

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

Option : GESTION ET PROTECTION DU LITTORAL

Changement climatique et risques côtiers
dans la métropole algéroise.

Présenté par :

- **DOUBI Amina**
- **FERDI Bahdja**

Soutenu le 10 / 12 /2020 devant le jury suivant :

M^r .OTHMANI H.	MCB (E.N.S.S.M.A.L)	Président
M^r .MEZOUAR K.	MCA (E.N.S.S.M.A.L)	Promoteur
M^r .SALLAYE M.	CS (ANCC)	Co-promoteur
M^{me} .MAHDID	MAA (E.N.S.S.M.A.L)	Examinatrice
M^r .DAHMANI A.	MAB (E.N.S.S.M.A.L)	Examineur

PROMOTION 2020

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER

Domaine : sciences de la terre et l'univers

filière : Géographie et aménagement de territoire

Spécialité : Gestion et protection du littoral

Changement climatique et risques côtiers
dans la métropole algéroise.

Présenté par :

- **DOUIBI Amina**
- **FERDI Bahdja**

Soutenu le 10 / 12 /2020 devant le jury suivant :

M^r .OTHMANI H.	MCB (E.N.S.S.M.A.L)	Président
M^r.MEZOUAR K.	MCA (E.N.S.S.M.A.L)	Promoteur
M^r.SALLAYE M.	CS (ANCC)	Co-promoteur
M^{me} .MAHDID	MAA (E.N.S.S.M.A.L)	Examinatrice
M^r .DAHMANI A.	MAB (E.N.S.S.M.A.L)	Examineur

PROMOTION 2020

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah, le tout puissant de nous avoir donné le courage, la force et la volonté pour réaliser cette étude.

*Nous avons emprunté ces mots à la personne qui sans lui ce travail n'aurait pas vu le jour. Nous dénommons Monsieur **MEZOUAR** non seulement pour nous avoir encadré mais il a cru en nous et a su nous guider et nous faire progresser tout au long de ce travail de recherche, nous tenons à le remercier pour sa disponibilité, pour nous avoir suivie et enrichir notre connaissances. Nous ne saurons utiliser les mots justes pour lui exprimer toute notre gratitude, mais qu'il trouve dans ces quelques lignes une marque de respect et l'expression de notre admiration.*

*Nous sommes redevables à Monsieur **SALLAYE** parce qu'il ne nous a ménagé aucun effort pour nous mettre dans les meilleures conditions d'études. , nous avons beaucoup appris avec lui. Nous restons d'ailleurs impressionner par son esprit d'analyse et de synthèse. Merci de nous avoir guidées vers l'essentiel.*

*Notre reconnaissance s'adresse à Monsieur **OTHMANI** d'avoir accepté de présider le jury. Nous le remercions d'abord pour leur qualité d'enseignants ainsi que les encouragements permanents qui étaient très utiles pour le moral, de même que pour les conseils et orientations durant toute notre formation au sein de l'établissement*

*Nous sommes honorés par la présence de Madame **MAHDID** parmi les membres de notre jury. Nous n'oublierons jamais les précieux conseils qu'elle nous a prodigués en tant qu'enseignante très soucieuse du succès de ses étudiants. Nous lui exprimons notre gratitude et notre remerciement.*

*C'est un grand plaisir pour nous de compter Monsieur **DAHMANI** parmi les membres du jury. Nous adressons notre sincères remerciements pour son aide morale et scientifique, sa profonde gentillesse , sa générosité en tant qu'enseignant. Nous lui adressons toute notre reconnaissance d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Pour finir, nous adressons notre sincères remerciements à l'ensemble des enseignants et personnels de notre école supérieure **ENSSMAL** et du département d'environnement et aménagement et les agents bibliothèque qui nous ont encadré durant notre cursus.*

Amina et Bahdja

Dédicace

J'éprouve l'immense plaisir de dédier ce modeste mémoire :

A ma fierté ; mes parents ; Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur, la gratitude et l'amour que je vous porte.

*A l'homme de ma vie, l'épaule solide, mon premier exemple **mon Père**, et qui il n'est plus de ce monde, qu'il repose en paix*

*Je dédier ce travail aussi à **mon beau Père** qu'on m'a bien accueilli et m'a donnée du courage et du moral. Puisse dieu vous accorder, longue vie, santé et prospérité.*

*A la femme la plus chère dans ma vie, ma raison d'être, ma raison de vivre; **ma Méré**, qui mis l'avenir de ses enfants en premiers et en dernier. Je vous jure qu'aucun mot, ni expression ne saurait exprimer tout mon amour.*

*A **ma sœurs Manel** et mon ange son fils et à son mari ; merci d'être toujours à mes coté, par votre présence, par votre amour, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille. Que ce travail vous témoigne de ma sincère affection.*

*A la mémoire de mes très chers grand -parents, paternel et maternel qui ne sont plus de ce monde, qu'ils reposent en paix, et à **ma grande mère** qui me reste.*

*A mes tantes maternelles et paternelles a **Sousou** et ses enfants et A tous mes oncles ;
Mes cousins et cousines ;*

*Une dédicace pour mes amis **proche** et d'études et d'**intime** et même **des chères loin en distance** mais toujours **pré en esprit** qui me guide toujours et me donne du moral et avec lesquels j'ai partagé tous les moments agréables de ma vie, à toute ma clique de la **promotion Gestion et Protection du Littoral**.*

Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de longs mois de distance de votre amour de votre tendresse. Loin de vous, votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.

Amina

Dédicace

J'éprouve l'immense plaisir de dédier ce modeste mémoire :

A ma fierté ; mes parents ; Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur, la gratitude et l'amour que je vous porte. Que dieu les préserve une longue vie pleine de santé et de joie.

A la mémoire de mes très chers grand -parents, paternel et maternel qui ne sont plus de ce monde, qu'ils reposent en paix.

*A mes deux sœurs : **Linda** et **Meriem** ; Merci d'être toujours à mes coté, par votre présence, par votre amour, pour donner du goût et du sens à ma vie.*

*A mon oncle **Kabir Abd Errahmene** qui il n'est plus de ce monde, qu'il repose en paix, A mon oncle **Kabir Ali**, aucun mot, ni expression ne saurait vous exprimer tout mon respect, ma gratitude. A ma famille maternelle et paternelle.*

*Une dédicace pour mes amis proches : **Nazifa, Wafa, Ikram, Amina** et mes amis d'études et d'intime et même des chères loin en distance mais toujours pré en esprit qui me guide toujours et me donne du moral et avec lesquels j'ai partagé tous les moments agréables de ma vie, à toute ma clique de la promotion Gestion et Protection du Littoral.*

Bahdja

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace 1.....	II
Dédicace 2	III
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux	XI
Tableau des abréviations	XII
Introduction générale	2
Chapitre I : Forçages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole	4
1. Le système littoral.....	5
2. Le littoral en Algérie	5
3. Système morphodynamique	6
4. Profilage des côtes sableuses	7
5. Les agents de la dynamique littorale.....	8
5.1. Le vent.....	8
5.2. Les vagues	8
5.3. La houle.....	8
5.4. La marée	9
5.5. Le courant.....	10
6. Emprise humaine et modification du trait de côte	11
6.1. La construction des barrages sur les fleuves	11
6.2. Aménagement portuaire et maritime	11
7. L'extraction du sable.....	11
8. Arasement des dunes.....	11
9. L'urbanisation anarchique près de côte	11
10. La pollution	11
11. Destruction de couverture végétale	12
12. L'impact des changements climatiques et la submersion marine sur le littoral algérien ..	12
Chapitre II: Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude	13
1. Introduction.....	14
2. Présentation du secteur d'étude.....	14
2.1. Situation géographique.....	14
2.1.1. La baie de Zemmouri.....	14
2.1.2. La baie d'Alger :.....	15
2.1.3. La baie de Bou Ismail:.....	16

2.2.	Cadre Géologique.....	16
2.3.	Cadre Géomorphologique	18
2.3.1.	Les plages	18
2.3.2.	Les dunes	19
2.3.3.	Les falaises.....	20
2.4.	Cadre hydrographique	21
2.5.	Cadre climatique.....	23
2.5.1.	Les températures	23
2.5.2.	Les précipitations.....	24
2.6.	Cadre océanographique	25
2.6.1.	Les vents au large	25
2.6.2.	Les houles au large	29
2.6.3.	Les courants	30
2.6.4.	La marée	30
2.6.5.	Le niveau marin	34
Chapitre III : Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.....		35
Introduction		36
Partie 1 : Cartographie la bathymétrie des fonds marins.....		36
1.	Méthodologie: procédés d'investigation et d'acquisition des données.....	36
2.	Cartographie de la bathymétrie 2020 :.....	37
3.	Résultats	37
3.1.	Paramétrage du modèle	37
3.1.1.	Maillage du modèle	37
3.1.2.	Emprise du modèle	38
3.2.	Interprétation de la bathymétrie	38
3.2.1.	Bathymétrie de la baie de Zemmouri :	38
3.2.2.	Bathymétrie de la baie d'Alger.....	39
3.2.3.	Bathymétrie de la baie de Bou Ismail.....	40
Partie 2 : Etude hydrodynamique		41
1.	Méthodologie	41
1.1.	Description des codes de calcule et de simulation	41
1.1.1.	Modèle de vague de MIKE (SW):	42
1.1.2.	Modèle hydrodynamique de MIKE (HD):	42
1.1.3.	Modèle de transport sédimentaire et de morphologie (ST):	42
1.1.4.	Modèle couplé MIKE21/3 FM	42

2.	Calibration et interprétation de la simulation.....	44
2.1.	Modèle SW (Spectral Waves)	44
2.1.1.	Calibration du modèle SW.....	44
2.1.2.	Interprétation du modèle SW	44
2.2.	Modèle HD (Hydrodynamique)	51
2.2.1.	Calibration du modèle HD.....	51
2.2.2.	Interprétation du modèle HD	51
2.3.	Modèle ST (transport sédimentaire).....	57
2.3.1.	Calibration du modèle ST.....	57
2.3.2.	Interprétation du module ST.....	57
	Conclusion.....	69
	Chapitre IV: Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude...	70
	Introduction	71
1.	Moyen et méthode.....	71
1.1.	Aperçu sur le logiciel Arc GIS desktop 10, l'extension DSAS et SAS Planet	71
1.1.1.	Arc GIS DESKTOP 10.4.....	71
1.1.2.	DSAS (Digital Shoreline Analysis System)	72
1.1.3.	SAS Planet	72
1.2.	Méthodologie.....	72
1.3.	Résultats et discussions	73
1.3.1.	Cinématique du trait de côte à une échelle pluriannuelle (1972- 2020).....	74
1.3.1.1.	La période 1972-1999	74
1.3.1.2.	La période 1999-2017	79
1.3.1.3.	La période 2017-2020	83
1.3.1.4.	La période 1972-2020	87
1.3.2.	Evolution provisionnelle du trait de côte 2020-2100	91
	Conclusion.....	94
	Chapitre V: Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face à la submersion marine.	95
	Introduction	96
1.	Méthodologie	98
1.1.	Les scénarios de l'élévation de niveau marin.....	98
1.2.	Les terres à risque d'inondation	99
2.	Résultats	100
2.1.	Les scénarios des niveaux extrêmes	100
2.1.1.	Scénario 3m	102
2.1.2.	Scénario 1m	106

2.1.3. Scénario 2m	107
2.1.4. Scénario 5m	109
2.1.5. Scénario 8m	111
2.2. Les estimations des superficies des terres inondables.....	112
Conclusion.....	115
Conclusion générale	116
Références bibliographiques	120
Annexes	125

Liste des figures

Figure 1: Boucle morphodynamique du système côtier présentant les rétroactions entre hydrodynamique, morphologie et transport sédimentaire et les facteurs de contrôle impliqués (modifiée d'après Cowell et Thom, 1994).	6
Figure 2: Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes $T > 20$ s. (Stépanian, A, 2002).	7
Figure 3: Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (Bonnot-Courtois, C., Levasseur, 2002).	8
Figure 4: Caractéristique des houles.	9
Figure 5: Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité d'énergie de chaque type (Denamiel, 2006).	10
Figure 6: Les différentes zones d'action des vagues et les principaux courants pouvant agir près des côtes. h : profondeur ; z : distance sous la surface ; L : longueur d'onde des vagues ; 1 : courant orbital ; 2 : courant oscillatoire (sur le fond) ; 3 : dérive.	10
Figure 7: Situation géographique de la métropole algéroise.	14
Figure 8: Situation géographique de la baie de Zemmouri.	15
Figure 9: Situation géographique de la baie d'Alger.	15
Figure 10: Situation géographique de la baie de Bou Ismail.	16
Figure 11: Carte structurale de la région d'Alger in Domzig (modifiée d'après Yelles et al. soumis, Kieken, 1962, Wildi, 1983, et Boudiaf, 1996).	17
Figure 12: Photo des plages développées au pied des falaises taillées dans les roches tendres entre Ain Taya et Boumerdès et une plage large au voisinage d'Oued Isser.	19
Figure 13: Cordon dunaire fortement à l'ouest de l'embouchure d'Oued Isser et Reghaia.	19
Figure 14: Falaise d'Ain Taya et de Boudouaou.	20
Figure 15: Carte des réseaux hydrographiques dans la Métropole.	21
Figure 16: Diagramme de température (max, min et moyenne) mensuelles 2010 - 2019. (O.N.M 2019 de Dar El Beida).	24
Figure 17: Histogramme des précipitations mensuelles de la station de Dar El Beida entre 2010 et 2019.	25
Figure 18: Roses des vents au large de la baie de Zemmouri.	26
Figure 19: Roses des vents au large de la baie d'Alger.	27
Figure 20: Roses des vents au large de la baie de Bou Ismail.	28
Figure 21: Roses des houles au large de la baie de Zemmouri.	31
Figure 22: Roses des houles au large de la baie d'Alger.	32
Figure 23: Roses des houles au large de la baie de Bou Ismail.	33
Figure 24: Maillage du modelé de la métropole algéroise.	37
Figure 25: Bathymétrie de la zone d'étude la métropole algéroise.	38
Figure 26: La carte bathymétrique de la baie zemmouri.	39
Figure 27: Carte bathymétrique de la baie d'Alger.	40
Figure 28: Carte bathymétrique de baie de Bou Ismail.	41
Figure 29 : Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée des différents modèles (HD, ST, SW).	43
Figure 30: Champs de houles de direction Nord-Est (45°).	46
Figure 31: Champs de houles de direction Nord (360°).	46
Figure 32: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).	46
Figure 33: Champs de houles de direction Nord-Est (45°).	48
Figure 34: Champs de houles de direction Nord (360°).	48

Figure 35: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).	48
Figure 36: Champs de houles de direction Nord-Est (45°).	50
Figure 37: Champs de houles de direction Nord (360°).	50
Figure 38: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).	50
Figure 39: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).	52
Figure 40: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).	52
Figure 41: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Ouest (315°).	52
Figure 42: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).	54
Figure 43: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).	54
Figure 44: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (315°).	54
Figure 45: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).	56
Figure 46: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).	56
Figure 47: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Ouest (315°).	56
Figure 48: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)	58
Figure 49: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord (360°)	59
Figure 50: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)	60
Figure 51: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)	62
Figure 52: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord(360°)	63
Figure 53 le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)	64
Figure 54: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)	66
Figure 55: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord (360°)	67
Figure 56: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)	68
Figure 57: Création des transects espacés de 20 m à partir de code de calcul DSAS.	73
Figure 58: Position du trait de côte de la baie de Zemmouri durant les années 2020-2100.	91
Figure 59: Position du trait de côte de la baie d'Alger durant les années 2020-2100.	92
Figure 60: Position du trait de côte de la baie de Bousmail durant les années 2020-2100.	92
Figure 61: Evolution du trait de côte entre 2020 et 2100 au niveau de la Métropole	93
Figure 62: Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec	96
Figure 63: Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau. (ORRM).	97
Figure 64: Modèle numérique de terrain d'une résolution de 30 cm pour la zone d'étude.	98
Figure 65: Carte représentatif de la submersion marine (scénarios 1m ,2m ,3m ,5m et 8m) pour la métropole.	101
Figure 66: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie de Zemmouri.	103
Figure 67: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie de Zemmouri par zone.	103
Figure 68: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie d'Alger.	104
Figure 69: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie d'Alger par zone.	104
Figure 70: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie de Bousmail.	105
Figure 71: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie de Bousmail par zone.	105
Figure 72: Carte représentatif de la submersion marine scénario 1m de la baie de Zemmouri.	106
Figure 73: Carte représentatif de la submersion marine scénario 1m de la baie d'Alger.	106
Figure 74: Carte représentatif de la submersion marine scénario 1m de la baie de Bousmail.	107
Figure 75: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie de Zemmouri.	108
Figure 76: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie d'Alger.	108

Figure 77: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie de Bousmail.	109
Figure 78: Carte représentatif de la submersion marine scénario 5m de la baie de Zemmouri. .	109
Figure 79: Carte représentatif de la submersion marine scénario 5m de la baie d'Alger.....	110
Figure 80: Carte représentatif de la submersion marine scénario 5m de la baie de Bousmail.	110
Figure 81: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie de Zemmouri. .	111
Figure 82: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie d'Alger.....	111
Figure 83: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie de Bousmail.	112
Figure 84: circuit relative des superficies inondés (scénario 1m).....	114
Figure 85: circuit relative de superficies inondées (scénario 2 m).....	114
Figure 86: circuit relative de superficies inondées (scénario 3m).....	114
Figure 87: circuit relative de superficies inondées (scénario 5m).....	114
Figure 88: circuit relative de superficies inondées (scénario 8 m).....	114

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les caractéristiques des Oueds de la métropole algéroise.....	22
Tableau 2 : Distribution des températures moyennes mensuelles pour la période entre 2010-2019 (O.N.M 2019 de Dar El Beida).....	23
Tableau 3 : valeurs de précipitation. (O.N.M archive 2010 - 2019 de Dar El Beida).....	24
Tableau 4 :Cellules hydro sédimentaires de la métropole.....	44
Tableau 5 :Cellules hydro sédimentaires de la métropole.....	74
Tableau 6 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1972-1999).....	76
Tableau 7 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1972-1999).....	77
Tableau 8 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bousmail (1972-1999).....	78
Tableau 9 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1999-2017).....	80
Tableau 10 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1999-2017).....	81
Tableau 11 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bousmail (1999-2017).....	82
Tableau 12 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (2017-2020).....	84
Tableau 13 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (2017-2020).....	85
Tableau 14 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bousmail (2017-2020).....	86
Tableau 15 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1972-2020).....	88
Tableau 16 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1972-2020).....	89
Tableau 17 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bousmail (1972-2020).....	90
Tableau 18 : Superficies inondées dues à la submersion marine de la métropole (scénario 1m, 2m, 3m, 5m et 8m).....	113

Tableau des abréviations

Abréviation	Signification		
ANCC	Agence Nationale des Changements Climatiques	NNE	Nord-Nord-Est
DHI	Institut Hydraulique Danois	NSM	Net Shoreline Movement
DSAS	Digital Shoreline Analysis System	NW	Nord-Ouest
ENE	Est-Nord-Est	O.N.M	Office National de Météorologie
EPR	End Point Rate	ONT	Office National du Tourisme
Esri	Environmental System Research Institute	ORRM	Observatoire Régional des Risques Majeurs
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat	PATW	Plan d'Aménagement de Territoire de la Wilaya
H	Hauteur de la houle au large	SIG	Système d'Information Géographique
H ₀	Hauteur de la houle au large	ST	Transport Sédimentaire
HD	Hydrodynamique	SW	Spectral Wave
Hs	Hauteur significatif de la houle	Tp	Période de pique
LEM	Laboratoire des Etudes Maritimes	USGS	U.S. Geological Survey
LRR	Linear Regression Rate-of-change	UTM	Universal Transverse Mercator
MNT	Modele Numérique de Terrain	WGS	World Géoïde System
N	Nord	WSW	Ouest -Sud-Ouest
NE	Nord Est	ZET	Zones d'Expansion Touristique
NGA	Nivelement Général Algérien		

Introduction générale

Introduction générale

Le littoral est un espace complexe et vulnérable, lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines, qui se traduisent par un déséquilibre dynamique, ce qui résulte la manifestation d'une ou plusieurs aléas (érosion, submersion marine ...).

Ce système est intrinsèquement mouvant : il peut localement gagner de la matière ou en perdre du fait de l'érosion et de la submersion marine. L'homme et la nature contrôlée par l'effet de changement climatique sont à l'origine de ces mouvements.

Le littoral algérien s'étend sur 1622 km. Il est caractérisé par un écosystème riche, fragile et constamment menacé de dégradation en raison des facteurs hydrodynamiques, inondation, submersion marine, des activités anthropiques le long de la bande côtière. Pour des raisons socio-économiques, environ deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral. L'urbanisation ne cesse de se déplacer vers le littoral qui engendre une forte artificialisation des espaces littorales. La zone centrale algéroise s'est métamorphosée d'une région aérée avec un territoire naturel diversifié (cotes sableuses avec des larges plages et dunes, forêt, agriculture, prairie,..), à une métropole saturée étouffée par l'urbanisation avec des flux démographiques incontrôlable.

Le changement climatique exacerbe les différentes tensions qui s'expriment autour de zones côtières et qui ne feront que s'intensifier à l'avenir. Le groupe d'expertes de GIEC fait ressortir un réchauffement moyen compris entre 0.3°C et 4.8°C pour la période 2081-2100 par rapport à la moyenne de 1986-2005, alors que la planète s'est réchauffée de 0.6°C, en moyenne, au cours du XXe siècle. Ce réchauffement provoque une accélération de la tendance régressive des rivages, une extension de la submersion marine sur les espaces côtiers... Cela présage un avenir incertain et les évolutions futures des conditions de température, des régimes de précipitations, du niveau de la mer ... ne feront que remettre en question l'état futur des littoraux !!!! (**Djouder .F, 2018**). L'Algérie à l'instar des autres pays côtiers méditerranés, subit une élévation de niveau de la mer de 0,7 mm par an entre 1945 et 2000 (**Calafat. F.M, Gomis. D, 2009**), et de 1,1 mm par an entre 1970 et 2006 (**Meysignac. B et al, 2010**), après 2010 une accélération de l'élévation du niveau de la mer a atteint une valeur d'environ 3 mm par an (**Tsimplis. M.N et al, 2013**).

Aujourd'hui, la problématique de l'érosion côtière et la submersion marine sont l'une des menaces les plus graves pour de nombreux sites côtiers Algériens en particulier le long des littoraux sableux, ces phénomènes sont également responsables du recul général des côtes sableuses du littoral algérien qui constituent, non seulement le siège d'échanges de sédiment, mais aussi un siège d'un panel varié d'activités économiques : pêche, ostréiculture, agriculture littorale, tourisme, activités portuaires et industrielles ... etc., qui sont soulignés la perte de caractéristique naturelle et la mobilité de rivage.

A travers ce modeste travail, on a choisi de se focaliser sur ces deux aléas qui sont spécifiques au littoral et qui menacent les espaces côtiers algériens:

- L'érosion côtière est un phénomène naturel multifactoriel principalement lié à l'équilibre sédimentaire. Elle se manifeste sur une portion littorale lorsque les pertes sédimentaires (érosion) sont supérieures aux apports (accrétion ou engraissement). A l'inverse, si les apports des sédiments sont supérieurs aux pertes, le littoral s'engraisse. La dynamique de bilan sédimentaire est liée aux impacts croisés de processus marins (houle, marées et

Introduction générale

Courants marin) et continentaux (pluie, gel et vent) mais les actions de l'homme peuvent également contrarier cet équilibre.

