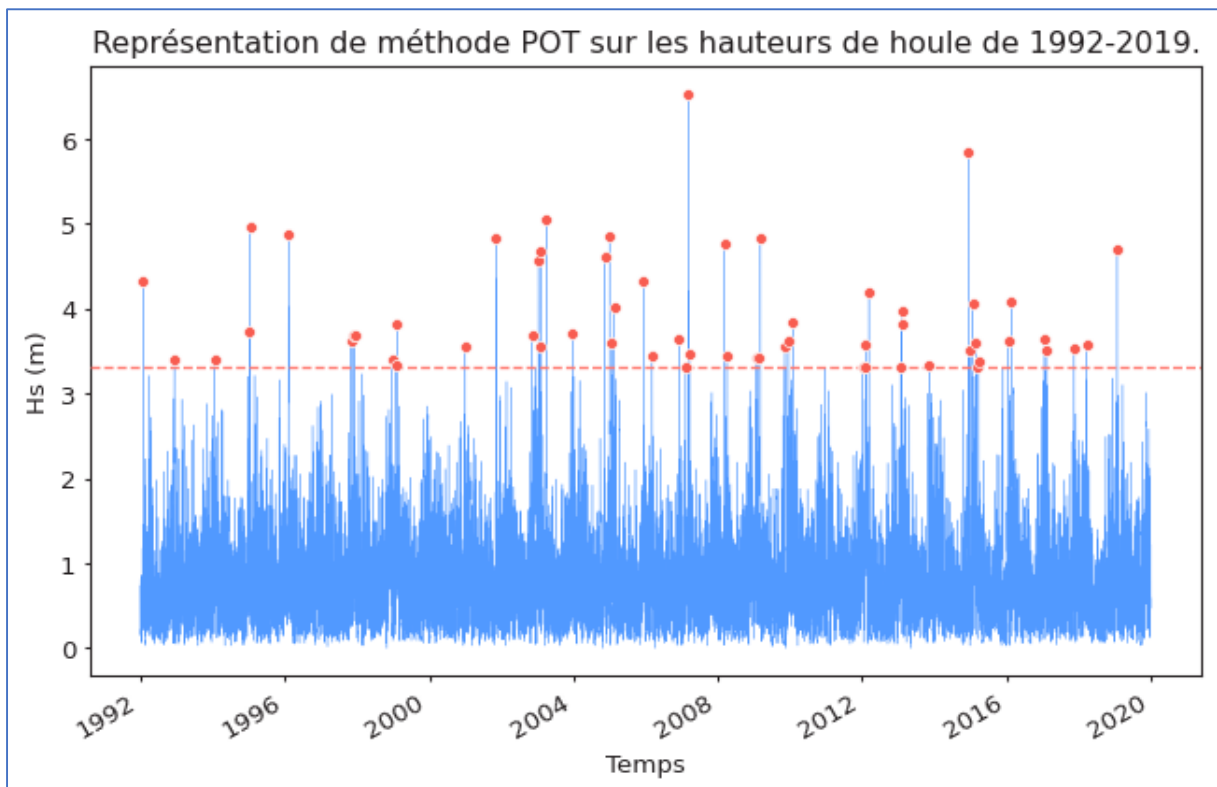


Figure 44: Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2019(Alger)

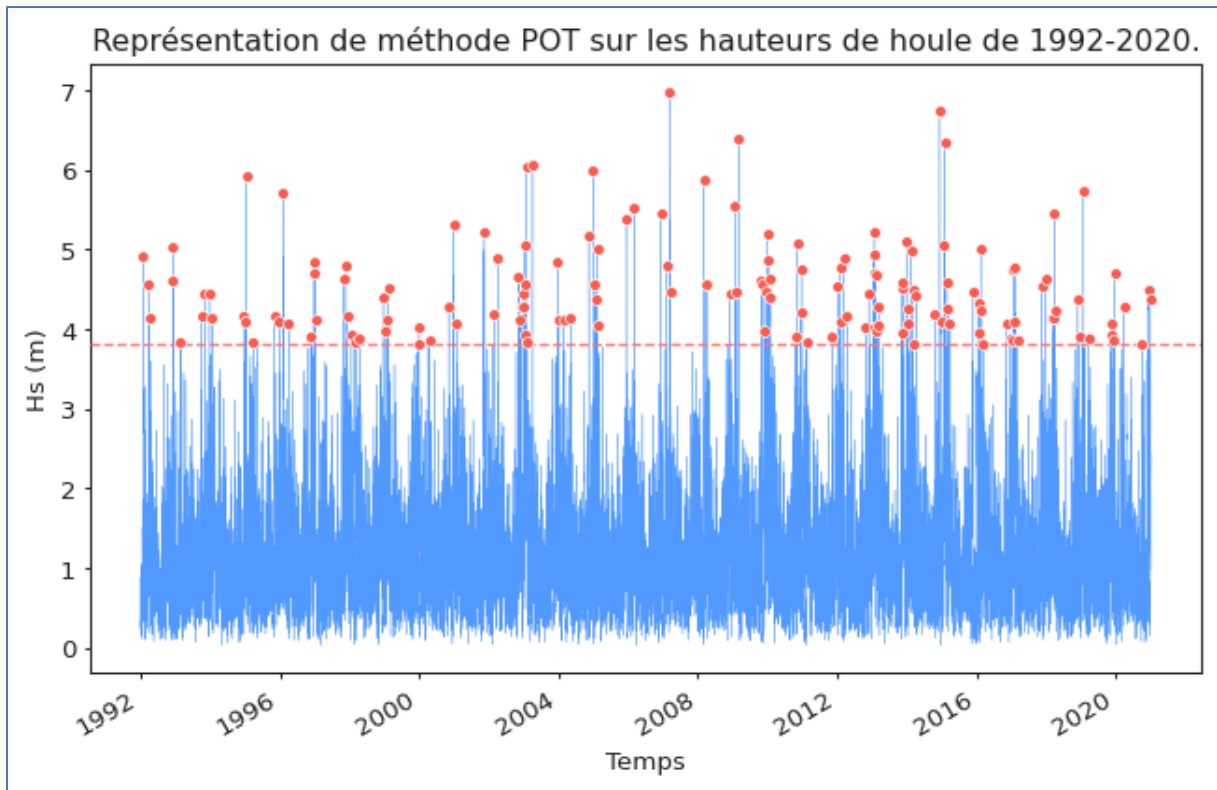


Figure 46: Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992 – 2020 (Zemmouri)

L'étape de la sélection des pics terminée, on passe au calcul de hauteurs houle avec leurs périodes de retour via la même bibliothèque **pyextreme** sur le langage **python**. On obtient les résultats suivants :

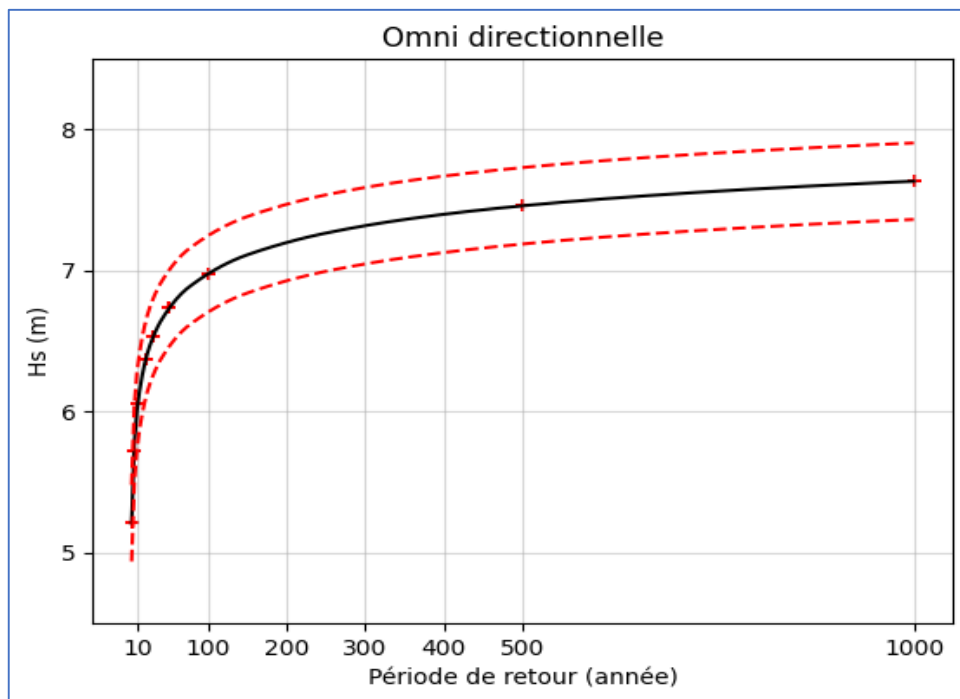


Figure 47: Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Bou-Ismaïl)

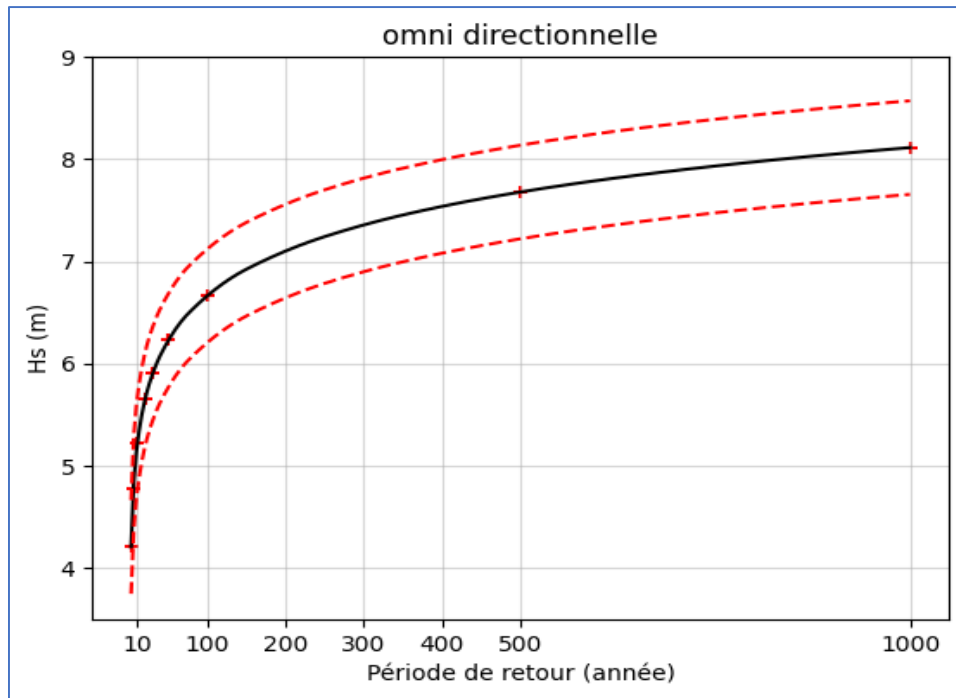


Figure 48: Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Alger)

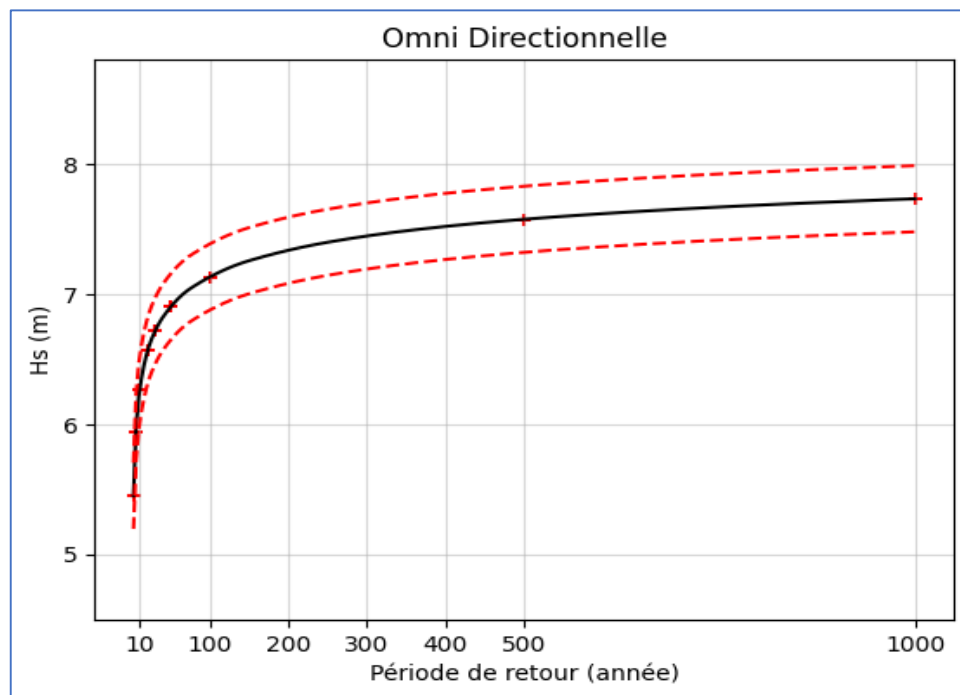


Figure 49: Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel (Zemmouri)

Les résultats figurants dans le graphe (Figure 50,51 et 53) expliqués par des traits rouges qui désignent les limites de l'erreur acceptée pour les résultats de 5% près. Les croix rouges indiquent les valeurs de hauteurs de houles pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et 1000 ans.

La même méthodologie sera appliquée pour les autres directions. Les résultats pour chaque direction.

Chapitre IV

Analyse des évènements extrêmes

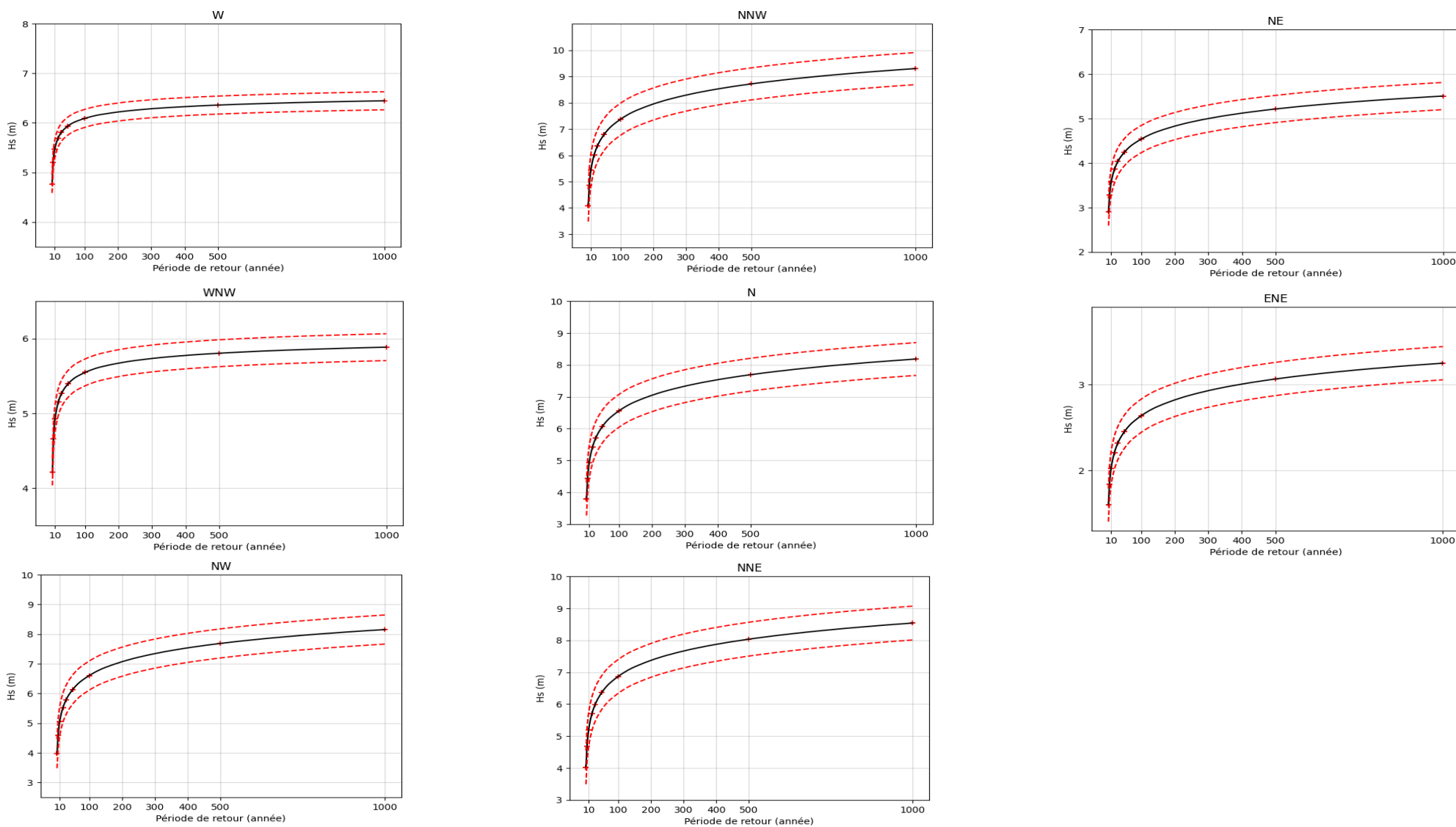


Figure 50: Estimation des évènements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Bou-Ismaïl)

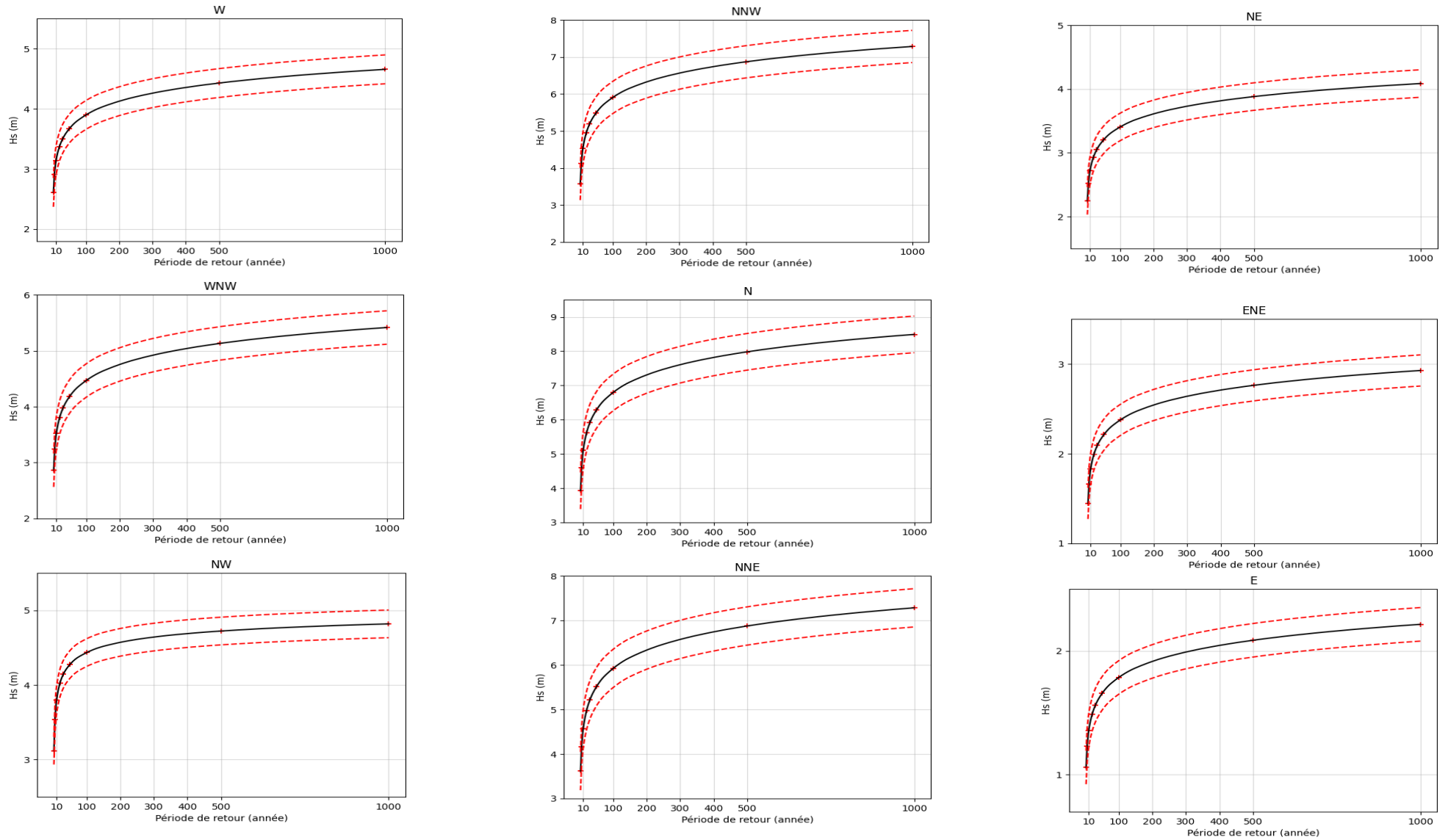


Figure 51: Estimation des évènements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Alger)

Chapitre IV

Analyse des évènements extrêmes

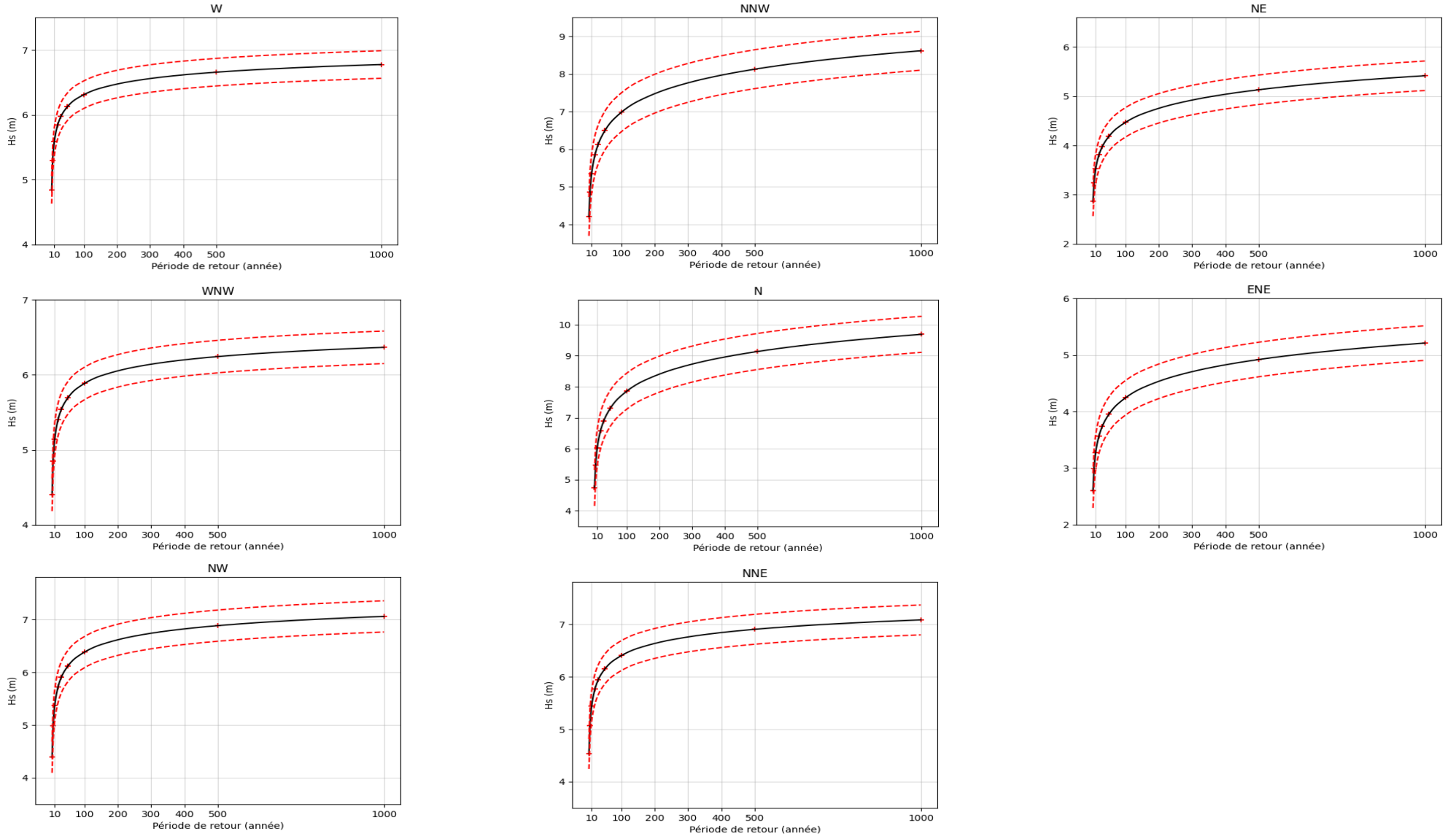


Figure 52: Estimation des évènements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction (Zemmouri)

Afin de mieux lire les résultats obtenus par la méthode POT représenté dans les tableaux (9,10,11), le tableau suivant résume l'ensemble des hauteurs extrêmes obtenus selon les périodes de retour de ces évènements extrêmes dans le futur.

Tableau 9: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Bou-Ismaïl).

POT									
	Hauteur de vague par direction (mètre)								
Période de retour (année)	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	Omni
2	4.76	4.21	3.96	4.09	3.78	4.01	2.89	1.61	5.20
5	5.19	4.65	4.58	4.85	4.43	4.68	3.28	1.89	5.71
10	5.46	4.93	5.05	5.44	4.92	5.18	3.57	2.10	6.05
20	5.69	5.15	5.51	6.02	5.41	5.69	3.86	2.32	6.36
30	5.80	5.27	5.79	6.36	5.70	5.98	4.03	2.44	6.53
50	5.93	5.39	6.13	6.78	6.06	6.36	4.24	2.60	6.73
100	6.09	5.54	6.60	7.36	6.55	6.86	4.53	2.81	6.97
1000	6.44	5.88	8.15	9.29	8.18	8.53	5.50	3.52	7.63

Tableau 10: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Alger).

POT										
	Hauteur de vague par direction (mètre)									
Période de retour (année)	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	Omni
2	2.60	2.90	3.11	3.56	3.92	3.61	2.24	1.44	1.05	4.21
5	2.91	3.19	3.53	4.11	4.56	4.15	2.51	1.66	1.22	4.79
10	3.13	3.39	3.79	4.52	5.06	4.56	2.72	1.82	1.35	5.23
20	3.36	3.56	4.02	4.94	5.55	4.97	2.92	1.99	1.48	5.67
30	3.50	3.65	4.14	5.18	5.83	5.21	3.04	2.09	1.56	5.93
50	3.67	3.76	4.27	5.49	6.20	5.51	3.19	2.21	1.65	6.25
100	3.9	3.89	4.43	5.90	6.69	5.92	3.40	2.37	1.78	6.69
1000	4.65	4.23	4.81	7.28	8.32	7.28	4.08	2.92	2.21	8.15

Tableau 11: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT(Zemmouri).

POT									
Période de retour (année)	Hauteur de vague par direction (mètre)								
	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	Omni
2	4.84	4.40	4.39	4.21	4.73	4.53	2.88	2.60	5.44
5	5.29	4.85	4.98	4.86	5.46	5.07	3.24	2.99	5.94
10	5.59	5.15	5.37	5.35	6.02	5.44	3.52	3.28	6.26
20	5.84	5.40	5.72	5.84	6.57	5.76	3.81	3.57	6.56
30	5.97	5.54	5.90	6.13	6.89	5.94	3.98	3.74	6.71
50	6.13	5.70	6.12	6.49	7.30	6.15	4.19	3.95	6.90
100	6.31	5.89	6.38	6.98	7.85	6.40	4.47	4.24	7.13
1000	6.78	6.37	7.06	8.62	9.69	7.08	5.42	5.21	7.73

A partir des Tableaux 9,10 et 11 qui représente les hauteurs de houles prédites par la méthode POT. On remarque la direction la moins susceptible d'engendré une houle extrême est l'Est, autre part, la direction la plus susceptible d'engendré **la plus grande houle** est le **Nord, Nord-Nord-Ouest, Nord-Nord-Est et le Nord-Ouest.**

Reste que l'analyse des hauteurs omnidirectionnel donne les résultats les plus grands car le modèle a travaillé avec les hauteurs maximales qui puisse exister dans la série de données.

Chapitre V : Modélisation Hydrodynamique

V.1 Introduction :

La modélisation numérique marine est cruciale pour la simulation et la prévision des phénomènes maritimes. Divers logiciels développés par des institutions académiques et des entreprises privées sont disponibles. (J. Ahn et al, 2019) ;(A. Symonds et al, 2017). En effet, grâce aux modèles numériques, il est possible de prédire les marées, les courants et les phénomènes côtiers. Ces modèles permettent aussi d'évaluer les conséquences des infrastructures côtières et des modifications environnementales. Par conséquent, la modélisation numérique se révèle être un instrument essentiel pour prendre des décisions judicieuses en matière de gestion des régions maritimes, de planification des infrastructures et de protection des écosystèmes côtiers.

V.2 Présentation du modèle :

Le Model MIKE 21, développé par l'institut hydraulique danois DHI Water & Environment, est une suite logicielle professionnelle qui permet la modélisation numérique 2D de l'hydraulique et des phénomènes associés dans divers environnements aquatiques, y compris les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans. MIKE 21 se compose d'un ensemble modulaire de moteurs de simulation, conçus pour répondre à une variété de besoins applicatifs. Ces moteurs permettent la modélisation de divers phénomènes, tels que les flux de marée, les vagues de tempête, le transport de sédiments, le transport de sable, les perturbations portuaires et les conditions maritimes dans les domaines offshore et onshore (DHI, 2014). Cependant, pour réaliser ces simulations, il est nécessaire de créer une maille (Mesh). À cette fin, l'outil de génération de mailles (Mesh Generator) du logiciel Mike-Zero a été employé.

V.2.1 Mesh Generator :

Cet outil offre un environnement de travail spécialement conçu pour générer des maillages numériques destinés à être utilisés dans les modèles MIKE Zero à maillage flexible (FM) et fixe. Ce dernier permet l'intégration de plusieurs maillages sur le même mesh. Il est essentiel d'équiper ces modèles de nouvelle génération d'un maillage approprié pour obtenir des résultats précis à partir des simulations de Mike.

Les méthodes d'interpolation sont valables indépendamment du type de maillage utilisé. Le générateur de maillage offre deux possibilités d'interpolation pour les éléments triangulaires. Les deux méthodes d'interpolation possibles sont Voisin naturel et l'Interpolation linéaire (DHI, 2014).

Pour la création de la mesh, on doit suivre ces étapes :

- Mettre un système des coordonnées approprié avec la zone d'étude, pour cette étude on utilise (WGS 84 UTM ZONE 31)
- Le trait de côte et la bathymétrie de la zone d'étude sous forme d'un fichier XYZ
- Un maillage de différente taille de maille et nécessaire pour avoir de bons résultats et diminuer les temps de calculs du logiciel.

V.2.2 MIKE 21 SW :

Il s'agit d'un modèle spectral de vague de 3ème génération qui simule l'augmentation des vagues sous l'effet du vent, l'interaction non linéaire entre les vagues, la dissipation due au

déferlement et à la friction sur le fond, la réfraction due aux variations de profondeur et l'interaction entre les vagues et le courant. Les calculs effectués par le modèle MIKE21-SW sont basés sur une grille à maillage flexible non structuré (DHI, 2014).

Équations en eaux peu profondes :

Le modèle est basé sur la résolution des équations tridimensionnelles incompressibles de Reynolds moyennées de Nâvier-Stokes, sous les hypothèses de Boussinesq et de pression hydrostatique. L'équation de continuité locale s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Équation 4

Et les deux équations d'impulsion horizontale pour les composantes x et y. sont respectivement :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned}$$

Équation 5

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned}$$

Équation 6

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial u v}{\partial x} + \frac{\partial w v}{\partial z} = -f u - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned}$$

Équation 7

Les termes de contraintes horizontales sont décrits à l'aide d'une relation gradient-contrainte et sont simplifiées dans l'Équation III-5 et l'Équation III-6. Les conditions aux limites de surface et de fond pour u , v et w sont décrits dans :

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad \text{Équation 8}$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad \text{Équation 9}$$

$$A z = \eta : \quad \text{Équation 10}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

$$A z = -d : \quad \text{Équation 11}$$

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

Où (τ_{sx}, τ_{sy}) et (τ_{bx}, τ_{by}) sont les composantes x et y des contraintes de vent de surface et de fond.

Équations de conservation de l'action des vagues :

La formule de base qui illustre le comportement des vagues est l'équation d'équilibre, formulée en termes de coordonnées cartésiennes ou sphériques.

- Coordonnées cartésiennes

En coordonnées cartésiennes horizontales, l'équation de conservation de l'action des vagues peut s'écrire :

Équation 12

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

Où $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ est la densité d'action, t est le temps, $\vec{x} = (x, y)$ est les coordonnées cartésiennes, $\vec{v} = (C_x, C_y, C_\sigma, C_\theta)$ est la vitesse de propagation d'une onde de groupe dans l'espace à quatre dimensions x, y, σ et θ , et S est le terme source de l'équation du bilan énergétique. ∇ est l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace \vec{x}, σ, θ et S .

Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

Équation 13

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U}$$

Équation 14

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_x d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial S}$$

Équation 15

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U}$$

Équation 16

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

Ici, S est la coordonnée spatiale dans la direction d'onde θ , et m est une coordonnée perpendiculaire à S . ∇_x est l'opérateur bidimensionnel différentiel dans l'espace \vec{x} .

V.2.3 MIKE 21 HD :

Le Module Hydrodynamique (HD) résout des équations bidimensionnelles traditionnelles de Saint-Venant, sur un maillage organisé ou non, en considérant le frottement au fond, l'impact des conditions météorologiques (vent et gradient de pression atmosphérique), la force de Coriolis, diverses représentations de la turbulence du flux et l'évolution de la géométrie du domaine avec le temps (zones se couvrant et se découvrant lors des variations de marée). Il offre aussi la capacité de calculer les courants côtiers en tenant compte des contraintes de radiation dues à la houle dans la zone de déferlement.

L'équation en eau peu profonde :

En fusionnant l'équation de la quantité de mouvement horizontale et l'équation de continuité pour la profondeur de l'eau en eaux peu profondes ($h = \eta + d$) dans le système de coordonnées cartésiennes, nous arrivons à l'équation ci-après :

Équation 17

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hS$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial hvu}{\partial y} = fvh - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_o} \frac{\partial P_a}{\partial x} \tag{Equation 19}$$

$$- \frac{gh^2}{2\rho_o} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_o} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = fuh - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_o} \frac{\partial P_a}{\partial y} \tag{Equation 18}$$

$$- \frac{gh^2}{2\rho_o} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_o} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yy}) + hv_s S$$

Avec :

- t : Temps ;
- x, y, z : Coordonnées cartésiennes ;
- η : Hauteur de la surface ;
- d : Profondeur de l'eau ;
- h : Profondeur totale de l'eau, h = η + d ;
- f : Paramètre de Coriolis, f = 2Ωsinθ ;
- Ω : vitesse angulaire de révolution ;
- θ : Latitude géographique ;
- ρw : Densité de l'eau ;
- pa : Pression atmosphérique ;
- ρ0 : Densité de référence de l'eau ;
- u, v, w : Composantes de la vitesse du courant dans les directions x, y, et z ;
- Sxy, Syx, Sxx, Syy : Composantes du tenseur de rayonnement ;
- vt, A : Viscosités turbulentes verticale et horizontale, respectivement ;
- S : Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles ;
- (us, vs) : Vitesses par laquelle l'eau est déchargée dans l'eau ambiante ;

(τsx, τsy), (τbx, τby) : Composantes x et y des contraintes de cisaillement du vent de surface et du fond, respectivement, La barre supérieure décrit une valeur moyenne.

u, v : Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies par :

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \tag{Equation 20}$$

Équation 21

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} v dz$$

Les forces de tension latérales T_{ij} : Elles se composent de la friction visqueuse, de l'advection différentielle et de la friction turbulente. Elles sont déterminées en utilisant une viscosité turbulente et en appliquant la formule des gradients de vitesse moyenne en profondeur :

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial u}{\partial x'} \quad \text{Équation 22}$$

$$T_{xy} = A \left(\frac{\partial u}{\partial y'} + \frac{\partial v}{\partial x'} \right) \quad \text{Équation 23}$$

$$T_{yy} = 2A \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{Équation 24}$$

V.3 Méthodologie de travail :

V.3.1 Génération de la Mesh :

Afin d'effectuer une analyse approfondie et réduire les erreurs susceptibles d'affecter les résultats des simulations, nous avons inclus Les Oueds (Corso, El-Hamiz, El-Harrach, Mazafran) dans notre zone d'étude. Cette zone s'étend sur 242Km, allant du port de CAP DJENAT à l'est, en passant par la baie d'Alger, jusqu'à Mount Chinoua à l'Ouest.

V.3.1.1 Données bathymétriques pour la génération de la Mesh :

Cette bathymétrie est le résultat de la fusion des données provenant de trois sources différentes (Données du terrain, NAVIONICS et GEBCO). Concernant les Oueds étudiés, les informations bathymétriques ont été extraites d'après la digitalisation d'un Modèle numérique du terrain (MNT). La bathymétrie de la baie d'Alger a été obtenue par la numérisation de la carte publiée par NAVIONICS SonarChart™, édition 2021 à l'échelle de 1/250000 avec une résolution variant entre 100 et 0,5m du large vers la côte (ALEM.A et SAF.B, 2021). Pour ce maillage, la bathymétrie en haute mer (inférieure à -200 m de profondeur) a été obtenue à partir de mike21. Cette dernière a été complétée par une bathymétrie issue de la numérisation des cartes marines de la région centrale algérienne et de la bathymétrie à l'échelle de la baie précédemment élaborée.

Pour cela, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS 10.4.1, qui est un ensemble de logiciels d'information géographique (SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute). Il est composé de plusieurs modules interconnectés (ArcMap,

ArcScène, ArcCatalogue, ...). L'exploitation des données bathymétriques sur Mike21 nécessite la conversion du shapfile d'ArcMap de la bathymétrie en fichiers XYZ, avec l'outil de conversion d'ArcToolBox.

V.3.2 Mesh et Bathymétrie résultante :

La Mesh est composé de 19278 nœuds et 33242 éléments triangulaires avec un pas variant de 2000 m auprès des Oueds qu'on va traiter. Une dégradation du maillage est faite sur trois zones

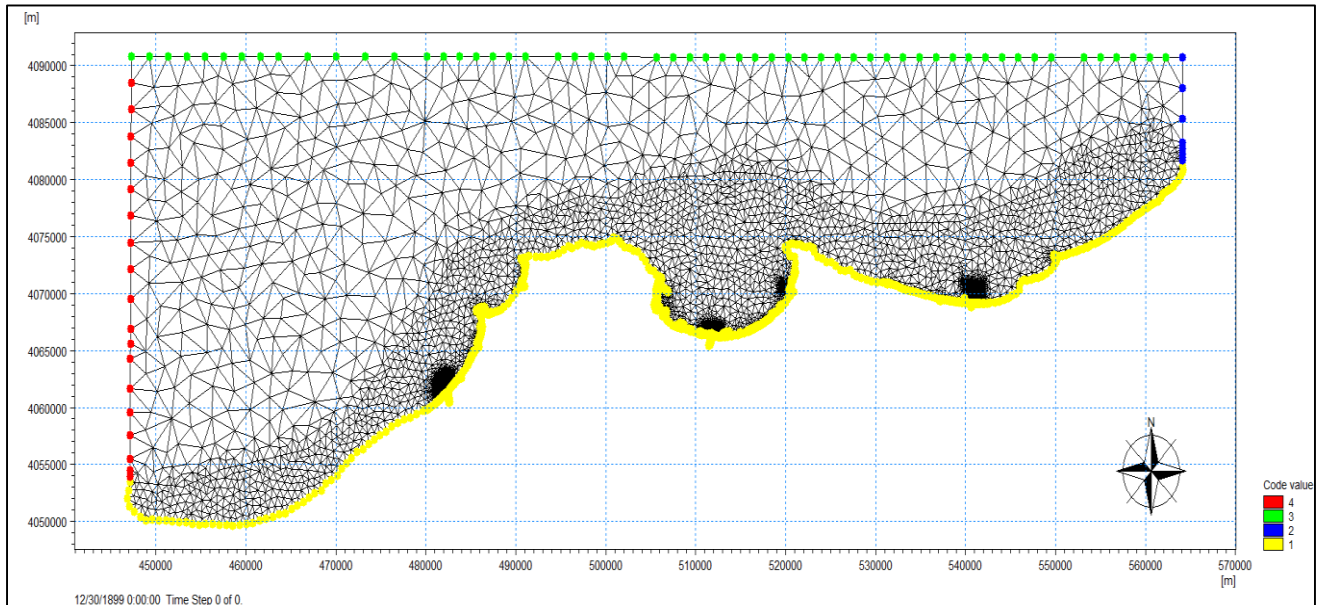


Figure 53:Maillage de la mesh à échelle de la région de l'algéroise

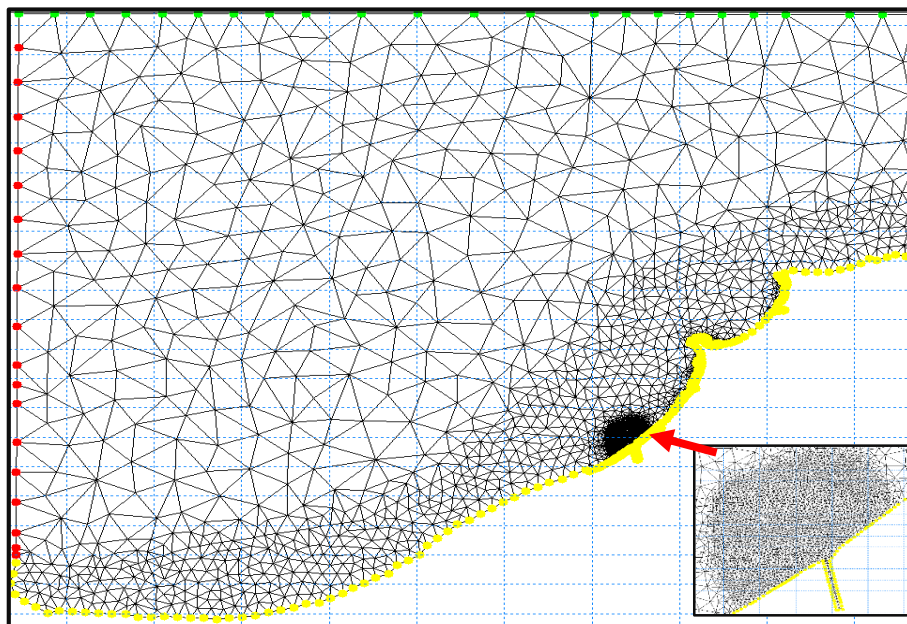


Figure 54:maillage de la mesh à échelle de la baie de Boussmail et d'Oued Mazafran

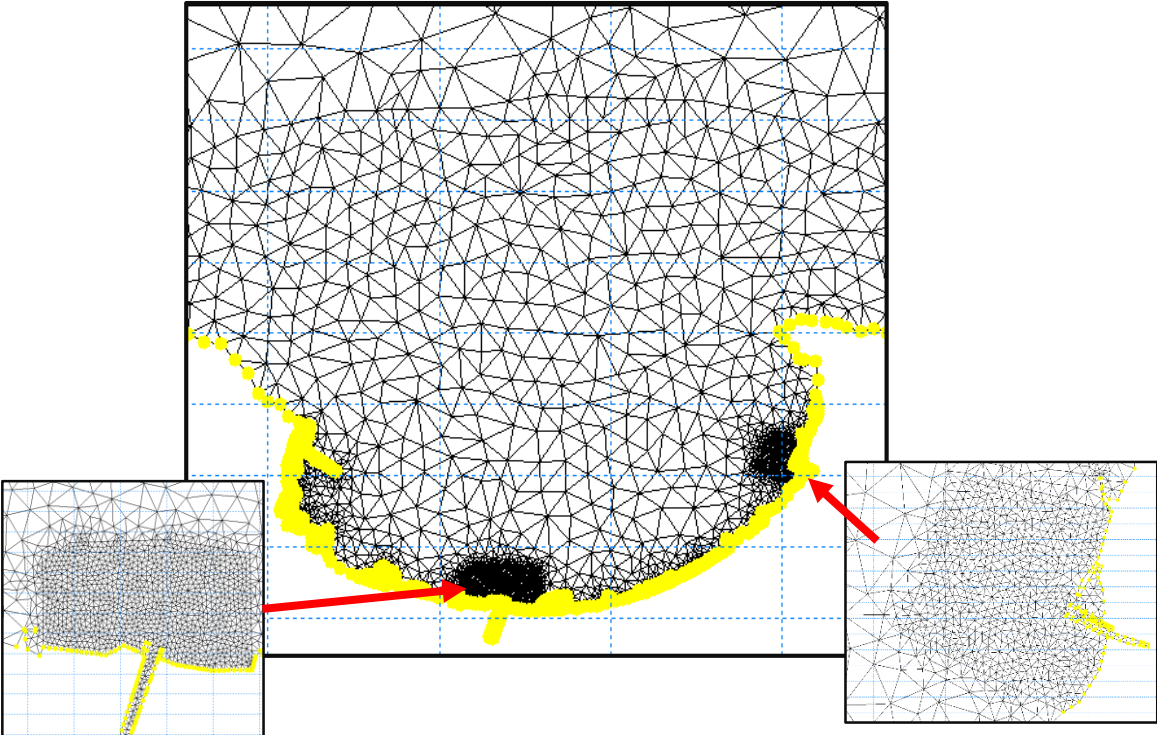


Figure 56:Maillage de la mesh à l'échelle de la baie d'Alger et les Oueds (El-harrach/El-hamiz)

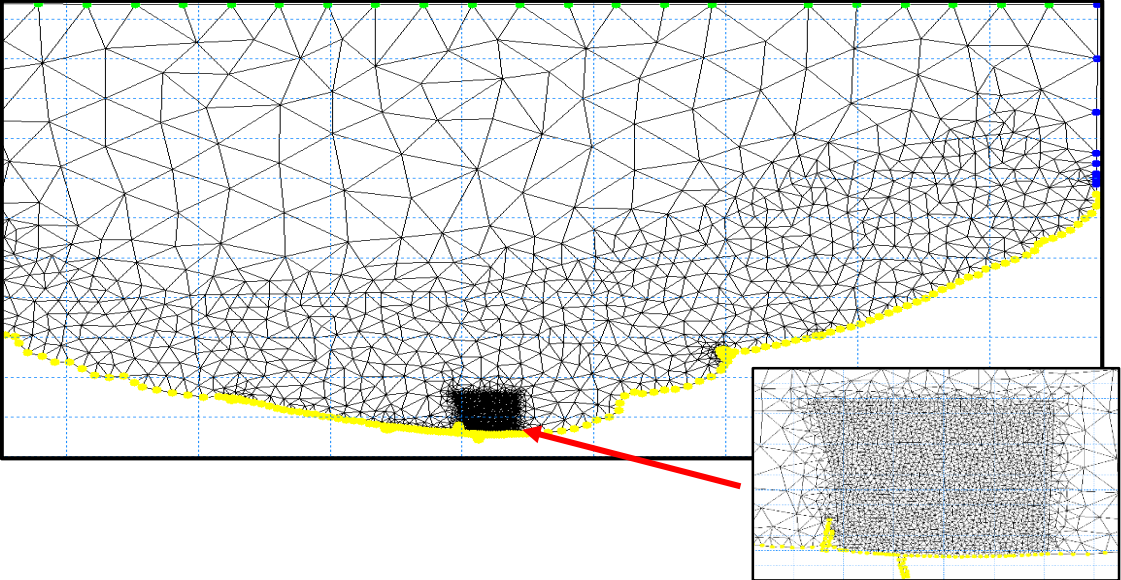


Figure 55:maillage de la mesh à échelle de la baie de Zemmouri et d'Oued Corso

Après l'interpolation de la mesh, on obtient une bathymétrie de la zone centre algérienne, allant jusqu'à la pleine abyssale de la méditerranée, subdivisée en trois zones :

V.3.2.1 La baie de Bou Ismail :

La bathymétrie obtenue pour la baie de Bou-Ismaïl présente des valeurs comprises entre -1 m et -55 m au large. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques (figure 57).

L'analyse de la carte bathymétrique (figure 57) de la zone Ouest montre des isobathes presque parallèles à la ligne de côte, très serrés entre -1 et -35m, cela est due généralement à morphologie complexe des fonds et les conditions hydrodynamiques ce qui montre une pente abrupte. Au-delà de cette profondeur, les isobathes se réorganisent et deviennent parallèle et un peu espacées vers le large.

L'analyse de la carte bathymétrique de la zone Est montre des isobathes plus au moins régulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous-marine dans la partie Ouest de cette zone (plage Chenoua et Grand bleu) est légèrement chahutée jusqu'à -20 m, par contre la partie Est de cette zone (plage Matares) présente des isobathes plus espacées.

L'analyse de la carte bathymétrique de la deuxième zone montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de cette zone présente une barre sous-marine et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières traduisant une pente plus douce, généralement dû aux apports solides de cet Oued.

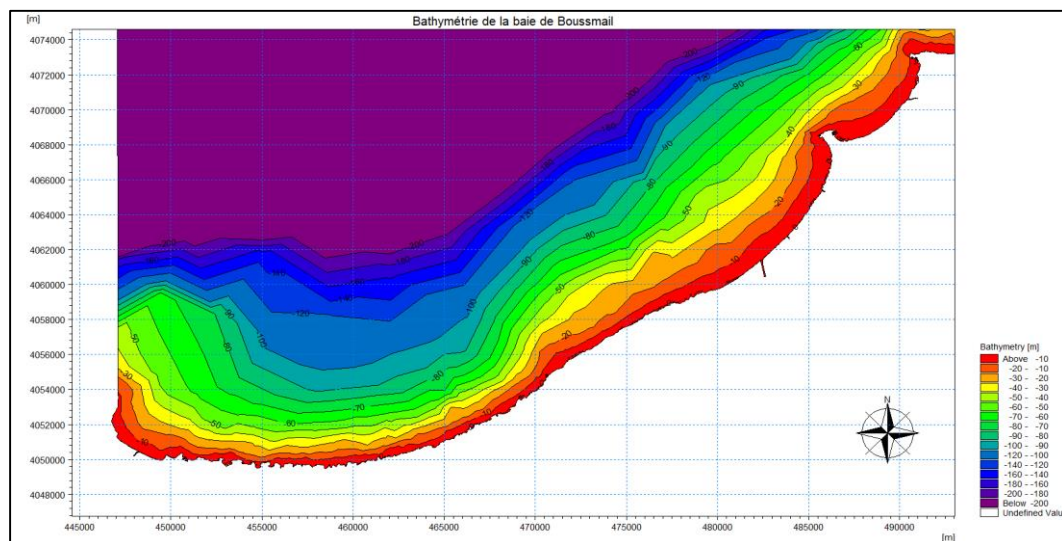


Figure 57: Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl

V.3.2.2 La baie d'Alger :

La Bathymétrie dans la baie d'Alger (Figure 58) est subdivisée en trois zones distinctes :

Les zones Est et Ouest, près des caps, se caractérisent par une forte pente, ceci est due à la géomorphologie du cap généralement d'une lithologie plus dure et plus résistante (falaises), aussi les effets hydrodynamiques font que les caps sont des zones à fort potentiel énergétique (les orthogonales de la houle se convergent près des caps) ; car on observe le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une petite distance par rapport à la côte des deux côtés de la baie d'Alger.

La zone centrale de la baie d'Alger est caractérisée par une pente faible dans son ensemble. Ce pendage faible est dû nécessairement à la lithologie de cette partie plus friable et plus meuble (présence de plage sablonneuse alimentées par les apports terrigènes des deux oueds de la baie), aussi elle est due aux effets de la houle qui moins énergétiques dans cette partie.

Pour la partie au large de la baie d'Alger, on aperçoit la fin du plateau continental directement à la sortie de la baie. Ceci est caractérisé par les isobathes serrées, ce qui confirme ce qui a été dit dans la partie échelle régionale sur la morphologie globale de la région centre algérienne.

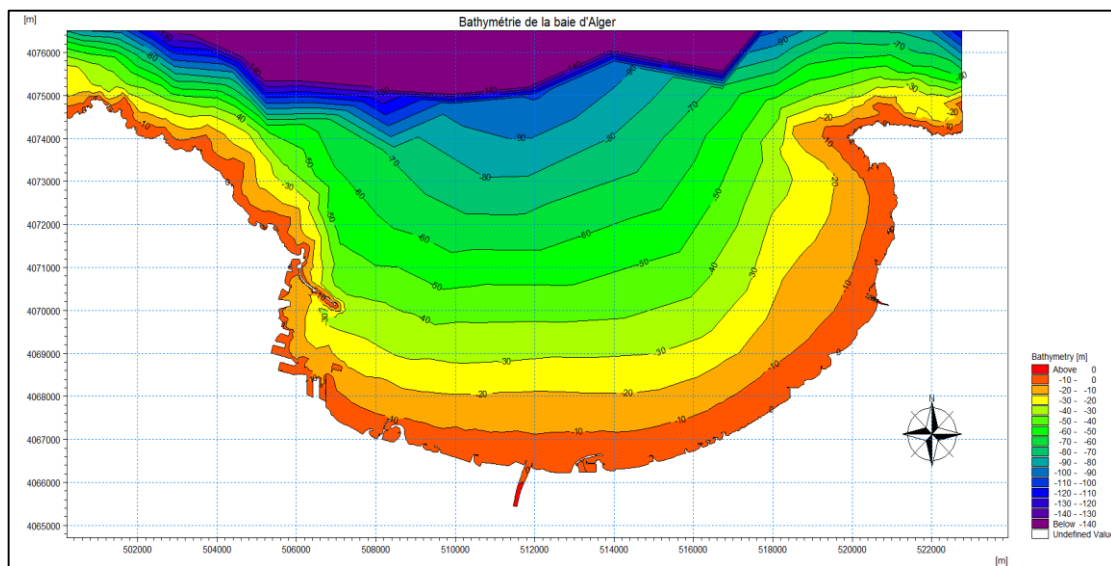


Figure 58: Carte bathymétrique de la baie d'Alger

V.3.2.3 La baie de Zemmouri :

D'après la carte bathymétrique de la grande baie de Zemmouri (Figure 59) on peut distinguer deux zones morphologiques bien différentes sont mises en évidence :

Zone près de la cote : Entre 0 et environ -10 m on remarque que le fond est un peu accidenté avec des isobathes rapprochées caractérisé par la présence des rides d'avant cote bien développés réparti d'une manière discontinue le long de la baie et aussi des fosses de lévigation. Cette morphologie sous-marine particulière témoigne d'une dynamique des particules sédimentaires du fond sous l'action des houles et des courants Cette zone est caractérisée par des isobathes rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant les régions près des embouchures possèdent un fond plus ou moins régulier avec des isobathes espacées les unes aux autres traduisant une pente douce, cela peut être expliqué par les apports terrigènes des Oueds (Oued Boudouaou et Oued Réghaia...) et aussi à la présence des ouvrages de protection (Ain Taya et Boumerdes) qui perturbe le transport sédimentaire.

Au large : cette zone est caractérisée par un fond régulier et donc des isobathes sont espacées et parallèles au rivage de la baie de Zemmouri traduisant une pente douce à l'exception des environs du Cap Djinet où les isobathes sont un peu perturbé.

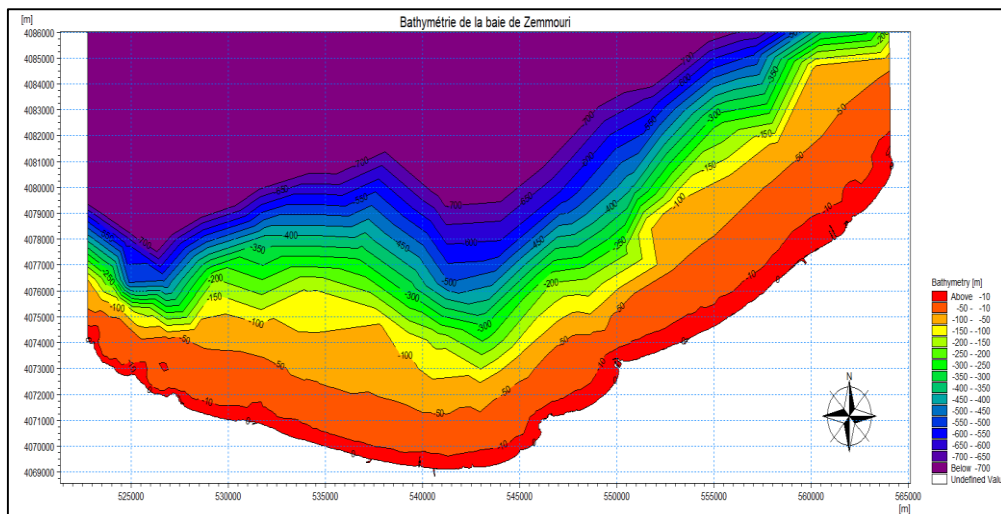


Figure 59: Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri.

V.4 Scénarios de simulation :

Une fois les directions sont détectées et les événements extrêmes calculé (chapitre précédent). La méthode choisie est d'associer pour 3 période de retour d'un événement à l'ensemble des directions de vents sa hauteur significative et son temps de pic. Ainsi, l'élévation du niveau marin (rapport du GIEC 2019).

Note :

Il est à signaler, que toutes les modélisations ont été associées à un vent constant pour chaque direction. Les vitesse et direction moyenne du vent ont été obtenu après letraitement d'un enregistrement de 1992 à 2020 de la base de données WaveClimat dans les 3 baies.

Car le couplage d'un vent d'une période de retour avec une houle de la même période de retour, donne des résultats largement surestimés. Pour l'exemple, le couplage d'une houle et un vent de 100 ans, nous permet de calculer un scénario qui se produit une fois tous les 10000 ans (choseillogique vu la durée de vie des ouvrages maritimes qui est en moyenne de 100 à 150 ans).

La solution qui a été proposé est la détermination d'une probabilité d'occurrence des couples vents/houles, appelé communément la probabilité conjointe ou croisée. (Abid et al 2020).

Tableau 12: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie de Bou-Ismaïl.

Période de retour 10					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	4.92	9	12	359.8	
NNW	5.44	9.59	12	336.44	
NNE	5.18	9.30	12	22.66	
Période de retour 30					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	5.70	9.87	12	359.8	
NNW	6.36	10.59	12	336.44	
NNE	5.98	10.18	12	22.66	
Période de retour 100					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	6.55	10.78	12	359.8	
NNW	7.36	11.61	12	336.44	
NNE	6.86	11.10	12	22.66	

Tableau 13: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie d'Alger

	Période de retour 10				Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	5.06	9.16	12	359.8	
NNW	4.52	8.54	12	336.44	
NW	3.79	7.64	12	313.21	
NNE	4.56	8.58	12	22.66	
	Période de retour 30				Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	5.83	10.02	12	359.8	
NNW	5.18	9.30	12	336.44	
NW	4.14	8.08	12	313.21	
NNE	5.21	9.34	12	22.66	
	Période de retour 100				Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	6.69	10.93	12	359.8	
NNW	5.90	10.10	12	336.44	
NW	4.43	8.43	12	313.21	
NNE	5.92	10.12	12	22.66	

Tableau 14: Des inputs des simulations pour l'ensemble les périodes de retour (10,30 et 100ans) pour la baie de Zemmouri

Période de retour 10					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	6.02	10.22	12	359.8	
NNW	5.35	9.49	12	336.44	
NNE	5.44	9.59	12	22.66	
Période de retour 30					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	6.89	11.13	12	359.8	
NNW	6.13	10.34	12	336.44	
NNE	5.94	10.14	12	22.66	
Période de retour 100					Niveau de la mer
Paramètre de houle	Hs	Tp	U10	U10 direction (°)	NGA = +0.34m Elévation futur = 0 m Totale = 0.34m
Direction					
N	7.85	12.09	12	359.8	
NNW	6.98	11.22	12	336.44	
NNE	6.40	10.63	12	22.66	

V.5 Résultats des simulations :

V.5.1 Résultats et discussion des simulation pour la baie de Bou-Ismaïl :

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Est (22.5°) :**

D'après les figures (60,68,74) on observe :

- Au large de la baie de Boussmail, les houles gardent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 6,5 mètres pour cette direction. Lorsque ces houles se propagent vers l'intérieur de la baie, elles subissent des déformations importantes dues à l'effet du fond bathymétrique peu profond et complexe de la baie (réfraction, diffraction, etc.), perdant ainsi de l'énergie. Les hauteurs significatives diminuent jusqu'à environ 1,5 mètre au niveau du rivage intérieur de la baie et des valeurs minimales dans les zones abritées par les caps rocheux.
- L'état hydrodynamique complexe observé dans la baie de Boussmail est probablement dû à un effet cumulé de phénomènes comme la réfraction, la diffraction, les effets frontaux dus aux caps, etc., en interaction avec la bathymétrie accidentée de la baie. La présence de zones semi-fermées abritées et de zones directement exposées aux houles incidentes crée ces contrastes marqués dans la distribution spatiale des hauteurs de vagues.

- **Propagation des houles de direction Nord (360°) :**

D'après les figures (62,67,73) on observe :

- Au large, les vagues ont des hauteurs significatives très élevées, pouvant atteindre plus de 6,5 mètres pour cette direction Nord. Cependant, lorsqu'elles pénètrent dans la baie, on observe un phénomène similaire à la simulation précédente.
- Les vagues se déforment et perdent une grande partie de leur énergie en rencontrant les hauts-fonds et la bathymétrie complexe du fond marin de la baie. On voit ainsi une zone en forme de croissant colorée en orange et rouge où les hauteurs de vagues restent comprises entre environ 5 et 6,5 mètres.
- Plus on se rapproche des rivages Nord et Ouest de la baie, plus les vagues diminuent en hauteur. Une large bande verte indique des hauteurs entre 4 et 5 mètres le long de ces côtes. Enfin, une étroite frange jaune montre que les vagues n'atteignent plus qu'environ 3 mètres de hauteur sur les plages intérieures de la baie.
- Comme pour la direction précédente, on note la présence de zones très abritées où les vagues sont quasi inexistantes, grâce à la configuration en forme de crique semi-fermée de certaines parties du rivage intérieur.

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Ouest (337.5°) :**

D'après les figures (61,66,72) on observe :

- Au large, les vagues ont des hauteurs significatives très élevées, pouvant atteindre plus de 7 mètres pour cette direction. Cependant, lorsqu'elles pénètrent dans la baie, on observe un phénomène similaire à la simulation précédente.
- Les vagues se déforment et perdent une grande partie de leur énergie en rencontrant les hauts-fonds et la bathymétrie complexe du fond marin de la baie. On voit ainsi une zone en forme de croissant colorée en orange et rouge où les hauteurs de vagues restent comprises entre environ 5 et 6,5 mètres.
- Plus on se rapproche des rivages Nord et Ouest de la baie, plus les vagues diminuent en hauteur. Une large bande verte indique des hauteurs entre 4 et 5 mètres le long de ces côtes.

Enfin, une étroite frange jaune montre que les vagues n'atteignent plus qu'environ 3 mètres de hauteur sur les plages intérieures de la baie.

- Comme pour la direction précédente, on note la présence de zones très abritées où les vagues sont quasi inexistantes, grâce à la configuration en forme de crique semi-fermée de certaines parties du rivage intérieur.

V.5.1.1 Période de retour de 10 ans :

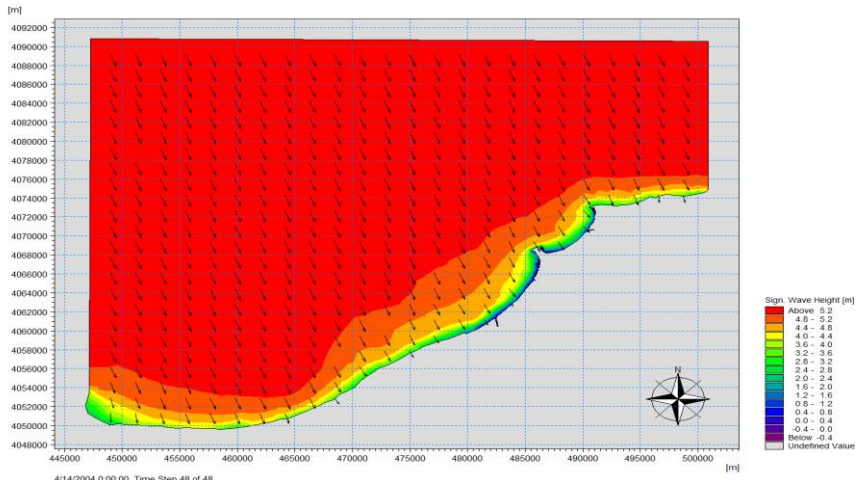


Figure 60:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (10ans)

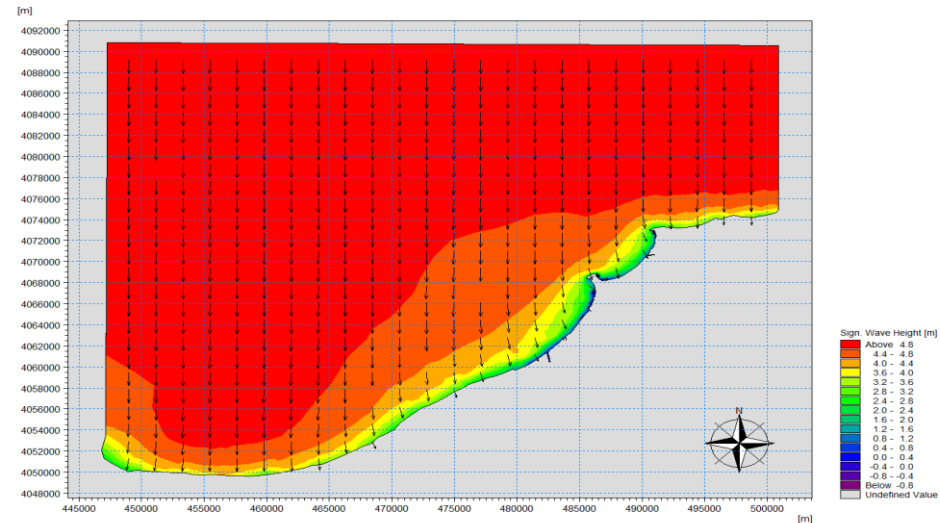


Figure 62:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction N (10ans)

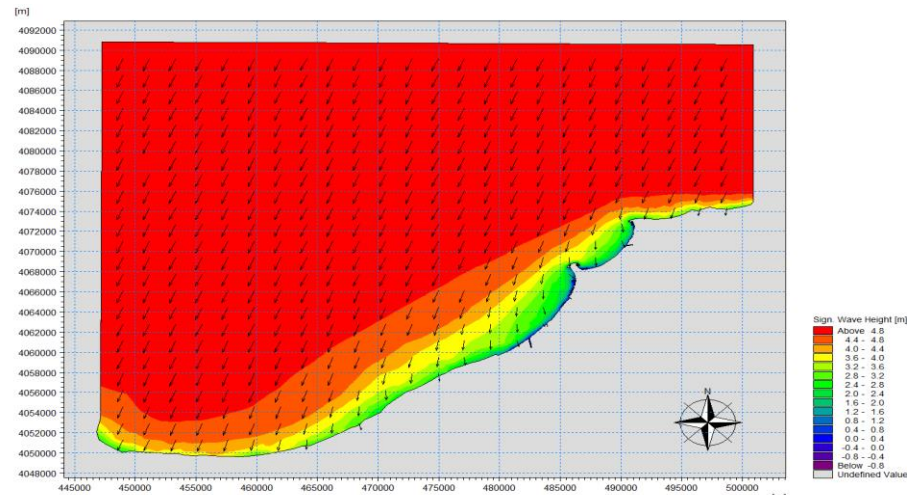


Figure 61:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (10ans)

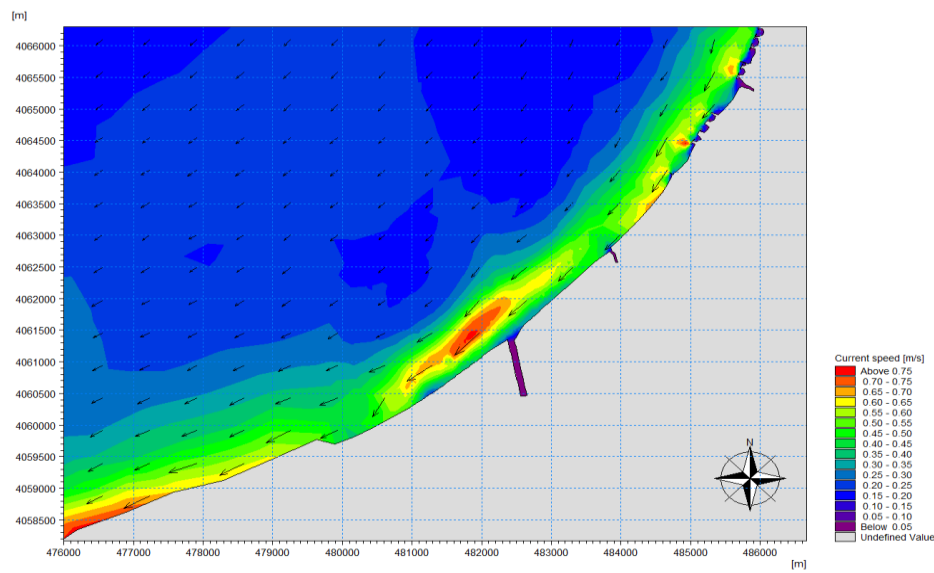


Figure 63: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction (10ans)

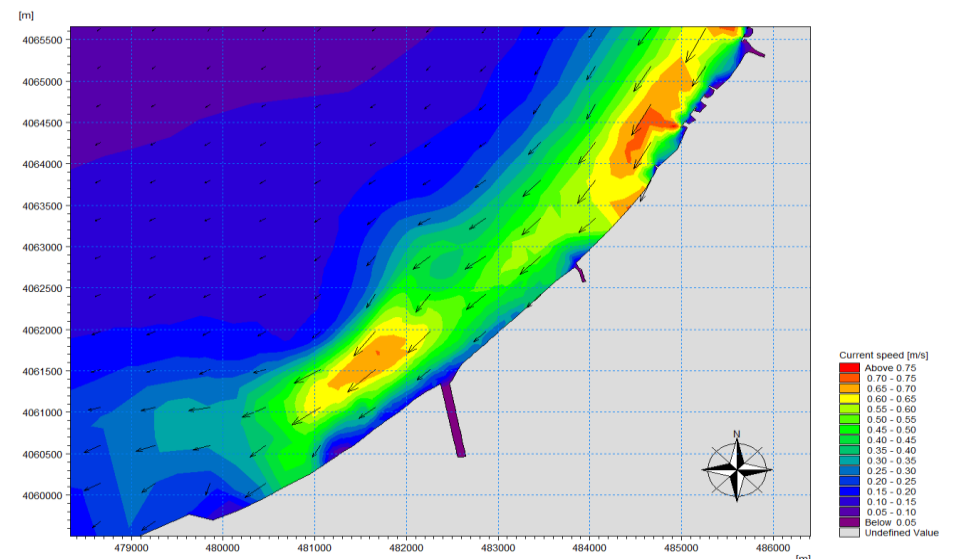


Figure 64: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (10ans)

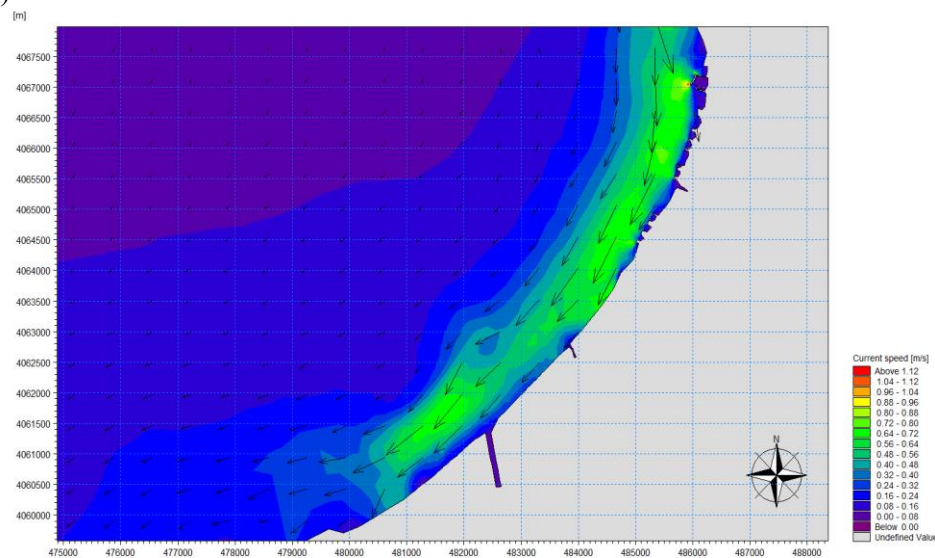


Figure 65: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (10ans)

V.5.1.2 Période de retour de 30 ans :

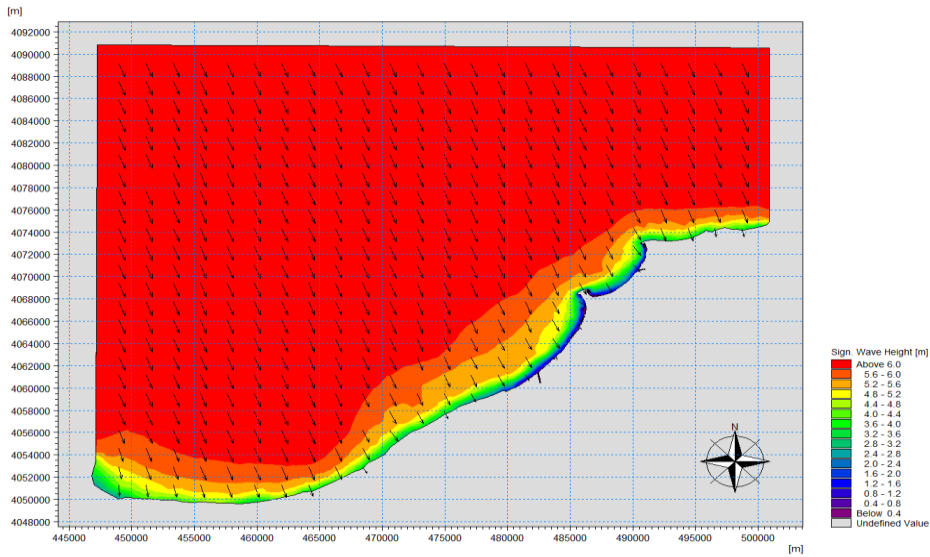


Figure 66: champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (30ans)