- Les submersions marines sont la conséquence de fortes tempêtes et peuvent aussi être influencées par le marnage de la mer ou l'océan, **(Hénaff et Manuelle, 2014)**.

Objectif de ce mémoire

L'objectif principal de notre étude est de mieux comprendre les processus qui interagissent dans la zone littorale qui définissent la sensibilité des secteurs littoraux face aux aléas auquel elle est soumise, suivit par une approche systématique à travers l'exploitation des données disponible (géomorphologique, forçages côtier ...). Il est à noter que l'objectif principal couvre un nombre de sous-objectifs pour chaque partie.

- La première partie est une présentation classique du site choisi (la métropole algéroise) avec une vue synoptique de la région : climatique, hydrographique, géologique, géomorphologique...etc.
- La deuxième partie que ciblera notre étude, porte sur la modélisation des phénomènes hydrodynamiques à l'aide du logiciel MIKE 21 avec une interprétation des résultats.
- La troisième partie consiste à étudier la variation de la ligne de rivage et le calcul de taux d'évolution de trait de côte, par l'utilisation d'une extension DSAS 3.4 de logiciels Arc GIS 10.4.
- La quatrième partie se focalise sur une étude de phénomène de la submersion marine en utilisant le logiciel Arc GIS 10.4 qui permettra de créer des cartes d'aléa pour des élévations de niveau marines différentes.

Chapitre I : Forçages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

Chapitre I : Forcages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

1. Le système littoral

Les termes de littoral, de côte, de rivage étant à contenu variable, il nous a paru plus intéressant d'utiliser le terme de système littoral. Situé à l'interface entre la terre, la mer et l'air, le littoral s'apparente à un milieu régi par des dynamiques à la fois maritimes, terrestres et atmosphériques, dont l'évolution et le fonctionnement sont marqués par une forte variabilité spatiale et temporelle (**Carter, 1999, Haslett, 2000**). Ces contraintes physiques contribuent à définir un agencement de processus et de formes variées (falaises rocheuses, plages de sables, vasières)...qui permettent le développement de différents types de systèmes côtiers. Les conditions météorologiques et hydrodynamiques qui contrôlent la formation et l'évolution de ces systèmes côtiers varient sur différentes échelles temporelles (**Carter, 1999, Haslett, 2000**). Ces variations impliquent une mobilité des formes littorales sur différentes échelles spatiales. Il en résulte que les systèmes côtiers fonctionnent sur différentes échelles de temps et d'espace, emboîtées les unes aux autres (**Cowell et Thom, 1994**).

2. Le littoral en Algérie

✓ Selon la loi 02-02 du 5 février 2002 (Art.8.) :

« Le littoral englobe l'ensemble des îles et îlots, le plateau continental ainsi qu'une bande de terre d'une largeur minimale de huit cents mètres (800 m), longeant la mer et incluant :

- Les versants de collines et montagnes, visibles de la mer et n'étant pas séparés du rivage par une plaine littorale ;
- Les plaines littorales de moins de trois kilomètres (3 km) de profondeur à partir des plus hautes eaux maritimes ;
- L'intégralité des massifs forestiers ;
- Les terres à vocation agricole ;
- L'intégralité des zones humides et leurs rivages dont une partie se situe dans le littoral à partir des plus hautes eaux maritimes tel que défini ci-dessus ;
- Les sites présentant un caractère paysager, culturel ou historique.

➤ Le littoral comprend une zone spécifique qui fait l'objet de mesures de protection et de valorisation, dénommée zone côtière, qui comprend :

- Le rivage naturel ;
- les îles et les îlots ;
- les eaux intérieures maritimes ;
- le sol et le sous-sol de la mer territoriale. »

✓ Situation du littoral en Algérie

Le littoral algérien s'étend sur 1 622 kilomètres. Il représente un écosystème fragile et constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière. La population est caractérisée par une répartition déséquilibrée sur le territoire national environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement, tandis que 8%

de la population est dispersée à travers le Sahara qui s'étend sur 87% du territoire national. (Boukhennaf. M. A, 2016).

3. Système morphodynamique

Un système morphodynamique est constitué d'un objet géomorphologique qui réagit aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique. La morphodynamique de ce système prend en compte les rétroactions possibles entre la morphologie, les processus hydrodynamiques et le transport sédimentaire (Wright et Thom, 1977). Cette boucle rétroactive (Figure 1) est régie par trois facteurs de contrôle principaux : les volumes et apports sédimentaires, la géologie régionale qui définit l'espace disponible pour l'évolution du littoral et les forçages énergétiques externes comme les vagues, la marée ou le vent (Cowell et Thom, 1994). Ces interactions se produisent sur des échelles spatiales et temporelles différentes (De Vriend, 1991).

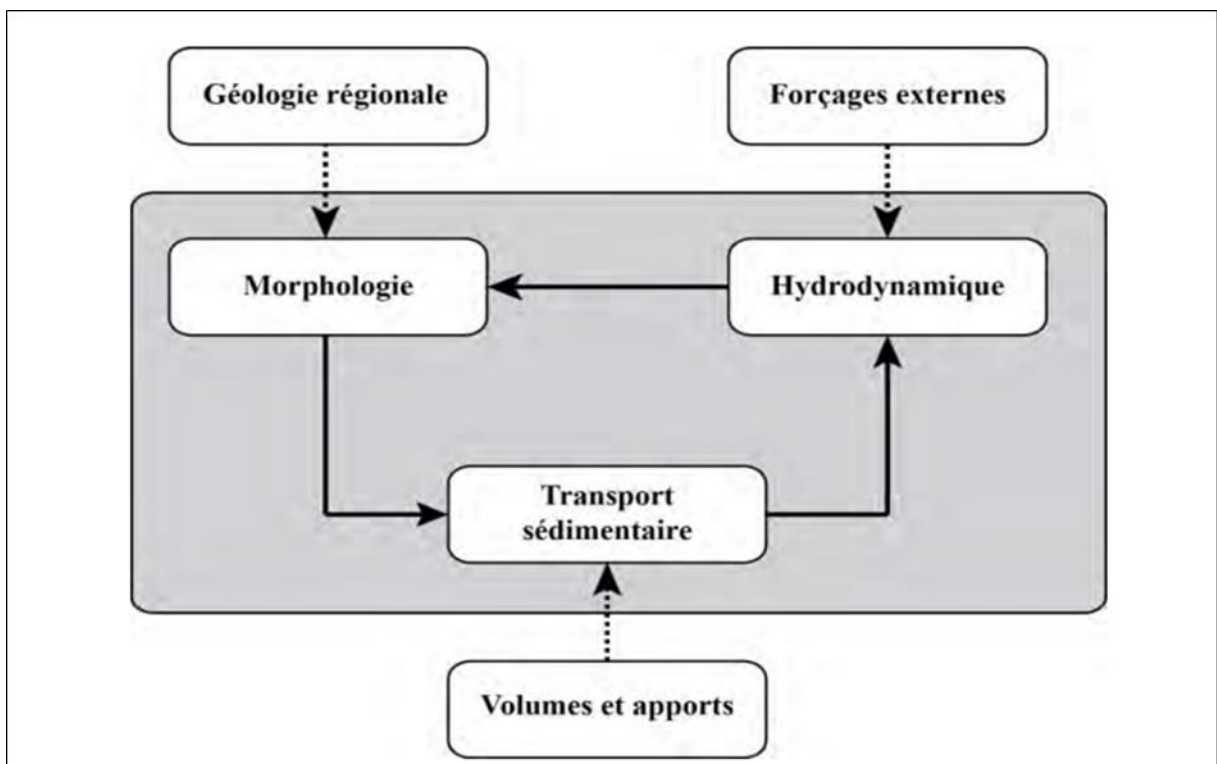


Figure 1: Boucle morphodynamique du système côtier présentant les rétroactions entre hydrodynamique, morphologie et transport sédimentaire et les facteurs de contrôle impliqués (modifiée d'après Cowell et Thom, 1994).

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 d'une zonation du domaine côtier et de la plage en fonction des processus hydrodynamiques liés aux transformations des vagues lors de leur propagation.

Il en résulte une :

- Zone du large (offshore zone) ;
- Zone de shoaling (shoaling wave zone) ;

Chapitre I : Forçages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

- Zone des brisants (breaker zone) ;
- Zone de déferlement (surf zone) ;
- Zone de swash (swash zone).

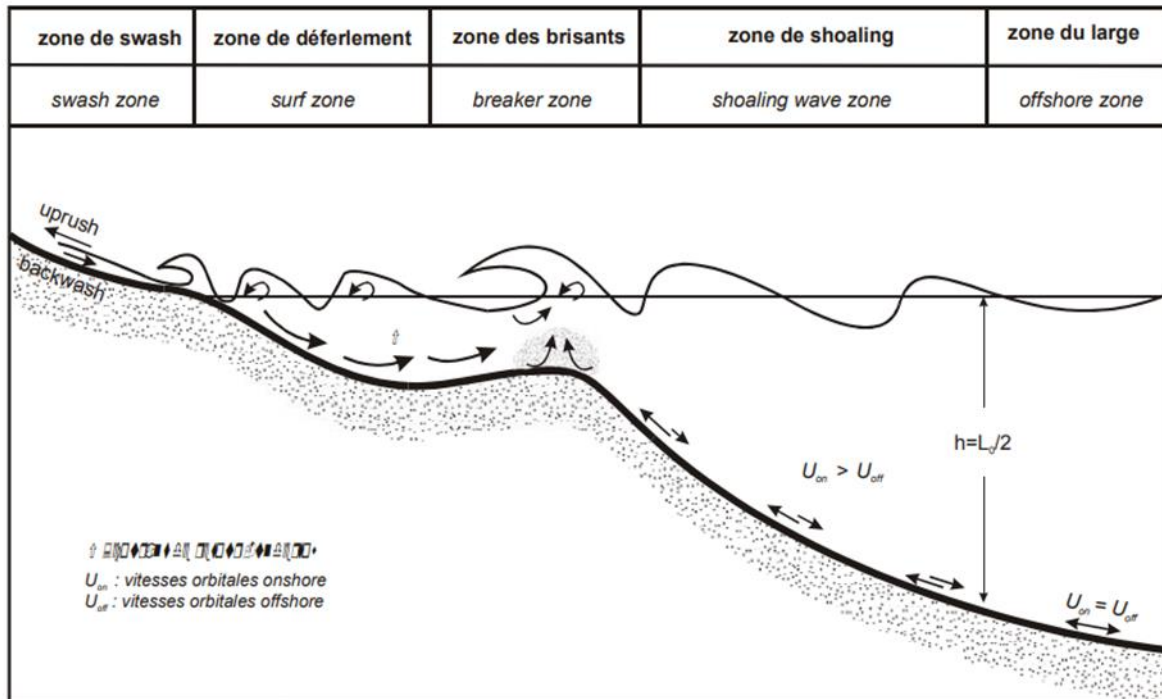


Figure 2: Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes $T > 20$ s. (Stépanian, A, 2002).

4. Profilage des côtes sableuses

Ce sont des zones de dépôts dus à l'action des vagues et à leurs courants induits (prédominant les courants induits par la marée et le vent), dont les grains sont compris entre 0.063 et 2 millimètres. En général les côtes sableuses sont ouvertes aux vagues de vent et leur morphologie est très variable : elles peuvent être de longues plages plates et droite à faible énergie comme des côtes escarpées et irrégulières type baie-cap à forte énergie. Leur formation est récente (de l'ordre de quelques milliers d'années), lorsque la montée du niveau de l'océan s'est ralenti (Leo, C, Van Rijn, 2000).

Les plages ont un profil transversal en pente douce, à allure faiblement concave. Leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent. Le profil est abrupt quand les sédiments sont grossiers (Faye, 2010).

Dans le détail, on distingue, vers l'amont, l'arrière-plage (Backshore) partie de la plage qui est sujette à l'action des vagues uniquement durant les tempêtes. En absence de tempête le sable peut être remobilisé par les facteurs éoliens.

Vers la mer, la plage subaérienne (l'estran, espace intertidale ou foreshore) soumise à l'action des vagues pendant les conditions non-tempétuelles. Subdivisée en trois parties :

- **Haut de plage** : sous forme de bourrelets, qui sont dus à l'accumulation des matériaux par les mers les plus hautes ;

Chapitre I : Forçages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

- **Moyenne plage** : marquée par une ligne de réflexion à partir de laquelle la pente diminue brusquement.
- **Bas de plage** : submergé à chaque marée. Sa partie avale montre parfois une alternance de bancs surbaissés et de gouttières ou bâches.

Et enfin, l'avant-plage (nearshore) constamment immergée et accidentée de barres et de rides, qui sont parallèles et parfois obliques au trait de côte et se forment quand la pente est douce et les sédiments abondants, et de sillons pré-littoraux (**Faye, 2010**).

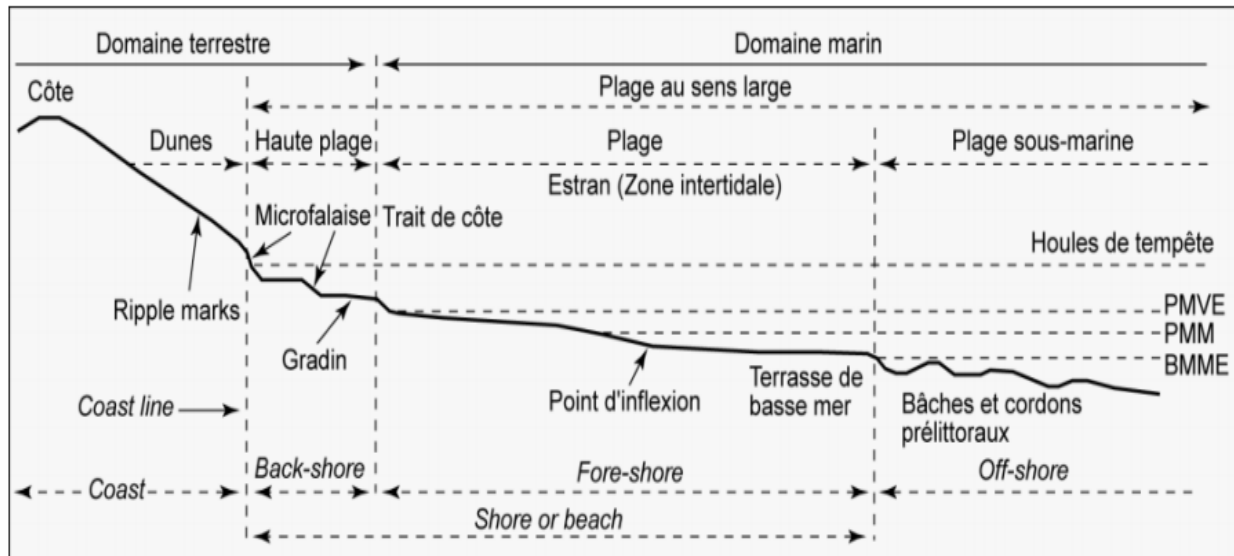


Figure 3: Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (**Bonnot-Courtois. C., Levasseur, 2002**).

5. Les agents de la dynamique littorale

Les forçages côtiers (vague, houle, marées, vent, courant) sont les principaux agents responsables à la dynamique littorale.

5.1. Le vent : joue un rôle important dans la dynamique des eaux marines superficielles. Ils sont des générateurs des houles et des courants superficiels.

5.2. Les vagues : sont des ondes mécaniques qui se propagent à la surface de contact entre l'eau et l'air. Elles sont générées par des forces résultant du mouvement relatif entre les deux couches de fluide, par exemple un vent soufflant à la surface de l'océan, ou par des forces externes qui déforment le fluide. Ces ondulations sont caractérisées par leur amplitude et leur périodicité, qui peut aussi être caractérisée par la longueur d'onde L .

5.3. La houle : elle représente les restes des vagues de vent qui ont quitté la zone où elles ont été générées. Parce que la houle est composée de longues vagues transportant beaucoup d'énergie, elle peut parcourir de longues distances et met des jours avant de disparaître. Les houles sont caractérisées par :

- **La période (T)** : le temps qui s'écoule entre le passage entre deux crêtes successives. Elle est généralement inférieure à 30 secondes pour les grands océans. En Méditerranée, cette valeur est souvent inférieure à 10 secondes, (**Denamiel, 2006**).

Chapitre I : Forcages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

- **La hauteur (H)** : qui désigne la distance verticale entre un creux et une crête. C'est l'amplitude ou creux, (Denamiel, 2006).
- **La longueur d'onde (L)** : qui correspond à la distance entre deux crêtes successives. (Denamiel, 2006).

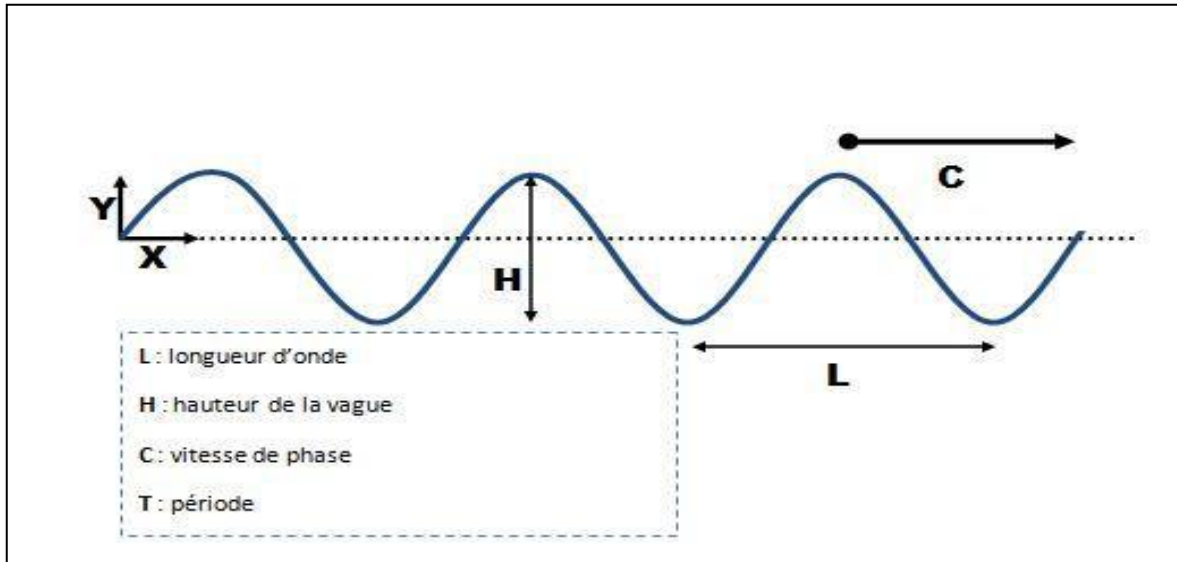


Figure 4:Caractéristique des houles. (Denamiel, 2006).

5.4.La marée : est une variation oscillatoire du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle (attraction newtonienne) des astres, notamment la Lune et le Soleil, suivant deux composantes :

- Une variation du niveau de la mer en chaque point de la surface de la Terre. Cette composante est la «marée » proprement dite, et constitue la partie la plus spectaculaire du phénomène.
- Un déplacement de la masse d'eau sur cette surface. Cette partie constitue le phénomène des courants de marée. Elle résulte directement du processus précédent. Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomiques est de l'ordre de 30cm. Les variations du plan d'eau sont soumises plus à l'effet des vents (phénomène de seiche) qu'à l'attraction luni-solaire. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à dix (10) cm. La différence entre valeur maximale et valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50cm (LEM, 1996.)

Chapitre I : Forcages actuels explicatifs de la dynamique de littoral de la métropole

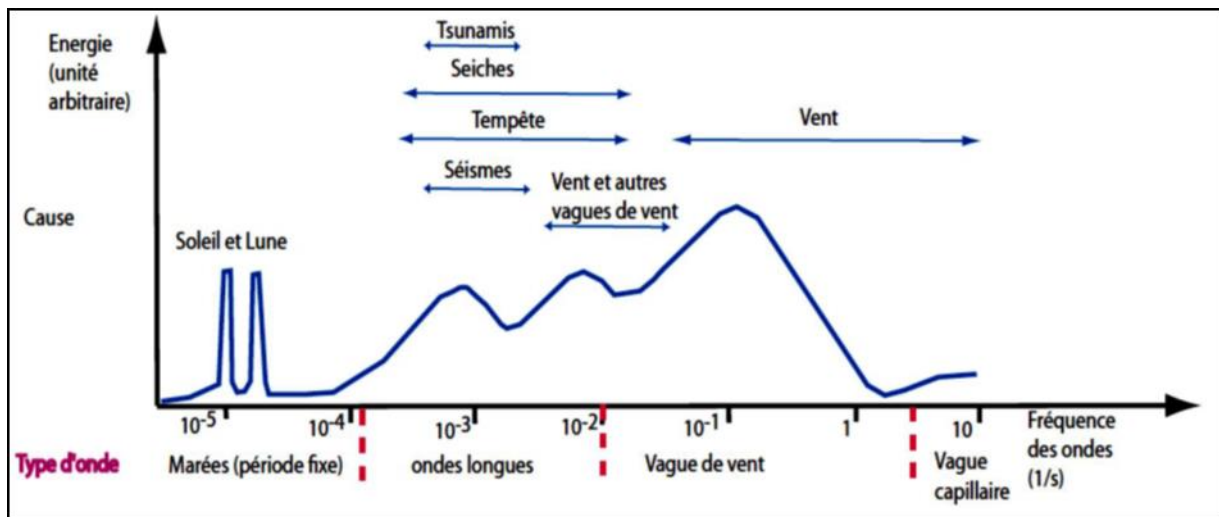


Figure 5: Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité d'énergie de chaque type (Denamiel, 2006).

5.5. Le courant : le courant marin, par définition, est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur des mers et des océans. Dans son déplacement le courant est susceptible de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral (Cojan et Renard, 2013).