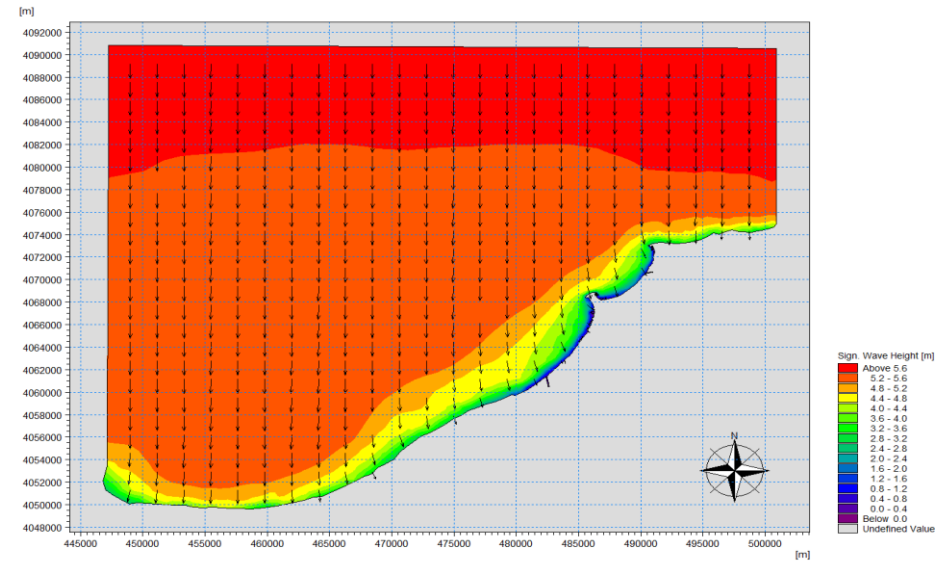


Figure 67: champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction N (30ans)

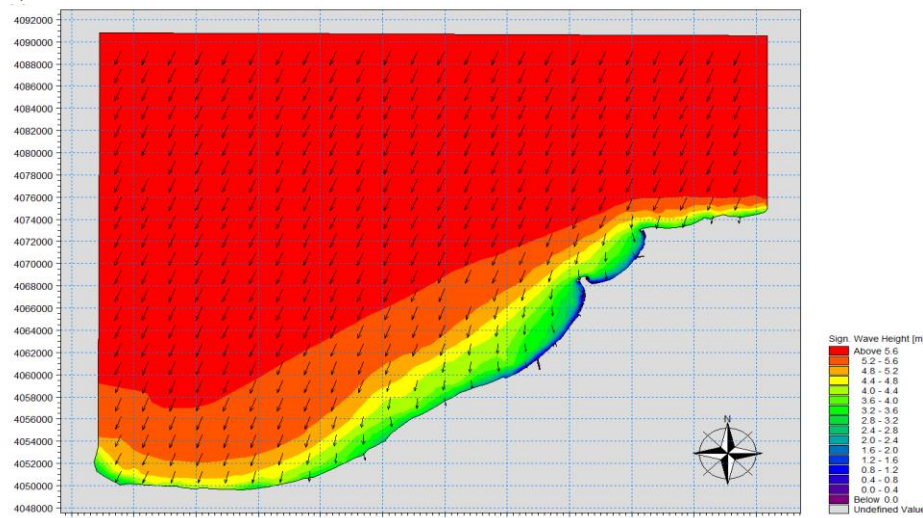


Figure 68: champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (30ans)

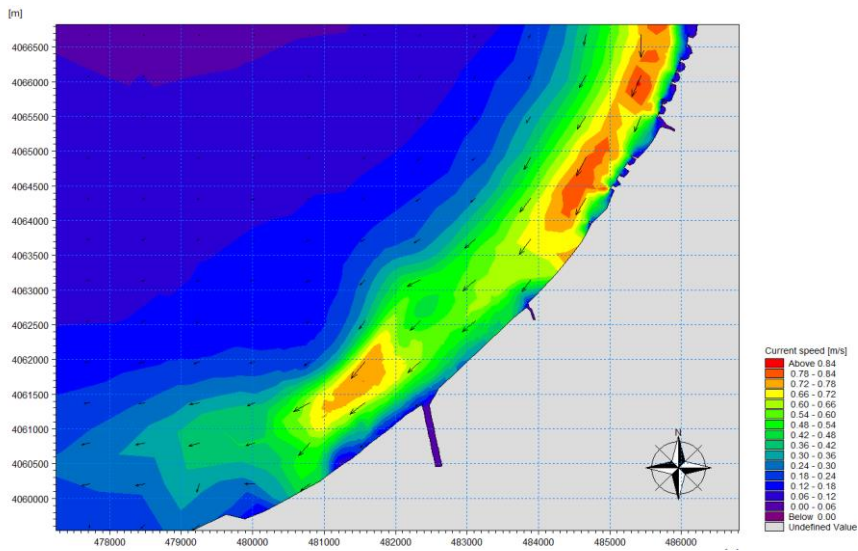


Figure 69: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction N (30ans)

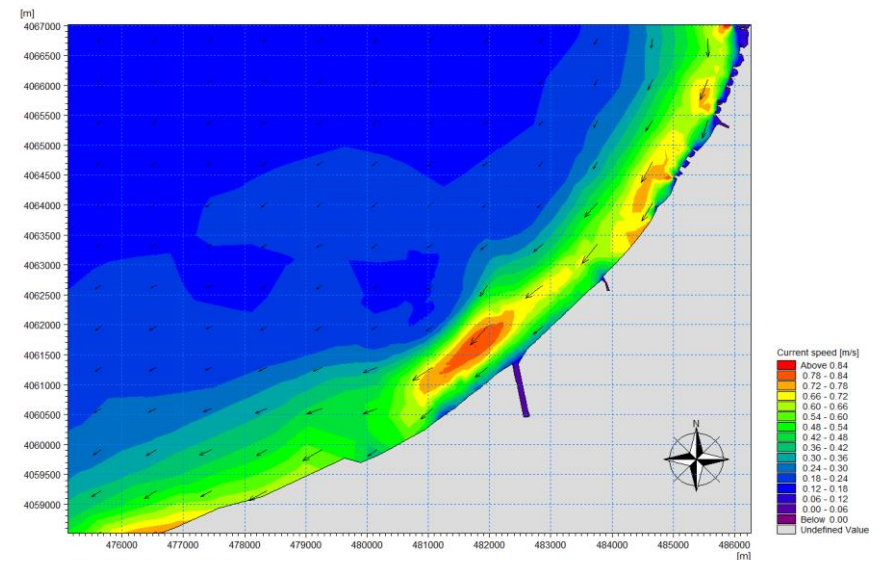


Figure 70: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (30ans)

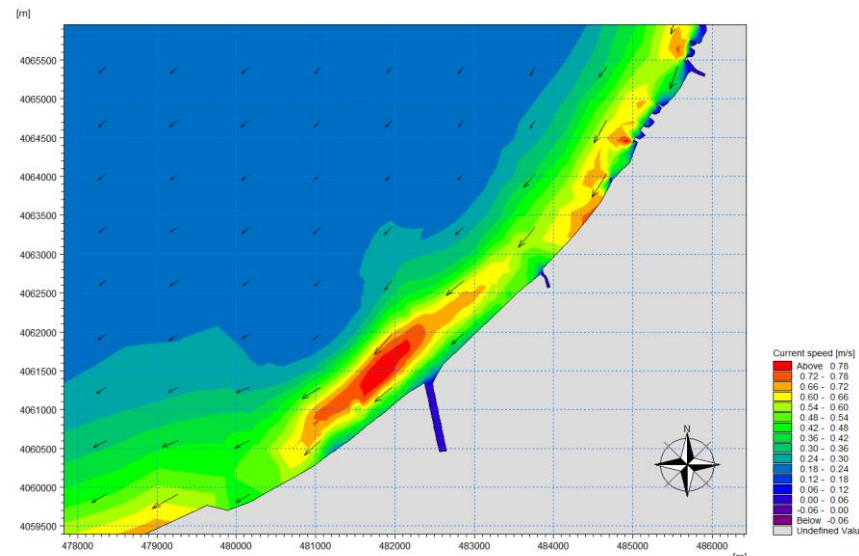


Figure 71: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (30ans)

V.5.1.3 Période de retour de 100 ans :

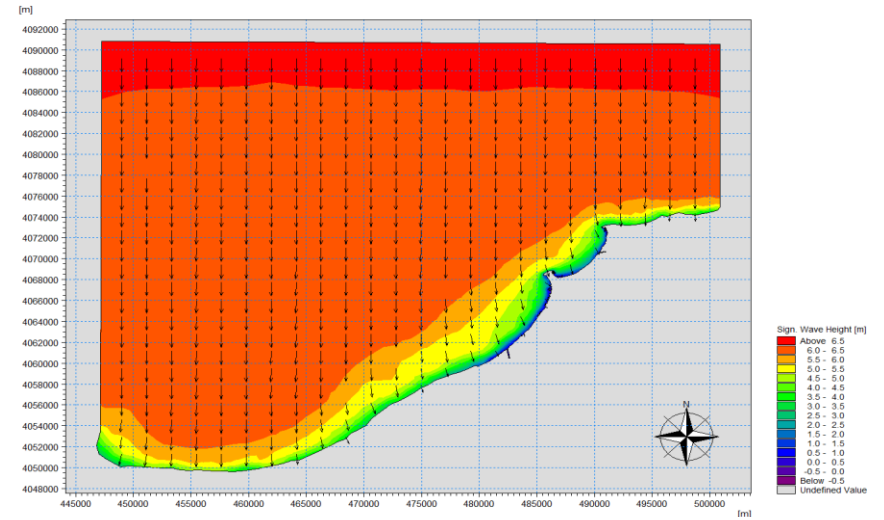
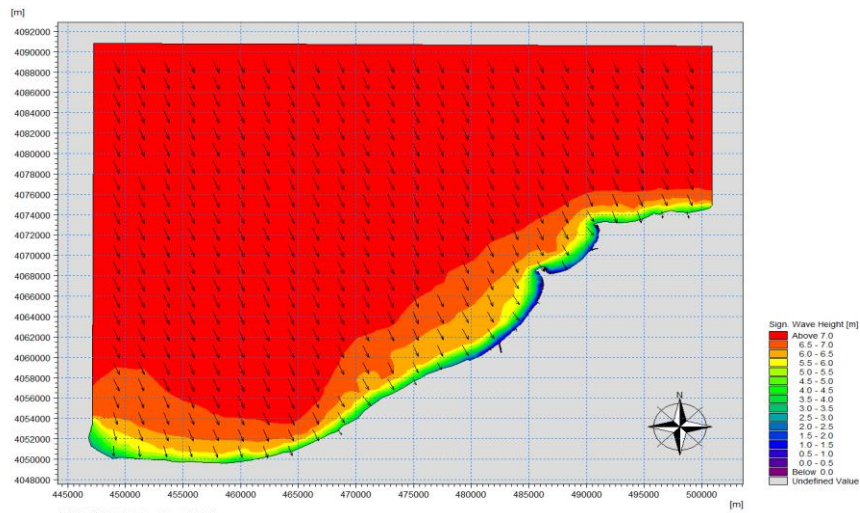


Figure 72:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNW (100ans)

Figure 73:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction Nord (100ans)

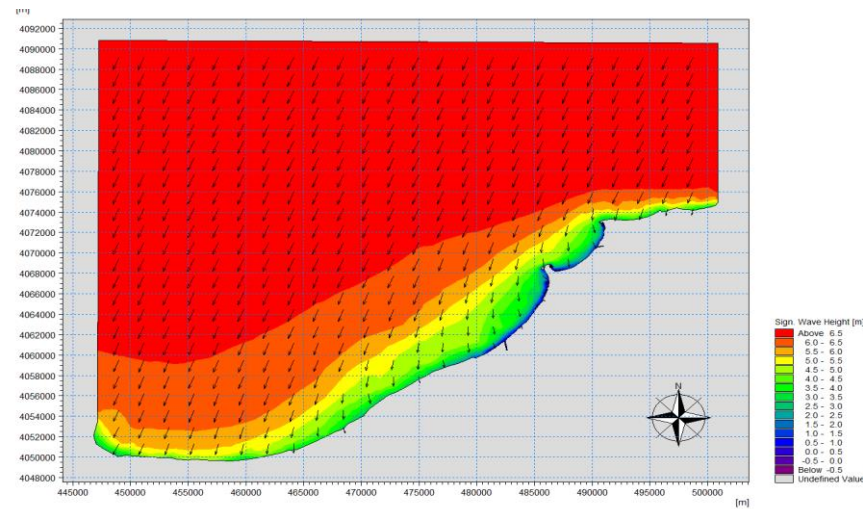


Figure 74:champs des houles dans la baie de Bou-Ismaïl pour la direction NNE (100ans)

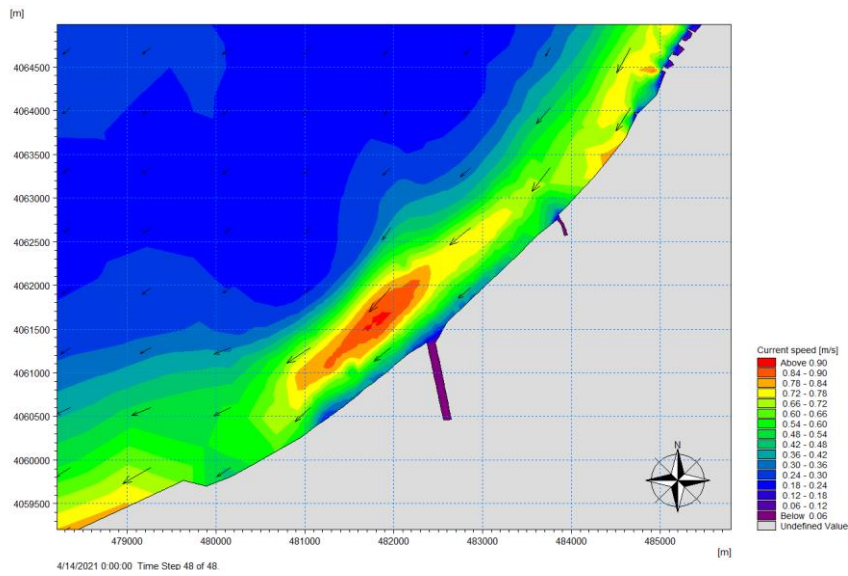


Figure 75: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNW (100ans)

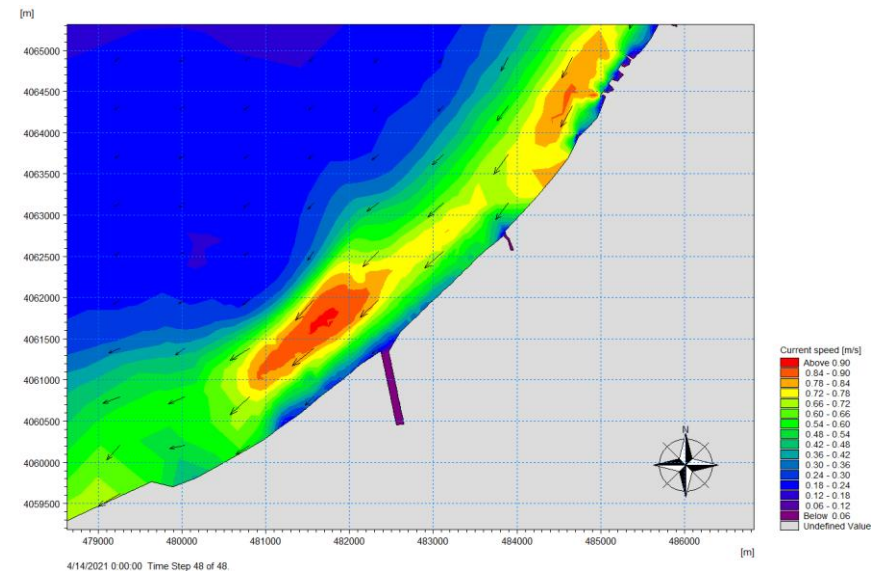


Figure 76: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction NNE (100ans)

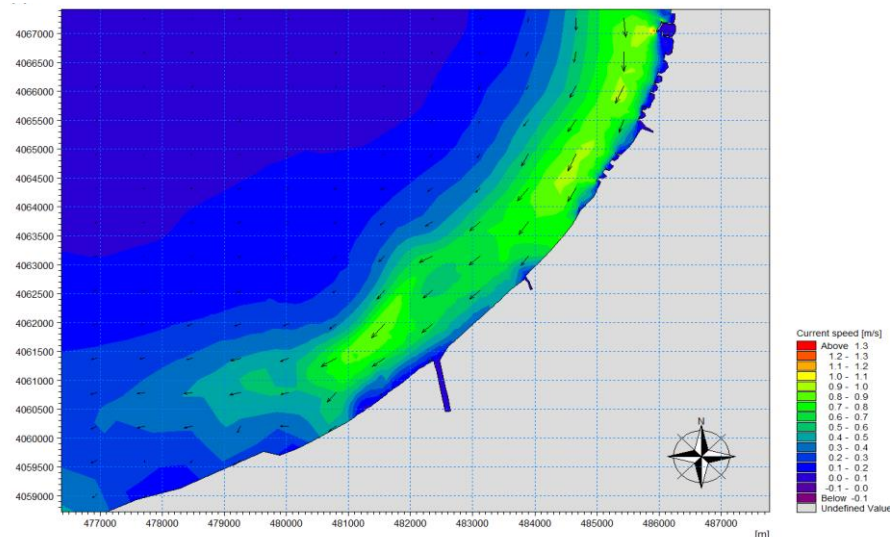


Figure 77: champs des courants au voisinage d'Oued Mazafran pour la direction Nord (100ans)

V.5.2 Résultats et discussion des simulation pour la baie d'Alger :

- **Propagation des houles de direction Nord (360°)**

D'après les figures (80,86,95) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les vagues conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 6,5 mètres pour cette direction Nord. Lorsque ces vagues se propagent vers la côte, elles commencent à ressentir l'effet du fond marin (effet de shoaling) et perdent progressivement leur énergie, atteignant des hauteurs significatives d'environ 4-5 mètres au niveau de la baie d'Alger et des valeurs minimales autour de 0,5 mètre dans les zones abritées.
- L'hydrodynamique observée dans cette simulation est probablement dû à une combinaison de plusieurs facteurs, tels que l'effet cumulé des vagues, l'effet frontal causé par la bathymétrie complexe de la baie, et la réfraction des vagues due aux variations bathymétriques. La bathymétrie semble jouer un rôle crucial dans la transformation des vagues, avec des zones de forte concentration d'énergie des vagues (hot spots) se formant autour des zones de faible profondeur et des caps avancés.

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Ouest (337.5°)**

D'après les figures (81,87,94) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les vagues conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 5,6 mètres pour cette direction Nord-Nord-Ouest. À mesure que les vagues se rapprochent de la côte, elles subissent les effets de la bathymétrie (probablement un effet de shoaling) et perdent progressivement leur énergie, atteignant des hauteurs significatives d'environ 4,5 à 5 mètres au niveau de la baie d'Alger et des valeurs minimales autour de 0,4 mètre dans les zones les plus abritées.
- L'hydrodynamique observée est probablement influencé par la combinaison de plusieurs facteurs, tels que l'effet cumulé des vagues, l'effet frontal causé par les caps avancés et la bathymétrie complexe de la baie, ainsi que la réfraction des vagues due aux variations bathymétriques. La bathymétrie semble jouer un rôle crucial, avec des zones de concentration élevée d'énergie des vagues (hot spots) se formant autour des zones de faible profondeur et des caps avancés, en particulier au nord-ouest de la baie

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Est (22.5°)**

D'après les figures (78,88,96) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les vagues conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 6 mètres pour cette direction Nord-Nord-Est. Lorsque ces vagues se propagent vers la côte, elles commencent à ressentir l'effet de la bathymétrie (probablement un effet de shoaling) et perdent progressivement leur énergie, atteignant des hauteurs significatives d'environ 5 à 5,5 mètres au niveau de la baie d'Alger et des valeurs minimales autour de 0,4 mètre dans les zones les plus abritées.
- L'hydrodynamique observée semble être principalement influencée par l'effet cumulé des vagues, l'effet frontal causé par les caps avancés et la bathymétrie complexe de la baie, ainsi que par la réfraction des vagues due aux variations bathymétriques. La bathymétrie joue un rôle crucial, avec des zones de concentration élevée d'énergie des vagues (hot spots) se

formant autour des zones de faible profondeur et des caps avancés, en particulier dans la partie nord-est de la baie

- **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (313.21°)**

D'après les figures (79,89,97) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les vagues conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 4,4 mètres pour cette direction Nord-Ouest. Lorsque ces vagues se propagent vers la côte, elles sont fortement affectées par la bathymétrie et les effets de réfraction, perdant une grande partie de leur énergie. Les hauteurs significatives atteignent environ 3,5 à 4 mètres au niveau de la baie d'Alger et des valeurs minimales autour de 0,4 mètre dans les zones les plus abritées.
- L'hydrodynamique observée semble être fortement influencée par l'effet cumulé des vagues, l'effet frontal causé par les caps avancés et la bathymétrie complexe de la baie, ainsi que par la réfraction des vagues due aux variations bathymétriques. La bathymétrie joue un rôle crucial, avec des zones de concentration d'énergie des vagues (hot spots) se formant autour des zones de faible profondeur et des caps avancés, en particulier dans la partie nord-ouest de la baie.

V.5.2.1 Période de retour de 10 ans :

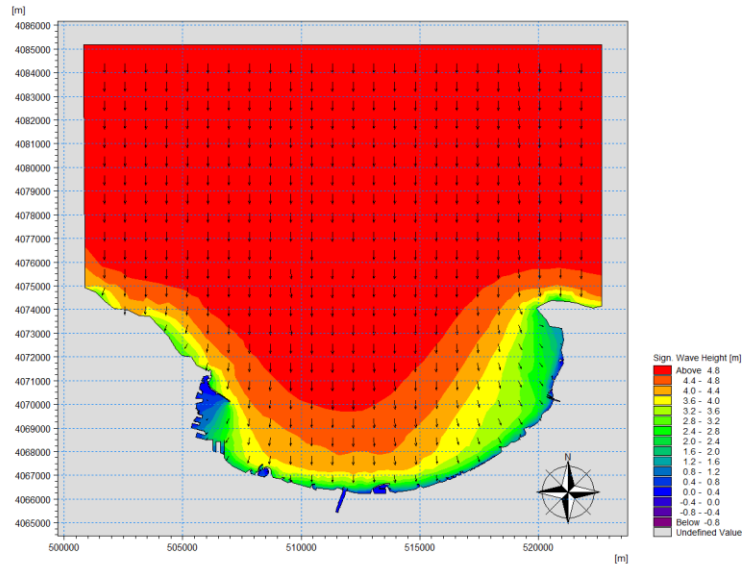


Figure 80:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction Nord (10ans)

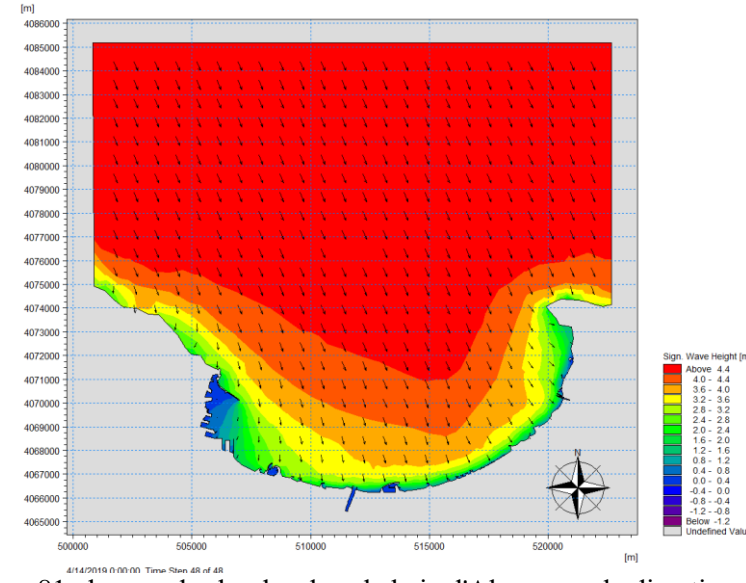


Figure 81:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (10ans)

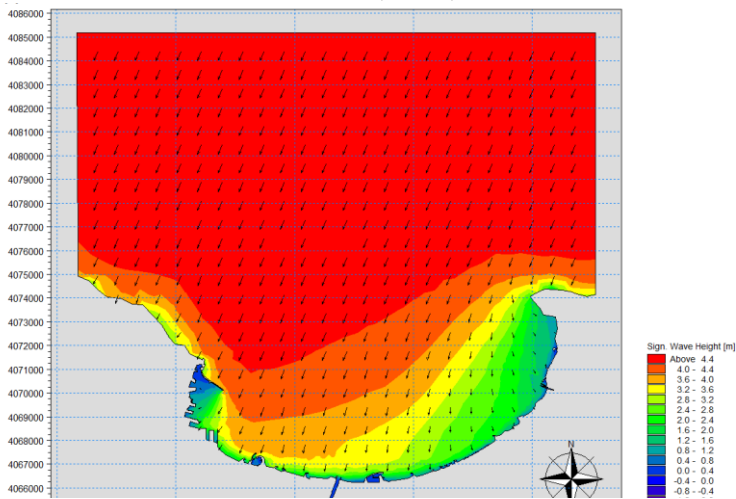


Figure 78:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (10ans)

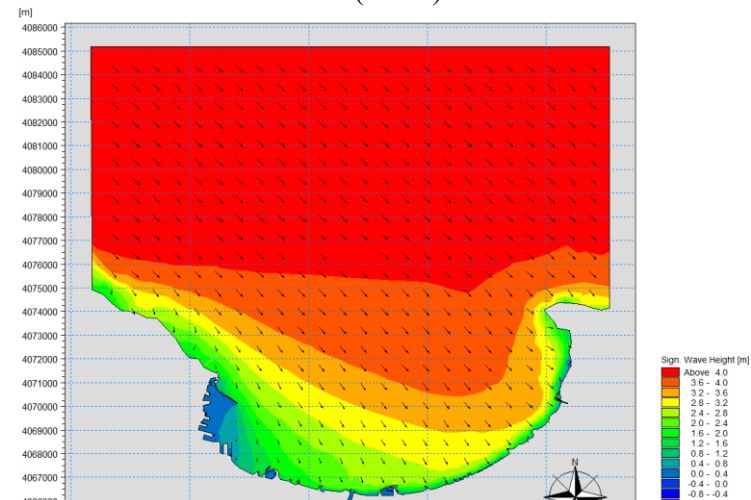


Figure 79:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (10ans)

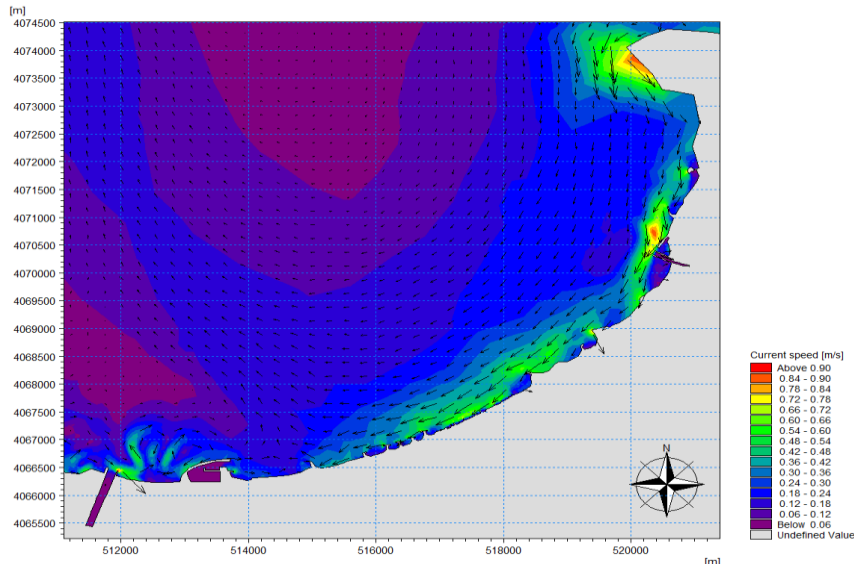


Figure 82: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz Nord (10ans)

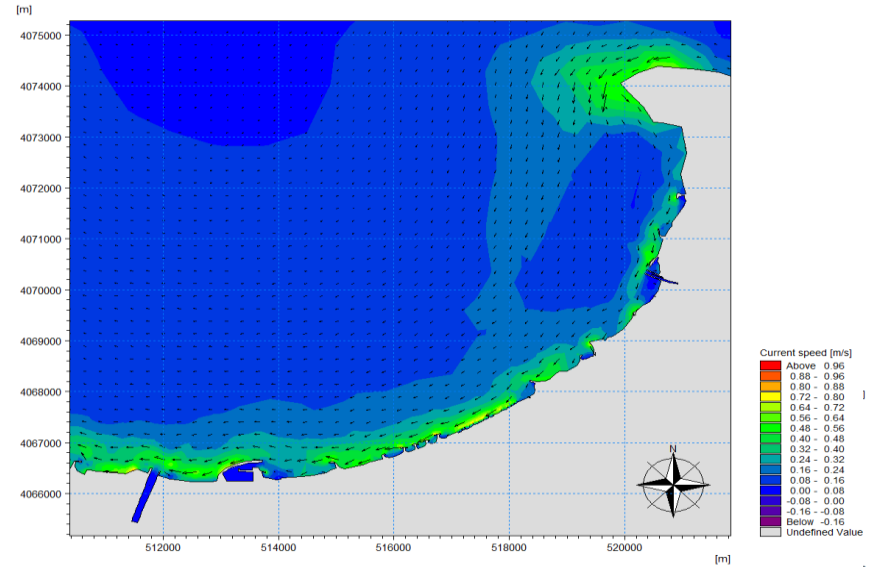


Figure 83: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (10ans)

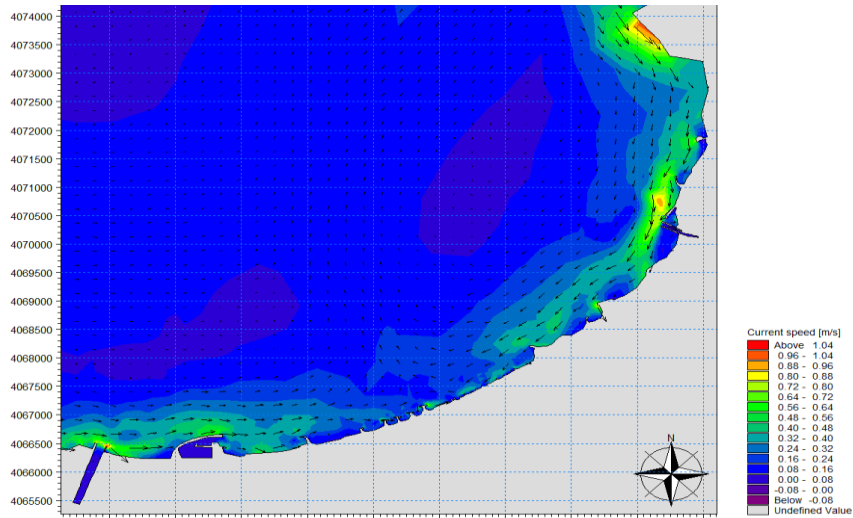


Figure 85: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (10ans)

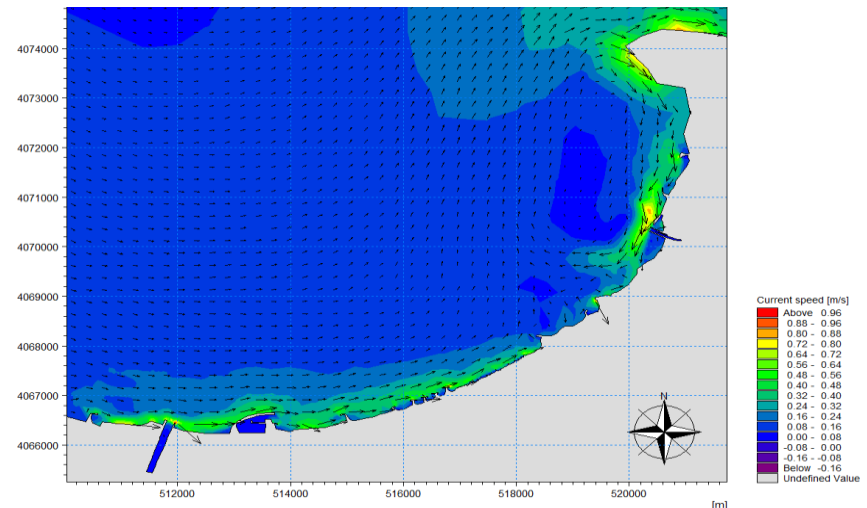


Figure 84: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (10ans)

V.5.2.2 Période de retour de 30 ans :

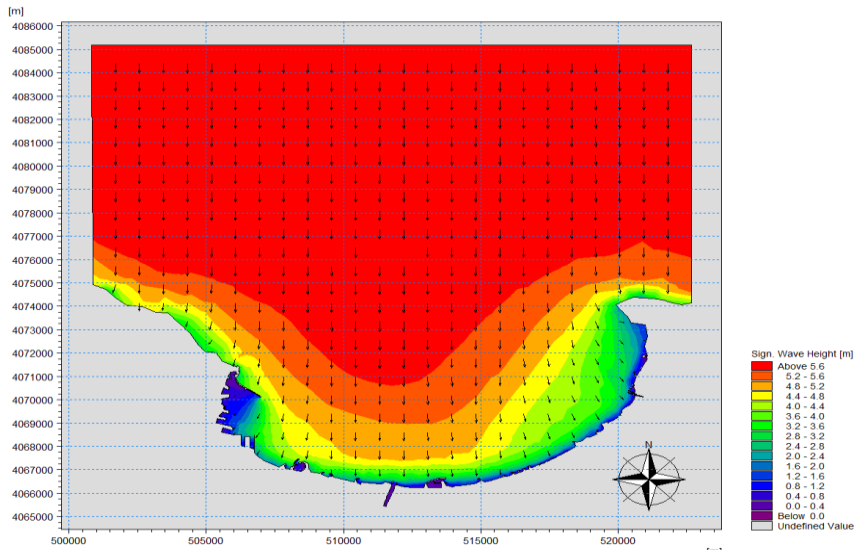


Figure 86:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction N (30ans)

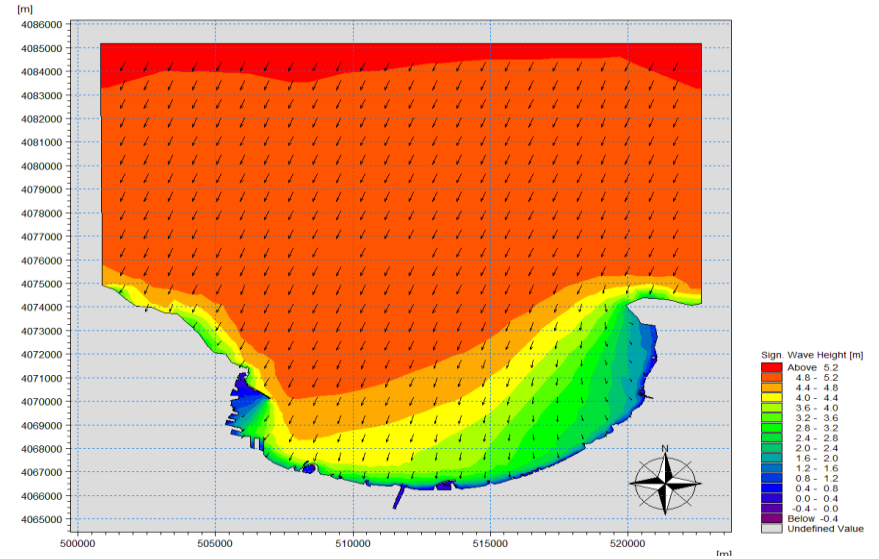


Figure 87:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (30ans)

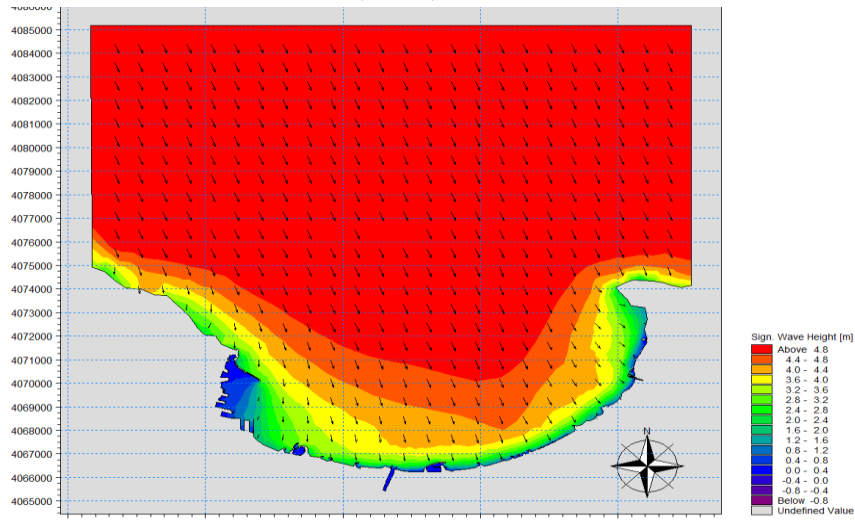


Figure 88:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (30ans)

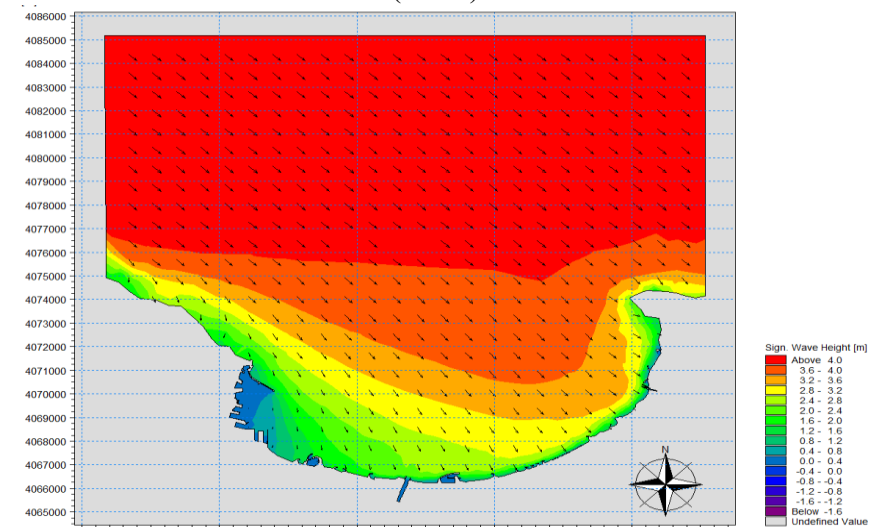


Figure 89:champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (30ans)

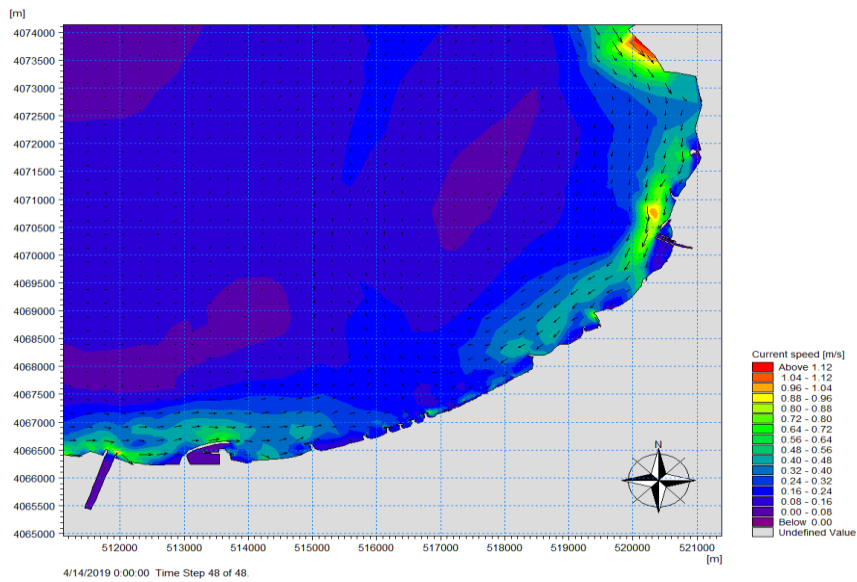


Figure 90: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz N (30ans)

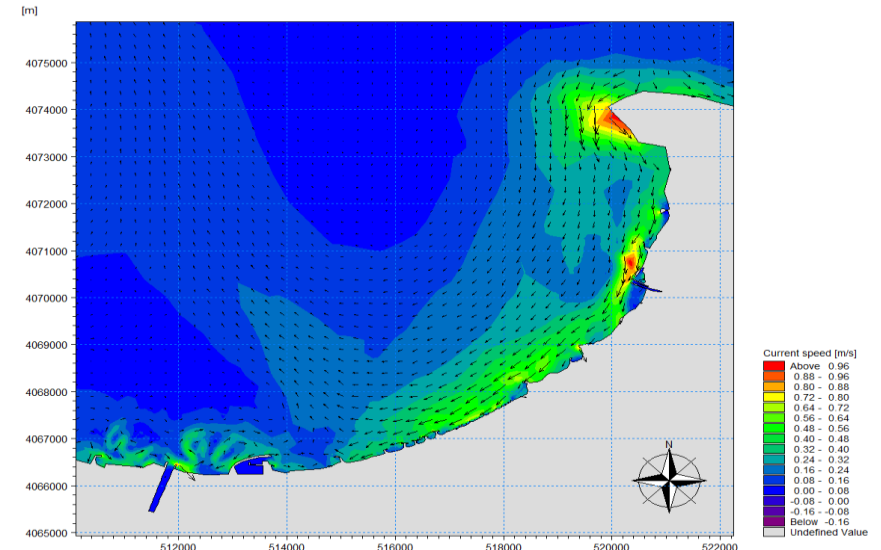


Figure 91: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (30ans)

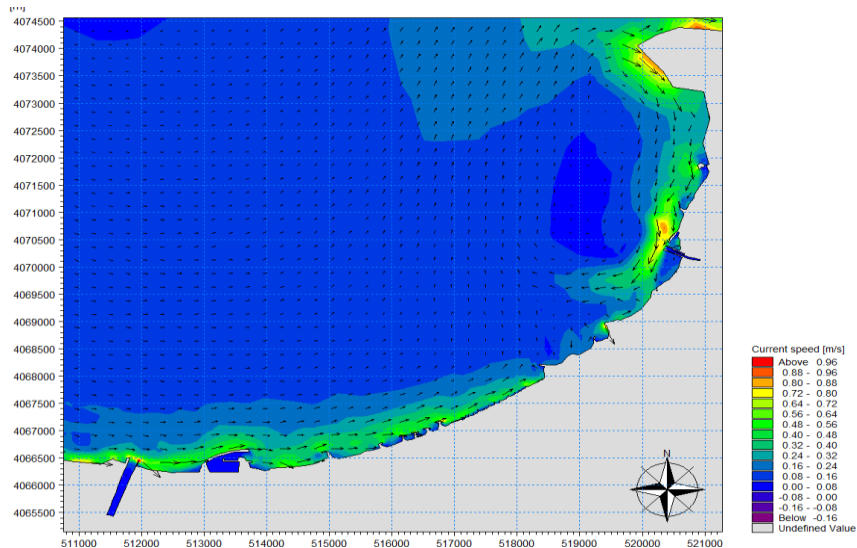


Figure 92: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (30ans)

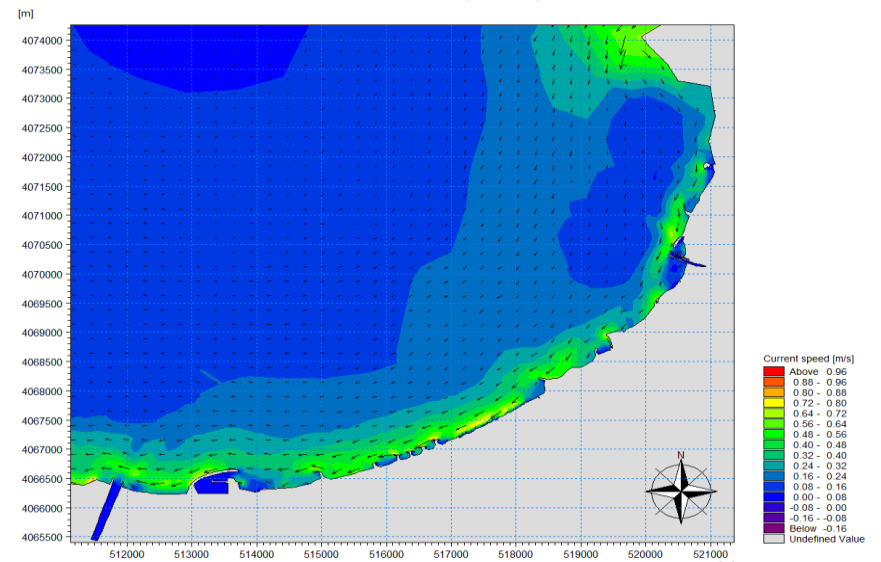


Figure 93: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (30ans)

V.5.2.3 Période de retour de 100 ans :

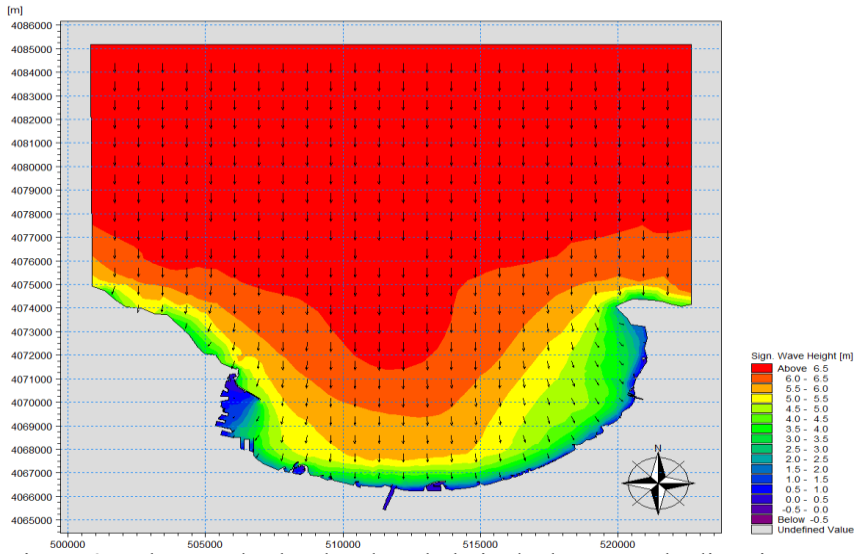


Figure 95: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction Nord (100ans)

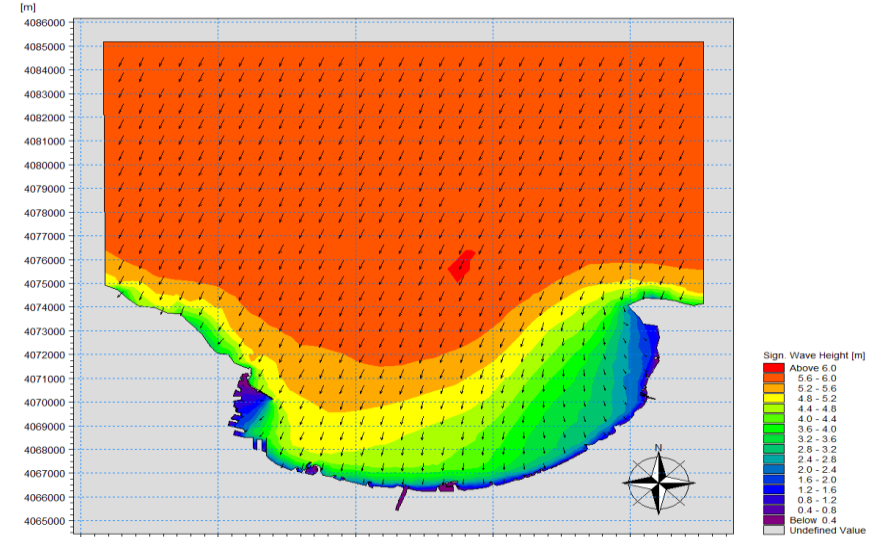


Figure 94: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNE (100ans)

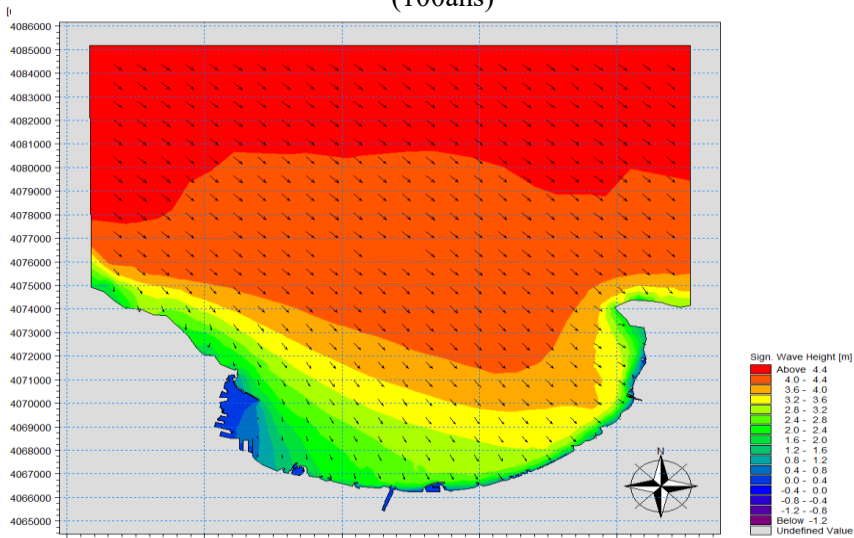


Figure 96: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NNW (100ans)

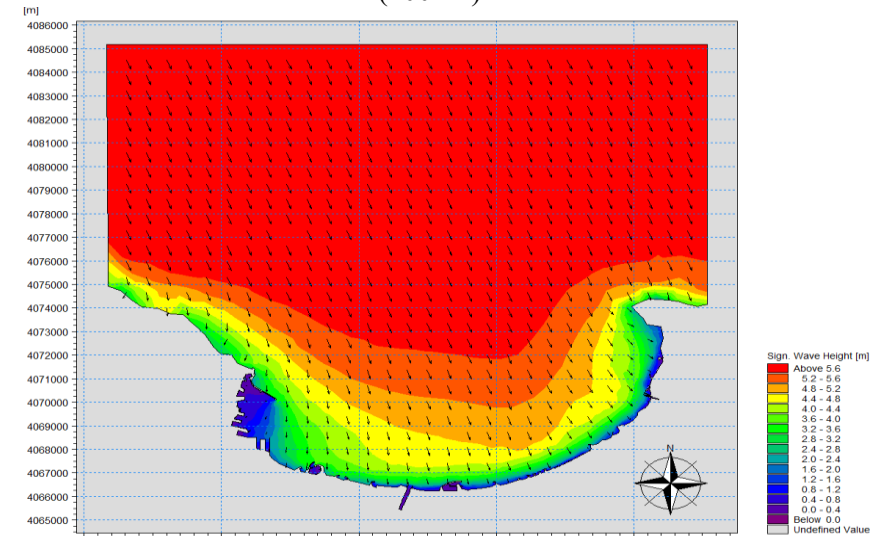


Figure 97: champs des houles dans la baie d'Alger pour la direction NW (100ans)

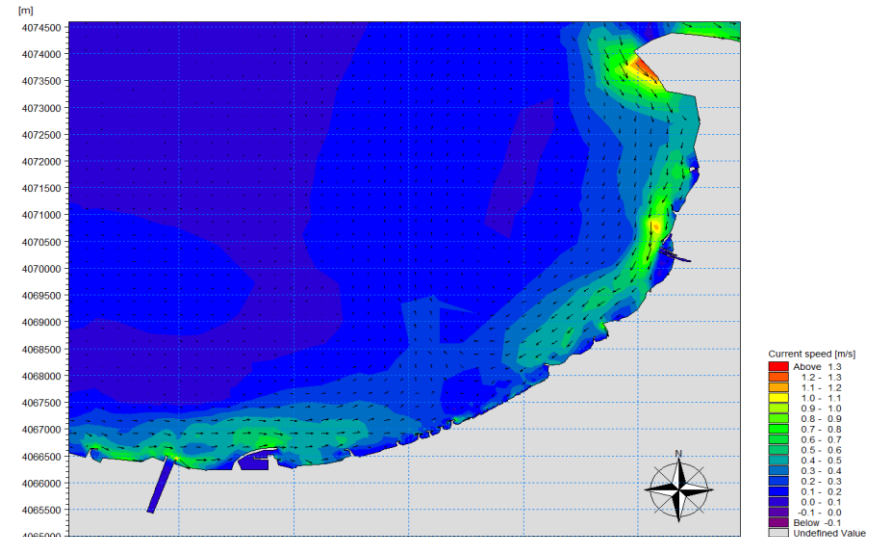
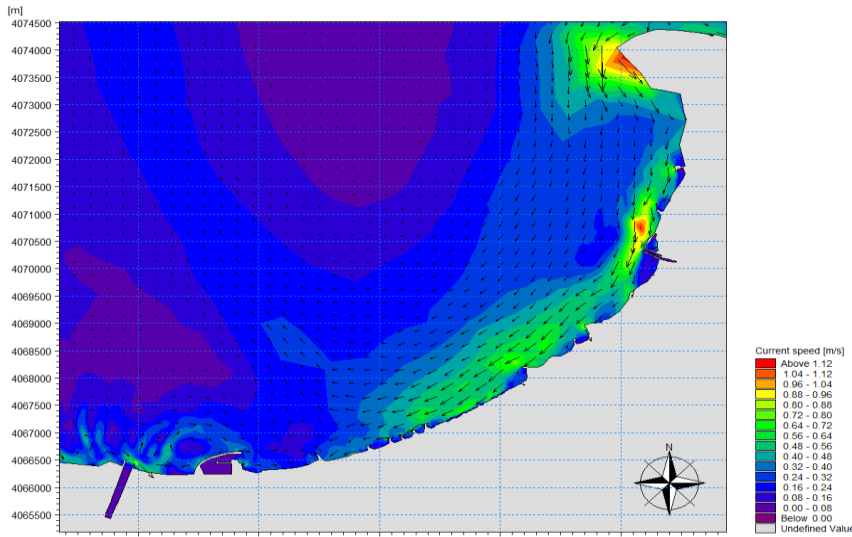


Figure 100: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNE (100ans)

Figure 101: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NNW (100ans)

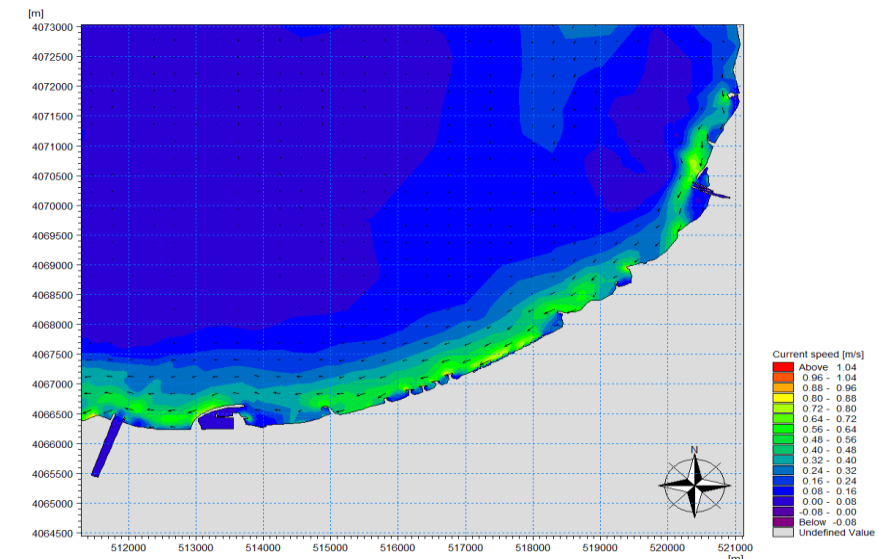
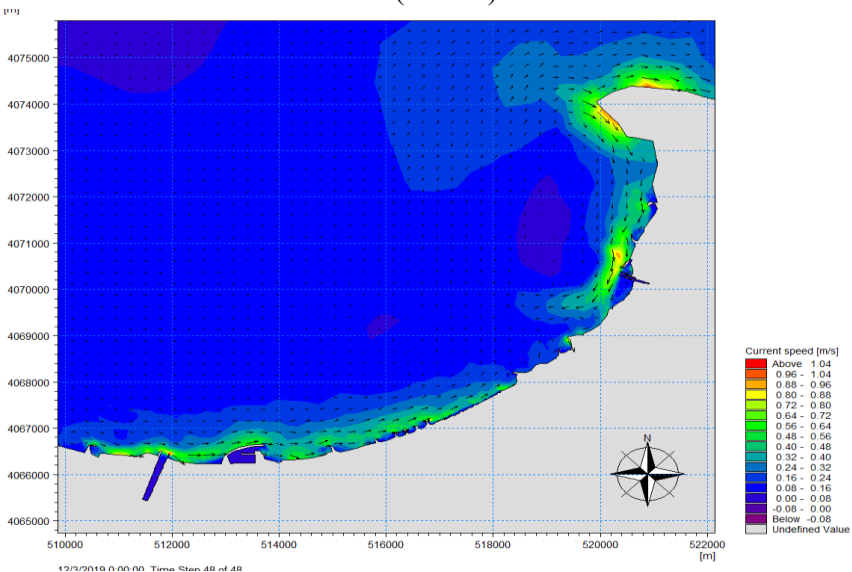


Figure 98: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz N (100ans)

Figure 99: champs des courants au voisinage d'Oued El-Harrach et El hamiz NW (100ans)

V.5.3 Résultats et discussion des simulations pour la baie de Zemmouri :

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Est (22.5°)**

D'après les figures (103,110,115) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les houles provenant du Nord-Nord-Est conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 7 mètres. Au fur et à mesure que ces houles se propagent vers la côte, elles subissent les effets du fond marin, notamment la réfraction et le shoaling. Par conséquent, leur énergie diminue progressivement, ce qui se traduit par des hauteurs significatives d'environ 5,5 mètres au niveau de la côte et des valeurs minimales d'environ 2,5 mètres dans les zones abritées.
- L'état hydrodynamique observé, avec des hauteurs de houle plus élevées dans certaines zones côtières, peut être expliqué par des effets cumulés tels que la focalisation des vagues due à la bathymétrie locale et l'exposition directe à la houle incidente (effet frontal). Ces phénomènes peuvent être corrélés avec la bathymétrie de la zone, qui influence la propagation et la déformation des vagues. De plus, la configuration de la côte semble favoriser une concentration de l'énergie des houles dans certaines zones, en raison de la réfraction et de la focalisation par la bathymétrie.

- **Propagation des houles de direction Nord (360°)**

D'après les figures (102,109,116) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les houles provenant du Nord gardent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 7,5 mètres. Lorsque ces houles se propagent vers la côte, elles commencent à ressentir les effets du fond marin (déformation par réfraction et shoaling). Par conséquent, elles perdent progressivement leur énergie, atteignant des hauteurs significatives d'environ 5 mètres au niveau de la côte et des valeurs minimales d'environ 2 mètres dans les zones abritées.
- L'état hydrodynamique observé, avec des hauteurs de houle plus élevées dans certaines zones côtières, peut être expliqué par des effets cumulés tels que la focalisation des vagues due à la bathymétrie locale et l'exposition directe à la houle incidente (effet frontal). Ces phénomènes peuvent être corrélés avec la bathymétrie de la zone, qui influence la propagation et la déformation des vagues.

- **Propagation des houles de direction Nord Nord-Ouest (337.5°)**

D'après les figures (104,108,114) on observe :

- Au large de la zone d'étude, les houles provenant du Nord-Nord-Est conservent leur énergie initiale avec des hauteurs significatives pouvant atteindre environ 7 mètres. Au fur et à mesure que ces houles se propagent vers la côte, elles subissent les effets du fond marin, notamment la réfraction. Par conséquent, leur énergie diminue progressivement, ce qui se traduit par des hauteurs significatives d'environ 5,5 mètres au niveau de la côte et des valeurs minimales d'environ 2,5 mètres dans les zones abritées.
- L'état hydrodynamique observé, avec des hauteurs de houle plus élevées dans certaines zones côtières, peut être expliqué par des effets cumulés tels que la focalisation des vagues

due à la bathymétrie locale et l'exposition directe à la houle incidente (effet frontal). Ces phénomènes peuvent être corrélés avec la bathymétrie de la zone, qui influence la propagation et la déformation des vagues. De plus, la configuration de la côte semble favoriser une concentration de l'énergie des houles dans certaines zones, en raison de la réfraction et de la focalisation par la bathymétrie.

V.5.3.1 Période de retour de 10 ans :

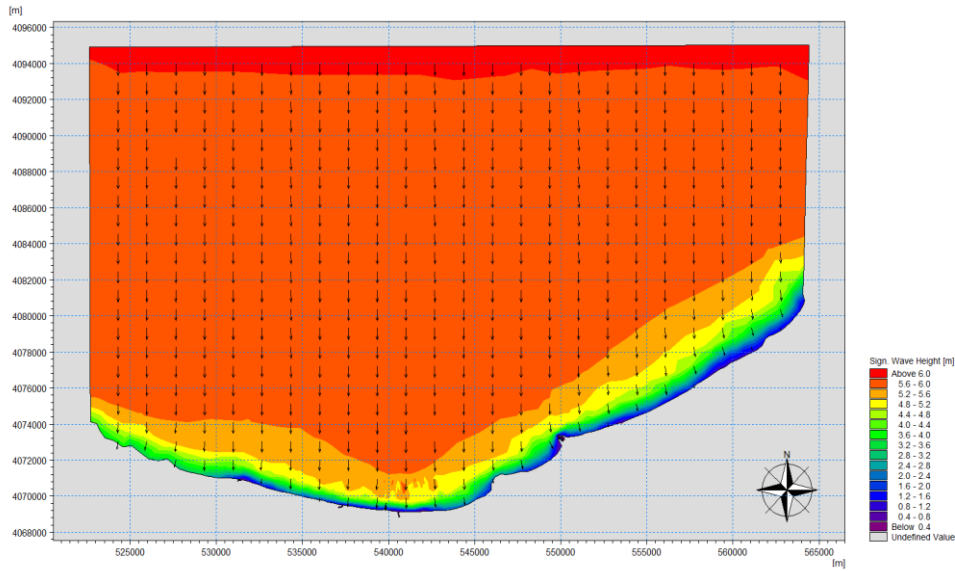


Figure 102: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (10ans)

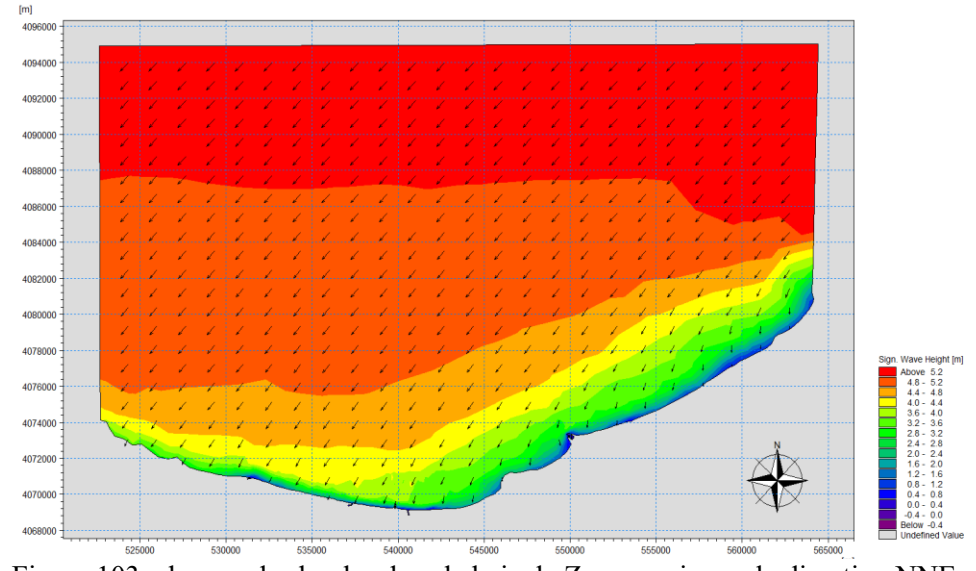


Figure 103: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (10ans)

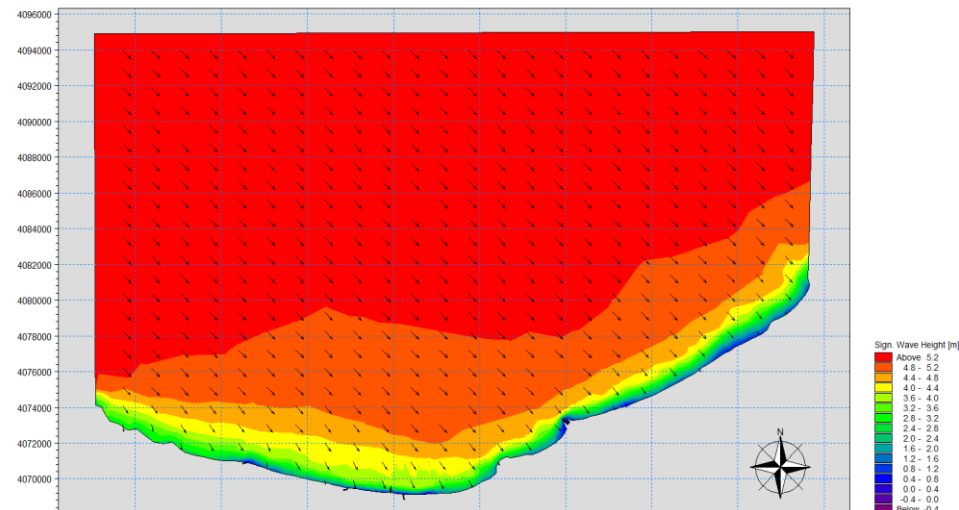


Figure 104: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (10ans)

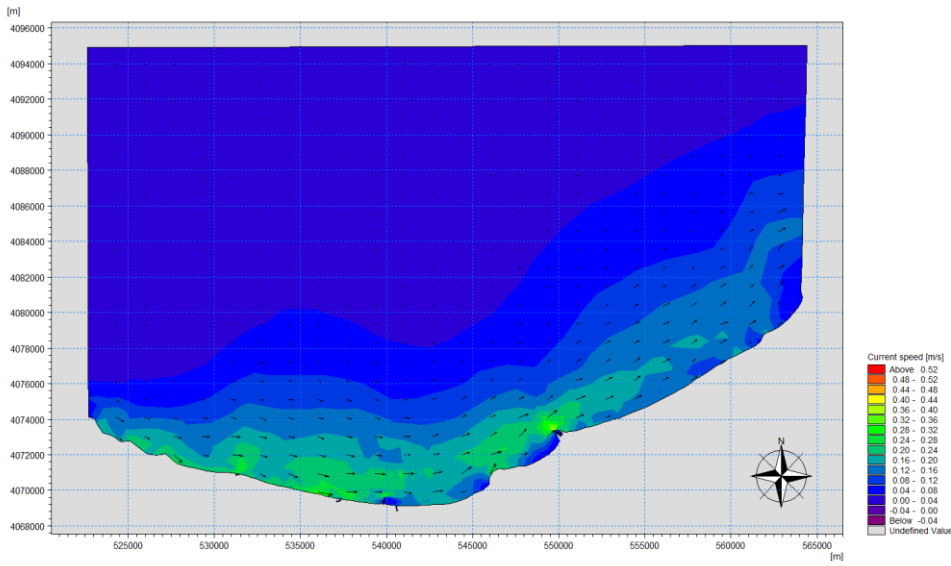


Figure 105: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (10ans)

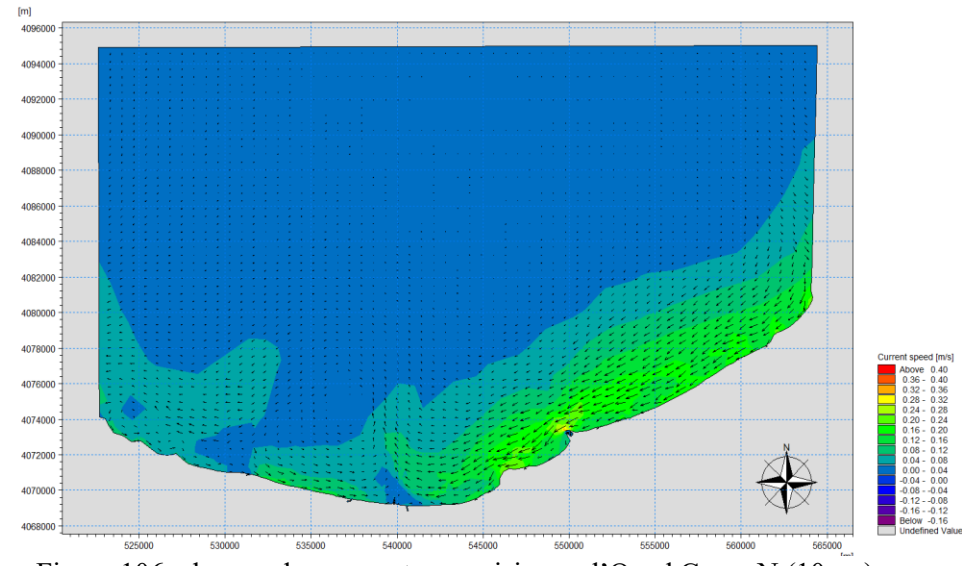


Figure 106: champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (10ans)

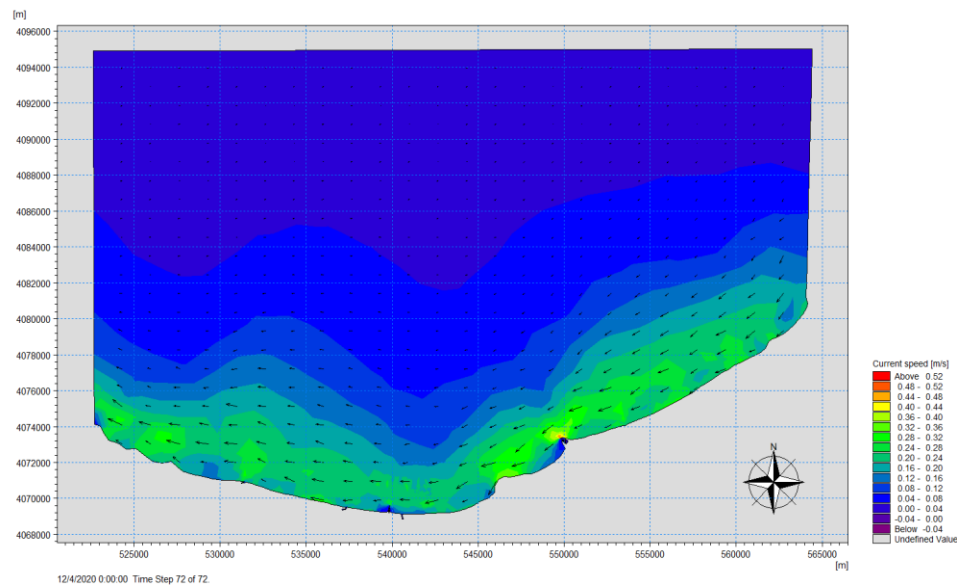


Figure 107: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (10ans)

V.5.3.2 Période de retour de 30 ans :

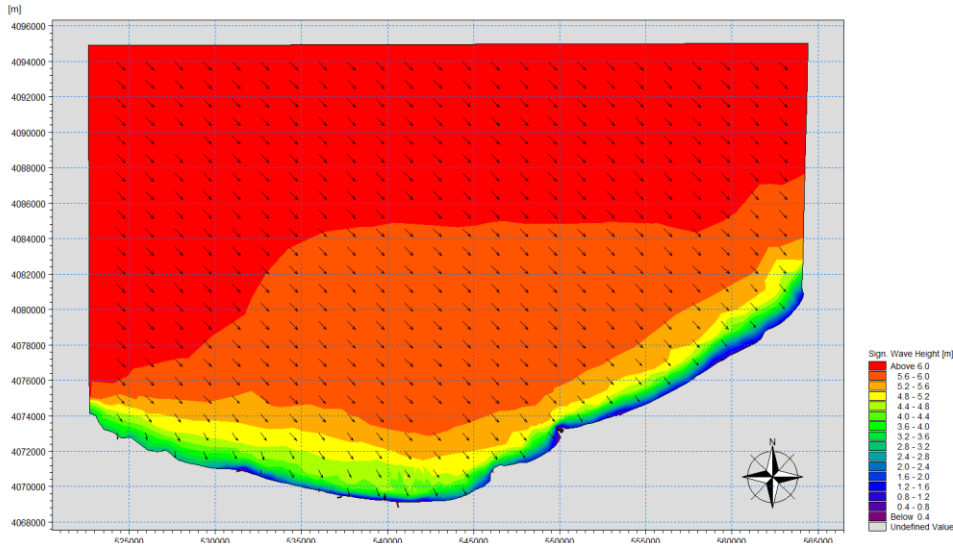


Figure 108: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (30ans)