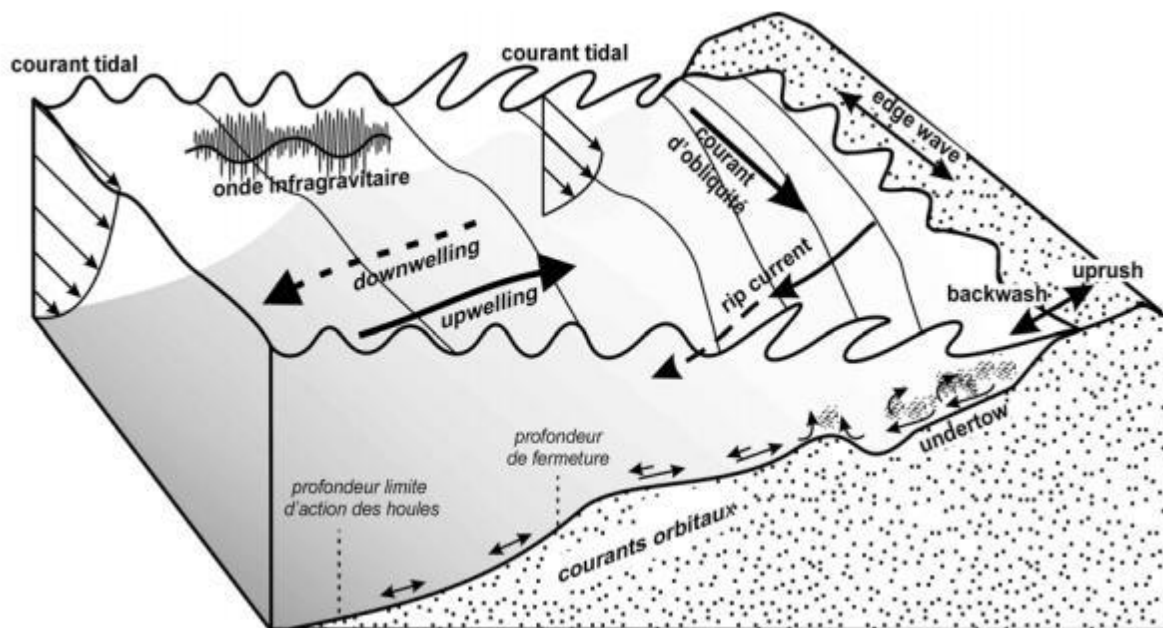


Figure 6: Processus hydrodynamiques dans la zone côtière. (Stépanian, A., 2002)

6. Emprise humaine et modification du trait de cote

L'intervention de l'homme sur l'environnement naturel peut modifier l'équilibre du profil littoral dans une région donnée, c'est-à-dire modifie inévitablement la structure naturelle de la plage. Parmi ces actions anthropiques, on peut citer :

6.1. La construction des barrages sur les fleuves

L'apport sédimentaire des fleuves est l'un des principales d'alimentation pour les plages en sable, mais par la construction des barrages, le volume de sédiments terrigène atteignant la cote se réduit car leur action se représente une pièges des sédiments.

6.2. Aménagement portuaire et maritime

Les structures portuaires jouent un rôle de barrière littorale pour la dérive littorale des sédiments risquent de perturber le transit des matériaux et de modifier l'évolution du rivage, des accumulations de sable se forment contre les jetées qui arrêtent le courant tandis que les secteurs situés au-delà de ces obstacles démaigrissent et reculent car privés d'apport sédimentaires.

7. L'extraction du sable

L'extraction de sable des plages et de gravier fluviaux pour la construction est une action courante, ce qui entraîne de réduire considérablement la quantité des sédiments fluviaux et le sable sur la cote qui permet donc le recul de trait de côte.

8. Arasement des dunes

La dune bordière joue un rôle dans l'équilibre dynamique de la plage, elle constitue une protection naturelle et un écosystème de faune et flore, qui permet de stabilisées les plages mais malheureusement elle est soumise par la destruction anthropique sous l'effet d'urbanisation et fréquentation touristique.

9. L'urbanisation anarchique près de côte

La construction près de la côte laisse une marque sur le recul de la côte qui entraîne une surexploitation des réserves côtier (sable, eau, ...), et il constitue un obstacle réfléchissant pour les houles, permet aussi de diminuer le couvert végétale et la dégradation des dunes, le surpeuplement de la zone et l'implantation des usine provoque par les rejets liquides et solides en mer le déséquilibre d'écosystème côtière.

10. La pollution

Les rejets domestique ou industrielle provoquent la dégradation des faunes et flores dans le milieu, essentiellement les algues qui sont capable de freiner l'érosion par la stabilisation des fonds et la dissipation d'énergie de la houle.

11. Destruction de couverture végétale

La couverture végétale joue un rôle important dans la protection des sédiments côtiers, en les colonisant et en les fixant. La suppression accélérée de cette végétation côtière, pour la mise en place des constructions, des exploitations minières, des immeubles ou des entreprises agricoles, intensifie le ruissellement de surface et rend la zone ainsi dénudée plus vulnérable à l'infiltration et aux glissements de terrain, ainsi qu'à l'action des vagues, des vents et des courants.

12. L'impact des changements climatiques et la submersion marine sur le littoral algérien

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 (**GIEC 2007**).

Le bassin algérien est l'un des régions qui sont les plus sérieusement exposées aux impacts du changement climatique. L'augmentation des températures risque en effet de modifier le rythme des précipitations, d'accroître l'intensité et la fréquence des inondations et des épisodes de sécheresse, et de provoquer des vagues de chaleur ayant un impact significatif sur la qualité de vie et la santé publique en milieu urbain. Ce phénomène devrait également entraîner une diminution des ressources en eau, déjà soumises à de fortes pressions, et donc accroître le risque de stress hydrique. Par ailleurs, la simple observation de la mer montre que la hauteur du plan d'eau est variable. L'élévation soudaine du niveau de la mer est un phénomène qui se distingue de l'élévation contemporaine du niveau de la mer qui résulte d'une conjonction de facteurs naturels dans le contexte actuel de changement climatique. Cette montée du niveau de la mer, conjuguée à l'urbanisation du littoral, risque de renforcer l'intensité du phénomène d'érosion.

La côte de la métropole algéroise entre Cap Djinet à l'Est et le méridien de la ville de Daouaouda Marine à l'Ouest, comprend des côtes basses (Zeralda, Baie d'El Djamilia, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri), des côtes élevées à falaises taillées dans les roches dures et tendres et la zone humide de Réghaia. La faible topographie de la zone accentuée par une occupation humaine excessive et parfois anarchique l'ont rendu vulnérable face à ce nouvel épisode de hausse du niveau moyen de la mer Méditerranée et l'amplification des phénomènes d'érosion et de submersions marines.

Chapitre II: Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

1. Introduction

Le littoral de la métropole algéroise, qui s'étend sur environ 120 km de Cap Djinet à l'Est jusqu'à Douaouda Marine à l'Ouest, offre un cadre agréable pour la population, le siège d'une urbanisation effrénée (développement résidentiel et touristique) et une intense activité socio-économique, malgré qu'il soit constamment menacé par les risques naturels tels que : les submersions marines et l'érosion côtière. Dans ce chapitre, un examen des différents contextes : géographique, géologique, morphologique et climatologique de la zone d'étude est effectué afin de bien identifier les différentes caractéristiques de la métropole.

2. Présentation du secteur d'étude

2.1.Situation géographique

Notre zone d'étude est la métropole algéroise, elle est composée de trois grandes baies (la baie de Zemmouri, la baie d'Alger et la baie de Bou Ismail), qui s'étend sur environ 120 km. (Figure 7)

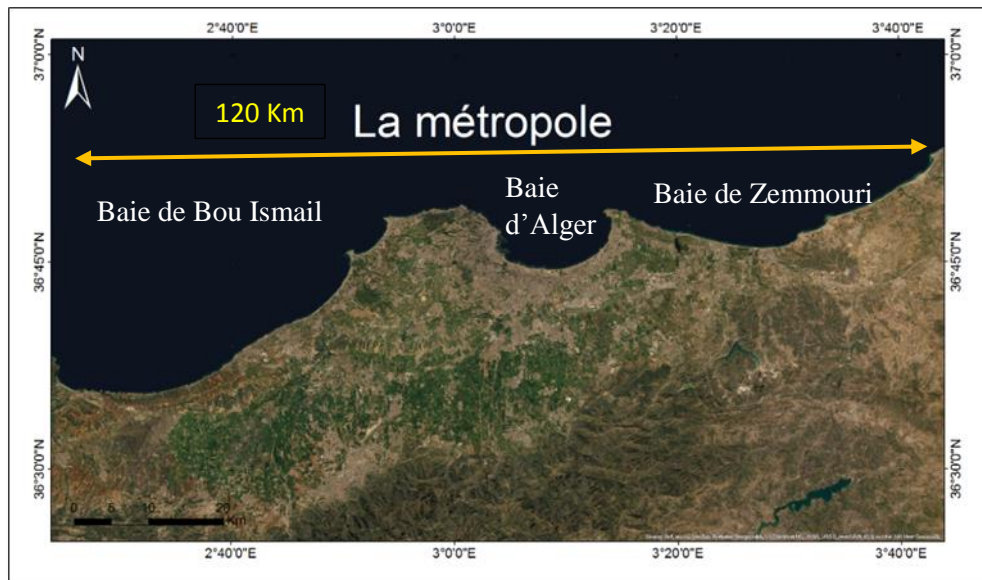


Figure 7: Situation géographique de la métropole algéroise.

2.1.1. La baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à une quarantaine de km à l'Est d'Alger (Figure 8). C'est une baie largement ouverte vers le nord d'environ 45 km, dont le linéaire côtier s'étale sur une cinquantaine de kilomètre (51 km). Cette baie est limitée par :

- La Méditerranée occidentale au nord.
- La plaine de la Mitidja au sud.
- Le Cap Djinet à l'est.
- Le Cap Matifou à l'ouest.

Le rivage prend une orientation Nord-Est, Sud-Ouest, et ses coordonnées géographiques sont :

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

- $3^{\circ}13'18''$ et $3^{\circ}43'24''$ de longitude Est.
- $36^{\circ}52'45''$ et $36^{\circ}48'48''$ de latitude Nord.



Figure 8: Situation géographique de la baie de Zemmouri.

2.1.2. La baie d'Alger :

La baie d'Alger (Figure 9) se situe au cœur du littoral algérois. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja, caractérisée par sa forme semi circulaire, elle mesure 15 Km d'Est en Ouest et 7 Km du Nord au Sud. Cette baie s'étend sur linéaire côtier de 35 km, d'une superficie approximative de l'ordre de 180 Km^2 . Elle est limitée à:

- L'Ouest par la Pointe Pescade ($3^{\circ}00'$ Est et $36^{\circ}49'$ Nord).
- L'Est par le Cap Matifou ($3^{\circ}13'$ Est et $36^{\circ}49'$ Nord).

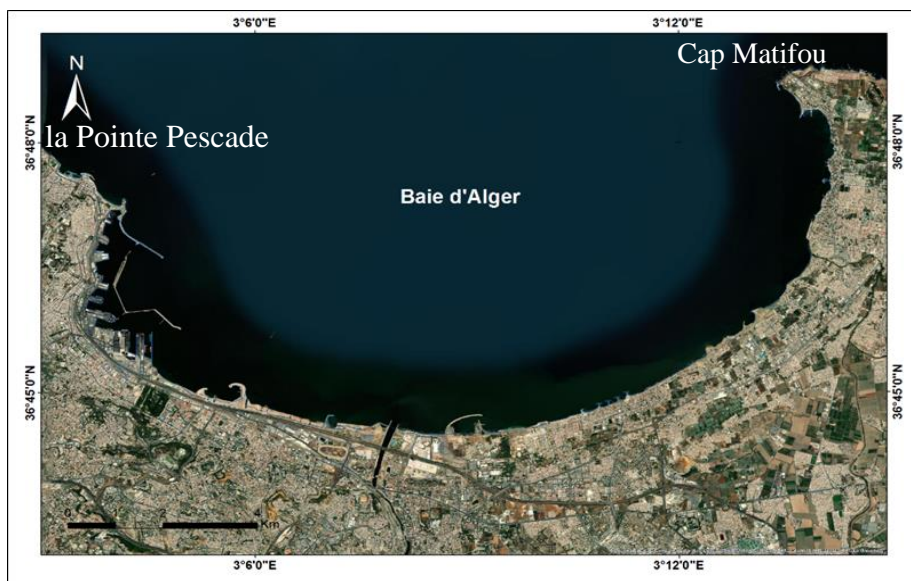


Figure 9: Situation géographique de la baie d'Alger.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

2.1.3. La baie de Bou Ismail:

L'ouverture de la baie de Bou Ismail est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord Est. Elle est limitée par le rivage qui dessine un cercle à grand rayon de courbure interrompu à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. Cette baie (Figure 10) couvre une surface de l'ordre de 350 Km².

La baie de Bou Ismail est située à 45 Km à l'Ouest d'Alger, elle est délimitée par :

- Le Cap Annouche du Mont Chenoua à l'Ouest (2°24' Est et 36°38' Nord),
- Le Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-Fredj (2°55' Est et 36°48' Nord),



Figure 10: Situation géographique de la baie de Bou Ismail.

2.2. Cadre Géologique

La zone d'étude de la côte algéroise entre Cap Djinet à l'Est et Mont Chenoua à l'Ouest est caractérisée par une diversité des paysages morphologiques, elle est commandée par son histoire géologique locale où la lithologie, la structure géologique, et les mouvements tectoniques verticaux ont joué un rôle essentiel dans le façonnement des paysages actuels de cette côte.

La carte structurale de la région d'Alger in **Domzig 2006** (Figure 11), montre les principaux affleurements des terrains qui constituent ce secteur et qui se résument aux domaines suivants:

- Le socle (couleur : violet) représenté par les terrains métamorphiques (formés principalement de schistes et micaschistes, gneiss, pegmatites) qui affleurent dans plusieurs rochers répandus le long de la côte, Chenoua, presqu'île de Sidi Fredj, Massif d'Alger (Bouzaréah) et Cap Matifou ;
- Les terrains sédimentaires sont représentés par le Miocène (couleur jaune pâle noté m) et le Pliocène (Vert noté p), très développés dans ce secteur, particulièrement au niveau des falaises, du bourrelet et du plateau-plaine (extrémité NE du bassin de la Mitidja).

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

- Les terrains quaternaires notés (q) sont représentés par : des dépôts continentaux et localement marins, des dunes et des plages.

Ces dépôts quaternaires constituent l'essentiel des affleurements rencontrés dans les baies de Bou Ismail, d'Alger et de Zemmouri.

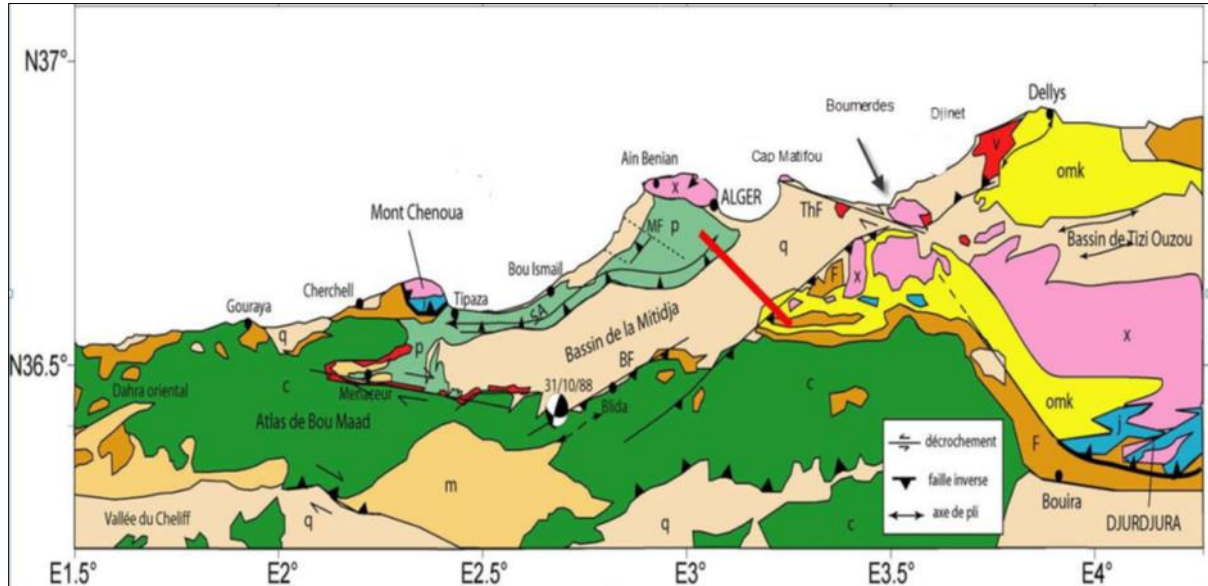


Figure 11: Carte structurale de la région d'Alger in **Domzig** (modifiée d'après Yelles et al. soumis, Kieken, 1962, Wildi, 1983, et Boudiaf, 1996).

SA : anticlinal du Sahel, **BF:** faille de Blida, **ThF:** faille de Thénia, **MF:** faille de Mahelma, **X:** socle métamorphique kabyle, **z:** zones internes, **F:** Flyschs, **omk:** Oligo-Miocène Kabyle, **c:** Crétacé, **m:** Miocène, **p:** Pliocène, **q:** Quaternaire, **v:** volcanisme.

Les terrains éruptifs (couleur rouge) très répandus dans cette zone sont représentés par des faciès variés (basalte, diorite, andésite, granodiorite et tufs volcaniques) et dont la mise en place est essentiellement Tertiaire (Miocène surtout). Le long du littoral, ces terrains se rencontrent principalement au niveau de Cap Matifou, Rocher Noir et Cap-Djinet

Ce bref aperçu géologique a permis enfin d'avoir une idée globale sur la géologie du littoral étudié et plus particulièrement sur le cadre géologique de l'ensemble des plages de cette zone faisant partie de la zone d'étude.

En outre, la géologie de cette zone ne diffère de celle de l'ensemble du Sahel d'Alger que dans le détail, même les faciès sont pratiquement les mêmes à travers ce secteur. Les plages sont occupées généralement par des formations sableuses actuelles et sont suivies localement par des dunes ou des cordons dunaires, souvent fixés par la végétation.

Dans la plupart des cas, ces deux systèmes sont arrêtés par la falaise dans laquelle sont observés des faciès variés allant des marnes et des argiles vindoboniennes (Miocène moyen) à la base sur lesquelles reposent des faciès marno-argileux, de poudingues ou de grès plaisanciens suivis de

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

formations dunaires avec des dunes consolidées datées de Tyrrhénien. A l'Ouest, on trouve au niveau de la côte le massif du Chenoua, composé de terrains des zones internes. Une autre relique des zones internes est le massif d'Alger, qui ne semble pas limité au Sud par un chevauchement actif. Entre ces deux massifs vient se positionnée la ride anticlinale du Sahel, longue de 80 Km et orientée OSO-ENE et culmine s'élève à plus de 200m.

2.3.Cadre Géomorphologique

La côte de la métropole algéroise entre Cap Djinet à l'Est et la ville de Douaouda Marine à l'Ouest est formée d'une grande diversité d'unités morphologiques qui sont le résultat de l'interaction entre une géologie complexe et les processus morphodynamiques côtiers. Cette diversité morphologique réunit des falaises plus ou moins élevées, des plages et des dunes.

2.3.1. Les plages

Le long de la côte de la zone d'étude, plusieurs types de plages se succèdent dans les paysages littoraux de la côte de la métropole algéroise.

En baie de Bou Ismail entre Douaouda Marine et Ras Acrata, à la suite du cordon dunaire et du côté mer, s'étale principalement une zone de plage sableuse large de 30 à 50 m environ. Ces plages sont formées de sables fins à moyens de couleur grise à jaunâtre riche en quartz, feldspaths et débris de roches.

La baie d'Alger composée essentiellement de plages de poche, de promontoires rocheux et de falaises subit une érosion significative (**Maouche et al. 2009**). Les plages se développent entre Alger-Plage à l'Est et l'embouchure de Oued El Harrach à l'Ouest, il s'agit des plages de : Alger-Plage, les dunes, Beni-Mered, Bordj el Kiffan, le Lido, l'embouchure de l'Oued el Harrach (rive droite). De nombreuses structures de protection ont été construites pour limiter le recul du rivage (mur de soutènement, brise-lames...) sans que ces équipements montrent une réelle efficacité à moyen terme.

Dans la partie Est de la baie de Zemmouri, les plages se développent tout le long de la côte au pied de la falaise. Ces plages au tracé concave sont largement ouvertes aux agitations marines. La largeur des plages est très réduite 5 à 15 m au niveau d'Ain-Taya, Surcouf et peut atteindre 30 à 40 m entre Réghaia plage et Boumerdès. Entre Zemmouri El bahri et Cap Djinet les plages sont larges, du côté de l'Oued Isser la largeur de ces plages atteint facilement les 300 m. Cette frange sablonneuse est due à la présence d'un grand Oued l'Isser qui débouche au milieu de la petite baie de Zemmouri El bahri et qui l'alimente en sédiment. (Figure 12).

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude



Figure 12: Photo des plages développées au pied des falaises taillées dans les roches tendres entre Ain Taya et Boumerdès et une plage large au voisinage d'Oued Isser.

2.3.2. Les dunes

Le long de la côte de la zone d'étude on croise de nombreuses accumulations sableuses, dunaires, notamment en baie de Bou Ismail, entre Douaouda Marine et l'embouchure d'Oued Beni Messous, en baie de Zemmouri entre Boudouaou El Bahri et Cap Djinet.

En baie de Bou Ismail les dunes littorales se présentent sous forme d'un cordon dunaire qui prend naissance à l'embouchure de l'Oued Mazafran et se continue jusqu'à l'Est de l'Oued de Beni Messous. Ce cordon atteint son maximum de largeur (environ 650m) au niveau des plages de Staoueli et de Club des Pins. Ces dunes ont une extension et une morphologie très variable d'une part en fonction de la superficie des milieux nourriciers, et de la direction des vents dominants d'autre part.

Dans la baie de Zemmouri le cordon dunaire qui limite vers l'intérieur les plages est étroit dans sa globalité, avec une végétation plus ou moins intense, il s'étend sur une longueur de 15 km avec une largeur de 5 à 20 m selon l'endroit, au voisinage de l'Oued Isser le cordon dunaire est plus important. La continuité des dunes est interrompue par les oueds temporaires. Ces dunes sont détruites localement par les aménagements côtiers implantés sur les dunes bordières, les extractions massives et les piétinements (Figure 13).

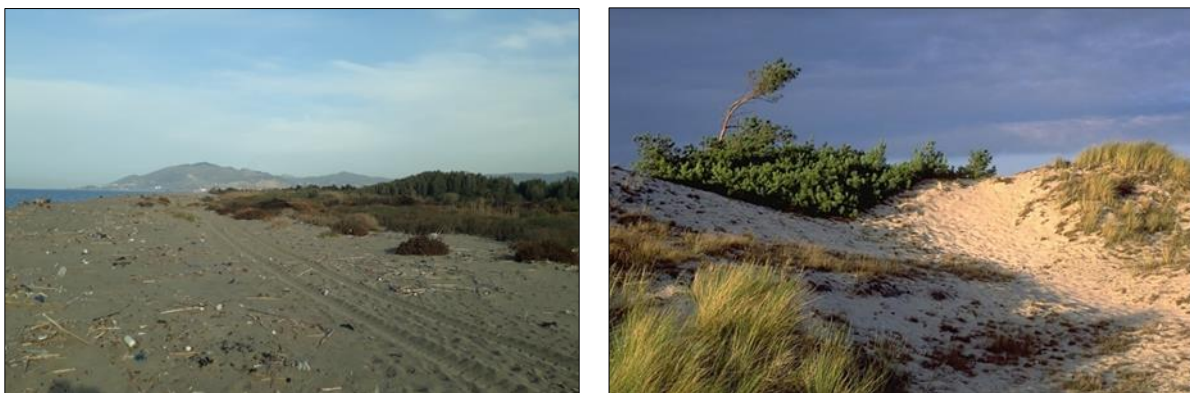


Figure 13: Cordon dunaire fortement à l'ouest de l'embouchure d'Oued Isser et Reghaia.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

2.3.3. Les falaises

Tout le long de la côte de la baie de Zemmouri, l'aspect géologique et géomorphologique laissent apparaître deux types de falaises qui peuvent être rangées dans deux catégories : les falaises édifiées en roches tendres et les falaises entaillées dans les roches dures. Les falaises sont observées au niveau de Cap Matifou et Rocher Noir de Boumerdès. Les falaises édifiées en roches tendres s'observent entre la Marsa et l'embouchure d'Oued Tatareg de Boumerdès.