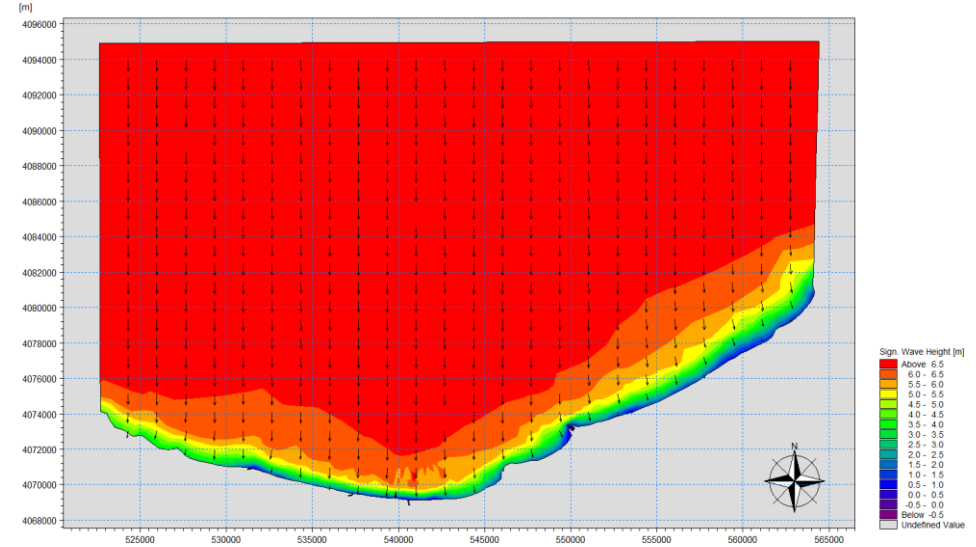


Figure 109: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (30ans)

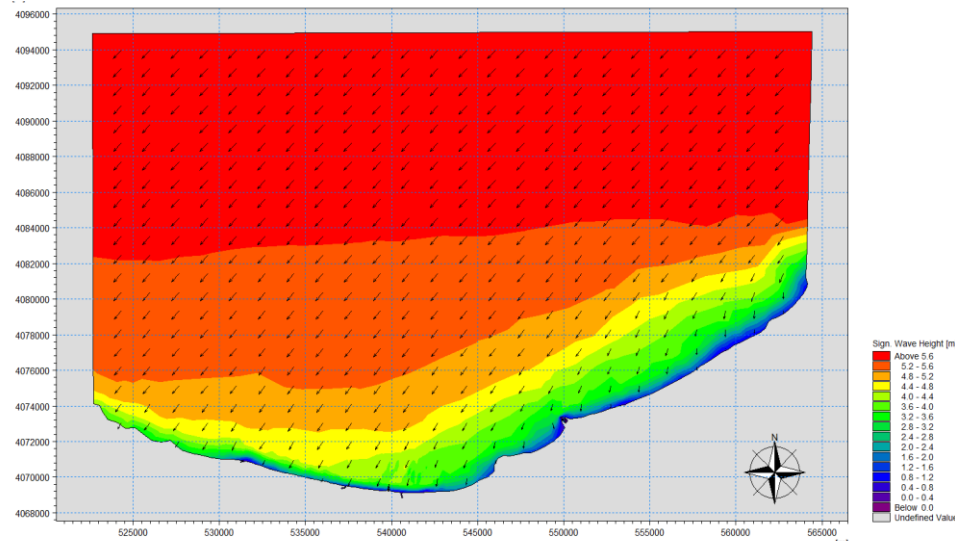


Figure 110: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (10ans)

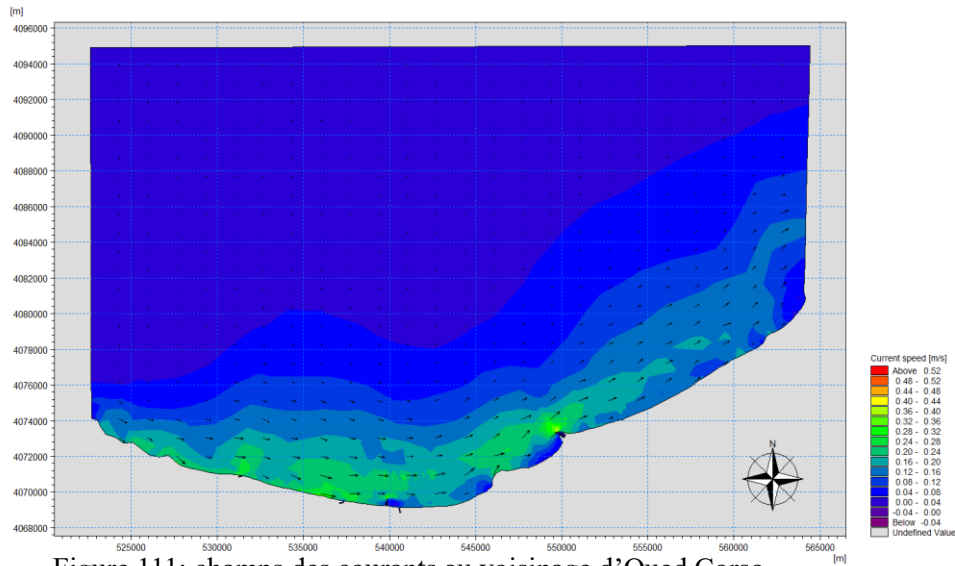
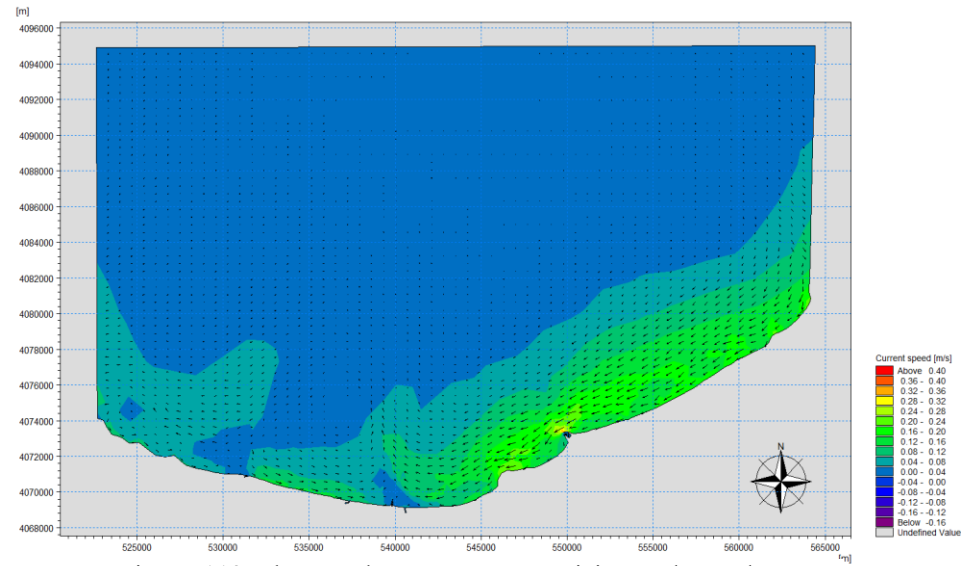


Figure 111: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (30ans)



12/4/2020 Figure 112: champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (30ans)

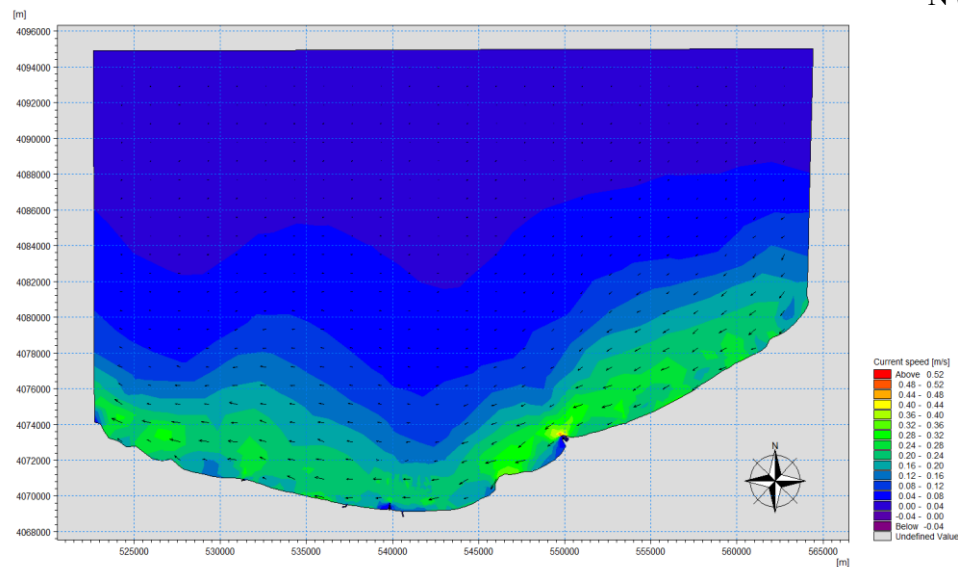


Figure 113: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (30ans)

V.5.3.3 Période de retour de 100 ans :

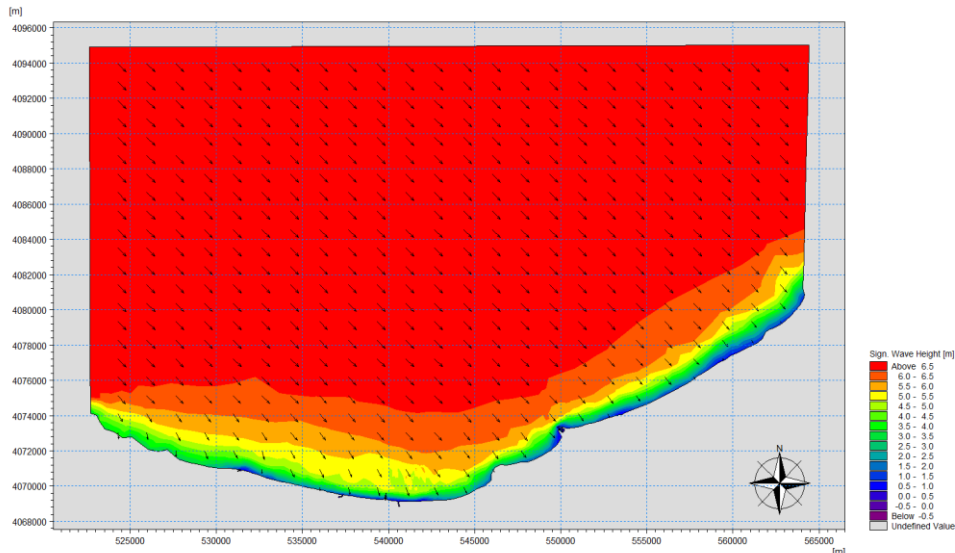


Figure 114: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNW (100ans)

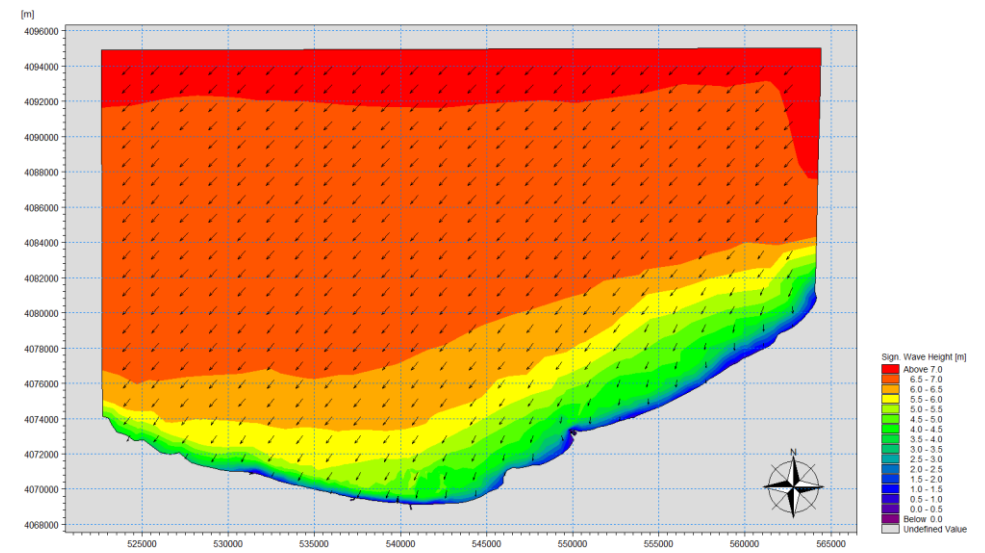


Figure 115: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction NNE (100ans)

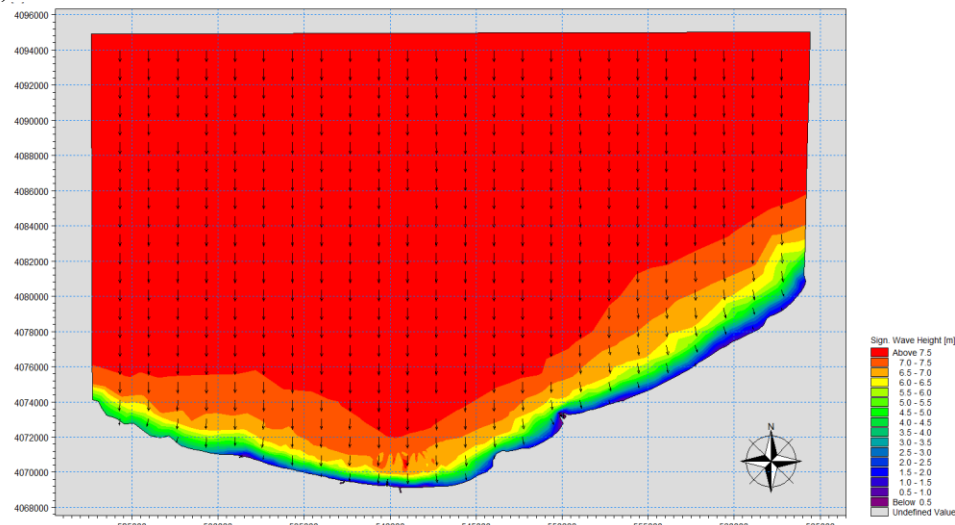


Figure 116: champs des houles dans la baie de Zemmouri pour la direction N (100ans)

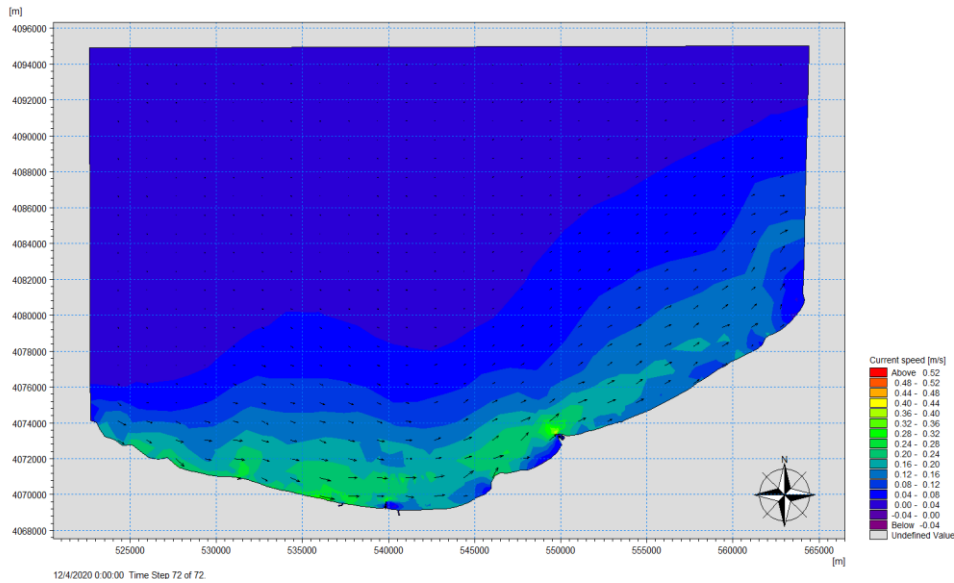


Figure 118: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNW (100ans)

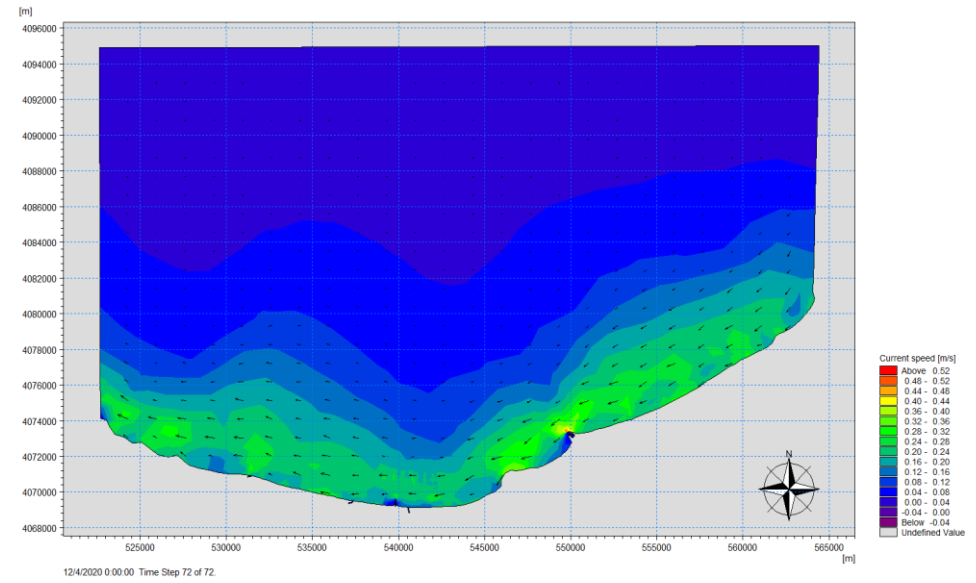


Figure 117: champs des courants au voisinage d'Oued Corso NNE (100ans)

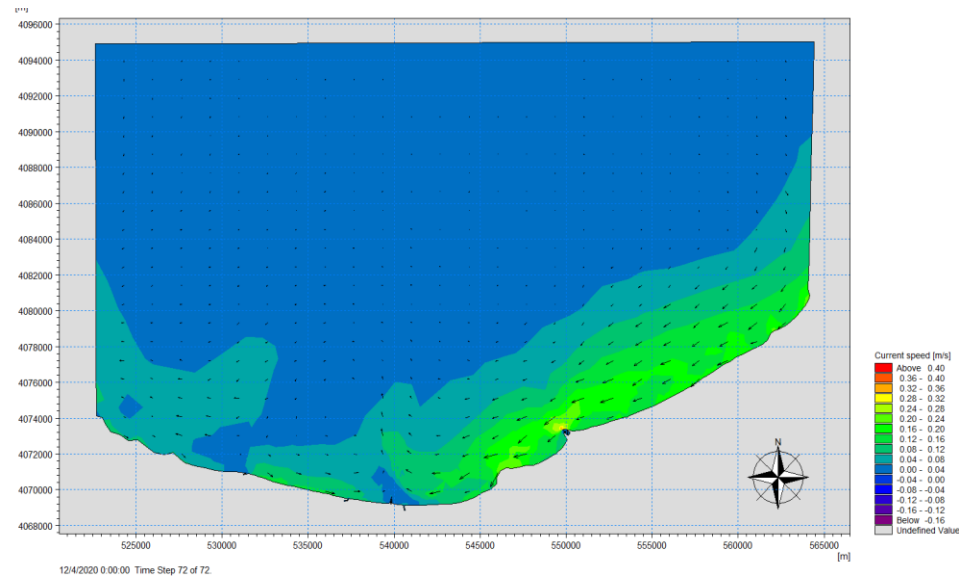


Figure 119 : champs des courants au voisinage d'Oued Corso N (100ans)

Conclusion :

La modélisation des champs de courants par les modules de calcul de Mike 21 nous a permis d'élucider que l'aspect hydrodynamique doit être étudié de manière plus approfondie afin de confirmer la théorie de transformation de la houle pouvant engendrer une dérive littorale. Cela doit être fait en utilisant des méthodes de calibrage des modèles numériques et des mesures du courant in situ.

La modélisation numérique nous a permis de définir les directions pénalisantes de la houle qui sont le Nord, Nord-Nord-Ouest, le Nord-Ouest (pour la baie d'Alger) et le Nord-Nord-Est.

Ces résultats peuvent nous aider à élaborer une interprétation finale qui reflète fidèlement les phénomènes observés et à choisir une stratégie d'intervention appropriée pour remédier à ce déséquilibre naturel.

Chapitre VI :
La Submersion marine

VI.1 Introduction :

Aujourd'hui, il est largement admis que les catastrophes côtières sont assignables au changement climatique planétaire. Ces catastrophes naturelles auront un impact négatif sur la zone côtière dans la mesure où elle abrite des établissements humains et des infrastructures. Longue d'un peu plus de 1600 km, la côte algérienne constitue un atout indéniable pour le développement économique et social de tout le territoire national algérien, en particulier le développement du tourisme. Cette côte présente également certains risques pour son exploitation et son développement, y compris les problèmes liés à l'érosion et les inondations côtières. Ces impacts peuvent augmenter avec l'élévation attendue du niveau marin (**Jimenez et Sánchez-Arcilla, 1997**). L'Algérie se trouve confrontée à l'un des défis cruciaux pour les années à venir : l'élévation actuelle et future du niveau de la mer Méditerranée. Du fait de la topographie peu élevée de la région et d'une occupation humaine parfois excessive et désorganisée, cette zone présente une vulnérabilité particulière à l'élévation du niveau moyen de la mer Méditerranée. Cette situation entraîne une augmentation des phénomènes de submersion marine et de l'érosion côtière.

VI.2 La submersion marine :

On définit la submersion marine comme suit : « La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères », généralement né de la conjonction de phénomènes extrêmes (dépression atmosphérique, vent, houle, pluie) et de forts coefficients de marée provoquant une surcote importante du plan d'eau.

Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux (**BENALLOU, I., 2020**).

Elles peuvent se produire lorsqu'il y a :

- Rupture d'un cordon sédimentaire (plage, dunes, cordon de galets) suite à une forte érosion
- Débordement ou rupture de digues et d'ouvrages de protection ;
- Franchissements exceptionnels de ces ouvrages par des « paquets de mer ».

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marines défavorables (**Elhouari, Hachichi ,2023**). Elles peuvent se produire de plusieurs manières :

- Par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à l'altitude du terrain naturel ou d'un ouvrage de protection.
- Par franchissement de paquets de mer, lorsque les vagues passent au-dessus des protections côtières.

- Par rupture d'un ouvrage de protection ou du cordon dunaire.

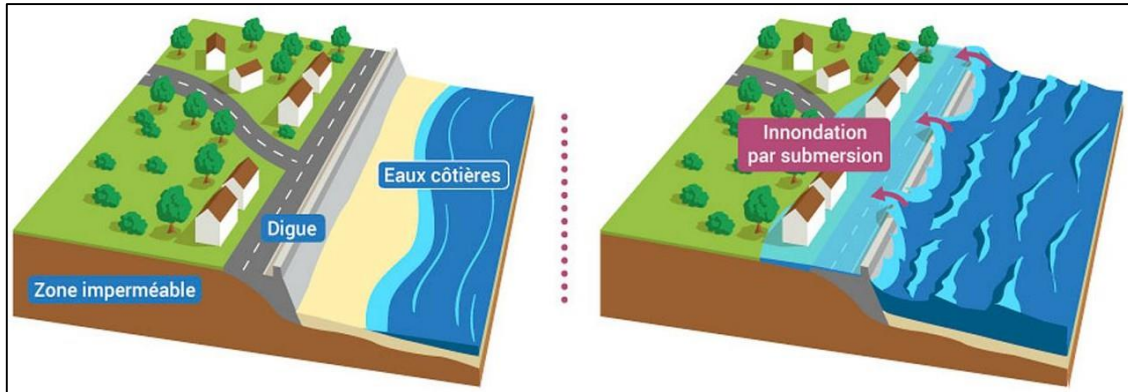


Figure 120: Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage) (d'après OIEAU, 2018)

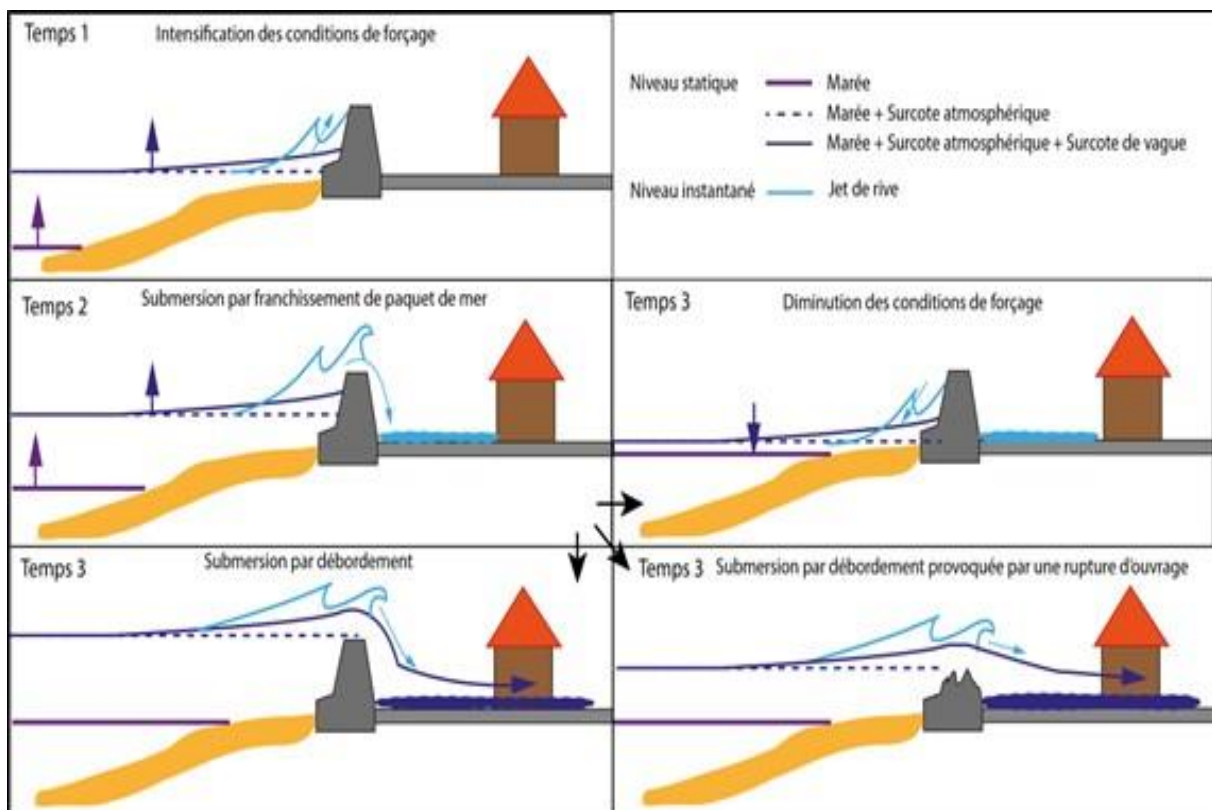


Figure 121: Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage). (BRGM et Cachan, 2012).

Les processus physiques responsables de la submersion marine sont liés principalement à l'action de la pression atmosphérique et du vent sur le plan d'eau (BENALLOU, I., 2020).

- La surcote atmosphérique : le passage d'un important système dépressionnaire est caractérisé par des variations du niveau marin selon deux mécanismes :

- La chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau. C'est le phénomène de baromètre inverse. Une diminution de 1hPa équivaut à une élévation de 1cm du plan d'eau.
- Le vent exerce une contrainte à la surface de l'eau en générant une modification du niveau du plan d'eau statique (surcote ou décote) et des courants.
- La surcote associée à la houle (setup) : à l'approche de la cote, les vagues déferlent elles transfèrent leur énergie sur la colonne d'eau provoquant une élévation moyenne du niveau d'eau (setup).
- La surcote totale : la part relative de la surcote atmosphérique et de la surcote associée à la houle dans la surcote totale est fortement dépendante de la bathymétrie du domaine considéré.
- Niveau marin maximal statique et instantané : Le niveau maximal atteint par la mer est défini en tenant compte du « jet-de-rive » (swash). On appelle run-up, l'altitude maximale atteinte par le jet-de-rive sur la côte.

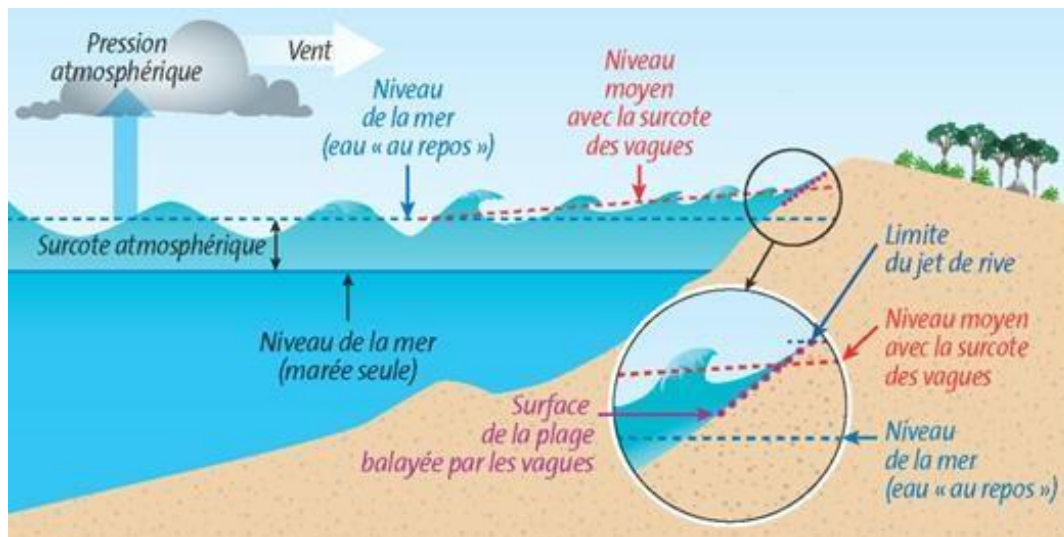


Figure 122:Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau. (BRGM, 2012).

VI.3 Méthodologie de simulation de submersion marine :

Dans le cadre de cette étude prospective, la caractérisation et la cartographie des terres qui sont à risque de submersion dans la cote 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 10.4 », ainsi pour prévenir les submersions d'ici quatre échéances temporelles considérées à savoir 2021, 2022, 2040 et 2100.

La méthode retenue pour l'estimation de l'aléa submersion est celle utilisée par plusieurs auteurs (FLECHER et al., 1995 ; BELLOMO et al., 1999 ; BENAVENTE et al., 2006 ; SUANEZ et al., 2007 ; KUMAR et al., 2008).

Le calcul des niveaux d'eaux extrêmes à la côte d'occurrence centennale, veingtenale, biennale et annuelle 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 (Figure3).

En deuxième lieu, ce niveau d'eau d'inondation est superposé à un modèle numérique de terrain (MNT), dont la plus petite maille est de 2 m de côté et une résolution altimétrique de 0.5 m, de la zone d'étude en vue de cartographier la zone submersible.

VI.3.1 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).

Équation 25

$$D_{ft} = MHW + S_t + W_f + P_f$$

où:

MHW : Niveau moyen des hautes eaux.

S_t : Elévation relative du niveau de la mer.

W_f: Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations .

P_f: Elévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.

Les houles au large :

La définition de la distribution de probabilité d'événements de grande ampleur et extrêmes est utile dans le calcul des niveaux d'inondation. La détermination du climat d'agitation à long terme a pour but d'associer une hauteur de la houle à une période de retour donnée (habituellement 25 à 100 ans). (CIRIA, et al. 2009).

D'après les tableaux (IV-1,2et 3), les fortes agitations marines proviennent des secteurs N, NNW, NNE et NW (Baie d'Alger) pour les périodes de retour 10ans, 30ans et 100 ans.

Les houles extrêmes à la côte :

D'après les résultats de l'étude des houles extrêmes au large, on a pris la moyenne des amplitudes des houles provenant de la direction NNW et NNE pour la baie de Bou-Ismaïl, N et NNW pour la baie d'Alger, NNE et N pour la baie de Zemmouri comme étant les plus défavorables pour le site d'étude. Les résultats de simulation de ces houles sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 15:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie de Boussmail)

Période de retour	NNW	NNE	N
Houle de 10ans	3	2.8	2.6
Houle de 30ans	4	3.5	3.2
Houle de 100ans	5	4	3.7

Tableau 16:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie d'Alger)

Période de retour	NW	NNW	NNE	N
Houle de 10ans	2	2.4	2	2.5
Houle de 30ans	2.3	2.9	2.6	3.2
Houle de 100ans	2.5	3.2	3	4.5

Tableau 17:les résultats des houles extrêmes à la cote (Baie de Zemmouri)

Période de retour	NNW	NNE	N
Houle de 10ans	3	3.6	3.4
Houle de 30ans	4	4.5	4
Houle de 100ans	5	5.5	5.5

VI.3.2 Scénarios d'inondations :

Nous avons réalisé plusieurs traitements sur un modèle numérique de terrain (MNT) pour produire des cartes détaillant les risques de submersion marine à divers niveaux d'inondation extrême.

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 18:Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie de Boussmail

Période de retour (R)	MHW	St	Wf (NNW)	Wf (NNE)	Pf	Dft(NN W)	Dft(NN E)
10 ans	34 cm	2.5 mm	3 m	2.8 m	0.63 m	4 m	3.8m
30 ans	34 cm	2.5 mm	4 m	3.5 m	0.63 m	5 m	4.5m
100 ans	34 cm	2.5 mm	5 m	4 m	0.63 m	6 m	5m

Tableau 19:Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie d'Alger

Période de retour (R)	MHW	St	Wf (N)	Wf (NNW)	Pf	Dft(N)	Dft(N NW)
10 ans	34 cm	2.5 mm	2.5 m	2.4 m	0.63 m	3.5 m	3.4m
30 ans	34 cm	2.5 mm	3.2 m	2.9 m	0.63 m	4.2 m	3.9m
100 ans	34 cm	2.5 mm	4.5 m	3.2 m	0.63 m	5.5 m	4.2m

Tableau 20 : Niveaux d'inondations extrêmes cas de la baie de Zemmouri

Période de retour (R)	MHW	St	Wf (NNE)	Wf (N)	Pf	Dft(NNE)	Dft(N)
10 ans	34 cm	2.5 mm	3.6 m	3.4 m	0.63 m	4.6 m	4.4m
30 ans	34 cm	2.5 mm	4.5 m	4 m	0.63 m	5.5 m	5m
100 ans	34 cm	2.5 mm	5.5 m	5.5 m	0.63 m	6.5 m	6.5m

VI.4 Les zones à risque d'inondation :

Quel que soit son taux, l'élévation du niveau de la mer ferait monter le niveau d'attaque des vagues, car un niveau marin plus haut fournirait une plus haute base pour les mouvements puissants des tempêtes (**WASA Group. 1998 in NIAZI, 2007**). Cela provoquerait l'inondation des régions côtières basses et des altérations de la forme des côtes. Les impacts possibles de ce processus varient en fonction de la vitesse à laquelle le niveau de la mer monte, de la fréquence et de la force des tempêtes, et de la manière dont la côte réagit à l'inondation, ce qui est influencé par sa morphologie et sa topographie.

La zone côtière des trois baies se caractérise par un développement urbain continu qui manque de planification. Cette urbanisation dense expose la région à des risques météorologiques accrus, aggravés par la topographie basse du terrain. Pour évaluer les zones susceptibles d'être inondées en raison de l'élévation du niveau de la mer, les niveaux d'eau extrêmes ont été comparés au modèle numérique du terrain. De plus, afin d'identifier les facteurs de risque pour les structures dans cette zone, ces niveaux d'inondation ont été superposés à une carte d'utilisation des sols.

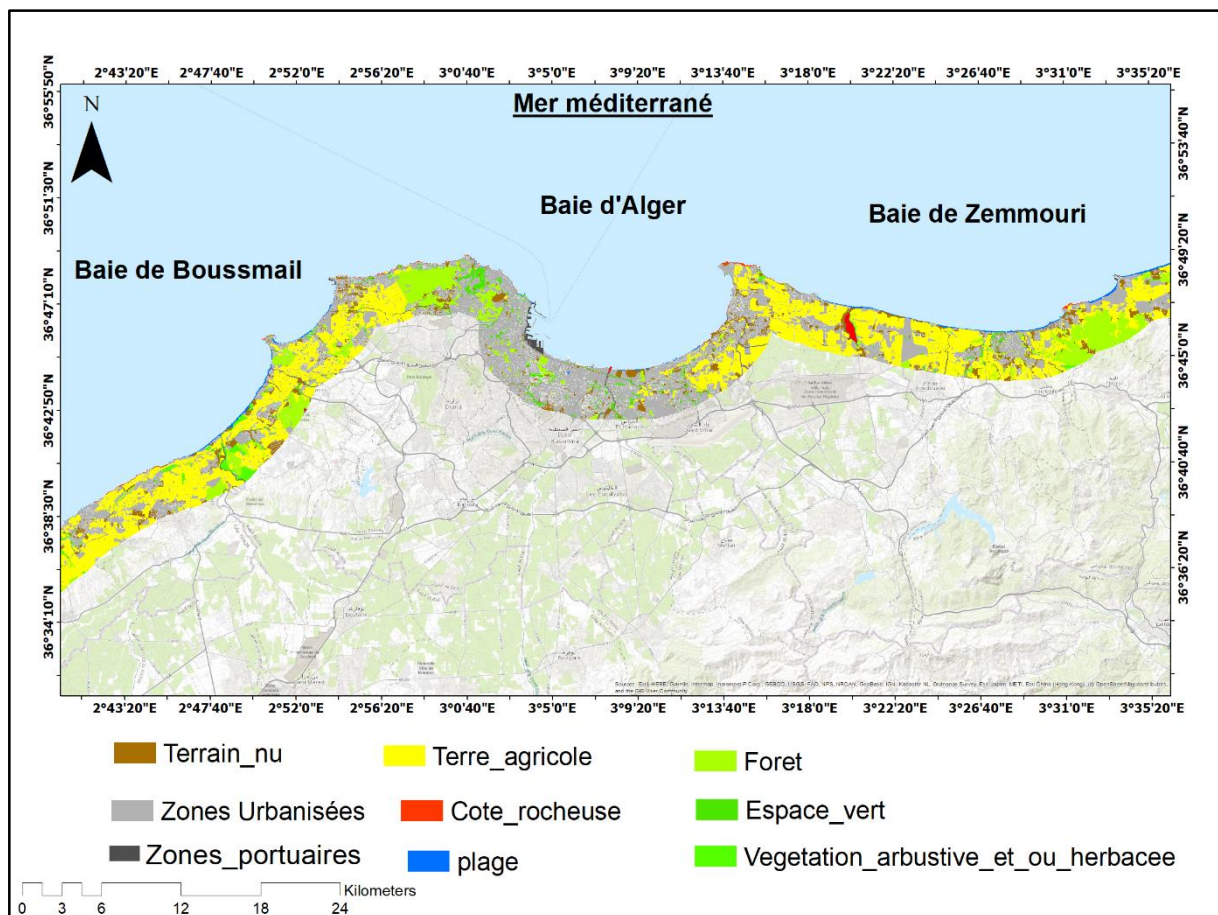


Figure 123: Carte d'occupation du sol de la zone d'étude

VI.5 Interprétation des résultats :

Dans cette partie en prendre on considération les directions plus défavorables pour chaque baie

VI.5.1 La baie de Zemmouri :

➤ Submersion à 4.6 m :

D'après les cartes on remarque non seulement que la partie Ouest de la baie (au niveau d'Oued Réghaia) est la plus affectée par le niveau d'inondation de 4.6 m mais aussi au niveau des embouchures des Oueds (Oued Boudouaou, Oued Corso, Oued Boumerdes et Oued Isser).

Environ 1321 hectares peuvent être occupés par les eaux marines qui s'avancent vers l'arrière-pays. Cette avancée s'explique par la topographie peu élevée de la zone et la présence des oueds le long du littoral régional.

➤ Submersion à 5.5 m :

Pour une élévation de 5.5 mètres, il est observé que l'étendue des eaux marines recouvrant le littoral augmente significativement tant en superficie qu'en distance par rapport à la ligne côtière, par comparaison avec une submersion de 4.6 mètres. Cette avancée des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par les cours d'eau, en particulier l'Oued Réghaia, l'Oued Boudouaou, l'Oued Boumerdes et l'Oued Isser à l'Est, où ces dernières pénètrent jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres. La superficie occupée par les eaux marines s'élève à 1762 hectares, ce phénomène étant le résultat de la configuration géographique de la baie, caractérisée par une faible altitude continentale, ainsi que par les conditions climatiques de houle en mer et l'existence des réseaux hydrographiques.

➤ Submersion à 6.5 m :

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 6.5 mètres, on observe une intrusion spectaculaire des eaux marines dans les zones urbaines situées à plusieurs dizaines de kilomètres de la côte, notamment dans les zones d'embouchures telles qu'Oued Isser, Réghaia, Corso, Boudouaou El Bahri, et autres. Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terre, totalisant environ 1891 hectares.

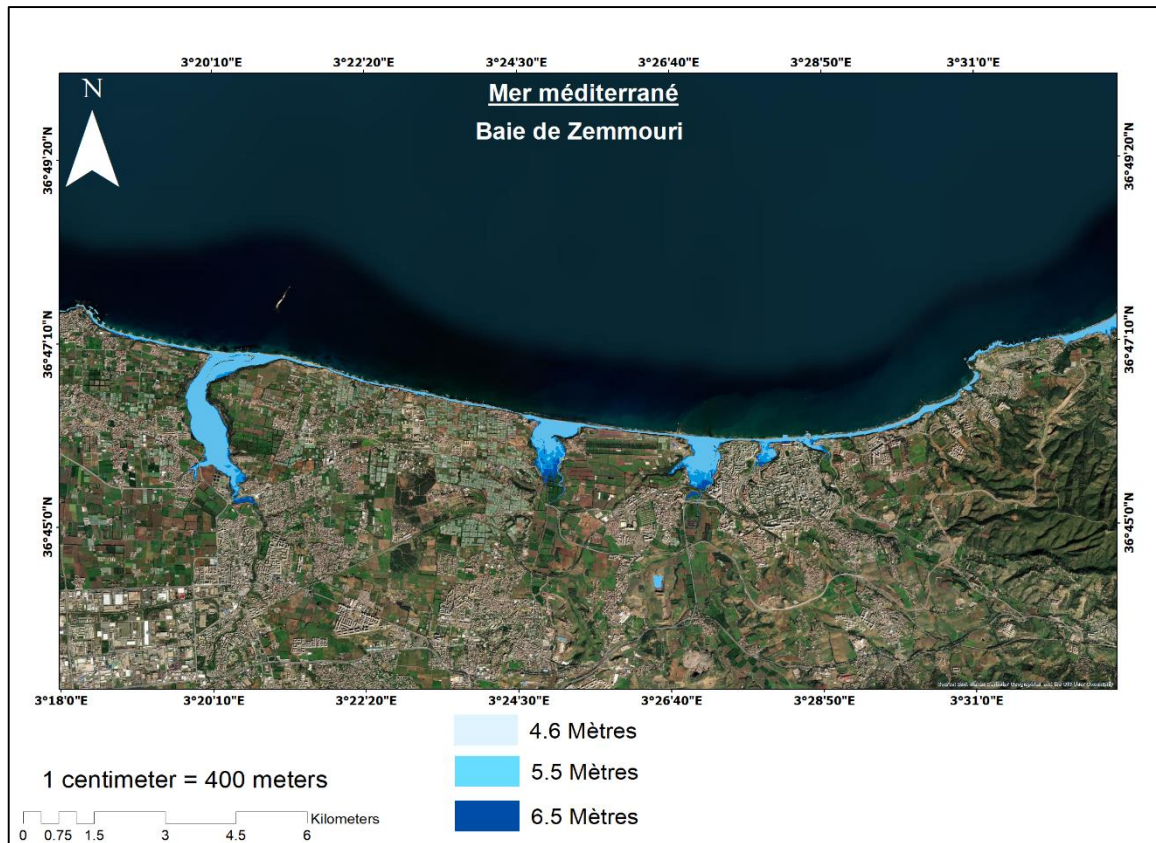


Figure 125: Carte de la submersion marine (NNE)

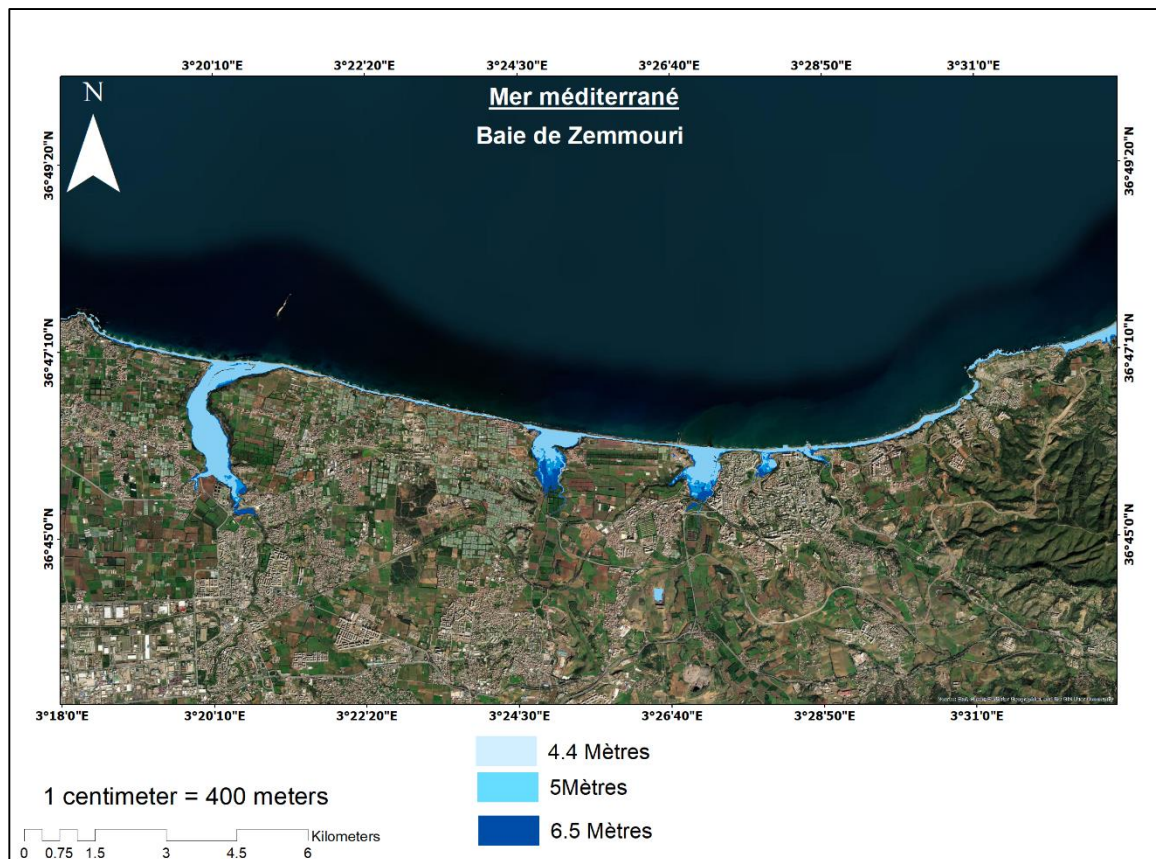


Figure 124: Carte de la submersion marine (N)

VI.5.2 La baie d'Alger :**➤ Submersion à 3.5 m :**

D'après les cartes on remarque non seulement que la partie centrale de la baie (au niveau d'Oued El Harrach et sablat) est la plus affectée par le niveau d'inondation de 3.5 m.

Environ 1368 hectares peuvent être occupés par les eaux marines qui s'avancent vers l'arrière-pays. Cette avancée s'explique par la topographie peu élevée de la zone et la présence des oueds le long du littoral régional.

➤ Submersion à 4.2 m :

Pour une élévation de 4.2 mètres, il est observé que l'étendue des eaux marines recouvrant le littoral augmente significativement tant en superficie qu'en distance par rapport à la ligne côtière, par comparaison avec une submersion de 3.5 mètres. Cette avancée des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par les cours d'eau, en particulier l'Oued El-Harrach, et l'Oued El Hamiz à l'Est, où ces dernières pénètrent jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres, et aussi touchée le port d'Alger.

La superficie occupée par les eaux marines s'élève à 1614 hectares, ce phénomène étant le résultat de la configuration géographique de la baie, caractérisée par une faible altitude continentale, ainsi que par les conditions climatiques de houle en mer et l'existence des réseaux hydrographiques.

➤ Submersion à 5.5 m :

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 5.5 mètres, on observe une intrusion spectaculaire des eaux marines dans les zones urbaines situées à plusieurs dizaines de kilomètres de la côte, notamment dans les zones d'embouchures telles qu'Oued El-Harrach, et El Hamiz, et touchée le port d'Alger et Sablat. Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terre, totalisant environ 1869 hectares.

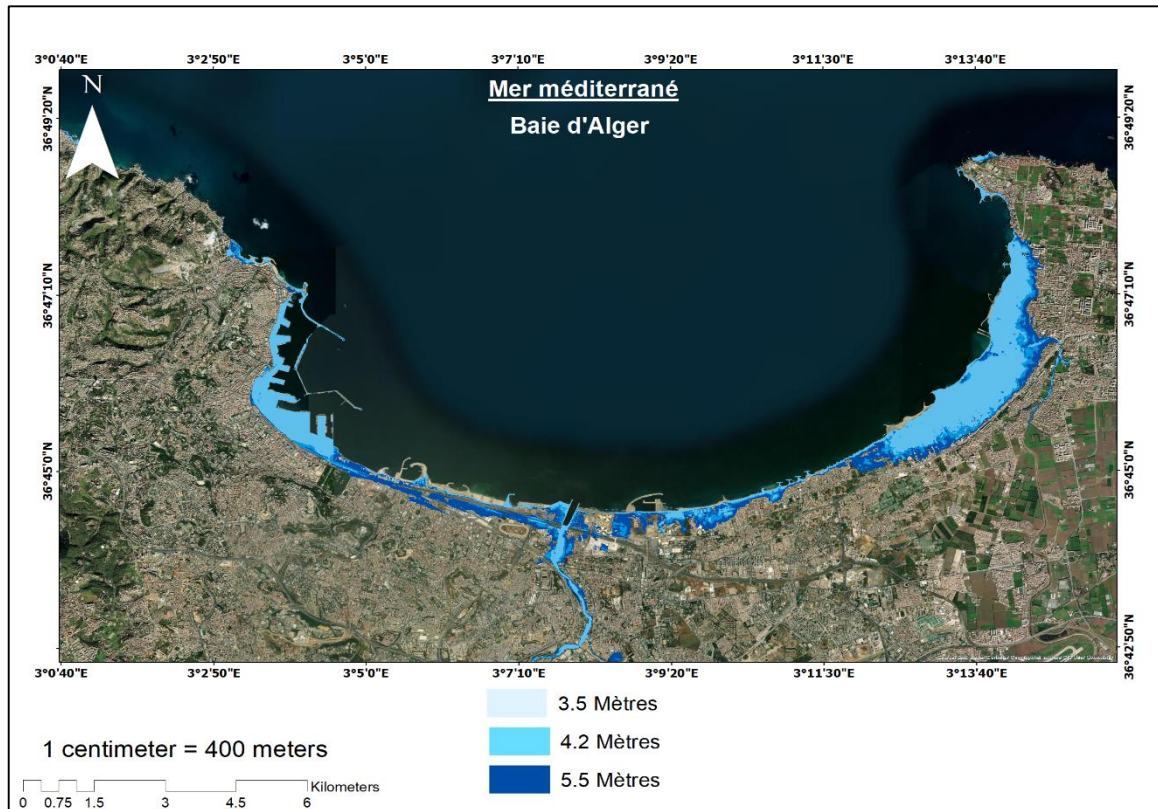


Figure 127: Carte de la submersion marine (N)

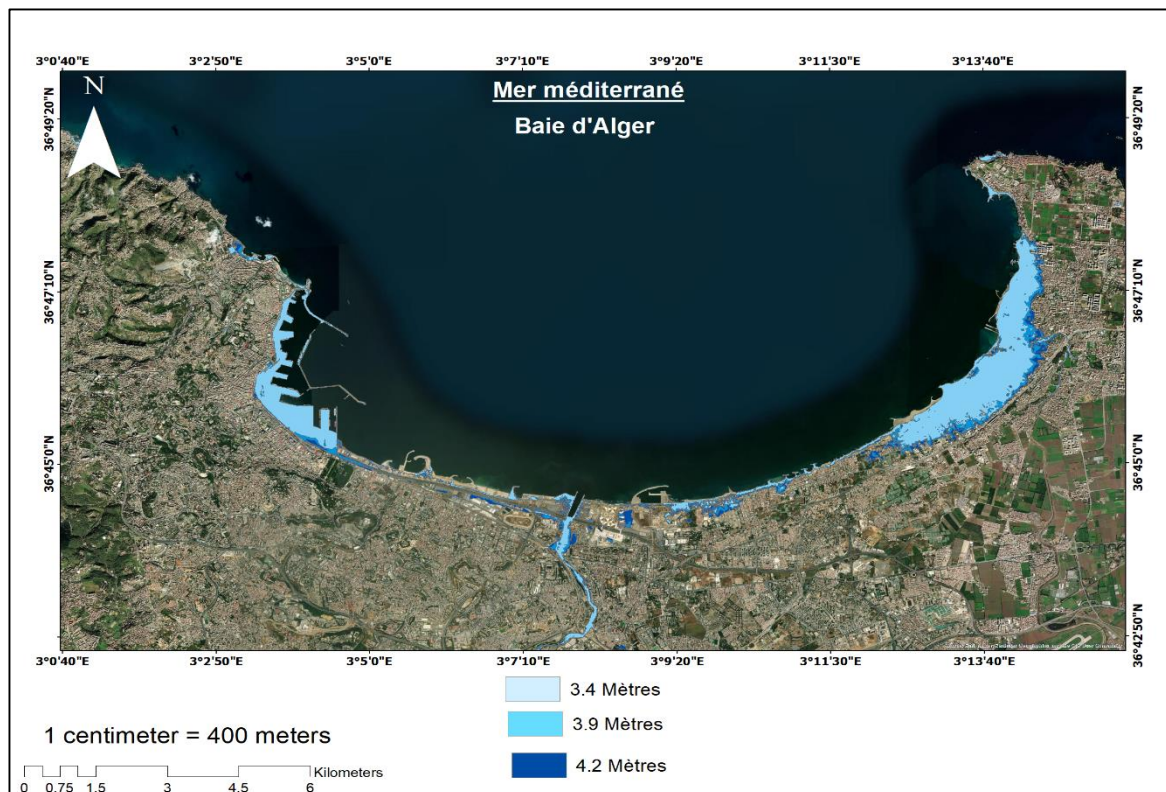


Figure 126: Carte de la submersion marine (NNW)

VI.5.3 La baie de Bou-Ismaïl :

➤ Submersion à 4 m :

Les conclusions indiquent que les inondations marines sont plus prononcées dans la Baie de Bou Ismaïl lorsque le niveau de la mer atteint 4 mètres. Cette observation s'explique par la configuration géographique de la région, notamment la présence du cap de Sidi Fredj, qui favorise la progression des eaux vers les terres. Cette avancée est renforcée par la morphologie de la zone, caractérisée par une topographie peu élevée, ainsi que par la présence de l'Oued Mazafran à l'ouest.

Les inondations au niveau du centre de la baie (alentours de Mazafran) sont les plus menaçantes. Elles touchent totalisant environ 1756 hectares.

➤ Submersion à 5 m :

Pour une élévation de 5 mètres, il est observé que l'étendue des eaux marines recouvrant le littoral augmente significativement tant en superficie qu'en distance par rapport à la ligne côtière, par comparaison avec une submersion de 4 mètres. Cette avancée des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par les cours d'eau, en particulier l'Oued Mazafran, où ces dernières pénètrent jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres.

La superficie occupée par les eaux marines s'élève à 1970 hectares, ce phénomène étant le résultat de la configuration géographique de la baie, caractérisée par une faible altitude continentale, ainsi que par les conditions climatiques de houle en mer et l'existence des réseaux hydrographiques.

➤ Submersion à 6 m :

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 6 mètres, on observe une intrusion spectaculaire des eaux marines dans les zones urbaines situées à plusieurs dizaines de kilomètres de la côte, notamment dans les zones d'embouchures telles qu'Oued Mazafran. Cette tendance est expliquée par l'aspect morphologique et plus exactement par le cap de Sidi Fredj. Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terre, totalisant environ 2147 hectares.



Figure 128: Carte de la submersion marine (NNW)

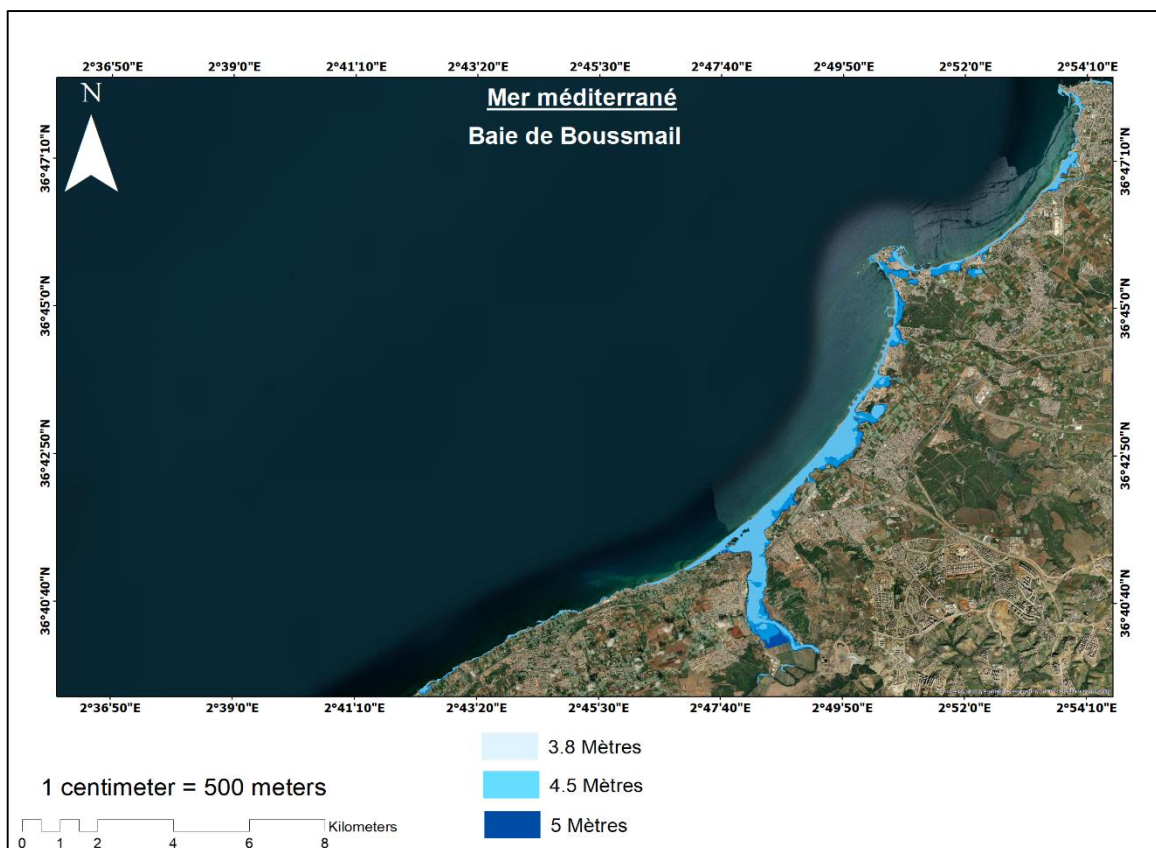


Figure 129: Carte de la submersion marine (NNE)

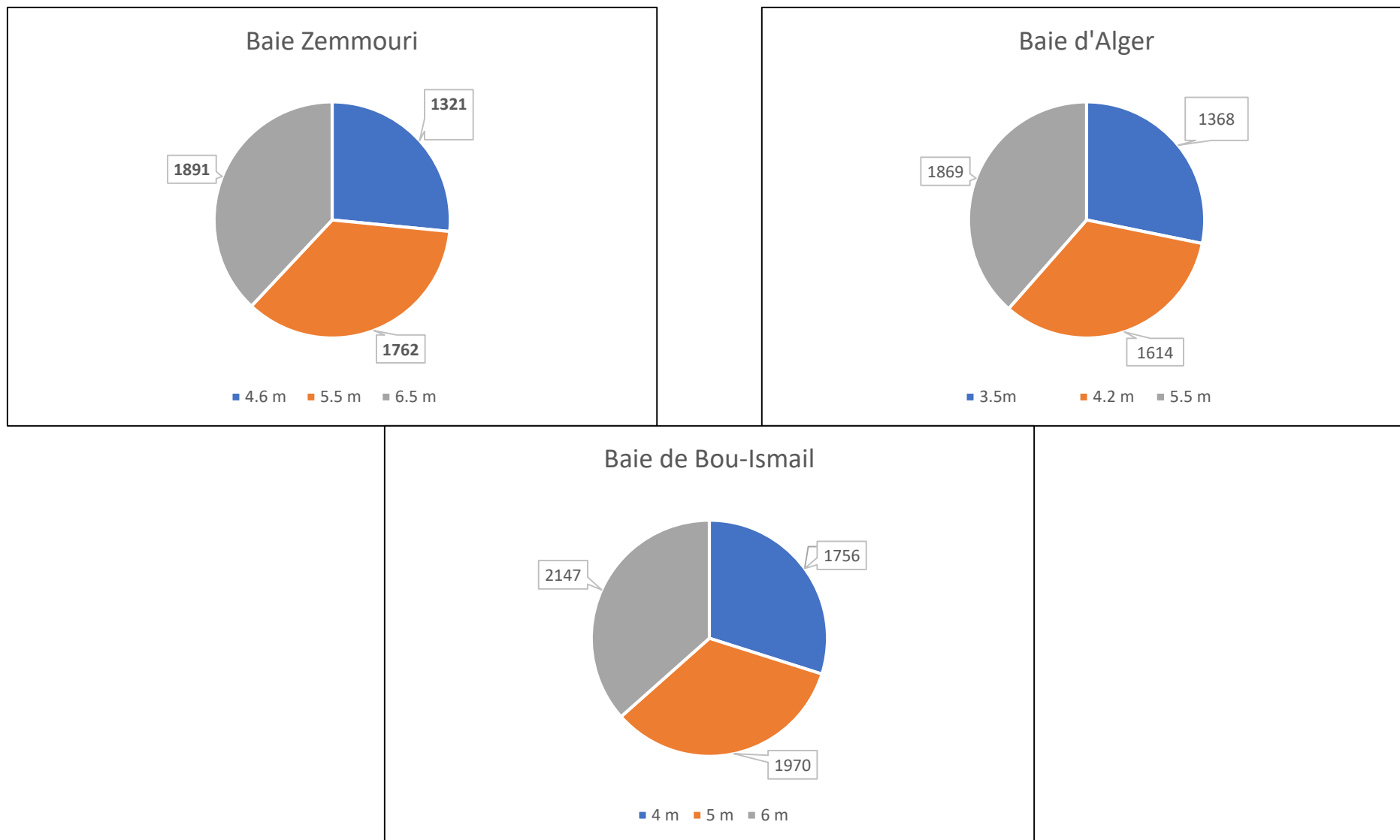


Figure 130:Superficies des terres inondées

Tableau 20: Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Zemmouri)

Type d'occupation du sol	Niveau d'inondation 4.6 m (R = 10 ans)		Niveau d'inondation 5.5 m (R = 30 ans)		Niveau d'inondation 6.5 m (R = 100ans)	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	403	30.51	414	23.50	420	22.21
Ports et ouvrages de Protection	11.62	0.88	11.62	0.66	11.62	0.61
Plages	162	12.26	162	9.20	162	8.57
Côtes rocheuses	43	3.26	43	2.44	43	2.27
Forets	109.15	8.26	241	13.68	255	13.49
Espace vert	7.18	0.54	9	0.51	18	0.95
Terres agricoles	390	29.52	668	37.92	759	40.15
Terrain nu	182	13.78	200	11.35	209	11.05
Végétation	13	0.98	13	0.74	13	0.69
Total	1321	100	1762	100	1891	100

Tableau 21: Résultats des terres à risque d'inondation (Baie d'Alger)

Type d'occupation du sol	Niveau d'inondation 3.5m (R = 10 ans)		Niveau d'inondation 4.2 m(R = 30 ans)		Niveau d'inondation 5.5 m(R = 100ans)	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	680	49.71	860	53.3	1050	56.17
Ports et ouvrages de Protection	142.4	10.41	142.4	8.83	142.40	7.62
Plages	49	3.58	49	3.04	49	2.62
Côtes rocheuses	34.8	2.54	34.8	2.16	34.8	1.86
Forets	13.65	1.00	40	2.48	71	3.80
Espace vert	75.18	5.50	78.1	4.84	86	4.60
Terres agricoles	155	11.33	172	10.66	180	9.63
Terrain nu	213	15.57	222.08	13.76	239	12.79
Végétation	4.82	0.35	15.14	0.94	17	0.91
Total	1368	100	1614	100	1869	100

Tableau 22:Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Bou-Ismaïl)

Type d'occupation du sol	Niveau d'inondation 4 m(R = 10 ans)		Niveau d'inondation 5 m(R = 30 ans)		Niveau d'inondation 6 m(R = 100ans)	
	Superficie (ha)	Superfici e (%)	Superficie (ha)	Superfici e(%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	316.55	18.19	376	19.08	391	18.21
Ports et ouvrages de Protection	24	1.38	24	1.2 2	24	1.12
Plages	151. 4	8.7 0	151. 4	7.68	151.4	7.05
Côtes rocheuses	49	2.82	49	2.49	49	2.28
Forets	189	10.86	210.11	10.66	270	12.57
Espace vert	12.5	0.72	14.7	0.75	15.9	0.74
Terres agricoles	657	37.76	775.8	39.37	871	40.56
Terrain nu	98.11	5.64	110.6	5.61	113	5.26
Végétation	242.5	13.94	259	13.14	262	12.20
Total	1756	100	1970	100	2147	100

Conclusion :

Les résultats obtenus indiquent que l'élévation du niveau marin conjuguée à une fréquence accrue des houles de tempêtes provoquerait des inondations considérables.

La cartographie des zones inondables révèle que 1321ha de sa superficie présenteraient un risque de submersion avec un niveau d'inondation 4.6 m et 1891ha pour un niveau de submersion 6.5 m pour la baie de Zemmouri, 1368 ha de sa superficie présenteraient un risque de submersion avec un niveau d'inondation 3.5 m et 1869ha pour un niveau de submersion 5.5 m pour la baie d'Alger et 1756 ha de sa superficie présenteraient un risque de submersion avec un niveau d'inondation 4 m et 2147ha pour un niveau de submersion 6 m pour la baie de Bou-Ismaïl.

La baie de Bou-Ismaïl si la plus vulnérables aux inondations, en raison de la faible topographie. Quel que soit le niveau d'inondation, les conséquences seraient lourdes pour les aménagements et les infrastructures en front de mer.

**Chapitre VII : Action
combiné de la submersion
marine et l'inondation**

VII.1 Introduction :

Suite à l'analyse des résultats des simulations des phénomènes d'inondation (Chapitre III) et de submersion marine (Chapitre VI), nous avons réussi à délimiter les zones à risque face à ces phénomènes. Dans le but d'élargir notre compréhension et de préparer des plans de sécurité pour les cas extrêmes de submersion marine, ce chapitre se consacre à la combinaison de ces deux phénomènes. Nous chercherons à déterminer l'étendue maximale des dégâts potentiels afin de pouvoir élaborer des plans de secours adaptés aux situations les plus critiques.

VII. 2 Méthodologie :

Pour réaliser une fusion des deux phénomènes, les éléments suivants sont nécessaires :

- L'élévation du niveau de la mer lors de la submersion marine (référez-vous aux tableaux d'élévations des niveaux de la mer dans le Chapitre VI).
- L'élévation du niveau de la mer à l'embouchure étudiée (voir les Oueds étudiés).
- La géométrie des Oueds.

Ces éléments nous permettront d'analyser de manière approfondie l'interaction entre les inondations et les submersions marines.

VII. 2.1 Simulation :

Avant de lancer les simulations, notre première étape consiste à définir l'élévation du niveau d'eau à l'embouchure. Cette valeur sera ensuite utilisée comme condition aux limites dans le logiciel Hec-Ras, qui servira à simuler la surface inondée. L'élévation à l'embouchure est déterminée à partir des cartes finales de la submersion marine (voir Chapitre VI).

Une fois l'élévation à l'embouchure définie, nous procédons à la simulation avec Hec-Ras. Nous allons adopter la même méthodologie que celle utilisée dans le Chapitre III, ainsi que les mêmes paramètres de débits de l'oued. La seule modification concerne les conditions aux limites, où nous ajoutons la valeur d'élévation pour les mêmes périodes de retour étudiées dans le chapitre de la submersion marine (Chapitre VI).

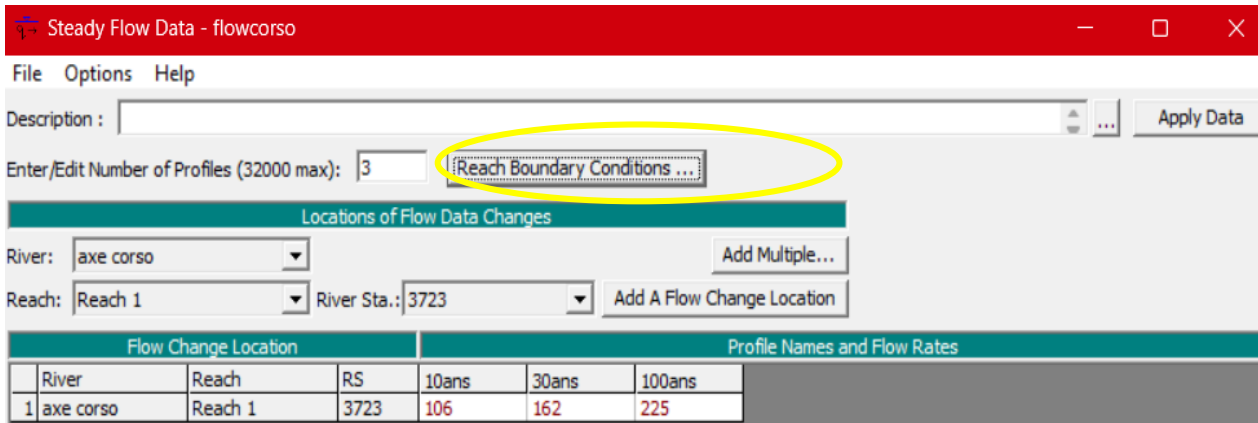


Figure 131: Paramètres de débits d'Oued

HEC-RAS

Set known water surfaces for flows.

	Flow (m3/s)	Known WS El (m)
1	106	4.6
2	162	5.5
3	225	6.5

Figure 132: élévations de niveau d'Oued

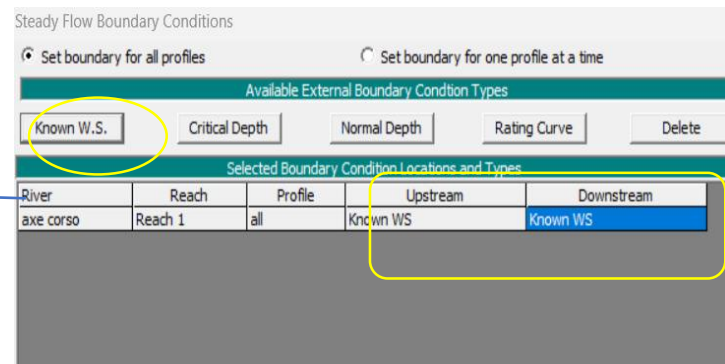


Figure 133: Table des conditions aux limites en amont et en aval d'Oued

Une fois les valeurs d'élévation intégrées, nous procédons directement à la simulation avec **Hec-Ras** et visualisons les résultats grâce à **RAS-MAPPER**. Par la suite, nous enregistrons les limites d'inondation obtenues à partir de **RAS-MAPPER** au format Shapefile. Cela nous permet de réaliser une cartographie sur **ArcGIS** et de superposer ces résultats sur ceux de la submersion marine que nous avons précédemment obtenue.