En baie de Bou Ismail, les falaises entaillées en roches dures se rencontrent d'Ouest en Est : au niveau de la presqu'île de Sid Fredj, entre Ras Acrata et Bologhine,

La résistance des roches qui affleurent le long de la côte est un paramètre critique qui conditionne beaucoup l'érodabilité de la côte. Les roches dures volcaniques rencontrées au niveau de Cap Matifou qui résistent mieux à l'érosion marine forment le plus souvent une barrière naturelle aux transports sédimentaires long shore. Les roches tendres s'érodent plus rapidement et alimentent les plages de Ain Taya jusqu'à l'embouchure de Oued Réghaia où le sédiment peut s'accumuler (Figure 14).



Figure 14: Falaise d'Ain Taya et de Boudouaou.

2.4.Cadre hydrographique

Le réseau hydrographique joue un rôle important dans l'érosion sédimentaire et le transport des sédiments vers la mer, en effet, l'apport sédimentaire charrié par les oueds intervient efficacement dans l'évolution morphodynamique des plages, il contribue ainsi dans leurs alimentations en sédiments. Pour cela nous nous sommes intéressés particulièrement aux apports des grands oueds qui irriguent notre zone d'étude (Figure 15), dont les caractéristiques sont rapportées dans le tableau 1.

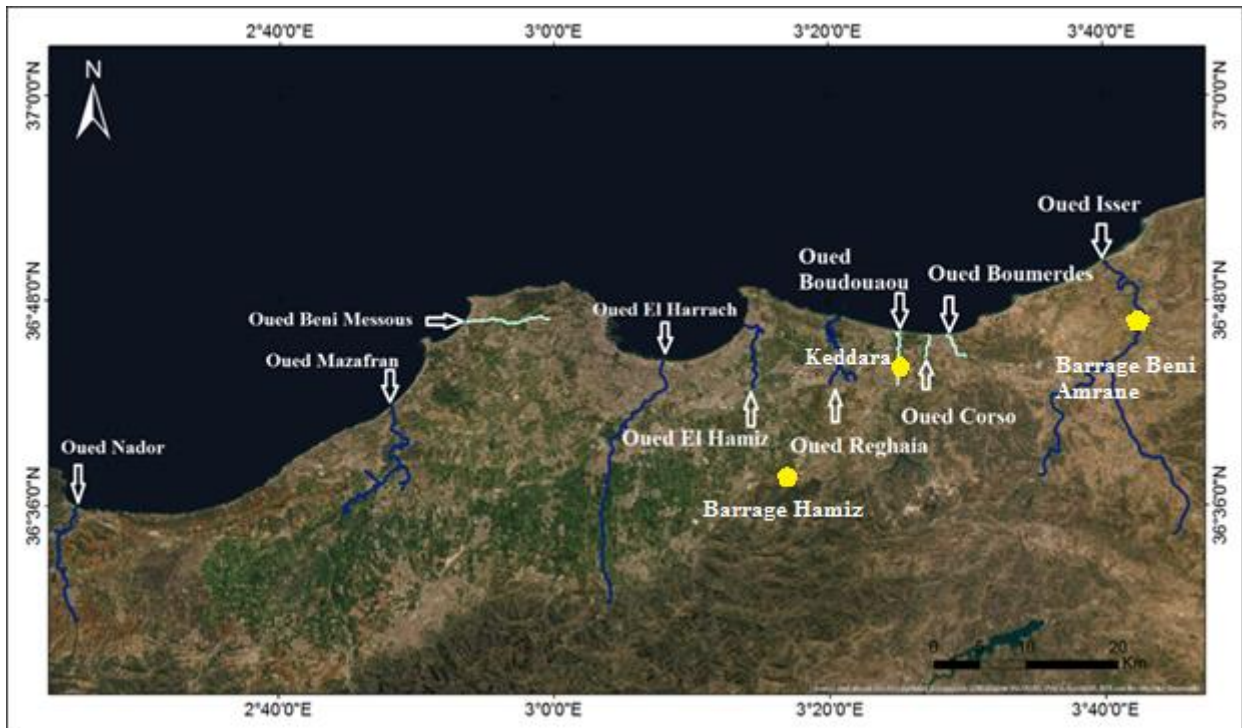


Figure 15: Carte des réseaux hydrographiques dans la Métropole.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

Tableau 1: Les caractéristiques des Oueds de la métropole algéroise.

Oued	Région/source	Superficie (Km ²) Longueur (Km)	Transport solide(Mm ³ \ans) Le taux d'abrasion (m ³ \km ²) Débit liquide (m ³ /s)	Caractéristiques
Oued Isser	-Baie de Boumerdes. - S'écoule du Sud vers le Nord (de Béni Amrane à Sidi Ali Messaoud). - Il est dévié vers l'Est en direction de Sidi Mustapha.	4145 km ² 97 km	4.96 Mm ³ \ans 1200 m ³ \km ²	-Caractérisé par une dynamique érosive, complexe. -Classé parmi les cinq principaux fleuves d'Alger (Ouzidad.A et Merrouche.F ,2019).
Oued Boumerdes	-Baie de Boumerdes. -Passe par la plage de Rocher Noir.	10.08 km	0.02 Mm ³ \ans 550 m ³ \km ²	-Reçoit de grands affluents provenant de bassin versant. - Responsable au drainage de la plage Rocher Noir. (Bounab.B, Chambi.M ,2016)
Oued Corso	-Boumerdes. -Située à 25 km à l'Est d'Alger .	22,41 km ²	0.11 Mm ³ \ans 1150 m ³ \km ²	-L'aire de drainage de ce bassin couvre 100 km ² -Son écoulement moyen annuel est évalué à 27Mm ³ , son écoulement annuel dans le méditerrané est évalué à 20 Mm ³ . (Bounab.B, Chambi.M ,2016)
Oued Boudouaou	-Baie de Boumerdes. -Il prend naissance à partir d'Oued Keddara et Oued El Haddad, il se termine vers la mer par une basse vallée entaillée dans les marnes bleues.	93 km ² 22km	0.21Mm ³ \ans 1830m ³ \km ²	-Il draine la partie orientale de l'Atlas blidéen. -L'écoulement annuel moyen de l'Oued Boudouaou est évalué à 27 Mm ³ . -L'écoulement annuel moyen dans le méditerrané est estimé approximativement à 37 Mm ³ . (Bounab.B, Chambi.M ,2016)
Oued Réghaia	-Baie de Boumerdes. -Il parcourt la partie orientale de la plaine de la Metidja. -Il traverse la ride sahélienne au Nord, au contact de laquelle s'est formé le marais de Réghaia pour se heurter en aval à un cordon dunaire qui modifie son trajet vers l'Est pour enfin se jeter à la mer méditerranée.	86 Km ² 20 Km	0.02 Mm ³ \ans. 210 m ³ \km ²	-Oued Réghaia sépare les communes de Réghaia et de Harraoua en coulant dans un bassin versant. (Bounab.B, Chambi.M ,2016)
Oued El Hamiz	-Baie d'Alger. -Il s'écoule d'Ouest en Est au nord de l'Algérie.	315Km ² 60 km	/	-La présence du barrage d'El Hamiz réduit considérablement ses apports solides vers la mer. - Il draine l'extrémité orientale de Plaine de la Mitidja.
Oued El Harrach	- Baie d'Alger. -Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'Atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer. (LEM, 1999).	1200 Km ² .(LEM, 1999 in Khedimi et Abderrahmani, 2008).	5,41 m ³ /s (Madi, 2009).	-Il reçoit les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de par sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée. (Charakdji et al, 2006).
Oued Beni Messous	-Baie de Bou Ismail. - Il prend naissance au massive de Bouzeréah et il est alimenté par les décharges provenant de Bouzeréah, Beni-Messous et Chéraga. -Il débouche dans la baie d'El Djamilia.	33 km ² 11km	0.245 m ³ /s	- Le plus grand oued côtier. - C'est le réceptacle de toutes les eaux usées domestiques et industrielles. (A.N.R.H, 2003).
Oued Mazafran	-Baie de Bou Ismail. - Il prend source au niveau du point de rencontre d'Oued Chiffa et Oued Djer et il débouche entre Douaouda et Zeralda. (Braïk. 1989)	1850 km ² 24km	7.566 m ³ /s	- Le plus importants des oueds qui déversent dans la baie de Bou Ismail. (A.N.R.H, 2003).
Oued Nador	-Baie de Bou Ismail. -Il débouche entre Tipaza et Mont Chenoua	200-300km ² (Braïk. 1989)	0.89 m ³ /s (A.N.R.H, 2003).	- Il est alimenté par deux oueds qui sont : Oued Bourguiga et Oued Merrad.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

2.5.Cadre climatique

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie: la partie nord possède un climat méditerranéen (Classification de Köppen Csa), alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique (Classification de Köppen BWh et BWk). Cependant, entre ces deux grands types de climats, existent des climats de transition, notamment le climat semi-aride (Classification de Köppen BSk et BSh à l'Est) qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale mais à une bonne partie de l'année, mais aussi un climat méditerranéen aux influences montagnardes, un petit plus continental. Néanmoins, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec.

2.5.1. Les températures

L'étude de la variation de ce paramètre est basée sur l'analyse des moyennes mensuelles calculées à partir des enregistrements effectués régulièrement au niveau des stations les plus proches de la zone d'étude située à Dar El Beida couvrant une période de 09 ans entre 2010 et 2019 , les résultats portés sur le tableau 2 et Figure 16 montrent deux périodes distinctes :

- Une période hivernale relativement froide qui s'étale sur une période de 6 mois allant de mois de Novembre au mois d'Avril avec un minimum moyen de -0.7 C° est enregistré au mois de Février.
- Une période estivale relativement chaude qui s'étale sur une période de 6 mois. Notant que des pics de température qui peuvent atteindre 42.2 C° sont enregistrées au mois de Juin.

Tableau 2:Distribution des températures moyennes mensuelles pour la période entre 2010-2019 (O.N.M 2019 de Dar El Beida)

Dar El Baida	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sép	Oct	Nov	Déc
Maximas moyens mensuels	23.8	26.3	33.2	31.2	39.2	42.2	40.8	41.5	40	38	32.3	26.9
Minimas moyens mensuels	-0.3	-0.7	0.1	4.4	4.6	8.5	14.2	15.2	11.5	5	3.2	-0.5
Moyennes mensuelles	10.9	11.2	13.6	16	18.9	22.8	26.2	26.6	23.9	20.3	15.3	12

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

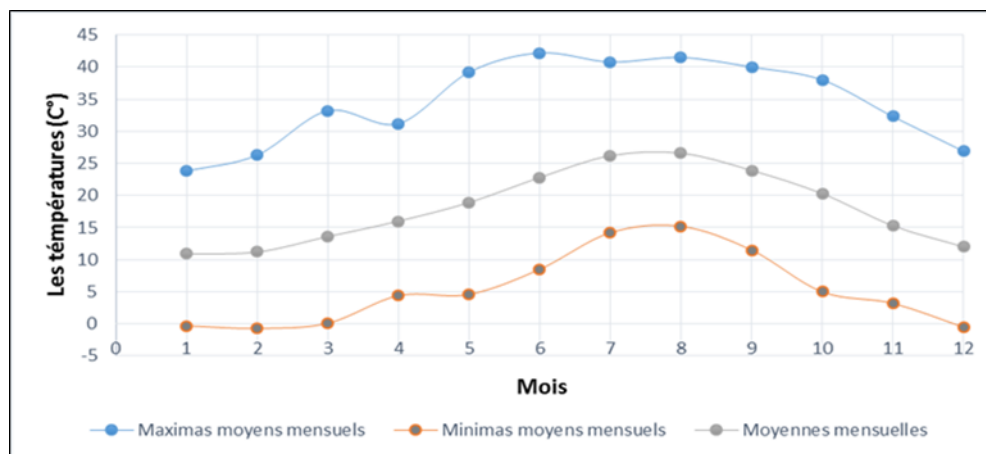


Figure 16:Diagramme de température (max, min et moyenne) mensuelles 2010 - 2019. (O.N.M 2019 de Dar El Beida).

2.5.2. Les précipitations

Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été. Les traitements statistiques des données acquises au niveau de la station de Dar El Beida (Tableau 3) couvrant une période de 09 ans allant de 2010 à 2019 nous a permis de tracer l'histogramme des moyennes mensuelles des précipitations dans notre zone d'étude (Figure 17), ces traitements montrent que la région se caractérise par deux périodes distinctes :

- Période hivernale pluvieux dont les pluies se concentrent entre le mois d'Septembre et le mois d'Mai, elle atteint son maximum en mois de Novembre avec 99.93mm.
- Période estivale sèche s'étale du mois Juin jusqu'au Aout avec son minimum enregistré au mois d'Aout avec 0.85mm.

Tableau 3:valeurs de précipitation. (O.N.M archive 2010 - 2019 de Dar El Beida)

Les mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne mensuelle (mm)	60.6	54.6	62.5	65.4	40.5	9.7	1.4	0.8	46.8	50.7	99.9	60.3

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

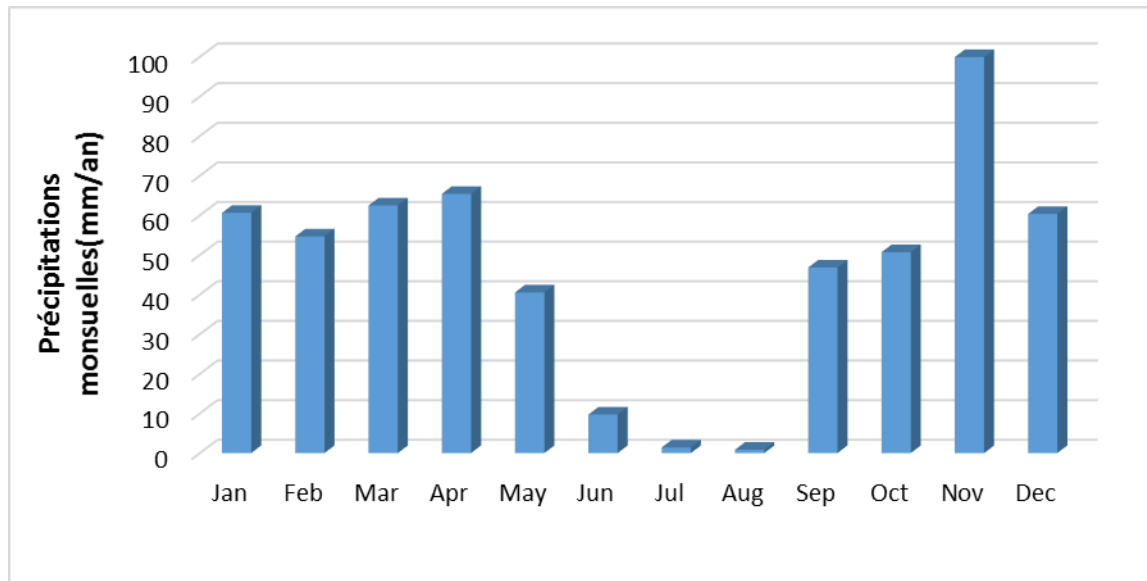


Figure 17: Histogramme des précipitations mensuelles de la station de Dar El Beida entre 2010 et 2019.

2.6. Cadre océanographique

2.6.1. Les vents au large

Les données statistiques des vents au large ont été extraites à partir de la base de données du site des observations météorologiques (<https://rp5.ru>) couvrant une période de 10 ans allant de 2010 jusqu'à 2020 au niveau de la station de Dar El Beida. Les données sont présentées dans les figures (18,19 et 20) suivantes :

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

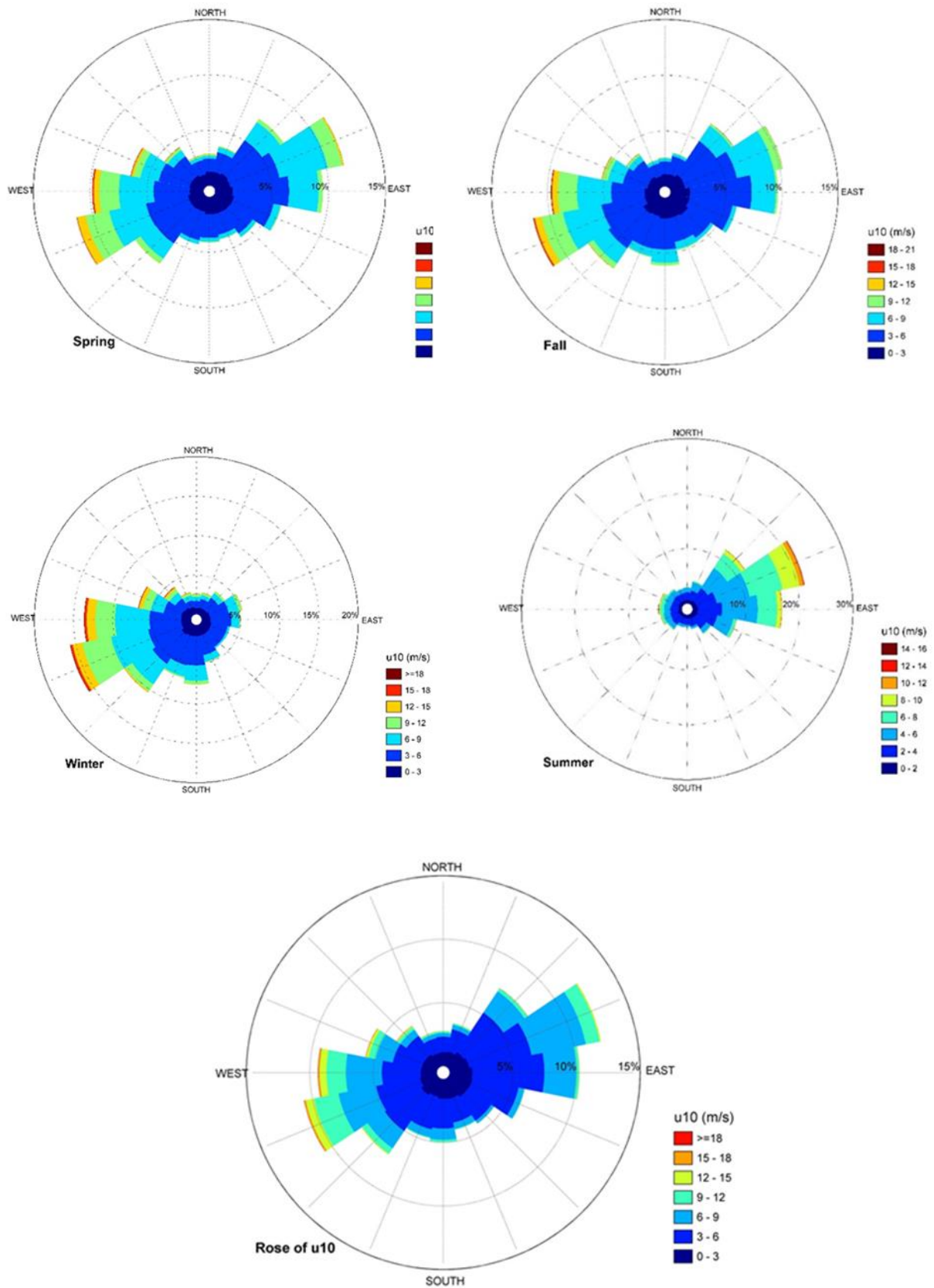


Figure 18: Roses des vents au large de la baie de Zemmouri.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