VII. 2.2 Résultats de la simulation :

VII.2.2.1 Résultats pour la baie de Bou-Ismaïl :



Figure 135: Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie de Bou-Ismaïl

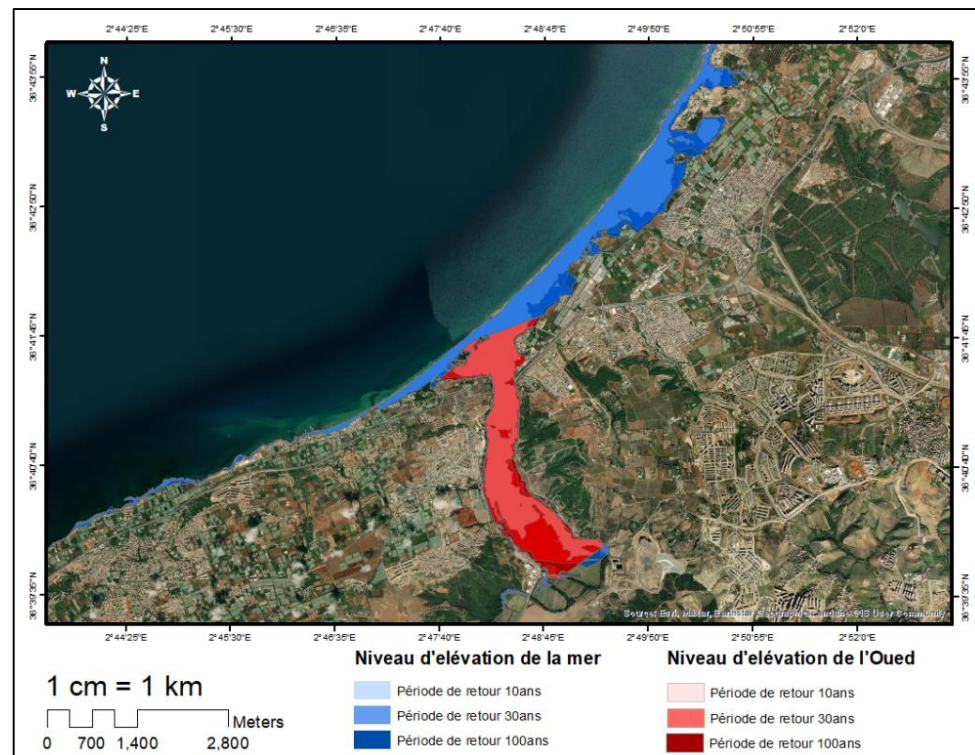


Figure 134: Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued Mazafran

VII.2.2.2 Résultats pour la baie d'Alger :



Figure 137: Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie d'Alger

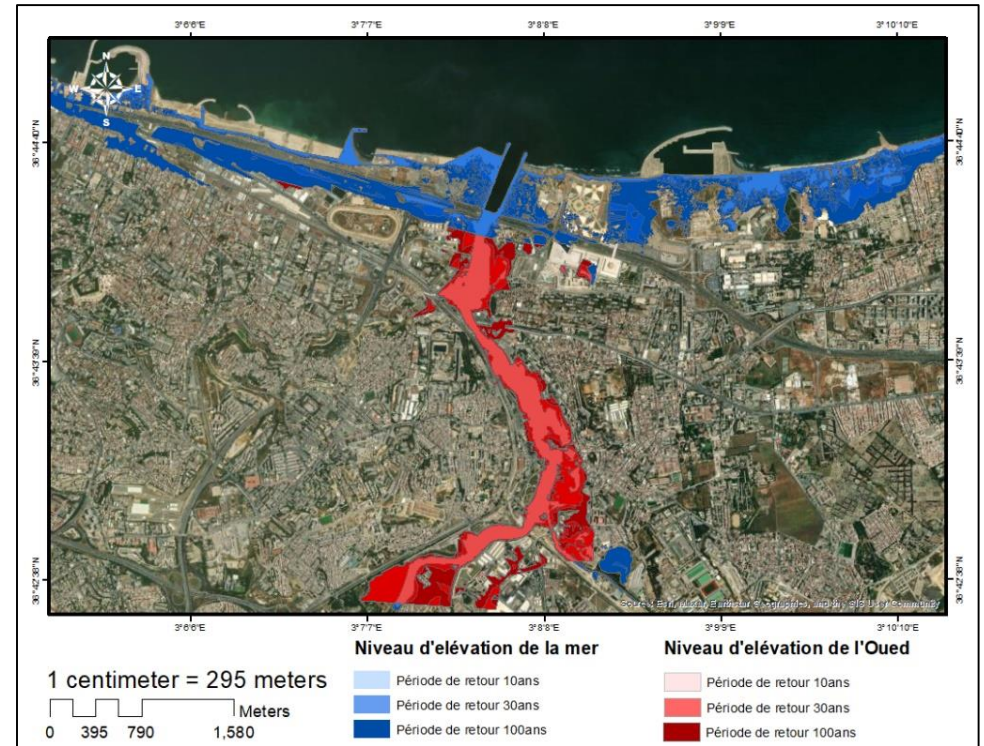


Figure 136: Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued El-Harrach

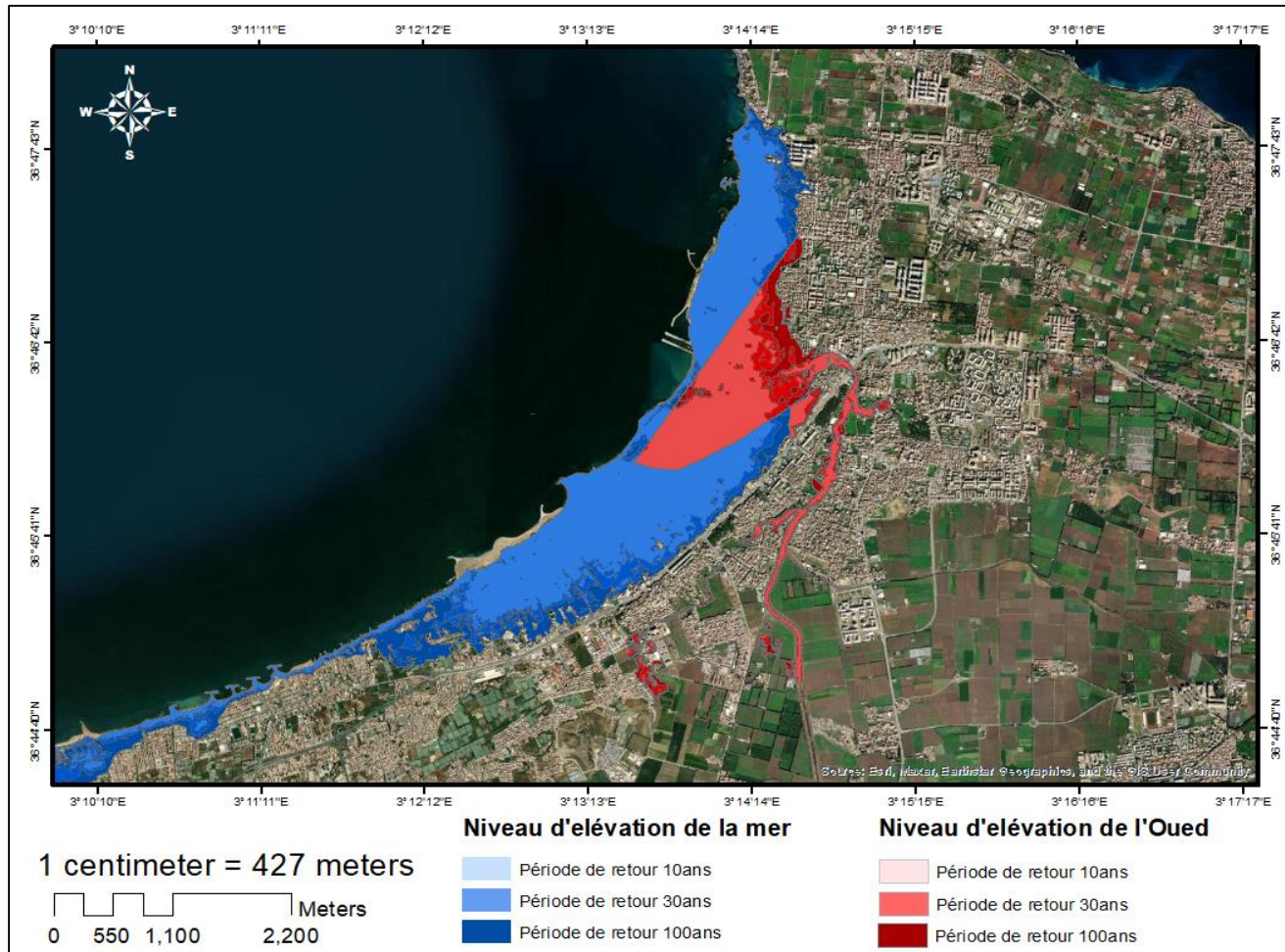


Figure 138: Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued El Hamiz

VII.2.2.3 Résultats pour la baie de Zemmouri :

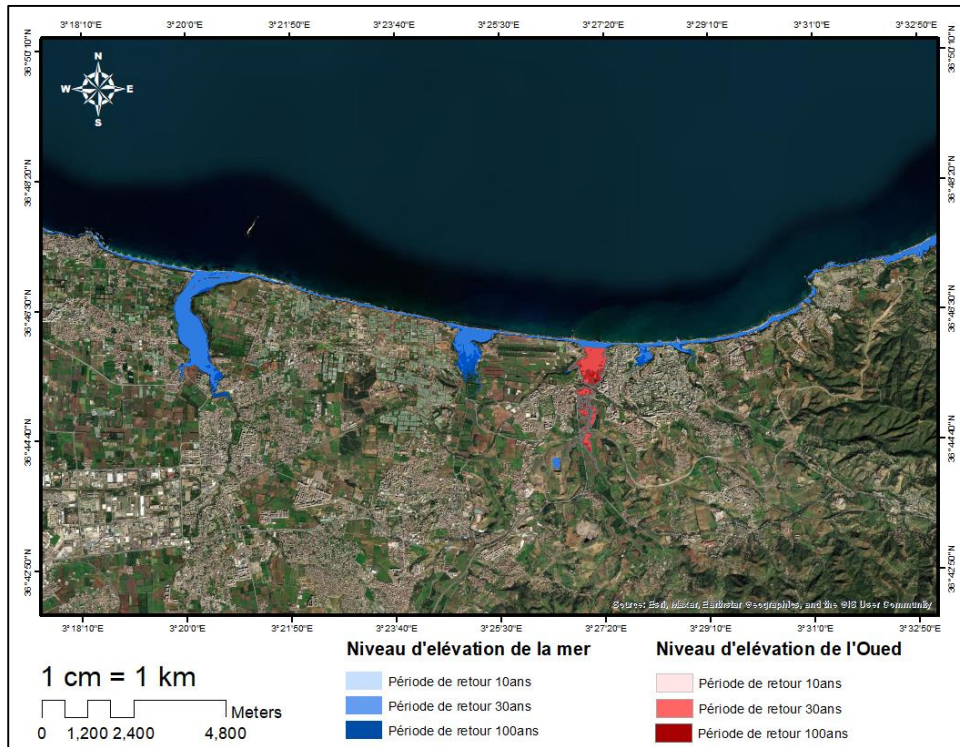


Figure 140: Carte globale des résultats de la submersion marine et d'inondation sur la baie de Zemmouri

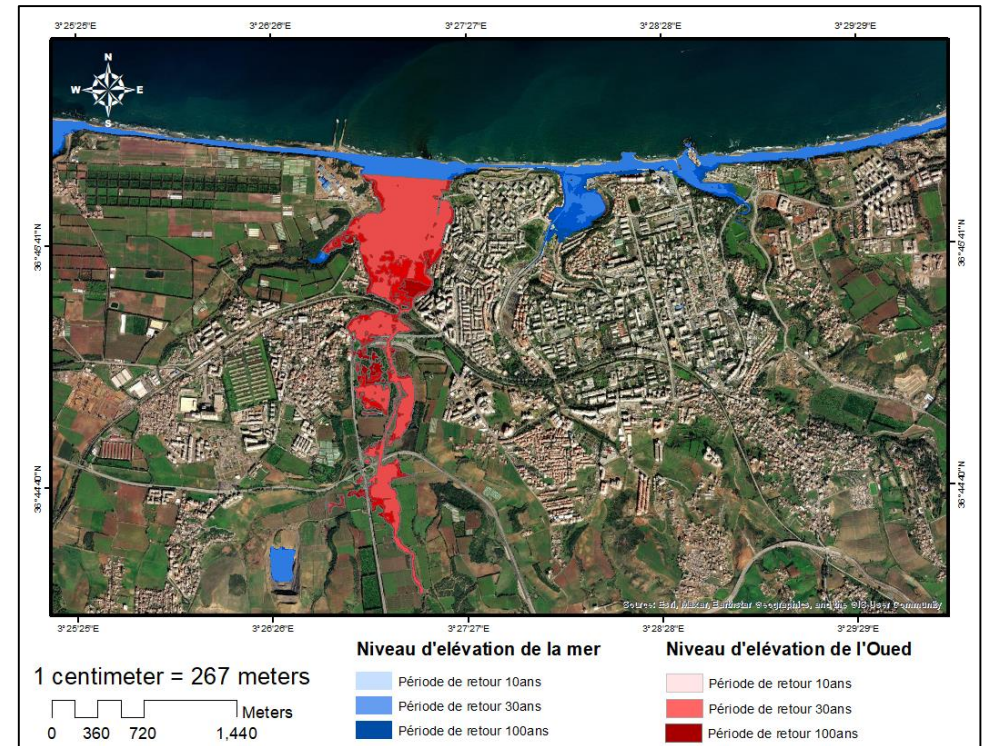


Figure 139: Carte des Zones en risque de la submersion marine et l'inondation près d'Oued Corso

VII.2.3 Interprétation des Résultats :

VII.2.3.1. La baie de Bou-Ismaïl :

➤ **Scénario 1 (période de retour 10ans) :**

Selon les résultats obtenus par la cartographie des phénomènes de submersion marine et d'inondation dans la baie de Bou Ismaïl pour le scénario d'une élévation du niveau de la mer de 4 mètres (période de retour de 10 ans), on constate d'après les figures (figure 134,135) une avancée de la mer vers l'intérieur des terres de la baie de Bou Ismaïl, en particulier dans le cap de Sidi Fredj et aux alentours de l'oued Mazafran. Cette progression de la mer, accompagnée d'inondations, est liée à la morphologie de la zone, caractérisée par une topographie peu élevée et des pentes faibles.

Cette combinaison entre ces deux phénomènes de la submersion et d'inondation couvre une superficie de 1775 hectares. (Voire tableau 24)

➤ **Scénario 2 (période de retour 30ans) :**

Pour une élévation du niveau de la mer de 5 mètres (période de retour de 30 ans), on observe d'après les figures (figure 134,135) que l'étendue de la submersion et de l'inondation recouvre une surface beaucoup plus importante que celle du scénario de 4 mètres. Cette progression des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par la présence des cours d'eau, en particulier l'oued Mazafran.

La superficie occupée par ces deux phénomènes s'élève à 1995 hectares, ce phénomène étant le résultat de la configuration géographique de la baie, caractérisée par une faible altitude continentale, ainsi que par les conditions climatiques de houle en mer et l'existence des réseaux hydrographiques. (Voire tableau 24)

➤ **Scénario 3 (période de retour 100ans) :**

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 6 mètres (période de retour de 100 ans), on observe d'après les figures (figure 134,135) une avancée très marquée de la mer dans les zones urbaines situées tout le long de la baie, notamment dans les zones d'embouchures telles que l'oued Mazafran qui a subi une inondation très importante.

Cette tendance s'explique par les caractéristiques morphologiques de la région, et plus précisément par la présence du cap de Sidi Fredj. Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terre, totalisant environ 2162 hectares. (Voire tableau 24)

VII.2.3.2 La baie d'Alger :

➤ Scénario 1 (période de retour 10ans) :

D'après les cartes, on remarque d'après les figures (136,137,138) que la partie centrale de la baie (au niveau des oueds El Harrach, Sablat et El-Hamiz) est la plus affectée par le niveau d'inondation et de la submersion marine de 3,5 mètres.

Environ 1379 hectares peuvent être occupés par les eaux marines et les eaux des Oueds (El-Harrach et El-Hamiz) qui s'avancent vers l'intérieur de la baie. Cette avancée s'explique par la topographie et géomorphologie de la baie d'Alger avec une faible pente. (Voire tableau 25)

➤ Scénario 2 (période de retour 30ans) :

Pour une élévation du niveau de la mer de 4,2 mètres, on observe d'après les figures (136,137,138) que l'étendue des eaux de submersion et des crues des oueds est plus importante que celle du scénario de 3,5 mètres. Cette progression des eaux de la mer vers les terres est amplifiée par l'augmentation de l'énergie hydrodynamique dans la baie, en raison de la faible pente le long de la baie, en particulier au niveau de l'oued El-Harrach et de l'oued El Hamiz à l'est. Ces derniers ont été touchés par le phénomène d'inondation déclenché par l'effet de la submersion marine.

La superficie occupée par les eaux marines avec les eaux des oueds s'élève à 1633 hectares, cette superficie touche des infrastructures présente la baie d'alger comme le port d'Alger, ainsi une partie des points d'agglomération comme la zone de Tamenfost a l'est de la baie. (Voire tableau 25)

➤ Scénario 3 (période de retour 100ans) :

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 5,5 mètres (période de retour de 100 ans), on remarque d'après les figures (136,137,138) une avancée très marquée de la mer dans les zones urbaines situées au sud-est de la baie, comme la région d'El-Hamiz et Bordj El Kiffan, qui sont les plus touchées par ces phénomènes, notamment par des inondations très importantes dans cette zone. Quant aux zones proches de l'oued El-Harrach, on observe également de fortes inondations, en particulier en aval de l'oued, Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terre, totalisant environ 1881 hectares. (Voire tableau 25)

VII.2.3.3 La baie de Zemmouri :**➤ Scénario 1 (période de retour 10ans) :**

D'après les cartes (figures 139,140), on remarque que la partie ouest de la baie (au niveau de l'oued Réghaia) est la plus affectée par le phénomène de submersion de 4,6 mètres (période de retour de 10 ans), mais aussi au niveau des embouchures des oueds (Boudouaou, Corso, Boumerdes et Isser). Ces derniers sont également touchés par le phénomène d'inondation en parallèle.

Environ 1338 hectares pourraient être occupés par les eaux marines et les crues des oueds qui s'avancent vers l'intérieur des terres. Cette progression s'explique par la géomorphologie de la baie, avec une faible pente tout le long du littoral. (Voire tableau 26)

➤ Scénario 2 (période de retour 30ans) :

Pour une élévation du niveau de la mer de 5,5 mètres (période de retour de 30 ans), on observe d'après les cartes (figures 139,140) que l'étendue des eaux marines recouvrant les terres est significativement plus importante que celle du scénario de 4,6 mètres. Cette progression des eaux de la mer vers l'intérieur des terres est amplifiée par les crues des cours d'eau résultant de l'élévation du niveau de la mer, en particulier l'oued Réghaia, l'oued Boudouaou, l'oued Boumerdes et l'oued Isser à l'est, où ces derniers pénètrent jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres. La superficie occupée par les eaux marines s'élève à 1795 hectares (Voire tableau 26), ce phénomène étant le résultat de la configuration géographique de la baie, caractérisée par un relief continental peu élevé, ainsi que des conditions climatiques favorisant une forte énergie hydrodynamique.

➤ Scénario 3 (période de retour 100ans) :

Dans un scénario extrême où le niveau de la mer s'élève de 6,5 mètres (période de retour de 100 ans), on observe d'après les cartes (figures 139,140) une élévation très marquée des eaux marines et des crues des oueds dans les zones urbaines situées tout le long de la côte, notamment dans les zones d'embouchures telles que l'oued Corso, qui fait l'objet de notre étude. Cette inondation entraîne la perte de vastes étendues de terres, totalisant environ 1926 hectares. (Voire tableau 26)

VII.2.4 Statistiques des zones Touché par le phénomène de submersion marine et d'inondation :

Après avoir traité et cartographié la combinaison du phénomène de submersion marine et des inondations, nous avons superposé le résultat final sur la carte d'occupation du sol. Cela nous a permis de déterminer la surface affectée par ce phénomène.

Les statistiques de cette combinaison sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau 23: Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Bou-Ismaïl)

Type d'occupation du sol	Période de retour 10 ans		Période de retour 30 ans		Période de retour 100 ans	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	330	18.59	382	19.08	395	18.27
Ports et ouvrages de Protection	24	1.35	24	1.22	24	1.11
Plages	151.4	8.53	151.4	7.68	151.4	7.00
Côtes rocheuses	49	2.76	49	2.49	49	2.27
Forets	189	10.65	216.8	10.66	270.8	12.52
Espace vert	12.5	0.70	16	0.75	17.3	0.80
Terres agricoles	669	37.69	779	39.37	873	40.38
Terrain nu	101	5.69	114	5.61	115.7	5.35
Végétation	249	14.03	263	13.14	266	12.30
Total	1775	100	1995	100	2162	100

Tableau 24: Résultats des terres à risque d'inondation (Baie d'Alger)

Type d'occupation du sol	Période de retour 10 ans		Période de retour 30 ans		Période de retour 100 ans	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	689	49.97	872	53.41	1054	56.04
Ports et ouvrages de Protection	142.4	10.33	142.4	8.72	142.4	7.57
Plages	49	3.55	49	3.00	49	2.61
Côtes rocheuses	34.80	2.52	34.80	2.13	34.80	1.85
Forets	14.6	1.06	42	2.57	71.1	3.78
Espace vert	76	5.51	79.3	4.86	88	4.68
Terres agricoles	155	11.24	174	10.66	183.3	9.75
Terrain nu	213	15.45	223	13.66	240.2	12.77
Végétation	5	0.36	16.1	0.99	18	0.96
Total	1379	100	1633	100	1881	100

Tableau 25: Résultats des terres à risque d'inondation (Baie de Zemmouri)

Type d'occupation du sol	Période de retour 10 ans		Période de retour 30 ans		Période de retour 100 ans	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Zones urbanisées	405.8	30.32	417	23.23	423	21.97
Ports et ouvrages de Protection	11.62	0.87	11.62	0.65	11.62	0.60
Plages	162	12.10	162	9.02	162	8.41
Côtes rocheuses	43	3.21	43	2.40	43	2.23
Forets	113	8.44	245.3	13.66	261	13.55
Espace vert	8	0.60	10.2	0.57	20	1.04
Terres agricoles	400	29.89	692	38.55	781	40.56
Terrain nu	182	13.60	201	11.2	211	10.96
Végétation	13	0.97	13	0.72	13	0.68
Total	1338	100	1795	100	1926	100

Conclusion :

Les actions combinées de la submersion marine et de l'inondation représentent un défi significatif pour les zones côtières, mettant en évidence la vulnérabilité accrue des populations et des infrastructures. La synergie entre ces deux phénomènes exacerbe les impacts, entraînant des dommages plus étendus et des risques accrus pour la sécurité humaine et environnementale. Par conséquent, il est essentiel de développer et d'implémenter des stratégies de gestion intégrée, incluant des mesures de prévention, de protection et de résilience. Une compréhension approfondie des dynamiques hydrodynamiques et des interactions entre submersion marine et inondation permettra d'optimiser les interventions et de minimiser les effets néfastes sur les zones concernées.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de cette étude était d'estimer les zones et les infrastructures menacées par les phénomènes météorologiques extrêmes d'inondation et de submersion marine sur le littoral centre algérien.

Dans le chapitre 1, une analyse générale de ces phénomènes a permis de constater que le littoral du centre algérien est très menacé par ces événements extrêmes. Une base de données météorologiques de 1992 à 2020 pour les trois baies du domaine maritime a été utilisée, ainsi que des données fiables de l'ANRH pour calculer les débits d'apport des oueds étudiés. La géométrie fluviale s'appuie sur un modèle numérique de terrain de 2017.

Le chapitre 2 a révélé que le littoral du centre algérien est vulnérable aux directions Nord, Nord-Nord-Est, Nord-Ouest et Nord-Nord-Ouest, particulièrement dans les zones d'embouchures.

Dans le chapitre 3, la modélisation numérique a montré que l'Oued El-Harrach et l'Oued Corso sont les plus touchés par les inondations, avec des superficies respectives de 123 ha et 122,25 ha, en raison de la faible topographie, la pente et le débit des Oueds.

Le chapitre 4 a permis d'estimer les événements extrêmes via la théorie des valeurs extrêmes. Les résultats obtenus montreront que le littoral centre algérien est menacé par 4 directions pénalisantes qui sont (Nord, Nord-Nord-Est, Nord-Nord-Ouest, Nord-Ouest).

Dans le chapitre 5, la propagation de la houle a été déterminée par modélisation hydrodynamique avec le model MIKE21. On a pu distinguer d'après les simulations dans chaque baie que la hauteur moyenne des houles qui peut déclencher une submersion marine est de 3,5 m.

Le chapitre 6 a cartographié l'aléa de submersion marine, montrant que la baie de Bou-Ismaïl est la plus vulnérable en raison de la faible topographie, notamment près de l'Oued Mazafran. Les habitats et infrastructures proches des oueds sont davantage menacés par les inondations.

Enfin, le chapitre 7 a combiné les résultats des deux phénomènes, révélant que la surface couverte par les eaux des oueds et de la mer s'étend sur 2162 ha pour Bou-Ismaïl, 1881 ha pour Alger et 1926 ha pour Zemmouri.

Perspectives d'avenir :

Cette étude sur le littoral du centre algérien a certes fourni des résultats importants concernant la vulnérabilité et l'adaptation de ce littoral face à l'élévation du niveau de la mer et des oueds. Cependant, elle reste perfectible et nécessite des études plus approfondies dans le but d'améliorer la qualité des résultats. L'obtention de résultats satisfaisants et concrets, reflétant

Conclusion générale

fidèlement la réalité, requiert la disponibilité des éléments suivants : Des levés topographiques de haute précision.

- Des données récentes sur le climat des houles au large et à la côte.
- Des cartes bathymétriques et des modèles numériques de terrain de haute précision.
- Des vérités terrain.
- L'encouragement du partage des données dans le cadre de la recherche scientifique.

Avec ces éléments complémentaires, il sera possible d'approfondir les connaissances et d'affiner les résultats, permettant ainsi une meilleure compréhension et une gestion plus efficace des risques liés à l'élévation du niveau de la mer et des oueds sur le littoral du centre algérien.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

A.N.R.H, (2004). A.N.R.H., (2004) Agence Nationale des Ressources Hydrauliques https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=A.N.R.H.%2C+%282004%29

Abid. A., Gourari S., (2020), Etudes de faisabilité de l'augmentation du tirant d'eau du port d'Alger », mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du Littoral. Dely-Ibrahim : ENSSMAL, 26. 27, 30p.

Alem. A., Saf. B., (2021), « Etude hydrodynamique et d'agitation portuaire – Cas du port d'Alger », mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du Littoral. Dely-Ibrahim : ENSSMAL, 46, 880.

Algérien et Roumain. Thèse de Doctorat, Université Technique de construction de Bucarest,

Andaman Islands. Journal of Coastal Research, no 24, 171–177 p.

Andrew Mark Symonds., (2017), « Comparison Between Mike 21 FM, Delft3D and Delft3D FM Flow Models of Western Port Bay, Australia », Coastal Engineering Proceedings, no 35: 11, <https://doi.org/10.9753/icce.v35.currents.11.>, 12p.

ANSELME, BRICE, [et al.] (2011). Storm extreme levels and coastal flood hazards. A parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). Comptes Rendus Géosciences. Rapport d'activité. Document non publié. 343, 10, 677-690 p. **ANSELME.**

Bachari Houma, F., (2009a). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire (These de doctorat). Paris Est.

Bachari Houma, F., (2009b). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire (These de doctorat). Paris Est.

BELLOMO, Doug, et al. (2006). Coastal flood hazards and the national flood insurance program. Journal of Coastal Research, JSTOR, 21–26 p.

BENALLOU, I., (2020). Evaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri : Vulnérabilité et adaptation mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du Littoral. Dely-Ibrahim : ENSSMAL.

BENAVENTE, Javier, et al. (2006). Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). Continental Shelf Research, vol. 26, no 9. London: Elsevier, 2006, 1061–1076 p.

Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., Denisi, P., Foti, G., Labate, A., Zimbone, S.M., (2022). Shoreline change and coastal erosion: The role of check dams. First indications from a case study in Calabria, southern Italy. CATENA 217, 106494. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106494>

BONNEFILLE, René, 2010. Mouvements de la mer et leurs risques. Techniques de l'ingénieur Les aménagements des voies de transport. T. base documentaire : TIB550DUO. No ref. Article

Références bibliographiques

: c4610. Publisher : Editions T.I. Type : base documentaire _eprint : base documentaire : TIB550DUO.

BOUGIS, Jean. (2003). Les Etats de Mer Naturels'. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var.

BOUKHENNAF, (2024). Modélisation de la cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire et évaluation des zones à risque de la côte Algéroise. ENSSMAL, Dely brahim (Alger).

Boumezbeur, I., & Zarour, K. (2022). Improving privacy-preserving healthcare data sharing in a cloud environment using hybrid encryption. *Acta Informatica Pragensia*, 11(3), 361-379.

BOUTIBA, M., GUENDOZ, M, GUETTOUCHE. MS (2006). Evolution du littoral jijelien (Est-Algérie) à travers l'analyse sédiment logique des dépôts quaternaires. *Bulletin du Service Géologique National*, vol. 17, 113–127 p.

BRGM, LMT, et Mss-Mat Cachan. (2012). Dynamiques concept. CSTB, Une approche mécanique d'évaluation de la vulnérabilité sismique des maçonneries EVSIM, Rapport final.

CARRTER R, Forbes D, Jennings S, Orford J, Shaw J, Taylor R (1989) Barrier and lagoon

CIRIA, CUR. CETMEF. (2009). Guide Enrochement. L'utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock Manual. CETMEF, Compiègne.

coast evolution 217 under differing relative sea-level regimes: examples from Ireland and Nova

Cornel Stander., (2015). « Analysis of Extreme Events in the Coastal Engineering Environment », s. d., 147p.

DAHMANI, A (2023). Evolution morpho-dynamique de la baie d'Alger : Observation et Modélisation hydrodynamique et sédimentaire Dely-Ibrahim : ENSSMAL.

Drouin, A. (2008). Élaboration d'un modèle de représentation des niveaux d'inondation à partir d'un SIG-rivière Saint-François (axe Sherbrooke-Drummondville) (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).

Elhouari, Hachichi., (2023). Impact des événements météo-océaniques extrêmes sur l'évolution spatiotemporelle des côtes sableuses de la baie de Bou Ismail. *Gestion et protection du Littoral*. Dely-Ibrahim : ENSSMAL.

Falqués, A., (2006). Wave driven alongshore sediment transport and stability of the Dutch coastline. *Coastal Engineering, Coastal Hydrodynamics and Morphodynamics* 53, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.10.012>

FLETCHER, C. H., et al. (1995). Marine flooding on the coast of Kaua'i during Hurricane Iniki: hindcasting inundation components and delineating washover [en ligne]. *Journal of Coastal Research*, JSTOR, 188–204 p. [Consulté le 4/9/2020]. Disponible sur «<https://www.jstor.org/stable/4298321>».

FOLLAND, C. Ka, et al. (1990). Observed climate variations and change. Climate change: the IPCC scientific assessment, vol. 195, Citeseer, 238 p. Disponible sur le web: "<https://www.ipcc.ch/site/assets/upload>".

Fryirs, K., (2013). (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms* 38, 30–46.

GIEC, (2001). Pauvreté. Changements climatiques : Rapport sur Réduire la vulnérabilité des populations pauvres par l'adaptation aux changements climatiques. Berlin Media Company, Allemagne. Disponible sur le web : "<https://www.oecd.org/fr/env/cc/36214804.pdf>".

GIEC, (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], 104 p. Rapport d'activité. Document non-publié. IPCC, Geneva, Switzerland.

Gradex : (https://www.isere.gouv.fr/contenu/telechargement/38129/274114/file/ANNEXE_11_Note_GRADEX.pdf)

HOOZMANS, F. M. J., et al. (1993). Sea level rise: A global vulnerability assessment vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale. H1588, Deltares (WL).

<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9429%281986%29112%3> ".

JIMENEZ, Jose A., et AGUSTIN SANCHEZ-Arcilla. (1997). Physical impacts of climatic change on deltaic coastal systems (II): driving terms ». *Climatic Change*, vol. 35, no 1, Springer, 95–118p.

Jungkyu.A., Yeji.N., Sung. W.P., (2019) « Development of Two-Dimensional Inundation Modelling Process Using MIKE21 Model », *KSCE Journal of Civil Engineering* 23, no 9: 3968-77, <https://doi.org/10.1007/s12205-019-1586-9>, 58p.

KUMAR, V. Sathish, et al. (2008). Assessment of storm surge disaster potential for the

KUMAR, V. Sathish, et al. (2008). Assessment of storm surge disaster potential for the Andaman Islands. *Journal of Coastal Research*, no 24, 171–177 p.

Larid, M., (2008). La zone côtière humide de Réghaia dans le littoral Est Algérois (Algérie) : Contribution méthodologique à son plan de gestion. *Cybergeog* : European Journal of Geography. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.18852>

Le coefficient de Manning., (2017) A. LAHRECH1 & M.H. BOUTELLI 2 & N. MEKHOLOUFI UNIVERSITE DE OURGLA.

MATE, (1997). *Journal of materials science* [en ligne]. Vol 32, n°2. 279-554 p. [Consulté le 23/7/2020]. Disponible sur le web : <https://www.springer.com/journal/10853>

MEZOUAR, K. (2009). Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux

Références bibliographiques

NIAZI, Saida. (2007). Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc) : Vulnérabilité et Adaptation. Thèse doctorat. Rabat : Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, p.

Paskoff, R., (1970). L'érosion des côtes, 1re édition : 2e trimestre 1981. ed.

PJ10 : (https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_12-13/14042.pdf). (<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/1998-v11-n4-rseau3293/705324ar.pdf>). (<https://major-prepa.com/mathematiques/loi-gumbel-generalites-proprietes-utilite-hors-programme-ecg/>).

Rami, A., Nechimi, M., Haddad, M., Maârouf, S., Benkouider, T., (2016). Traitement du signal marégraphique par analyse harmonique pour la détermination d'une référence altimétrique pour l'Algérie.

RIHOUEY, Didier. (2004). Analyse statistique de l'évolution morpho dynamique des plages sableuses : Application aux sites d'étude du Programme National d'Environnement Côtier et aux plages d'Anglet. Pau.

Roumanie, p 404.

Scotia Marine geology 88 :221-242.

STEPANIAN A (2002) Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie). Université de Caen.

SUANEZ, SERGE, et al. (2007). Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne). Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 13, no 4, Groupe français de géomorphologie, 319–334p.

Tilbi., K., Gherda., M.E., (2018). « Distribution des valeurs extrêmes généralisées- Application en hydrologie » (Doctoral dissertation, Université Jijel).157p.

UICN, (2012). Conservation des dunes côtières : restauration et gestion durables en méditerranée occidentale.

uniform flows [en ligne]. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 112, no 6, American Society of Civil Engineers, 1986, p. 433–455. [Consulté le 5/4/2020]. Disponible sur "

Vanem, E., (2016). Joint statistical models for significant wave height and wave period in a changing climate. Marine Structures 49, 180–205. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2016.06.001>.

VANRIJN, Leo C. VAN. (1986). Mathematical modeling of suspended sediment in no

VIUDEZ, A., Pinot, J.-M., Haney, R.L., 1998. On the upper layer circulation in the Alboran Sea. Journal of Geophysical Research: Oceans 103, 21653–21666.

wofrance, (2023). Climat - Graphique - Alger Algérie - wofrance. URL <https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city>.

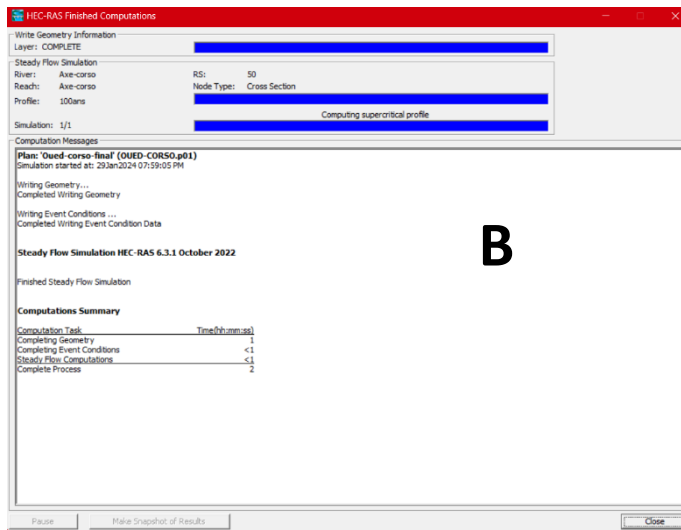


Annexes

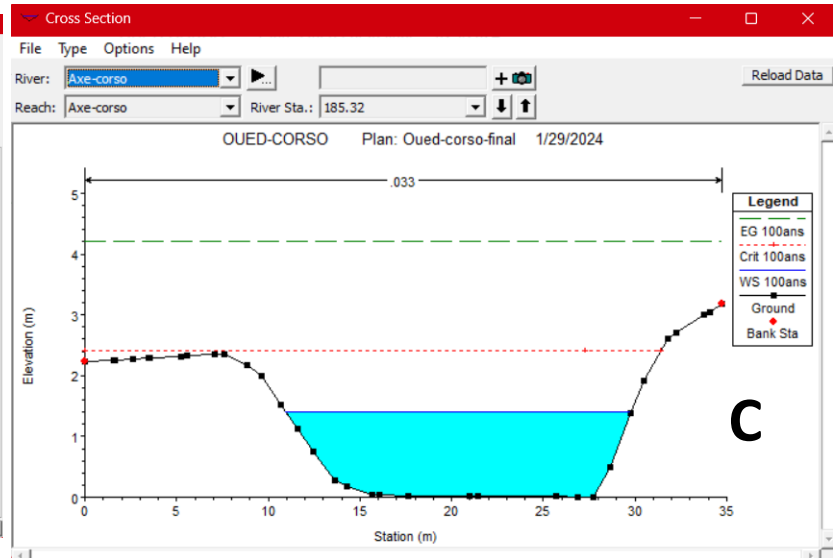
Annexe A : Manipulation HEC-RAS



A



B



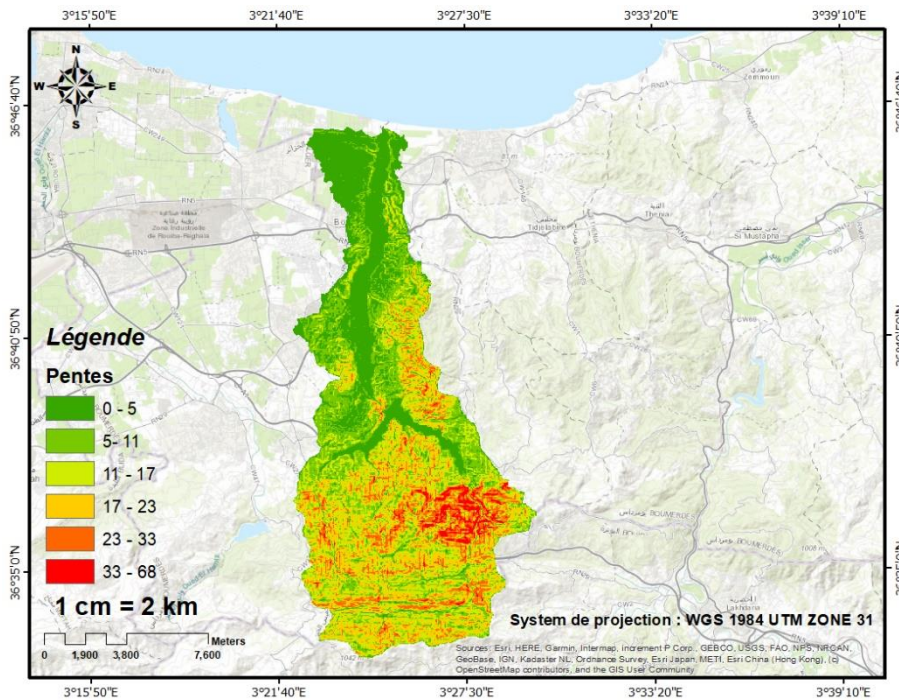
C

A : Figure qui Montre l'interface de Logiciel Hec-Ras

B : Tableau de fin de simulation

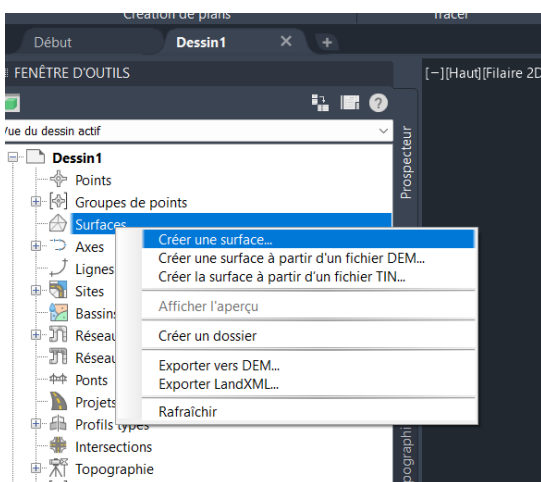
C : Résultat des simulations sur un section d'Oued CORSO

Annexe B : Manipulation ArcGIS

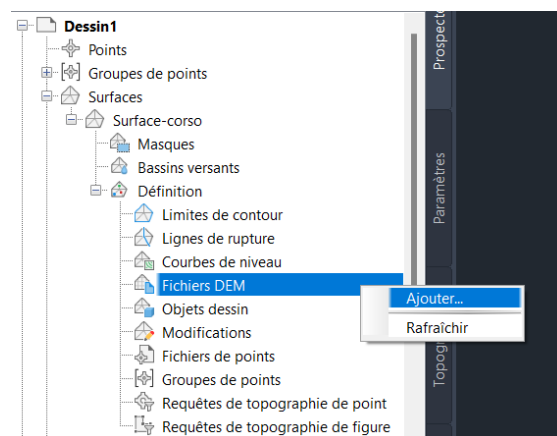


- Carte des Pentes dans le bassin versant de Corso

Annexe D : Manipulation CIVIL 3D (Création de surface de travail)



A



B

Business Model Canvas

Le Business Model Canvas (BMC) est un outil essentiel pour comprendre et communiquer de manière structurée la logique fondamentale des entreprises. Il met en évidence les composantes clés du modèle économique, incitant à une réflexion approfondie sur les parties prenantes, les revenus, les coûts, les avantages concurrentiels et les opportunités de croissance. Utilisé dans la planification stratégique et le développement de nouveaux produits et services, le BMC permet une analyse complète et cohérente.