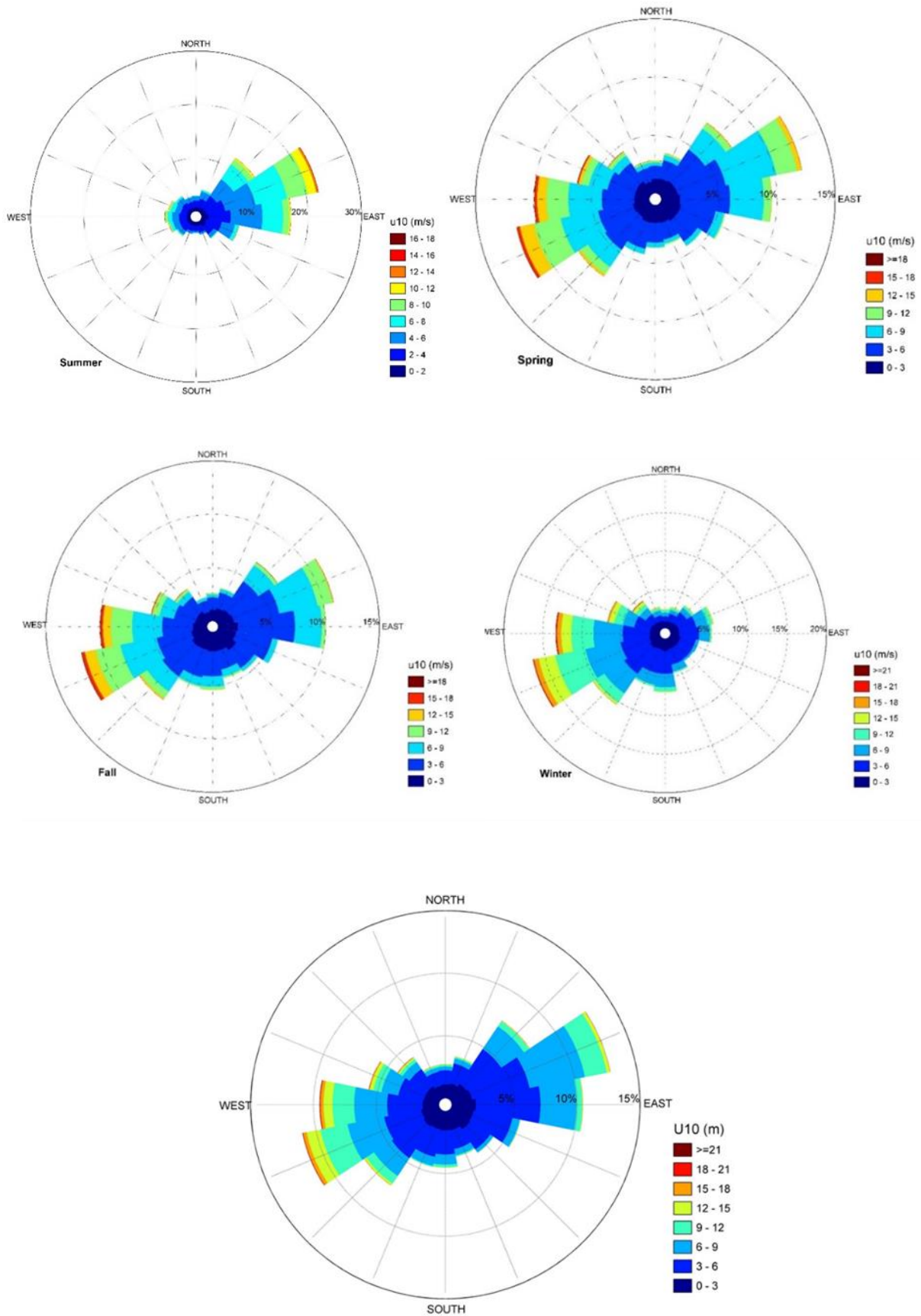


Figure 19: Roses des vents au large de la baie d'Alger

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

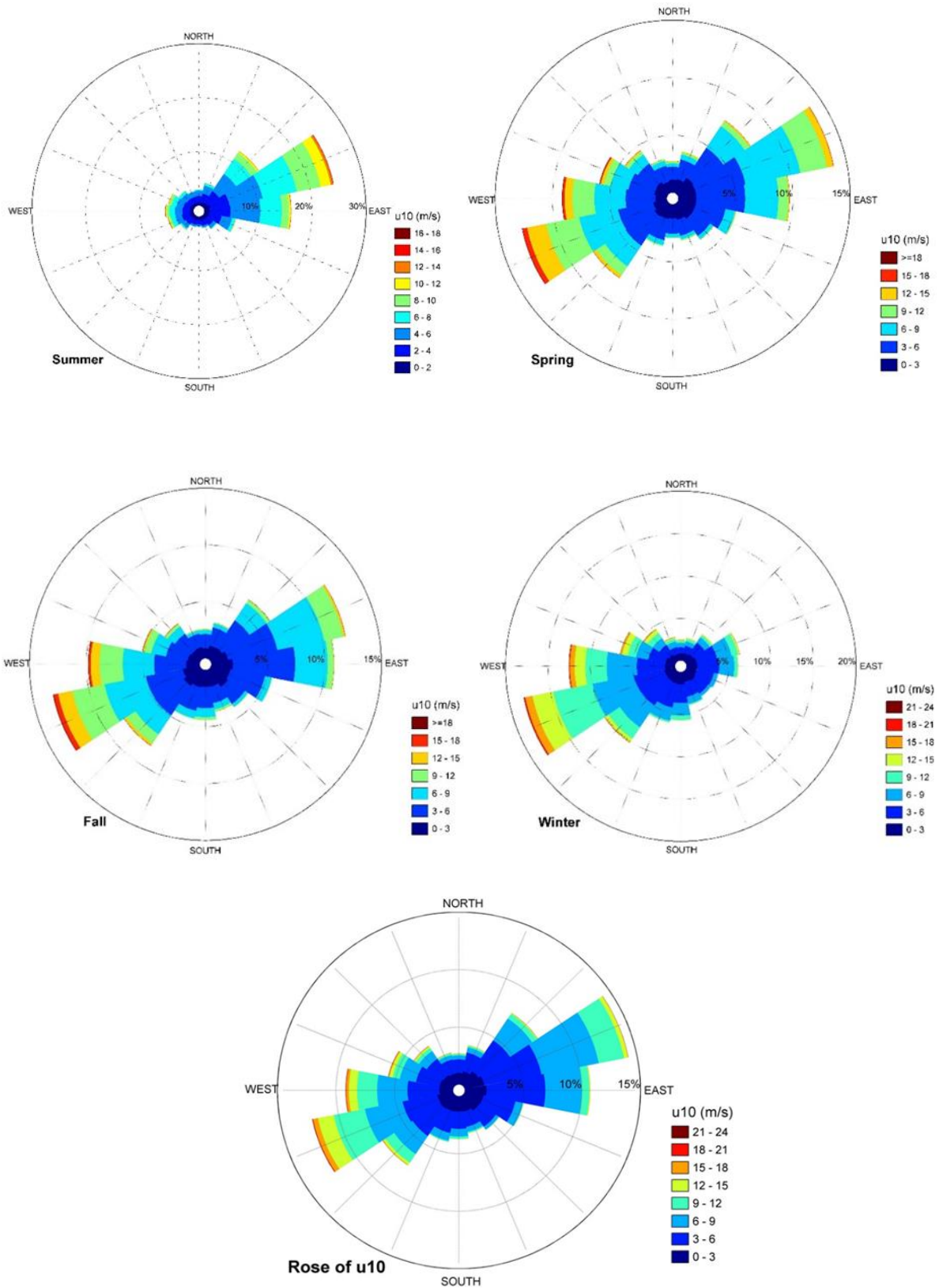


Figure 20: Roses des vents au large de la baie de Bou Ismail.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

L'analyse statique de ces données de vent montre que :

Les directions les plus dominantes sont :

- Période printanier et automnale : une prédominance des vents de secteur compris entre Ouest à Sud-Ouest et Est à Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives de 18.99% et 19.38% pour la baie de Zemmouri, de 13.5% et 12.5% pour la baie de Bou Ismail et de 18% et 22% pour la baie d'Alger. les vents de cette direction ont des vitesses supérieures à 16 m/s.
- Période hivernale : les vents qui proviennent de secteur Ouest dans la zone de Zemmouri possèdent une grande fréquence qui est de 26.31% avec une vitesse comprise entre 12 et 16 m/s. Les autres directions sont moins fréquentes avec des fréquences relativement faibles. La baie d'Alger est caractérisée par la dominance des secteurs Nord et Nord-Ouest par les fréquences d'apparitions respectivement de 18.5% et 19%. La région de Bou Ismail également caractérisée par la dominance de secteur Sud, Sud-Ouest avec une fréquence de 13% et en secteur Nord Est avec une fréquence de 14%.
- Période estivale : les vents les plus dominants sont ceux des deux directions Nord-Est et surtout la direction Est avec des fréquences d'apparition respectives de 24.26% et 33.44% au niveau de Zemmouri. Les directions du vent Nord-Ouest et Nord existent mais avec une prédominance moins remarquable. Les secteurs Nord Est est le plus fréquent dans la baie de Bou Ismail avec une fréquence presque égale à la valeur de 25.5%. Au niveau de la baie d'Alger les secteurs Est et Nord Est sont les plus fréquents avec des fréquences presque égales à des valeurs respectives de 18% et 22.5%.
- Fréquence annuelle : nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent d'Est, Ouest et de Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectivement estimées par 20.51%, 18.46% et 14.75%.

2.6.2. Les houles au large

L'analyse statistique de la base de données du site web « **ERA.5** », base de données réelle couvrant une période de 27 ans allant de 1992 jusqu'à 2019 nous a permis de tracer les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes (Figures 21,22 et 23).

L'analyse de ces roses fait ressortir la prédominance des houles issues des secteurs :

- Ouest à 27% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (34%) qu'en été (13%) ;
- Nord-Est à 43% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (66%) qu'en hiver (26%).

A partir de l'analyse de ces roses de houles nous concluons :

- Les houles en provenance du secteur Nord-Est prédominent en été ;

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

- Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui proviennent des deux secteurs Nord-Est et Ouest prédominent durant l'automne, le printemps et annuellement ;
- Les houles dominantes sont caractérisées par des hauteurs significatives oscillant généralement entre 0.25 et 2.5m ;
- Les houles de tempêtes sont rares et sont caractérisées par des hauteurs significatives fluctuant généralement entre 3.5 et 7.5m ;
- Les fortes agitations proviennent fréquemment de l'Ouest avec des hauteurs significatives de houles pouvant atteindre un maximum de 7.5m en hiver, 6m annuellement, au printemps, et en automne et 3.5m en été.

2.6.3. Les courants

Le long des côtes algériennes, les courants sont relativement faibles et ne constituent un facteur déterminant pour le fonctionnement des ouvrages littoraux. Les informations compilées au cours des observations enregistrées au large par le K.N.M.I (Institut Météorologique Royal Néerlandais) indiquent que les courants ont une vitesse inférieure à 0.5 Nœuds pendant environ 75% du temps et 1 nœud pour 80% du temps.

2.6.4. La marée

La marée est un phénomène périodique, prévisible entraînant des variations du niveau de l'eau. Le long des côtes algériennes la marée méditerranéenne est très faible et dépasse rarement 0.20 m avec des périodes de 12 h et 24 h. Le niveau moyen de la mer est de $\pm 0.34\text{m NGA}$.

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

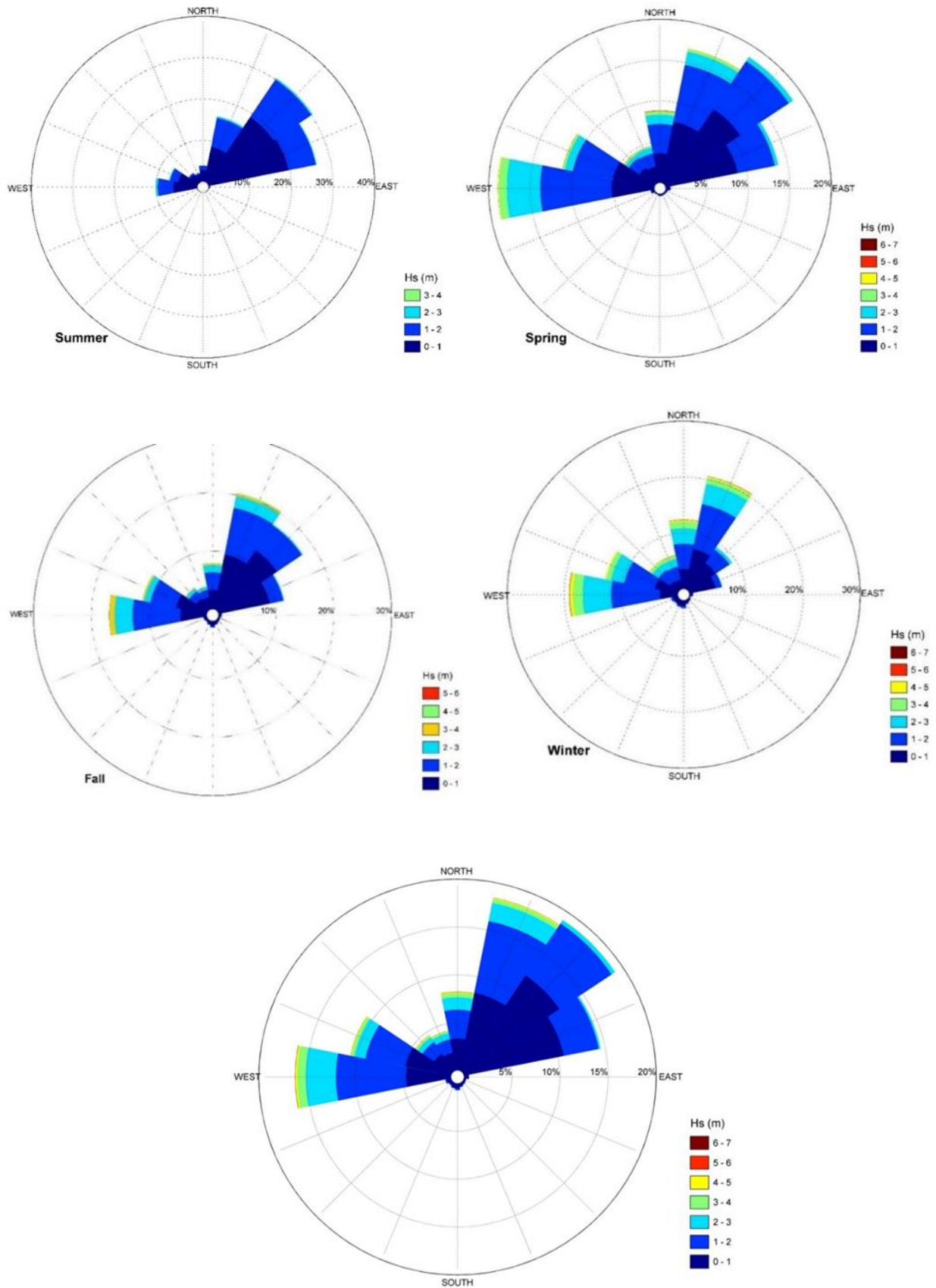


Figure 21: Roses des houles au large de la baie de Zemmouri

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

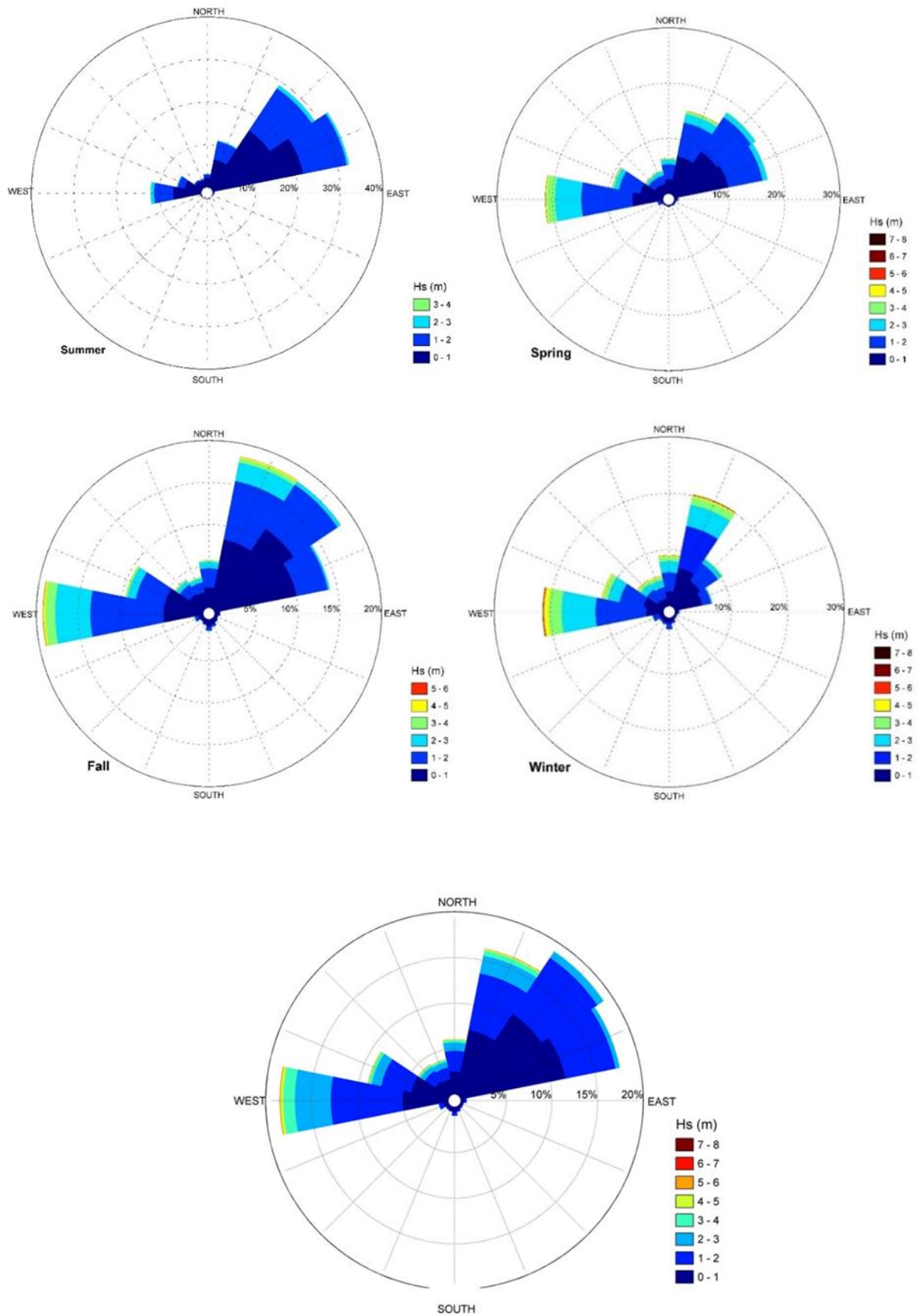


Figure 22: Roses des houles au large de la baie d'Alger

Chapitre II Etat des connaissances du littoral de la zone d'étude

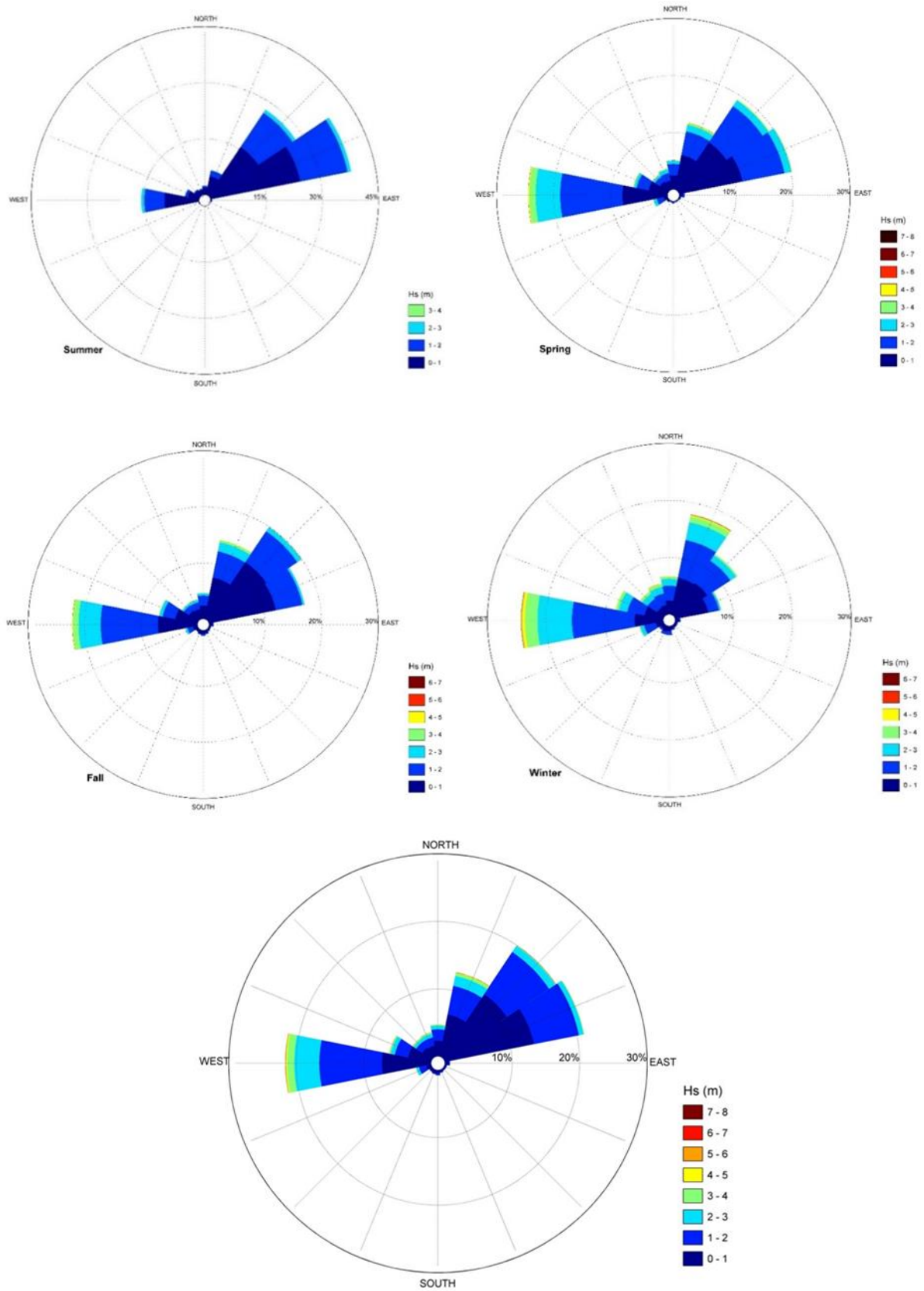


Figure 23: Roses des houles au large de la baie de Bou Ismail

2.6.5. Le niveau marin

En matière de surveillance des fluctuations de niveau marin, l'Algérie est à la traîne comparée aux pays situés sur l'autre rive du bassin méditerranéen. Dans le contexte actuel marqué par beaucoup d'incertitudes liées surtout aux changements climatiques, la dotation des ports algériens en systèmes de marégraphes semble de plus urgente.

Toutefois, l'altimétrie satellitaire offre une aide précieuse malgré qu'une évaluation fondée de l'évolution du niveau des eaux marines nécessite des relevés effectués sur de longues périodes de temps dépassant un siècle. Pour la région de la Méditerranée occidentale, l'altimétrie satellitaire Topex/Poseidon et Jason 1 a enregistré une élévation du niveau de la mer Méditerranée de l'ordre de 2.5 mm/an entre 1993 et 2006. L'exactitude de cette valeur peut être mise en doute du fait notamment qu'elle tient compte du forçage anthropique du climat et néglige les mouvements tectoniques et les subsidences (**Djouder et Boutiba, 2017**).

Chapitre III : Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude

Introduction

La connaissance des conditions hydrodynamiques sur le littoral d'une région côtière s'est considérablement améliorée au cours des dernières années en raison des progrès techniques réalisés par les moyens d'observation et par les moyens de calcul mis à la disposition des modélisateurs. La calibration, puis la validation des modèles numériques est une préoccupation constante, souvent en raison de l'utilisation en aval des résultats des modèles pour d'autres études spécifiques (cartes de réfraction de la houle, de courants, dérives de masses d'eau, transport et dispersion du matériel dans l'eau). Dans la zone côtière plus qu'ailleurs, la complexité géométrique du contour des côtes, la bathymétrie et la variabilité des forçages, conditionnent les échelles temporelles et spatiales à atteindre.

Aujourd'hui, il est possible d'approcher numériquement la solution des équations mathématiques et donc de simuler les mouvements et les comportements des vagues et houles qui demandent beaucoup de calculs.

Dans ce chapitre, l'objectif principale est l'analyse et la modélisation de ces phénomènes physiques à partir d'une base des données cartographiques afin d'aboutir un modèle numérique calibré. Ce modèle superpose sur les processus hydrosédimentaires, il permet de calculer le transport sédimentaire à l'aide des trois modèles suivants :

- Un modèle de vague (SW) qui calcule la propagation de la houle vers la côte.
- Un modèle hydrodynamique (HD) qui calcule la variation spatiale des niveaux et des débits d'eau dus à des mécanismes de forçage, tels que les vents, les courants, et les déferlements.
- Un modèle de transport sédimentaire (ST) qui calcule le taux de transport sédimentaire le long de la côte.

Partie 1 : Cartographie la bathymétrie des fonds marins

Cette partie permet de présenter la méthode que nous suivons pour la mise en place d'une base de données littorale de la métropole.

1. Méthodologie: procédés d'investigation et d'acquisition des données

- Acquisition des cartes bathymétriques à partir d'un site de navigation marine Navionics.
- Géoréférencement des cartes sur ArcGis. Les données, pour être utiles doivent être géoréférencées dans un système de coordonnées commun. Le référentiel utilisé est défini comme suit :
 - ✓ Système de projection : UTM zone 31 Nord.
 - ✓ Datum : D_WGS_1984.
- Digitalisation des cartes, une fois les images calées, nous superposons la carte de référence avec les images et on procède à la digitalisation, on utilise :
 - ✓ Les polygones pour les éléments surfaciques, les poly lignes pour les éléments linéaires et les points pour les éléments ponctuels.