Dans cette section de notre mémoire, nous détaillons le BMC de notre startup, en décrivant toutes ses composantes. Cet outil stratégique de gestion se présente sous la forme d'un cadre visuel comprenant neuf éléments clés, comme illustré à la figure 1.

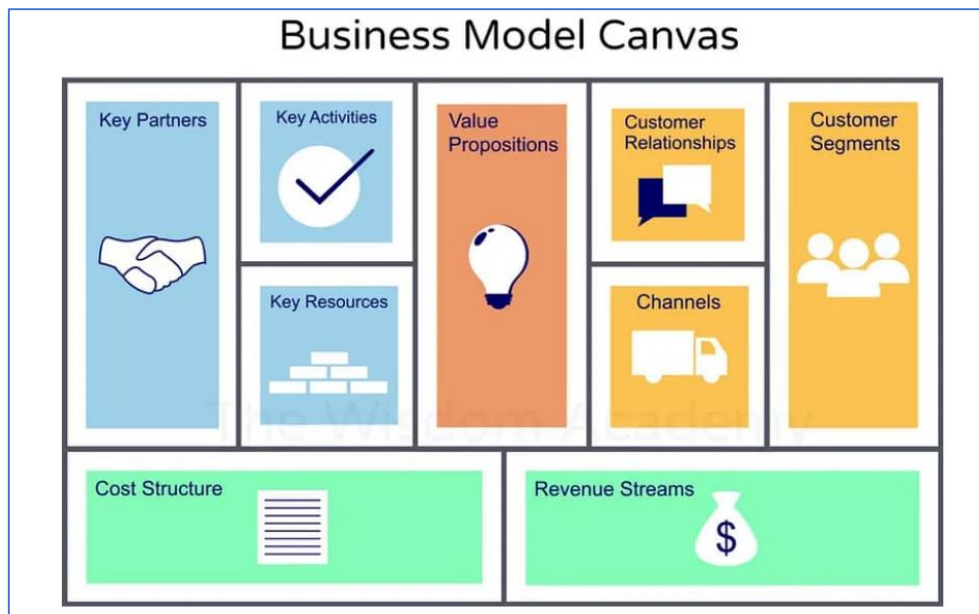


Figure 1: Business Model Canvas (Source: The Wisdom Academy)

Premier axe : Présentation du projet

❖ L'idée du projet :

L'idée du projet est née d'une étude révélant la vulnérabilité croissante des zones côtières aux risques naturels, avec des érosions côtières qui augmentent chaque année et des événements extrêmes comme les tempêtes et les tsunamis devenant plus fréquents en raison des changements climatiques. Cela nous a impacté profondément autant qu'étudiants en gestion et protection du littoral. Pour y remédier, nous proposons la création d'un centre de recherche et d'intervention utilisant les dernières technologies en ingénierie côtière et modélisation des risques naturels. Ce centre utilisera des outils avancés pour collecter et analyser des données océanographiques et géologiques, et développera des solutions innovantes comme des barrières naturelles, la réhabilitation des écosystèmes côtiers, et des systèmes d'alerte précoce. Le lieu d'implantation sera choisi pour sa proximité avec les zones côtières les plus vulnérables et avec des centres académiques et des laboratoires de recherche, facilitant ainsi la collaboration scientifique et l'accès aux ressources nécessaires pour mener à bien les études et les interventions.

❖ Valeurs Proposées :

Notre bureau d'études spécialisé dans les géorisques marins et côtiers se démarque par une approche novatrice, combinant une expertise pointue en génie côtier et en cartographie, soutenue par l'intelligence artificielle (IA). Cette approche, pionnière sur le marché, offre une perspective inédite, non encore explorée par nos concurrents. Nous visons à fournir à nos clients des solutions sur mesure ainsi que des services de veille technologique, répondant à leurs besoins spécifiques en gestion des risques et en développement côtier.

Nos propositions de valeur s'articulent autour des points suivants :

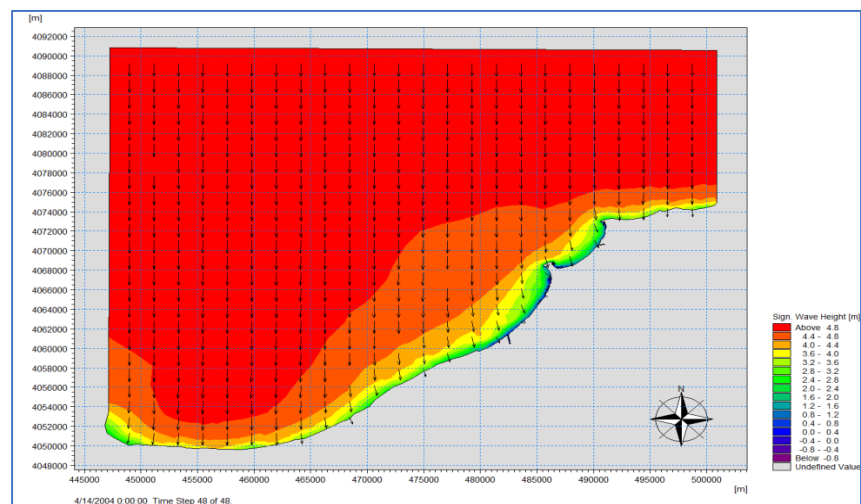
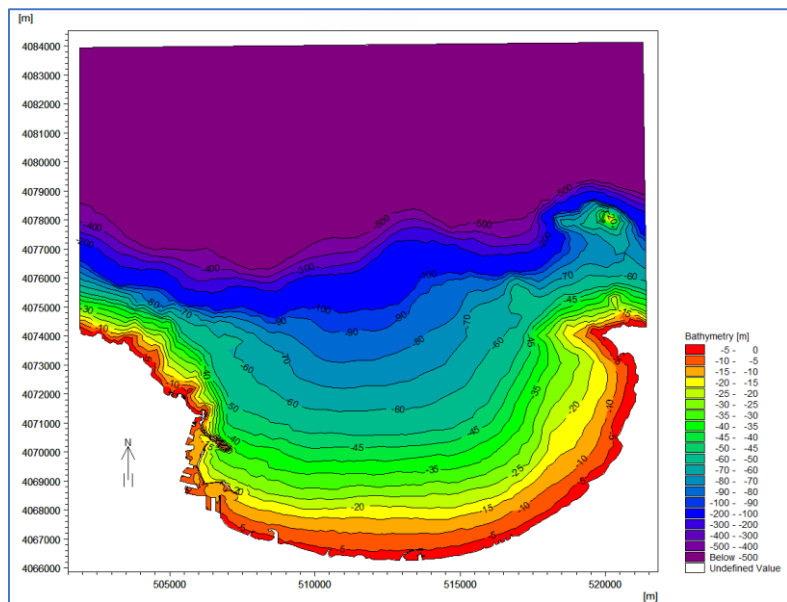
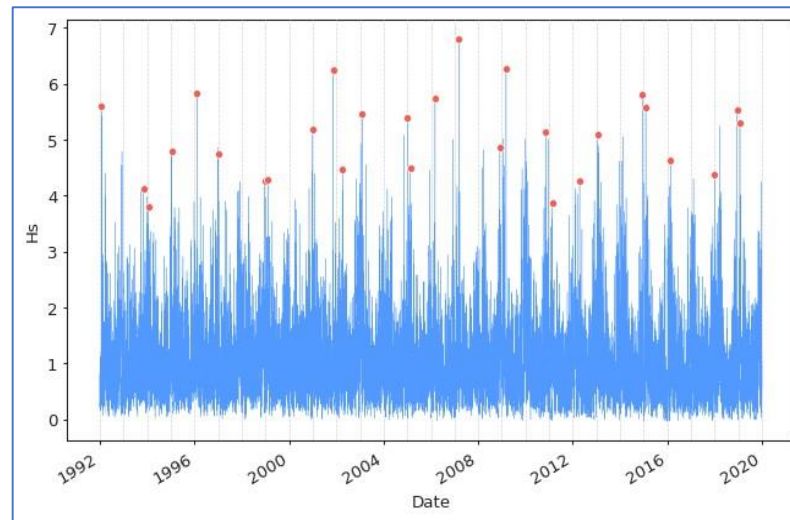
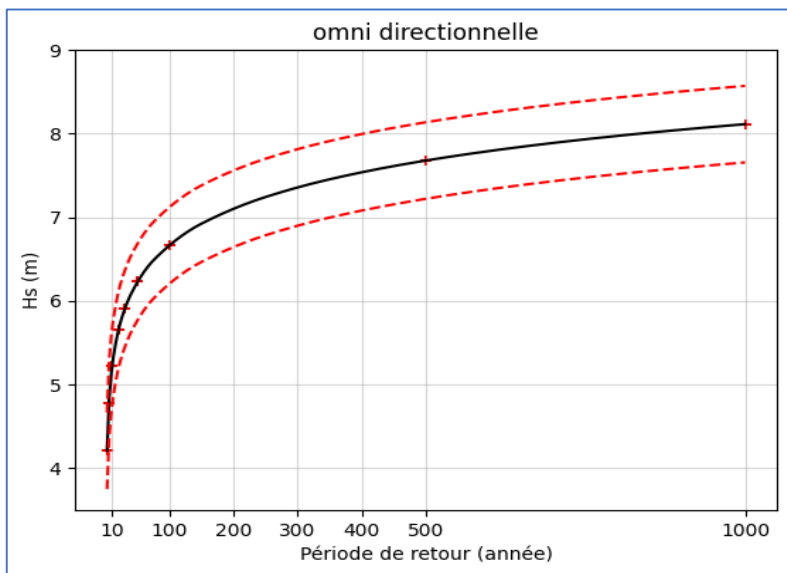
- La mise à disposition de solutions avancées, intégrant l'IA, pour le génie côtier et la gestion des risques côtiers.
- La capacité à prédire et modéliser avec précision les processus côtiers, permettant une planification anticipée.
- L'offre de solutions rentables et efficaces pour la planification côtière et le développement des infrastructures, assurant une utilisation optimale des ressources.
- L'amélioration de l'évaluation des risques côtiers et des stratégies de réduction des risques, garantissant une approche proactive et adaptative.
- L'optimisation de la recherche de solutions, avec des délais de livraison optimisés, pour une efficacité accrue dans la prise de décision.

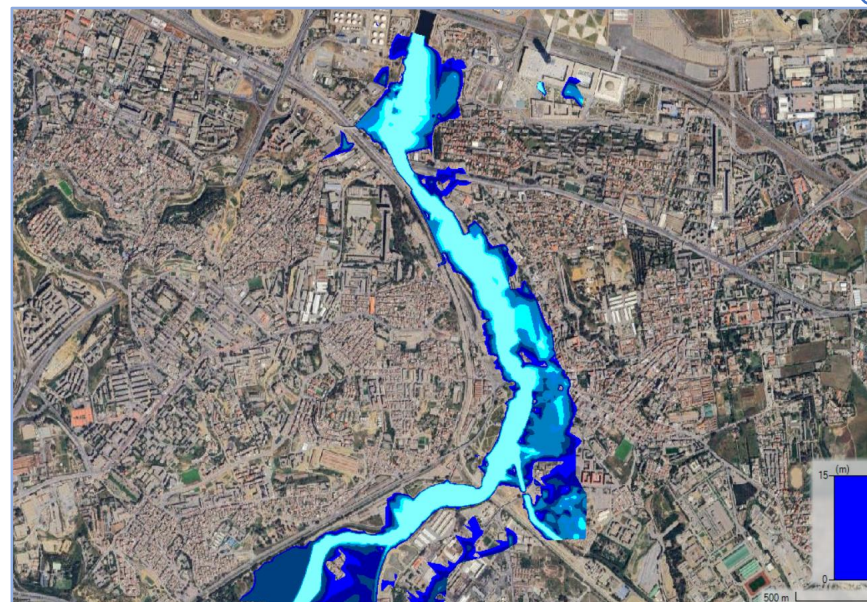
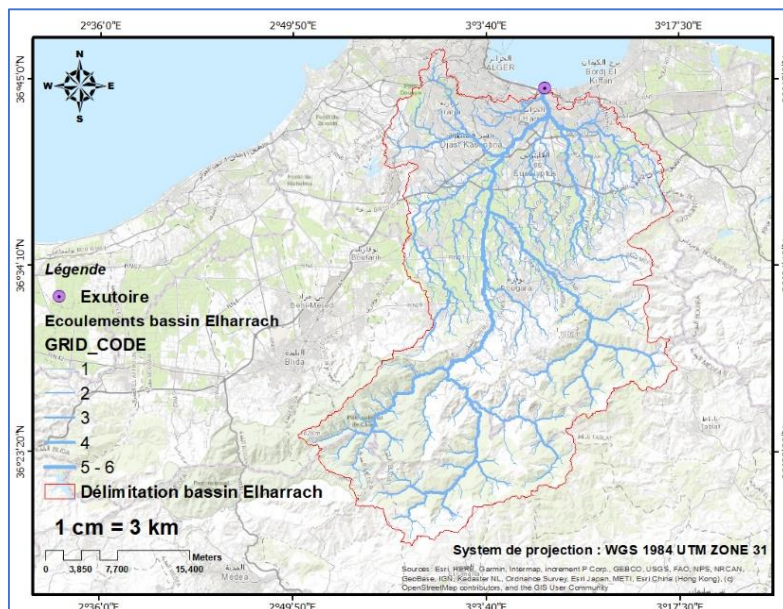
❖ Activités clés :

Notre entreprise se démarque également par ses capacités à :

- Développer des modèles prédictifs avancés pour anticiper les problèmes côtiers tels que le franchissement, le run up, le run down des vagues, les submersions marines et les tempêtes marines.
- Identifier et cartographier avec précision les zones côtières à risques élevés, permettant une gestion proactive des risques.
- Prévoir les états de mer extrêmes à venir, pour une meilleure préparation aux événements météorologiques adverses.
- Étudier les possibilités d'inondations dans les zones adjacentes aux oueds, en évaluant les risques potentiels et en proposant des solutions adaptées.
- Traiter efficacement les vastes bases de données disponibles, garantissant une analyse approfondie et précise des données géospatiales.
- Concevoir des cartes personnalisées pour une gamme variée d'applications, répondant aux besoins spécifiques de nos clients.
- Proposer des formations complètes en programmation utilisant le langage Python, ainsi que l'utilisation de logiciels spécialisés en cartographie et en Système d'Informations Géographiques (SIG), ainsi que des logiciels spécifiques au domaine marin, comme le MIKE, tant en présentiel qu'en ligne.
- Fournir des formations gratuites pour les étudiants, afin de promouvoir le développement des compétences dans le domaine du génie côtier et de la gestion des risques marins.

Les figures suivantes illustrent les résultats des applications effectuées sur notre zone d'étude, qui ont abouti aux prototypes suivants.





1 : : Prédiction des évènements extrêmes en utilisant le langage python

2 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger et modélisation de l'hydrodynamisme dans la zone de Zemmouri

3 : Utilisation des outils sig dans la cartographie du bassin versant d'oued el Harrach des zones en risque d'inondation Cas d'Oued Corso

❖ Objectifs du Projet :

Notre objectif est de devenir le principal centre d'excellence en étude des Géorisques marins dans les régions côtières au cours des 10 premières années. Nous visons à développer des solutions innovantes et durables pour la gestion des risques naturels, en collaborant étroitement avec les communautés locales et les autorités.

En tant qu'étudiants, nous commencerons par sous-traiter certaines de nos activités à des experts et des entreprises spécialisées, afin de bénéficier de leur expérience et de leurs compétences. Cela nous permettra de couvrir 40 % des zones côtières vulnérables identifiées dans notre étude préliminaire, en fournissant des analyses détaillées et des stratégies de mitigation des risques.

En atteignant ces objectifs, nous espérons contribuer significativement à la sécurité et à la résilience des populations côtières face aux défis posés par les changements climatiques et les événements naturels extrêmes.






❖ Equipe de travail :

L'équipe du projet est composée des membres suivants :

- Belacel Yasmine : En tant que responsable marketing, l'étudiant 01 est chargé de diriger le projet, de superviser les études de marché et de gérer les stratégies marketing.
- Grebici Mohamed Lamine : En tant que responsable des ressources humaines, l'étudiant 02 est responsable de la gestion des ressources humaines, y compris le recrutement, la formation et le bien-être des employés.
- Kouab Souhila : En tant que responsable des relations extérieures, l'étudiant 03 se concentre sur le développement des partenariats, la gestion des relations avec les parties prenantes et la communication externe.
- Belmokhtar Wissem : En tant que responsable financier, l'étudiant 04 est en charge de la gestion financière du projet, incluant la budgétisation, la planification financière et l'analyse des performances économiques.
- Griche Hocine : En tant que PDG, l'étudiant 05 supervise l'ensemble des opérations, assure la cohésion entre les différentes équipes et dirige le projet vers le succès.

Tous ingénieurs en gestion et protection du littoral, nous avons des connaissances approfondies dans plusieurs domaines complémentaires, ce qui nous permet d'aborder les géorisques littoraux de manière holistique et intégrée. En combinant nos compétences, nous sommes bien équipés pour offrir des solutions complètes et efficaces à nos clients.

❖ **Calendrier de réalisation du projet :**

			1	2	3	4	5	6
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2		Commande des équipements		✓	✓			
3		Location d'un siège de production	✓					
4		Installation des équipements		✓	✓			
5		Recrutement	✓					

Deuxième axe : Aspects innovants❖ **Domaine d'innovation :**

Notre projet d'étude des géorisques marins innove dans plusieurs domaines pour offrir des solutions complètes et efficaces.

Nous allons optimiser nos opérations en utilisant des technologies avancées de collecte et d'analyse de données, comme les drones et les capteurs sous-marins, ce qui augmentera l'efficacité et réduira les coûts.

En combinant l'étude de différents types de géorisques marins (érosion côtière, tsunamis, tempêtes, montée du niveau de la mer), nous proposerons des services améliorés et une approche intégrée pour la gestion des risques. En diversifiant notre offre, nous pourrions servir non seulement les autorités locales et les gouvernements, mais aussi les entreprises privées, les ONG, et les communautés locales, avec des services personnalisés. Nous introduirons des produits innovants comme des systèmes d'alerte précoce pour les tsunamis, des barrières naturelles contre l'érosion, et des logiciels de simulation pour prévoir l'impact des tempêtes.

En adoptant un modèle d'affaires flexible qui inclut la sous-traitance et la collaboration avec des experts, nous créerons un système de valeur permettant une réponse rapide et efficace aux besoins variés de nos clients. Cette approche holistique, englobant tous les aspects du traitement des Géorisques marins, nous distingue des entreprises spécialisées dans un seul type de risque, et nous positionne comme leader dans ce domaine.

Troisième axe : Analyse stratégique du marché

❖ Partenaires clés (marché potentiel)

Les partenaires clés pour un bureau d'étude des Géorisques marins comprennent toutes les entités qui pourraient avoir besoin d'une évaluation et d'une gestion des risques liés aux environnements marins. Cela inclut un large éventail de clients potentiels qui, de manière générale, sont concernés par les impacts des risques marins sur leurs activités

Notre entreprise vise à établir des partenariats avec :

- Des laboratoires de recherche universitaires (ENSSMAL)
- Agences gouvernementales spécialisées dans l'aménagement et la gestion du territoire et organisations environnementales (CNL, ANAAT, INCC, GIEC) : Responsabilité de la protection des zones côtières et marines besoin de données et d'expertise pour la planification de la résilience face aux changements climatiques et aux catastrophes naturelles.
- Entreprises de l'industrie pétrolière et gazière offshore : besoin d'évaluations des risques pour les installations offshores.
- Entreprises de transport maritime : Nécessité de gérer les risques associés aux routes maritimes et aux opérations portuaires.
- Développeurs d'infrastructures côtières : Elles s'intéresseraient à l'achat de nos services pour bénéficier de solutions basées sur l'intelligence artificielle pour la prédiction et la modélisation précise des processus côtiers. Cela les aiderait dans la planification et l'exécution de leurs projets de construction et d'aménagement côtier de manière plus efficace, en réduisant les risques, en optimisant les ressources et en améliorant la durabilité des infrastructures.
- Secteurs de la pêche et de l'aquaculture : Gestion des risques environnementaux et des catastrophes naturelles affectant les zones de pêche et d'aquaculture.
 - **Segment clients (marché cible) :**

Le marché cible se concentre sur les segments spécifiques qui ont un besoin immédiat et prioritaire des services offerts par notre bureau d'étude. Il comprend l'identification des caractéristiques démographiques, des besoins, des comportements et des préférences de chaque segment de clientèle.

Après avoir effectué une étude de marché, on a sélectionné ces clients cibles :

- Les bureaux d'études environnementaux.
- Les directions des travaux publics des wilayas littorales.
- Groupe d'Ingénierie et de Services pour l'Environnement et le Développement (GISMED).
- Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM).
- Institut Méditerranéen pour le Développement Environnemental et Côtier (MEDITRAM).
- L'entreprise des travaux maritimes : COSIDER construction, GIRAMA (Groupe d'Ingénierie et de Travaux Maritimes et Routiers d'Algérie).

➤ **Relations client :**

Les relations clients dans notre bureau d'étude sont essentielles pour assurer le bon déroulement des projets et la satisfaction des clients. Ces relations impliquent une communication claire et continue pour comprendre les besoins des clients.

Notre bureau d'étude réactifs et professionnels pour établir une relation de confiance avec nos clients pour cela on proposera des réunions régulières, des mis à jour sur l'avancement des projets, en plus des collaborations entre les clients. Des programmes de fidélisation et de récompense pour encourager la fidélité des clients et stimuler les recommandations positives.

❖ **Intensité de la concurrence :**

Les concurrents les plus importants sur le marché algérien, produisent pour la plupart, des études spécialisées des risques côtiers et des évaluations environnementales un peut limité à cause de manque d'expertise approfondie dans le domaine de la géologie marine et la géotechnique marine et aussi certaine filiale internationaux ont la possibilité de perception comme une entreprise étrangère , ce qui pourrait limiter leur accès a certains marchés locaux ou leurs opportunités de partenariats avec des acteurs locaux.

Les principaux concurrents dans ce secteur en Algérie peuvent être classés en deux catégories :

-Bureaux d'études locaux spécialisés dans les Géorisques marins : **GeoMar Algérie** : Spécialisé dans l'analyse des risques côtiers et sous-marins, **MarineTech Algérie** : Focus sur les solutions technologiques pour la gestion des risques marins.

-Filiales des grands groupes internationaux : **CETIM** : Une filiale d'un groupe international avec une forte présence en Algérie, **Sogreah Consultants** : Spécialisé dans les études environnementales marines et côtières.

❖ **La stratégie de marketing :**

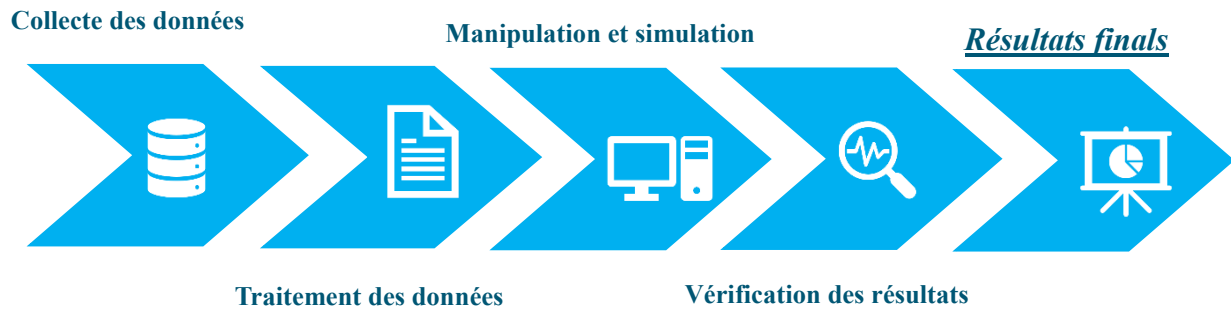
Pour distribuer les services notre bureau d'étude, on utilise différents canaux de distribution en fonction de nos clientèles cibles et nos objectifs commerciaux.

Les moyens de distribution des services proposées incluent :

- Participation à des conférences, des salons professionnelles, pour rencontrer des clients potentiels et présenter des services.
- Utilisation de plateforme en ligne et un site web détaillant les services offerts, les études de cas, les témoignages des clients et les informations de contact.
- Partenariats avec des entreprises locales pour étendre les services.
- Les ventes directes et les consultations avec les différentes entreprises.

Quatrième axe : Plan de production et organisation

❖ Le Processus de production



❖ L'Approvisionnement :

Dans le cadre de notre bureau d'études sur les géorisques marins, nous avons établi une politique d'achat stratégique pour garantir l'efficacité de nos opérations. Nous collaborons directement avec la banque pour sécuriser les meilleures conditions pour l'acquisition de matières premières, matériaux, fournitures et équipements. Nous travaillons en partenariat avec l'incubateur de l'ENSSMAL, qui offre un soutien aux porteurs de projets pour la création et l'expansion de petites entreprises de production de biens et de services. En ce qui concerne la politique de paiement, il est géré via CCP et CIB, ainsi que par mois, offrant une flexibilité financière et des délais de réception optimisés.

❖ La main d'œuvre

Notre projet côtier permettra de créer environ 11 emplois directs et 4 emplois indirects. Les postes directs incluent nous, les 5 ingénieurs en génie côtier, ainsi que 5 autres ingénieurs spécialisés et un technicien qualifié pour travailler sur des équipements de pointe.

En complément, nous aurons besoin de 4 personnels indirects, comprenant divers travailleurs tels qu'une femme de ménage, des agents de soutien, des comptables etc. assurant ainsi un fonctionnement optimal de nos opérations quotidiennes.

Notre équipe directe sera basée principalement dans notre bureau central, tandis que les techniciens travailleront sur le terrain, réalisant des études et des relevés côtiers. Pour les tâches nécessitant une manutention spécifique, nous prévoirons des formations adéquates pour garantir la sécurité et l'efficacité de nos opérations. Cette structure nous permettra d'assurer une

expertise de haut niveau tout en optimisant les ressources humaines nécessaires pour le succès du projet.

Cinquième axe : Plan financier

❖ Les Coûts et charges :

Project	Frais (par ans)
Matériel informatique (PC, imprimante, logiciel) + Matériel bureautique (Bureaux, chaises, armoires, tableau) + Fourniture (papiers, ancre, stylos, registres) + Eau et électricité + Internet	2 570 000,00 da
Loyer	480 000,00 da
Dossier administratif	50 000,00 da
Coût du projet (Données géo spatiales, Matériel de collecte de données sur le terrain)	500 000,00 da
Salaires et charges sociales du personnel	5 760 000,00 da
La publicité	24 000,00 da
Réparation et maintenance du matériel	10 000,00 da
Total	9 394 000,00 da

❖ Modes et sources d'obtention de financement :

Pour effectuer notre projet nous avons obtenu un crédit bancaire **10 000 000, DA** avec un aide de la part de l'incubateur de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL), plus un budget personnel de **2 500 000,00 DA** avec un mode de paiement gérée via **CCP et CIB**.

❖ Tableau des paiements :

Année	1 an (12 mois)	2-ème année	3-ème année
Études	3 études	6 études	9 études
Formation	5 formations	10 formations	15 formations
Vente des cartes	30 cartes	60 cartes	90 cartes

❖ **Le Chiffre d'affaires :**➤ **Coût de production :**

Service	Prix	Nombre	Total de la première année
Etude	3 500 000,00 Da	3	10 500 000,00 DA
Formation	30 000,00 Da	5	150 000,00 DA
Carte	3000,00 Da	30	90 000,00 DA

➤ **Chiffre d'affaires :**

Les études 10 500 000.00 DA + la formation 150 000,00 DA + vente des cartes 90 000,00 DA
 = 10 740 000.00 DA (1 année)

BENEFICE DE LA PREMIERE ANNEE :

C.A	10 740 000.00 DA
	-
LES CHARGES	9 394 000.00 DA
	=
BENEFICE	1 346 000.00 DA

Partenaires clés	Activités principales	Valeurs ajoutées	Relation clients	Clients
<ul style="list-style-type: none"> -Des laboratoires de recherche universitaires (ENSSMAL) -Des agences gouvernementales spécialisées dans l'aménagement et la gestion du territoire (CNL, ANAAT, INCC, GIEC). -Des sociétés d'ingénierie -Des entreprises de surveillance environnementale -Entreprises de l'industrie pétrolière et gazière offshore. -Entreprises de transport maritime et portuaires. -Développeurs d'infrastructures côtières. -Secteurs de la pêche et de l'aquaculture. 	<ul style="list-style-type: none"> -Des relevés et prélèvements (topographiques, bathymétrie, sédimentologie, -Analyse des phénomènes physiques, hydrauliques, hydrologique Des analyses géologiques et géomorphologiques, -Des évaluations des Géorisques côtiers (submersion, inondation.) -Des cartographies numériques -Traitement des bases de données Environnemental. Dimensionnement des ouvrages de protection et des ouvrages portuaires. -étude d'impact <p style="text-align: center;">Ressources liées</p> <ul style="list-style-type: none"> -Personnel qualifié : En programmation, géographie, géologie, télédétection, modélisation, cartographie et analyses géospatiale -Matériel informatique puissant - accès a des données sur le génie côtier et l'environnement - aide financier par l'incubateur de l'ENSSMAL 	<ul style="list-style-type: none"> -Développement des modèles prédictifs avancés pour anticiper les problèmes côtiers tels que le franchissement, le run up, le run down des vagues, les submersions marines et les tempêtes marines. -Identification et cartographie des zones côtières à risques élevés, permettant une gestion proactive des risques. -Prédiction des états de mer extrêmes à venir -Étude des possibilités d'inondations dans les zones adjacentes aux oueds, -Traitement et l'analyse des bases de données géospatiales. -Proposer des formations en programmation (langage Python), ainsi que des logiciels spécialisés en cartographie (SIG) et des logiciels spécifiques au domaine marin (MIKE, surfer teleMac). -Fournir des formations gratuites pour les étudiants 	<ul style="list-style-type: none"> -Des réunions de suivi régulières -des collaborations entre les clients. - Des programmes de fidélisation et de récompense. -Des rapports détaillés sur les résultats de vos études -Une assistance technique continues <p style="text-align: center;">Les canaux de distribution</p> <ul style="list-style-type: none"> -Participation à des conférences, des salons professionnelles - Utilisation de plateforme en ligne et un site web - Partenariats avec des entreprises locales pour étendre les services. - Les ventes directes et les consultations avec les différentes entreprises. 	<ul style="list-style-type: none"> -Les bureaux d'études environnementaux. -Les directions des travaux publics des wilayas littorales. -Groupe d'Ingénierie et de Services pour l'Environnement et le Développement (GISMED). Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM). - Institut Méditerranéen pour le Développement Environnemental Et Côtier (MEDITRAM). -L'entreprise des travaux maritimes : COSIDER construction, GIRAMA (Groupe d'ingénierie et de Travaux Maritimes et Routiers d'Algérie). -Ministère des travaux publics et des infrastructures de base
Coûts 9 394 000, da (1 an)		Revenus 1 346 000.00 DA (1 an)		

Résumé

Partant du postulat que le changement climatique et l'élévation conséquente du niveau de la mer Méditerranée sont maintenant les phénomènes les plus inquiétantes pour la communauté scientifique, de cet effet plusieurs études ont tenté de contribuer aux efforts menés pour l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation des zones côtières algériennes face à ces changements.

Allant de 1972 jusqu'à 2020, Le littoral centre algérien a connu une forte dégradation des zones côtières, cela est expliqué par la conjugaison des facteurs naturels (climat des houles) et/ou anthropiques (développement de tourisme balnéaire, industrie, extension du tissu urbain...).

2162 ha pour la baie de Bou-Ismaïl, 1881 ha pour la baie d'Alger et 1926 ha pour la baie de Zemmouri de la superficie totale présente un risque des actions combiné de la submersion marine et l'inondation maximum.

D'après les cartes de vulnérabilité de la zone, Oued El-Harrach et Oued Mazafran sont les plus inondés.

Mots clés : Changement climatique, élévation du niveau de la mer, vulnérabilité, adaptation, littoral centre algérien, submersion, inondation.

Summary

Based on the premise that climate change and the consequent rise in Mediterranean Sea levels are now the most worrying phenomena for the scientific community, several studies have attempted to contribute to efforts to assess the vulnerability and adaptation of Algerian coastal zones to these changes.

From 1972 to 2020, the central Algerian coastline has seen significant degradation of its coastal zones, due to a combination of natural (swell climate) and/or anthropogenic (development of seaside tourism, industry, urban sprawl, etc.) factors.

2162 ha for Bou-Ismaïl Bay, 1881 ha for Algiers Bay and 1926 ha for Zemmouri Bay of the total surface area is at risk from the combined actions of marine submersion and maximum flooding.

According to the vulnerability maps of the area, Oued El-Harrach and Oued Mazafran are the most flooded.

Keywords : Climate change, sea-level rise, vulnerability, adaptation, central Algerian coastline, submersion, flooding.

الملخص

انطلاقاً من فرضية أن التغير المناخي وما يترتب عنه من ارتفاع منسوب مياه البحر الأبيض المتوسط هما أكثر الظواهر التي تثير قلق المجتمع العلمي في الوقت الراهن، حاولت عدة دراسات المساهمة في الجهود المبذولة لتقييم مدى تأثير المناطق الساحلية الجزائرية بهذه التغيرات وتكيفها معها.

من عام 1972 إلى عام 2020، شهد الساحل الجزائري الأوسط تدهوراً كبيراً في المناطق الساحلية منذ عام 1972 وحتى عام 2020، بسبب مزيج من العوامل الطبيعية (ارتفاع منسوب المياه) و/أو البشرية (تنمية السياحة الساحلية، الصناعة، امتداد النسيج العمراني، إلخ)

من إجمالي المساحة السطحية، هناك 2,162 هكتار في خليج بواسماعيل و1,881 هكتار في خليج الجزائر و1,926 هكتار في خليج زموري معرضة للخطر من الآثار المجتمعة للغمر البحري والفيضانات القصوى

وفقاً لخرائط هشاشة المنطقة فإن وادي الحراش وواد مزفران هما الأكثر تعرضاً للفيضانات

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، ارتفاع مستوى سطح البحر، قابلية التأثر، التكيف، الساحل الجزائري الأوسط، الغمر، الفيضانات