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

- **Création d'une table attributaire sur ArcGis** : lorsque la digitalisation est terminée, on passe à traiter la table attributaire par le classement de toutes les objets (les lignes, les points) au même type géographique ; points.
- Après un traitement de la table, nous transférons toutes les données de cette dernière sur un fichier Excel pour pouvoir réaliser la bathymétrie sur MIKE

2. Cartographie de la bathymétrie 2020 :

Afin de cartographier la bathymétrie des trois baies nous avons suivi les étapes suivantes :

- **Création d'un espace de travail** : le fichier de maillage contenant des informations sur des profondeurs d'eau et maillage est créé avec l'outil Mesh Generator dans MIKE Zero en spécifiant le système de projection UTM, zone 31.
- **Importation de données de dispersion** : importer le « xyz-fichier » contenant les profondeurs à partir des mesures de lignes isobathes (Data => Manage Scatter =>Add ... et choisissez le fichier de travail avec l'extension .xyz).
- **Délimitation des « boundries »** : les limites spatiales de la zone de génération des mesh ; les limites sont des arcs.
- **Interpoler les données de dispersion et exportation du Mesh** : interpoler les valeurs de bathymétrie en utilisant les paramètres par défaut pour l'interpolation (Mesh =>Interpolate ...). Puis exporter le maillage du générateur Mesh « fichier .mesh ».

3. Résultats

3.1.Paramétrage du modèle

3.1.1. Maillage du modèle

La création du Mesh Grid est de type « triangulaire », où les triangles sont équivalents, leurs tailles varient de [10 m à 150 m à la côte et de 1000 m à 1500 m au large], selon l'emplacement c'est-à-dire un maillage serré au niveau des bordures et plus léger au large, tout au long du linéaire côtier de 120km de Cap Djinet à Cap Annouche du Mont Chenoua, et de 1km de la cote vers le large (Figure 24).

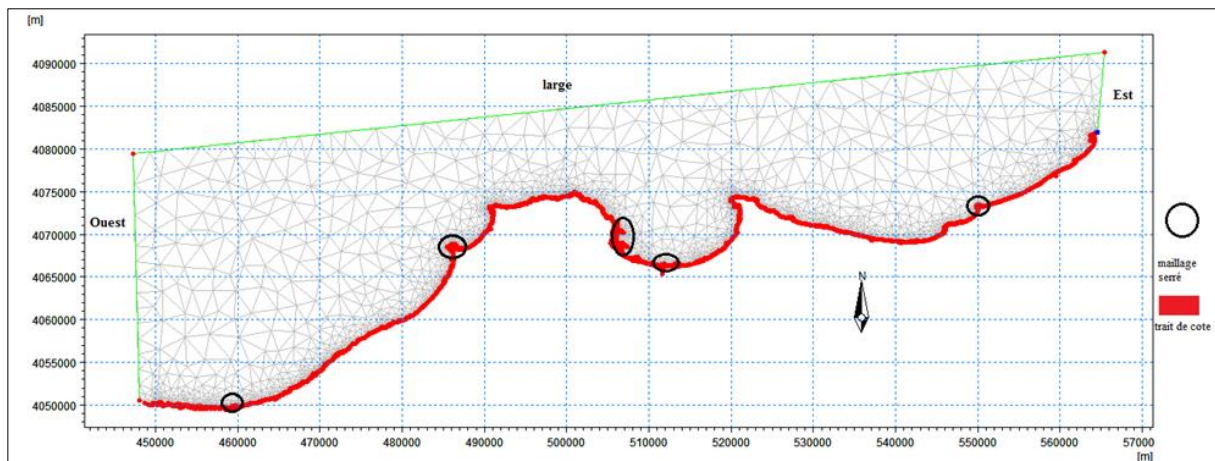


Figure 24:Maillage du modelé de la métropole algéroise

3.1.2. Emprise du modèle

L'emprise du modèle sert à définir la grille dans laquelle toutes nos simulations seront établies. Elle consiste à éloigner les frontières du modèle de notre zone d'étude, c'est-à-dire prendre toute le bassin algérois, afin de s'affranchir des « effets de bords » et disposer de conditions aux limites fiables.

La simulation a été menée par l'utilisation d'une base de données cartographique issue de la digitalisation des cartes géoréférencées par ArcGis, qui sera implémenté au sein du « MIKE Zero » sous forme d'une table Excel (Latitude(x), Longitude(y), profondeur(z), et enfin l'afficher sous forme de cartes (Figure 25).

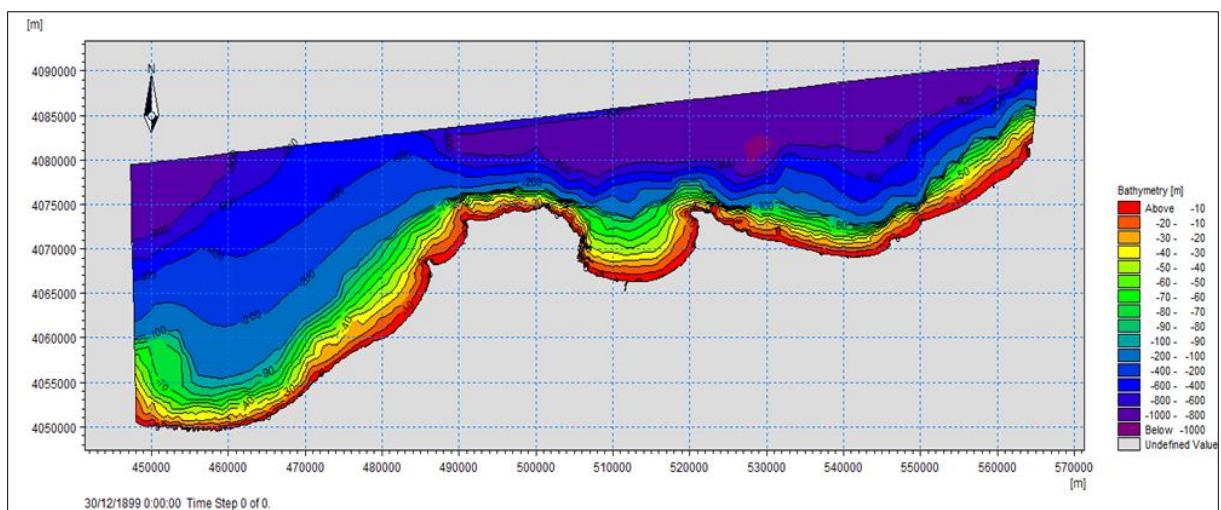


Figure 25:Bathymétrie de la zone d'étude la métropole algéroise

3.2. Interprétation de la bathymétrie

3.2.1. Bathymétrie de la baie de Zemmouri :

L'analyse de la carte bathymétrique de baie de Zemmouri, fait ressortir deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence (Figure 26) :

La zone côtière : montre des isobathes généralement perturbées (entre 1 à 10 m) et une morphologie particulière caractérisée par la présence de rides d'avant côte discontinue, bien développée à l'approche de la côte. Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles et les courants engendrés avec ses houles. Ces isobathes sont plus rapprochés au voisinage des zones rocheuses et des ouvrages ce qui indique que la pente est abrupte. Les isobathes présente deux irrégularité où on constate une variation de la pente qui devienne un peu douce au niveau de Zemmouri, Boumerdes, Boudouaou Elbahri et aussi aux allant tour de Ain Taya qui est probablement dû aux apports des sédiments terrigènes par l'Oued Isser, Oued Boudouaou et Oued Réghaia respectivement et la présence des ouvrages de protection dans cette zone qui perturbe la dynamique sédimentaire et ce n'est qu'à partir de -10 m que ces isobathes redeviennent régulières.

La zone au large : au-delà de -50 m les isobathes deviennent espacées et la pente devient plus douce avec une morphologie particulière caractérisée par un fond régulier, à l'Est de Cap Djinet, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement un petit chenal avec une pente moyenne de 1 %.

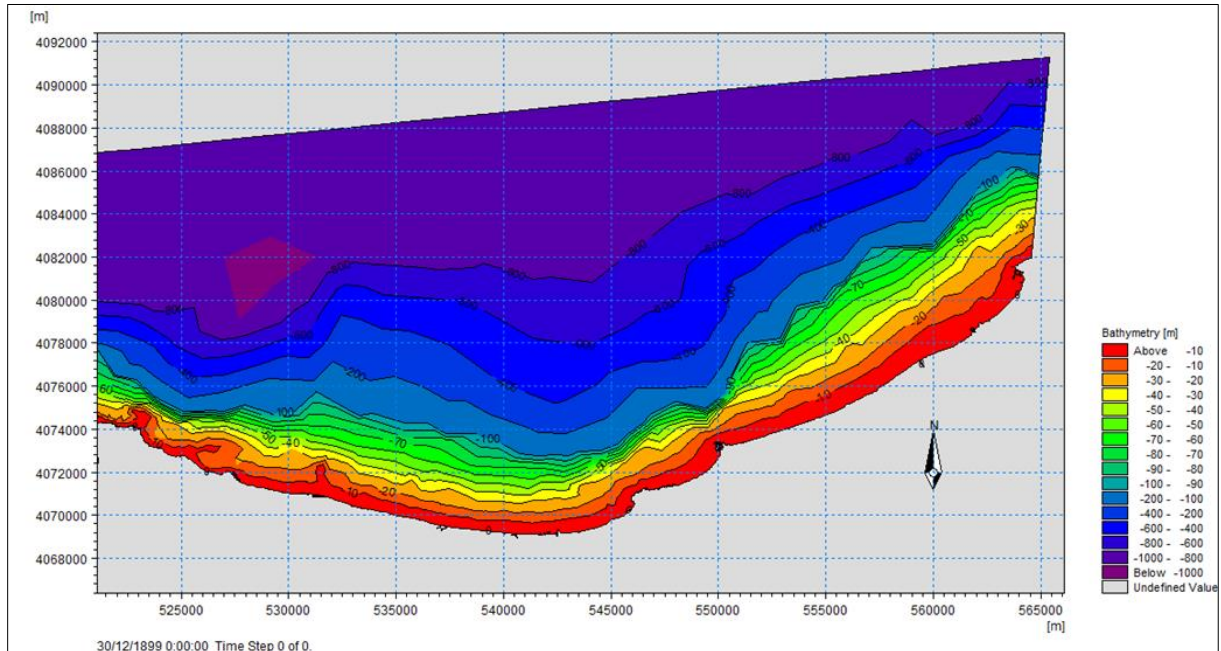


Figure 26: La carte bathymétrique de la baie Zemmouri

3.2.2 Bathymétrie de la baie d'Alger

La bathymétrie obtenue pour la baie d'Alger présente des valeurs comprises entre 0 m et -1000 m de profondeur. L'analyse de la carte bathymétrique de la baie d'Alger fait ressortir deux zones (Figure 27) :

Une zone côtière : entre 0 et -10 m de profondeur on remarque que les isobathes sont, hétérogènes, bien serrées, quoiqu'ils présentent des rides d'avant côte discontinues avec une pente forte. Ces fonds sont caractérisés par une forte activité par rapport à la zone au large qui est due essentiellement à l'implantation des ouvrages de protection (sablettes ...) et aussi due aux apports solides de Oued El Harrache. À l'Est, les isobathes se rapprochent et deviennent très serrées, généralement due à la complexité topographique et la nature du fond marin qui dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

Une zone au large : au-delà de -10 m les isobathes deviennent régulières, parallèles à la côte, un peu espacées donc la pente devient une pente faible avec une morphologie particulière caractérisée par un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. Cependant, à l'Est de Cap Matifou, les isobathes sont serrées, due essentiellement à la présence des fonds rocheux.

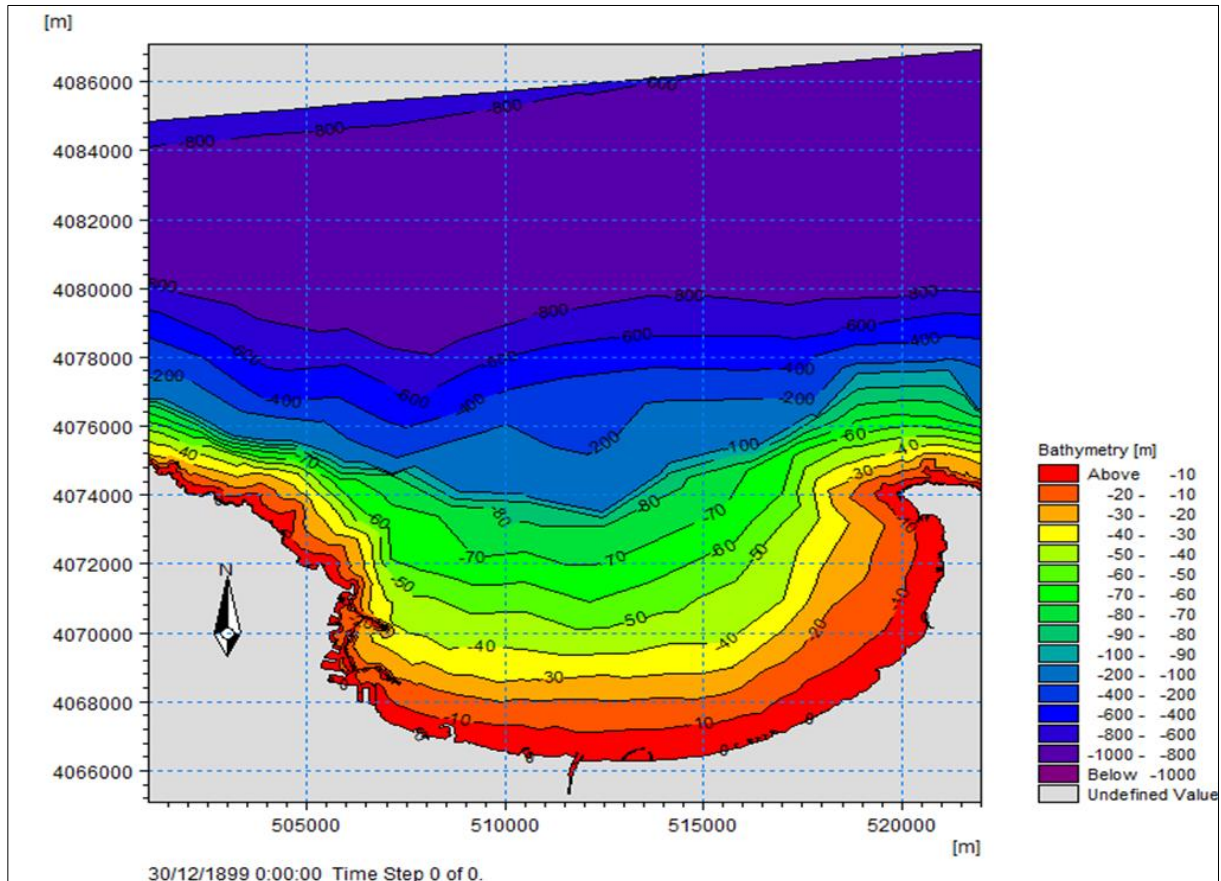


Figure 27: Carte bathymétrique de la baie d'Alger.

3.2.3. Bathymétrie de la baie de Bou Ismail

La carte bathymétrique obtenue pour la baie de Bou Ismail de 0 à -1000 m de profondeur fait l'état d'une morphologie sous-marine presque régulière qui ne recèle pas des accidents topographiques remarquables. L'analyse de cette carte fait ressortir trois zones (Figure 28).

La zone Ouest : dans cette zone les isobathes sont presque parallèle à la ligne de côte, sont très serrés entre 0 et -30 m, ce qui indique la présence d'une pente abrupte, un peu espacés entre (-30 et -37 m) cet espacement est le résultat du changement de pente vers une pente douce, cela est due généralement à morphologie complexe des fonds et les conditions hydrodynamiques. Aussi en marque que les isobathes deviennent encore serrés entre (-38 et -50) qui indique que la pente devient une pente abrupte, au-delà de -50 m de profondeur, les isobathes se réorganisent et deviennent parallèle et très espacés vers le large, donc une pente faible.

La zone Est : entre 0 et -30 m de profondeur les isobathes sont régulières, très serrés aussi parallèles à la côte, traduisant une pente moins douce, généralement dû au rapport solide de Oued Mazafran. Entre (-30 et -50m) les isobathes devient un peu espacés, espacement important au-delà de -50 m ce qui désigne une pente douce.

La zone Centre : les isobathes de cette zone sont irrégulières, serrés entre 0 et -50 m où on marque la présence d'une pente forte cela est dû à la géomorphologie de cette zone et à la présence des

côtes rocheuses. Au-delà de -50 m les isobathes se éloignent et devient régulières espacés du généralement à la présence d'un fond marin assez régulier avec une pente douce.

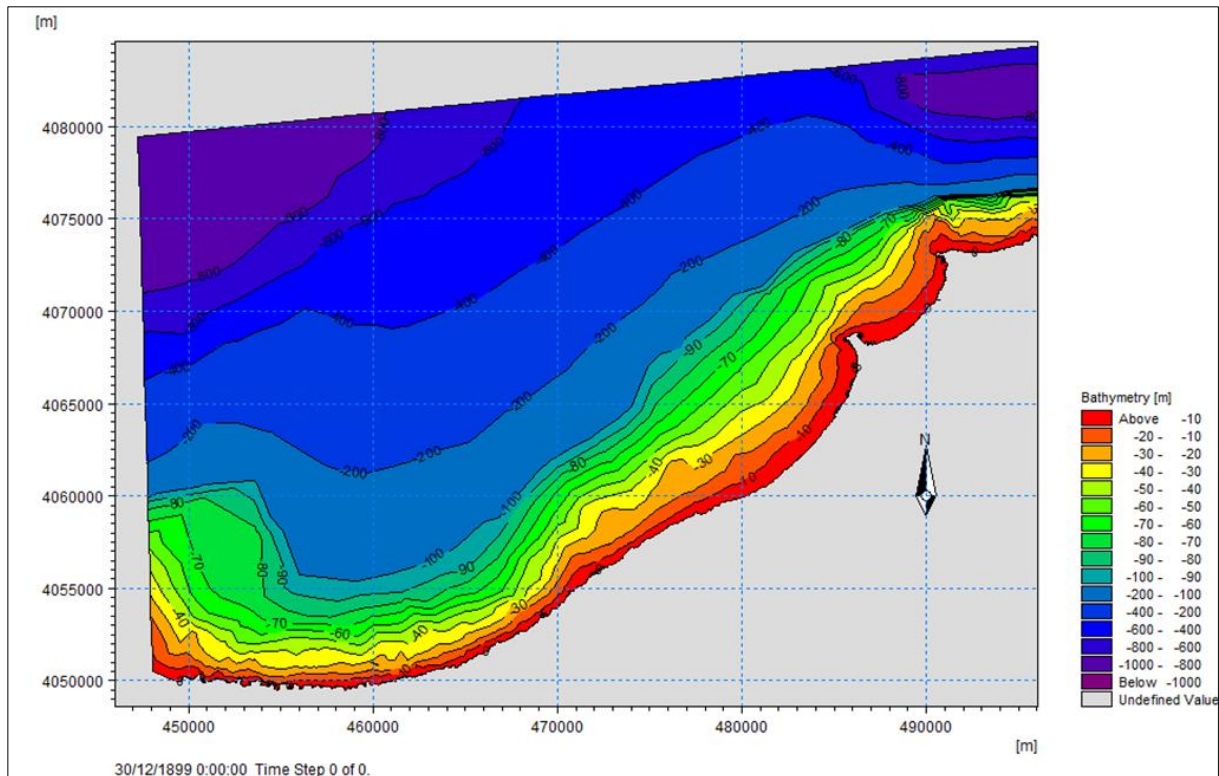


Figure 28: Carte bathymétrique de baie de Bou Ismail

Partie 2 : Etude hydrodynamique

Pour étudier la dynamique des zones côtières, la modélisation numérique fournit des modèles mathématiques décrivant de manière suffisamment fiable les phénomènes physiques qui se manifestent le long du littoral. Le recours à une telle modélisation constitue une approche pratique vu qu'elle permet de tester les effets d'un grand nombre de paramètres (physiques et géométriques) en un temps relativement court et à moindre coût comparativement à un modèle physique équivalent.

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire).

1. Méthodologie

1.1. Description des codes de calcul et de simulation

Le MIKE 21 est un système numérique fourni par le (DHI 1993, Abbot al 1979) utilisé dans l'étude des domaines côtiers, il est basé essentiellement sur la modélisation des trois codes de calculs (SW, ST, HD), en prenant compte les effets de réfraction et de shoaling aux variations de la bathymétrie, à la génération de la houle, et à la dissipation de la houle. Il permet de faire des

simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

1.1.1. Module de vague de MIKE (SW): permet de calculer la propagation et la transformation des vagues générées par les vents.

Phénomène comptant : les interactions non linéaires vague – vague, dissipation due aux déferlements, la réfraction et le shoaling, les interactions vagues courant et l'effet de la variation temporelle de la profondeur

Les conditions nécessaires pour la simulation

- SW utilise la formule directionnelle quasi-stationnaire dans le domaine spectral et temporel pour la propagation de la houle.
- Le déferlement est basé sur la formule de **(Battejs, et al 1978)**.
- Le niveau d'eau est considéré nul avec les données de forçage négligeables.
- Le paramètre de rugosité du fond est constant 0,04.
- Les données bathymétriques, et les conditions de la houle.

1.1.2. Module hydrodynamique de MIKE (HD): permet de simuler les variations du niveau d'eau, l'écoulement de surface et le courant.

Phénomène comptant : frottement sur le fond, frottement de vent à la surface de l'eau, gradient de pression barométrique, force de Coriolis, contrainte de radiation.

Les conditions nécessaires pour la simulation

- Les courants sont calculés à partir des contraintes de radiation issues du module SW.
- Le niveau de la mer constante (0,34m),
- La viscosité $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$, la résistance $32 \text{ m}^2/\text{s}$.
- Vitesse de vents $3,75 \text{ m/s}$

1.1.3. Module de transport sédimentaire et de morphologie (ST): calculer les taux de transport de sédiments non cohésifs sous l'action des vagues et des courants.

Phénomène comptant : la bathymétrie

Les conditions nécessaires pour la simulation

- Les paramètres granulométrique sont : $D_{50} = 200$ micromètre, Q_{84} , Q_{16} .

1.1.4. Modèle couplé MIKE21/3 FM

Le logiciel MIKE comprend certains modules spécialisés pour calculer le champ des courants, des vagues, du transport sédimentaire, etc. ..., pour les zones côtières. En particulier, le modèle intégré MIKE21/3 FM couplé avec le module MIKE21 ST intègre des modèles professionnels pour étudier les questions liées au transport du sable et au dépôt – érosion. Le modèle couplé MIKE21/3 FM est un nouveau produit (développé en 2004-2009) et le logiciel spécialisé plus avancé MIKE21 comprend de nombreux modèles numériques intégrés pour l'utilisation dans quatre grands domaines tels que :

- L'hydraulique de la rivière et de la mer,
- Les vagues, les processus d'accrétion et d'érosion,
- L'environnement hydraulique **(Than, 2015)**.

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

Les modules numériques choisis sont : le module SW (Spectral Waves model), HD (Hydrodynamic model) et ST (Sand Transport model) du système MIKE 21.

L'organigramme illustré sur la (Figure 29) explique bien l'approche méthodologique de la simulation des trois modèles intégrés

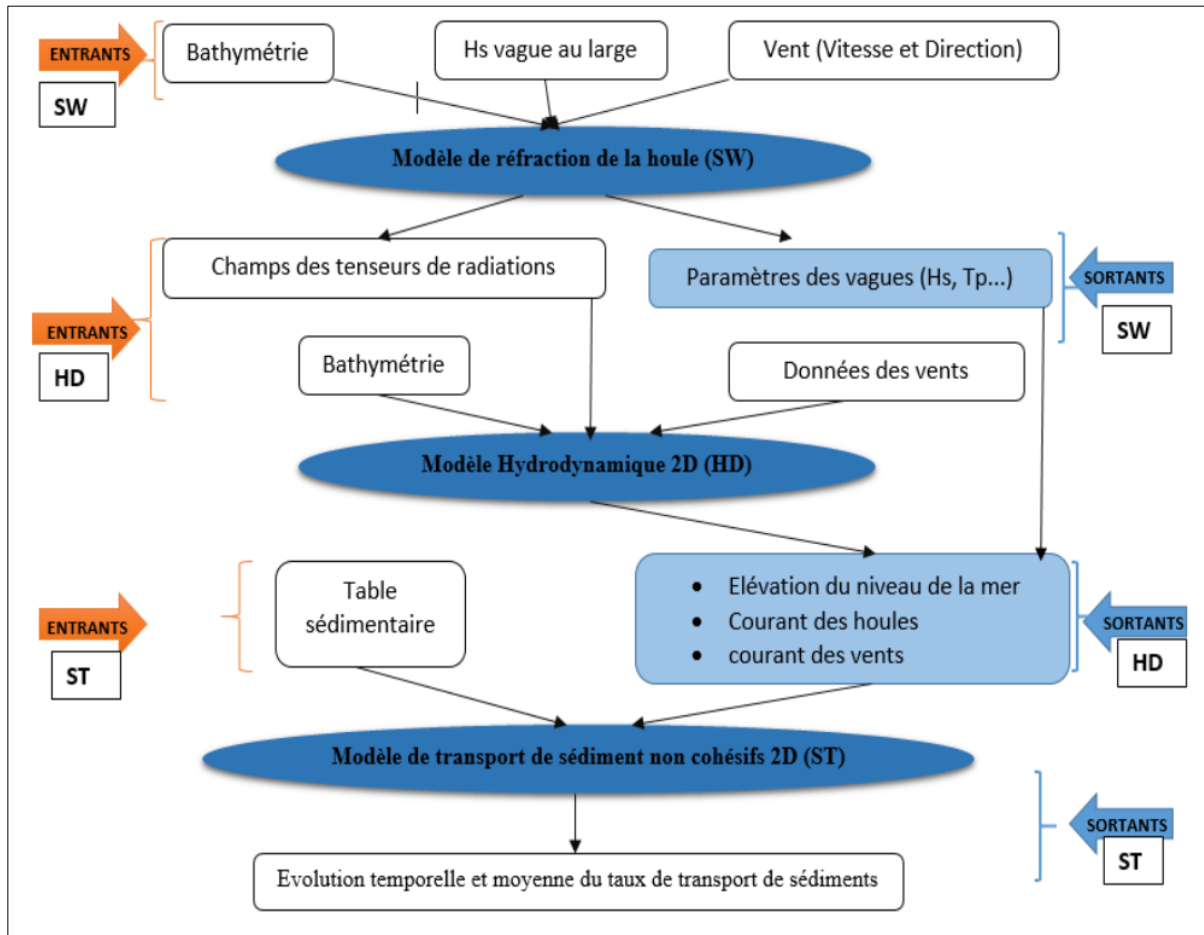


Figure 29 : Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée des différents modules (HD, ST, SW)

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer à l'aide du module SW le climat de houles dans la région d'intérêt (sur une grande échelle). Les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD.

Finalement, les courants générés par le module HD et les données de houles générées par le module SW seront pris en entrée par le module de transport de sédiment ST qui calcul alors le transport de sédiments à chaque pas temporel des simulations hydrodynamiques ainsi que le transport net de sédiments durant la période de simulation.

2. Calibration et interprétation de la simulation

2.1.Module SW (Spectral Waves)

2.1.1. Calibration du module SW

La réalisation de la simulation du modèle de MIKE 21 Spectral Waves nécessite d'introduire plusieurs types de données, telles que :

- Les directions des houles dominantes ; pour notre cas on a : Nord, Nord Est et Nord Ouest.
- Des données sur le vent et les niveaux d'eau ; qui ont été considérés nuls et le forçage par les vents n'a pas été pris en considération, afin de simuler la propagation d'une houle déjà formée indépendante du vent.

On a choisi comme paramètres de calibration, le frottement du fond marin est spécifié en utilisant la rugosité de Nikuradse égale à 0.04, le déferlement est spécifié en utilisant un gamma constant $\gamma=0.8$, les deux paramètres sont déterminés par défaut.

Wave parameters (version 1) a été le paramètre de houle qui alimente les limites ouvertes du modèle, ces limites sont constants dans le temps et tout au long des limites ouvertes. Ils ont concerné : la hauteur significative, la période pique, la direction de la houle.

Une fois, la bathymétrie et les données d'entrées et les conditions limites ont été définies ; la simulation est lancée.

Les données sortantes sélectionnées qui représentent le climat de houle à la côte sont les suivantes (Tableau 4):

Tableau 4: Les paramètres entrants du module SW « *ERA.5* »

Parameter / zone	Baie de Zemmouri	Baie d'Alger	Baie de Bou Ismail
Hauteur Significative (H_s)	2.65m	3.13m	5.6m
Période pique (T_p)	7.85s	10.25s	12.35s
Direction de houles	Nord-Est, Nord, Nord-Ouest	Nord-Est, Nord, Nord-Ouest	Nord-Est, Nord, Nord-Ouest

2.1.2. Interprétation du module SW

➤ La baie de Zemmouri

- **Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)**

La figure 30 représente la propagation de la houle du secteur Nord-Est (45°).

Les houles de directions Nord-Est sont les plus fréquentes, les orthogonales sont peu réfractées avec une obliquité de 25° à 45° par rapport à la côte. Au large, ces houles ne subissent aucune modification, elles gardent son énergie initiale ($H_s=2.56m$, $T_p=7.84s$), mais au fur et à mesure lorsqu'elles commencent à ressentir le fond sa hauteur diminue, jusqu'à atteindre des valeurs

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

varient entre 0.1m et 1.9m, ($T_p=8.12s$, $T_p=7.81s$ respectivement) le long de la côte, où le coefficient de shoaling 0.03 et 0.7, donc ces houles engendrant des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière.

Au niveau de zones abritées par Cap Blanc et le port de Zemmouri, la hauteur significative enregistrée est de 0.5m ($T_p=8.1s$)

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

La figure 31 illustre la propagation de la houle provenant du secteur Nord (360°), où on marque que l'expansion de cette houle se fait frontalement par rapport au rivage. Au large, la houle ne subit aucune modification ($H_s=2.7m$ $T_p=7.97s$), lorsqu'elle commence à ressentir le fond toute en rapprochant du rivage, la hauteur de la houle diminue pour atteindre des valeurs faibles $H_s=0.36m$ et $H_s=1.2m$ ($T_p=8.08s$ et $T_p=8.18s$), avec un coefficient de shoaling varie entre 0.13 et 0.44 ce qui signifie que la houle perd une partie de son énergie lors de sa propagation vers la côte, A l'exception de la zone de Cap Djinet, les hauteurs de la houle atteignent les 1.7 m juste au pré de la jetée principale, cela est dû généralement au déferlement important ainsi que la diffraction de la houle sur les jetées du port

- **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)**

La figure 32 illustre la propagation de la houle provenant du secteur Nord-Ouest (315°). Nous observons que les houles de ce secteur arrivent obliquement à la côte, elles subissent une rotation entre de 3° à 10° . Ces houles engendrent un courant de dérive littoral.

Au large, les houles de ce secteur ne subissent aucune modification ($H_s=3.12m$, $T_p=8.7s$), mais au fur et à mesure lorsqu'elles se rapprochent du rivage, sa hauteur diminue (H_s varie entre 0.2m à 1.5m), ($T_p=9.5s$ et $T_p=9.29s$) avec la diminution de profondeur, où les coefficients de shoaling atteindront des valeurs compris entre 0.06 et 0.48. ce qui signifie que cette houle ne perd que très peu de son énergie, par un pivotement des orthogonale légère à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone d'étude.

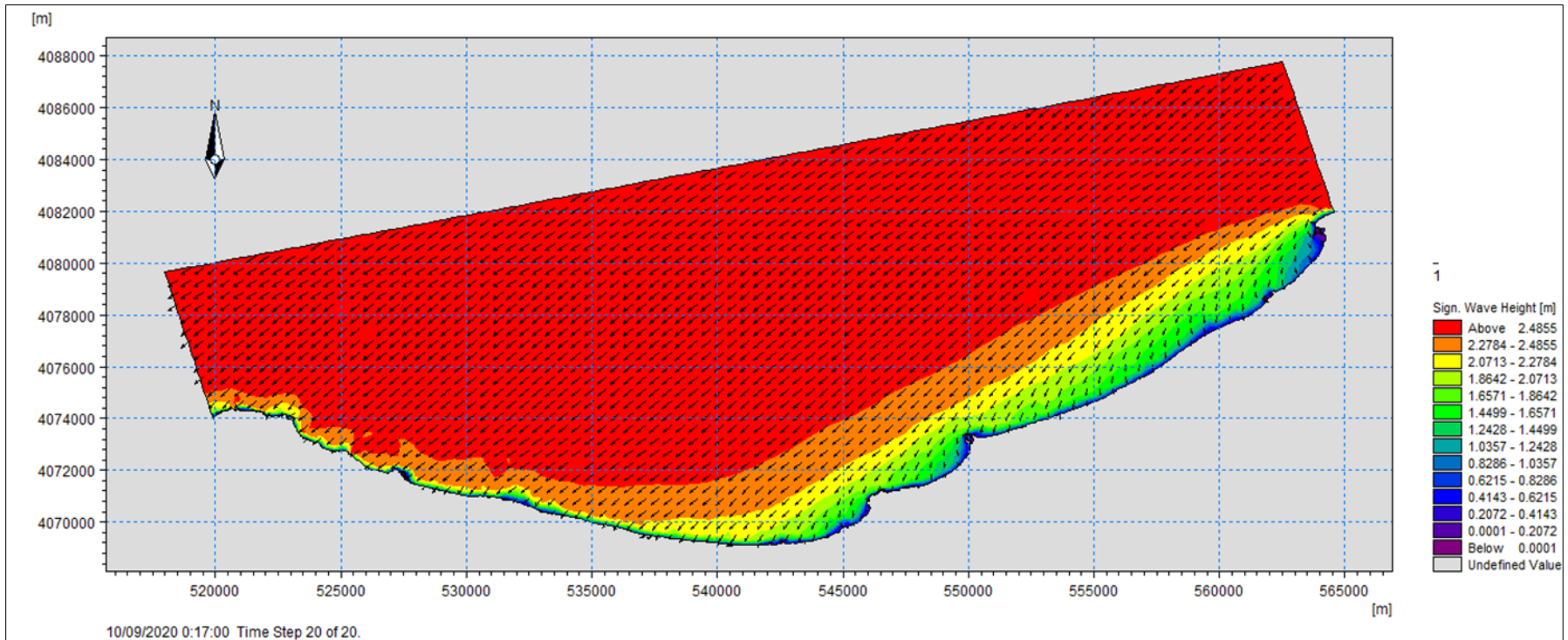


Figure 30: Champs de houles de direction Nord-Est (45°) .

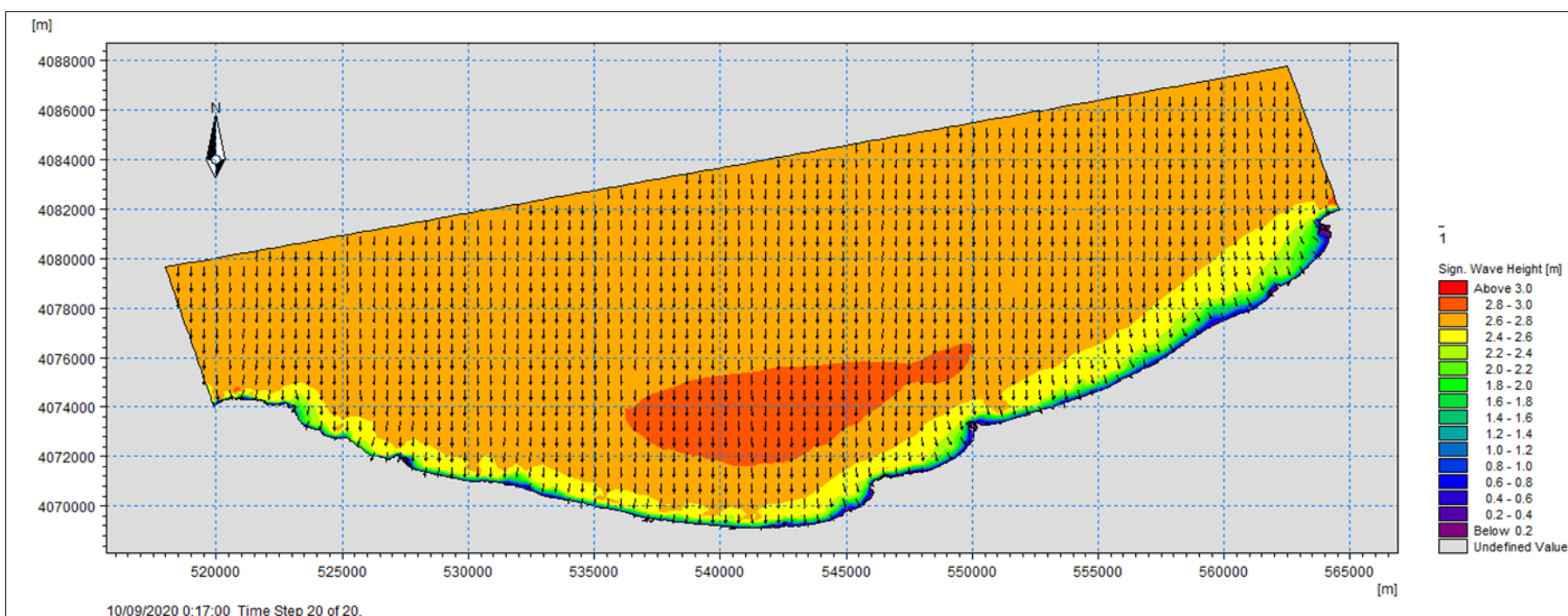


Figure 31: Champs de houles de direction Nord (360°).

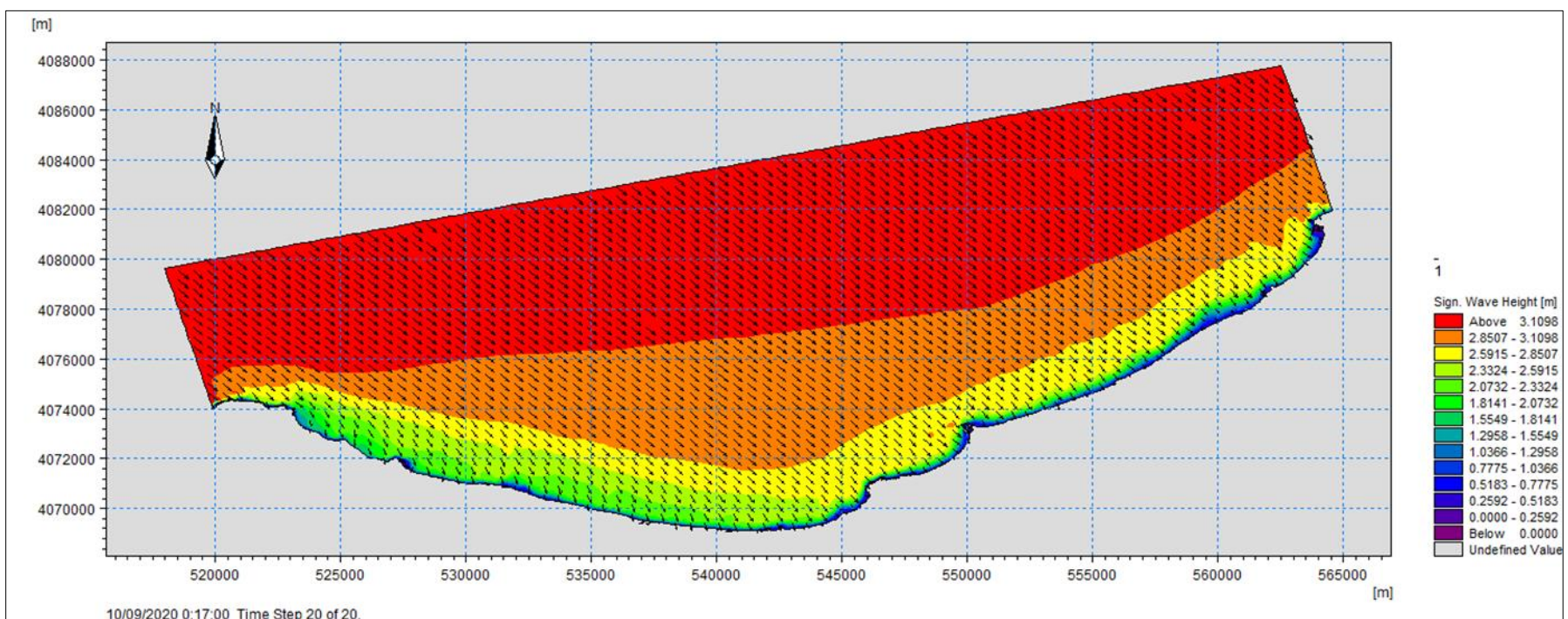


Figure 32: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).

➤ **La baie d'Alger**

• **Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)**

La figure 33 représente la propagation de la houle du secteur Nord-Est (45°). Au large, ces houles ne subissent aucune modification elles gardent ses caractéristiques initiales ($H_s=3.13m$, $T_p=10.25s$), mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, sa hauteur diminue considérablement pour atteindre des valeurs varie entre 0.4m à 1.8m ($T_p=10.07s$, $T_p=10.71s$ respectivement) dans la partie Ouest, avec un coefficient de shoaling varie entre 0.12 et 0.57, ce qui signifie que les houles dans cette partie gardent presque leurs énergies du large. La partie Est est abritée par Cap Matifou, elle enregistre des hauteurs de houles faibles varie entre 0.2m ($T_p=10.8s$) et 1m ($T_p=10.4s$), avec un coefficient de shoaling varie entre 0.06 et 0.32. Au niveau de la partie Centrale (Mazella, Pins Maritimes, la Sirène I, Sirène I et Verte Rive) la hauteur de la houle diminue pour atteindre des valeurs moins élevées (0.3m, 1.4m), avec un coefficient de shoaling varie entre 0.09 et 0.44. Ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

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

D'après la figure 34 qui représente la propagation de la houle du secteur Nord (360°), le plan de ces houle est frontal et ne subit aucune modification au large ($H_s = 3.14m$, $T_p=10.25s$). Ces houles sont celles qui se réfractent le moins avec des angles de déviation quasiment nuls 1°. Lorsque ces houles commencent à ressentir le fond, elles perdent ses caractéristiques initiales, elle atteignent la côte avec une hauteur significative varie entre 0.26m et 2.6m, dont le coefficient de shoaling varie entre 0.08 et 0.82, ce qui permet à ces houles de garder une partie importante de leur énergie initiale. Au niveau de Cap Matifou, les houles subissent une déformation avec une hauteur varie entre 0.5m et 1.8m, cette déformation est due à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles. Presque la totalité de la côte de la baie d'Alger est exposée à la houle Nord. Ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

• **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)**

La figure 35 illustre la propagation des houles provenant du secteur Nord-Ouest (315°), nous observons que l'ensemble des houles arrivent obliquement à la côte, en subissant une rotation entre 3° et 10°. Au large, les houles ne subissent aucune modification ($H_s=3.06m$ et $T_p=10.16s$), mais lorsqu'elles continuent à se propager vers la côte, elles vont perdre ces caractéristiques initiales, elles atteignent la côte avec des hauteurs varient entre 0.45m et 2m, dont le coefficient de shoaling varie 0.15 et 0.65 dans la partie Centrale de la baie, 0.8m et 2.4m, avec un coefficient de shoaling 0.26 et 0.78 dans la partie Est, où nous constatons que les houles perdent la moitié de leur énergie à leur arrivée à la côte. Ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone Est. Ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière

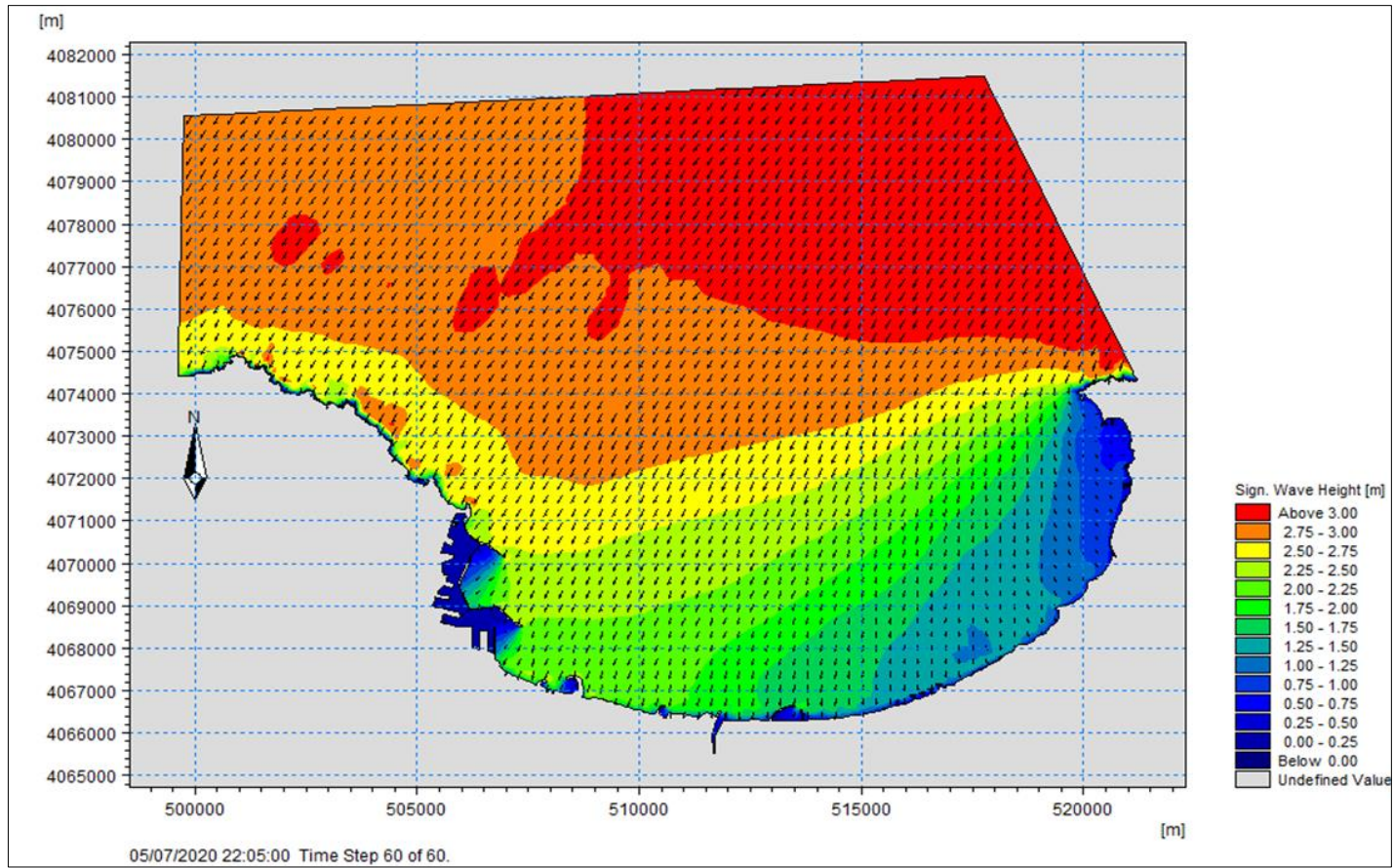


Figure 33: Champs de houles de direction Nord-Est (45°).

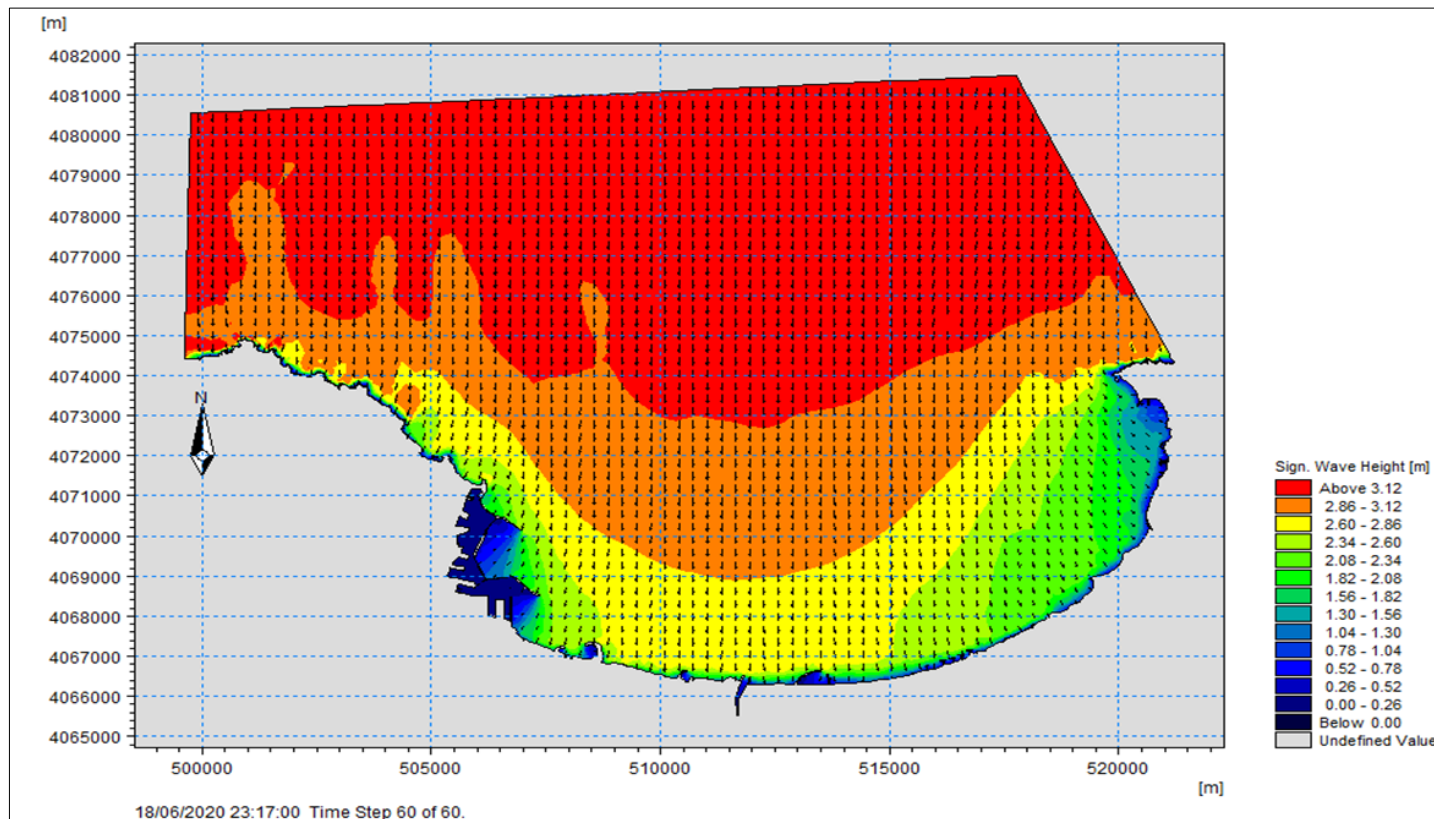


Figure 34: Champs de houles de direction Nord (360°).

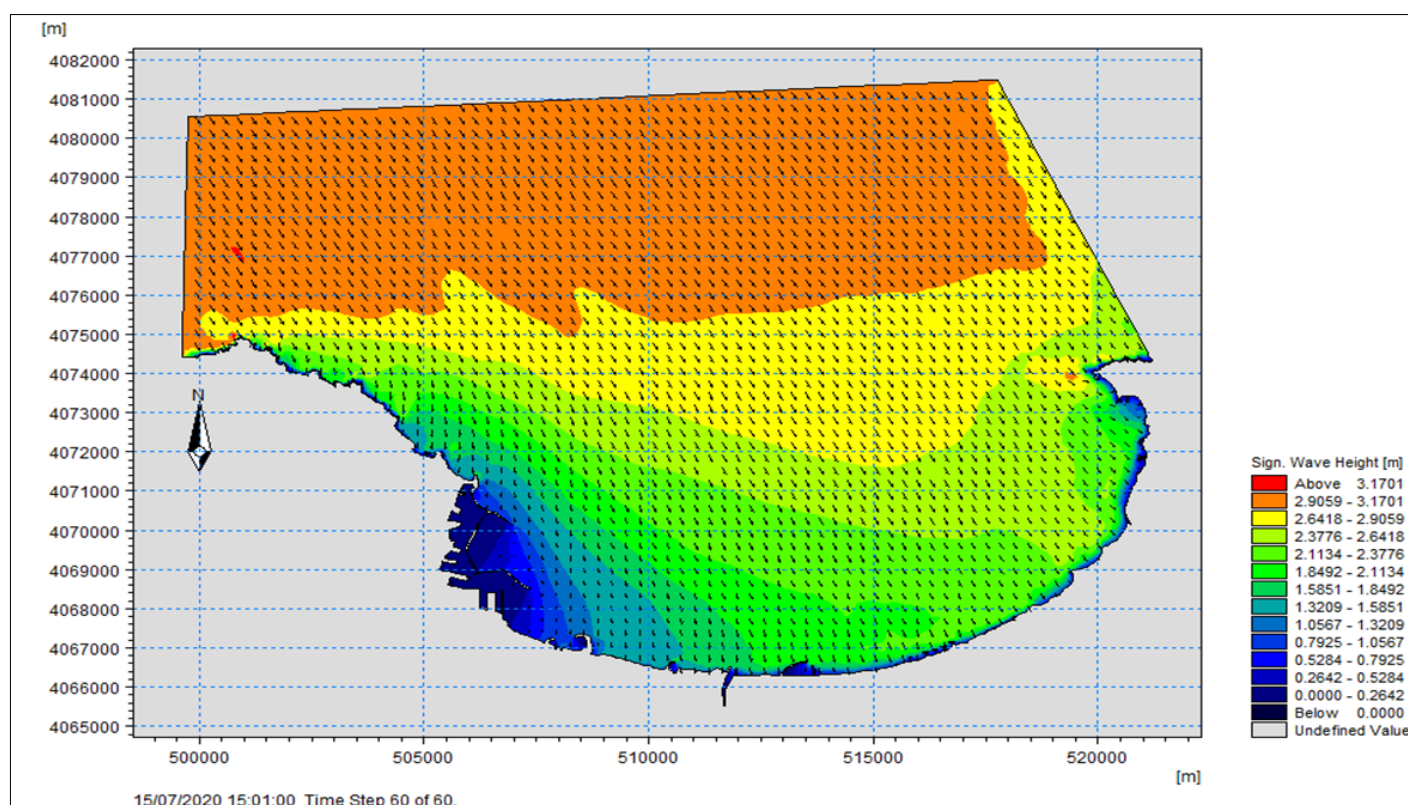


Figure 35: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).

➤ **La baie de Bou Ismail**

• **Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)**

La figure 36 présente la propagation de houles venant de secteur Nord-Est, elles arrivent obliquement (20 à 40°) vers la côte, Au large, les houles ne subissent aucune modification ($H_s=5.6$, $T_p=12.35s$), mais au fur et à mesure, lorsqu'elles commencent à ressentir le fond, sa hauteur significative diminue pour atteindre la côte avec des valeurs faibles varie entre 0.17m à 2.7m, avec un coefficient de shoaling de 0.03 à 0.48 dans la partie Est (Douaouda, El Khaloufi, , Azur, Palm Beach et Plage Ouest de Sidi Fredj), qui est une zone abritée par le Cap Caxine, ce qui favorise la formation des plages sableuses. Au niveau de la partie Ouest, les houles arrivent perpendiculairement à la côte, avec une hauteur significative varie entre 0.08m et 1.3m avec un coefficient de shoaling 0.01 et 0.23. Ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

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

La figure 37 montre le plan de propagation de la houle venant de secteur Nord, arrivant à la côte perpendiculairement, avec une hauteur significative de 5.4m ($T_p=12.36s$) au large. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 0.5m et 3.9m, avec un coefficient de shoaling varie entre 0.09 et 0.7, cette houle garde une partie importante de leur énergie initiale, ce qui rend la partie Centre et Ouest très vulnérable. Cependant, la partie Est qui est une zone abritée, enregistre des hauteurs moins élevées comprises entre 0.6m et 2.9m, avec un coefficient de shoaling varie entre 0.11 et 0.54, ces houles engendrent une dérive littorale vers l'Ouest et favorisant distribution des sédiments le long de la plage.

• **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)**

La figure 38 illustre le plan de propagation de la houle venant de secteur Nord-Ouest 315°, arrivent obliquement à la côte, par un pivotement des orthogonale de direction Nord-Ouest, en subissant une rotation entre 2° et 8°. Au large, les houles gardent ses caractéristiques initiales ($H_s=5.3m$, $T_p=12.35s$), jusqu'elles commencent à ressentir le fond, où les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage avec une hauteur significative varie entre 0.5m et 3.5m, dont le coefficient de shoaling varie entre 0.09 et 0.66 dans la partie Ouest et Centre de la baie, ces houles gardent presque la totalité de leurs énergies du large. La partie Est de la baie abritée par le port de Sidi Fredj enregistre des hauteurs des houles moins importantes (0.1m à 1m) avec un coefficient de shoaling varie entre 0.01 et 0.19, ce que signifie que les houles perdent ses caractéristique initiales. Les houles de ce secteur peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

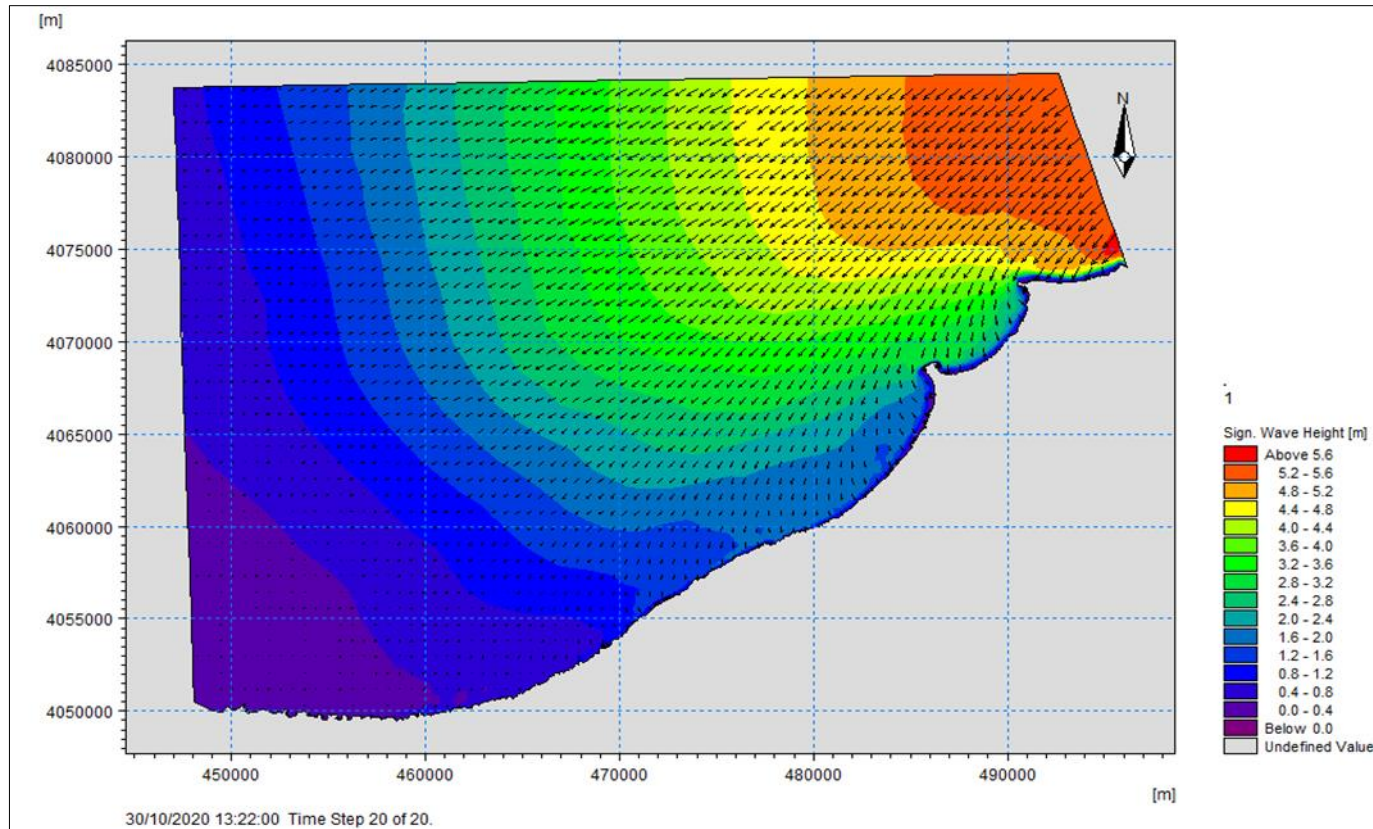


Figure 36: Champs de houles de direction Nord-Est (45°).

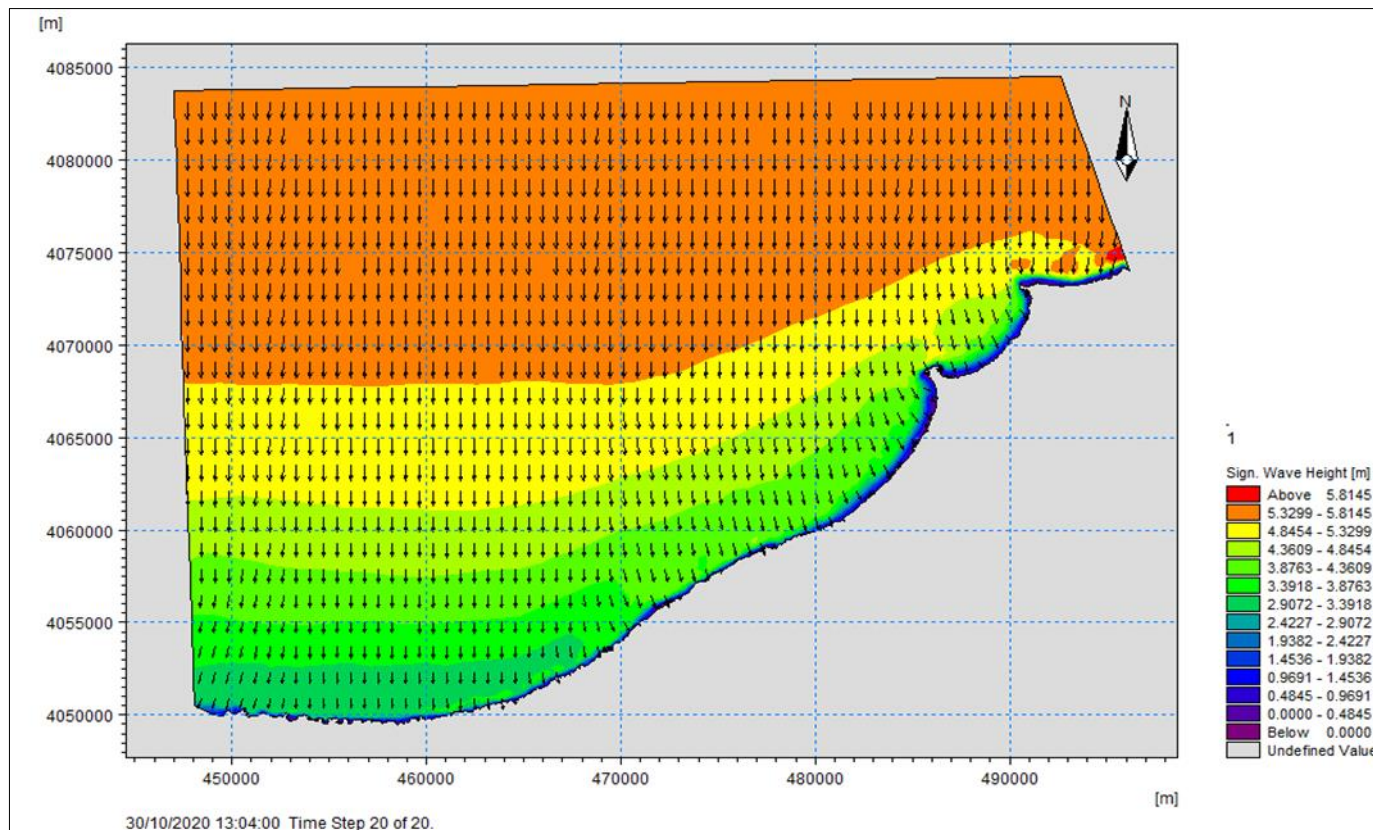


Figure 37: Champs de houles de direction Nord (360°).

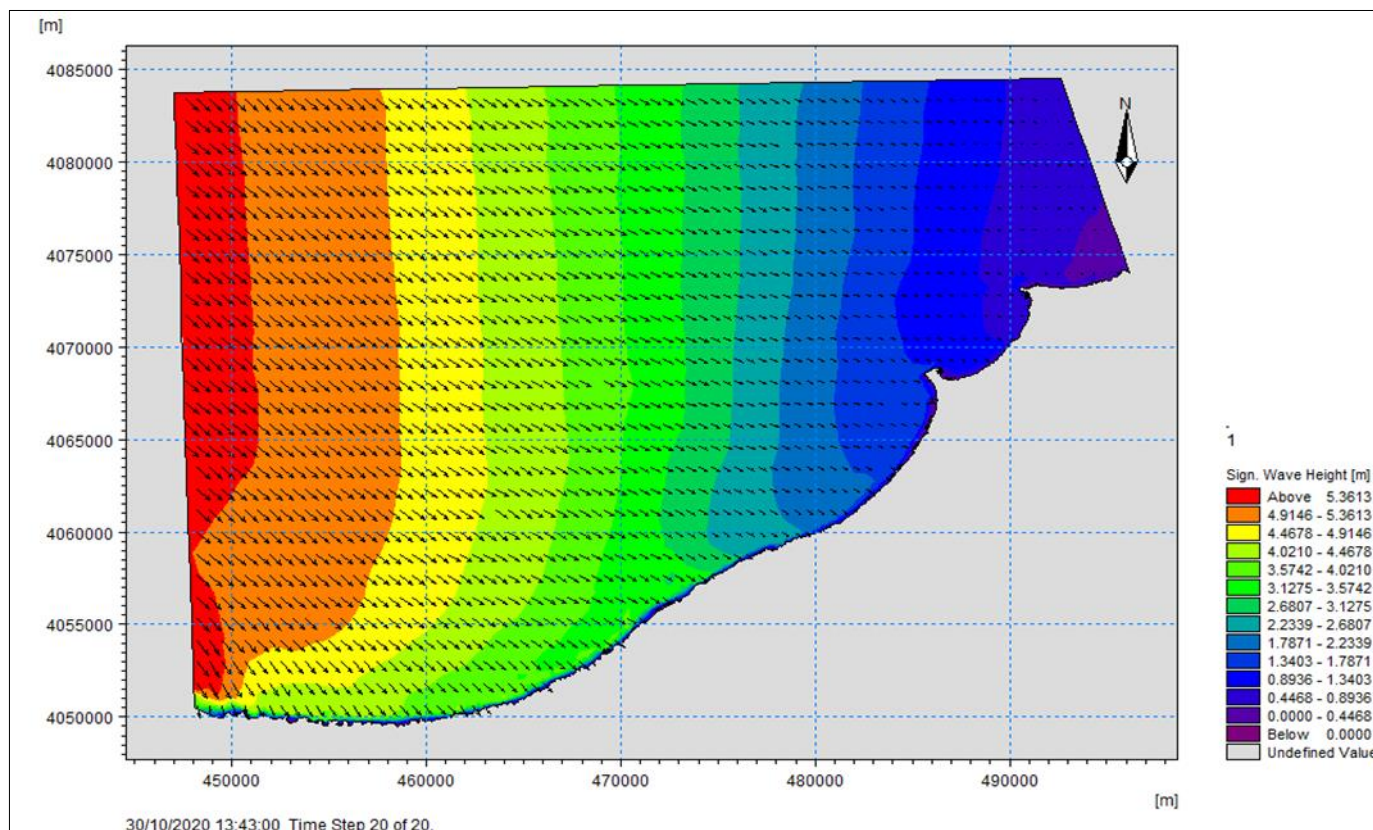


Figure 38: Champs de houles de direction Nord-Ouest (315°).

2.2.Module HD (Hydrodynamique)

2.2.1. Calibration du module HD

Le module HD sert à modéliser les champs des courants générés par les houles approchant de rivage. Lors de la calibration du modèle hydrodynamique, on doit tenir en compte de deux facteurs importants : la viscosité et la rugosité du fond (nombre de Manning), la constante de Smagorinsky varie de 0,24 à 0,9 (DHI, 2014). Le nombre de Manning est de 24 à 35 ($m^{1/3}/\text{seconde}$). Ces dernières ont été déterminés par défaut : 0.28 et 32 respectivement.

2.2.2. Interprétation du module HD

➤ La baie de Zemmouri

- **Champs des courant pour un MDW=45°**

La figure 39 montre la variation des courants et leur direction qui sont générés par une houle du Nord Est 45°. On constate que ces courants sont orientés d'Est en Ouest suivant une direction parallèle au trait de côte avec des vitesses varient entre 0.08m/s et 0.9m/s le long de la cote à l'exception de la zone de Cap Djinet qui enregistre des vitesses importantes de l'ordre de 1.4 m/s, ces fortes vitesses sont dû essentiellement au transport sédimentaire vers l'Ouest en favorisant l'érosion des cotes sableuses exposées à ses courants. Ces vitesses diminuent en allant vers l'Ouest à cause de l'existence des obstacles,

- **Champs des courant pour un MDW=360°**

D'après la figure 40, les houles de secteur Nord (360°N) engendrent un champ des courants parallèles au trait de côte, qui montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone. On remarque que les houles de cette direction génèrent un modèle de courant plus complexe qui se propage dans deux directions différentes, d'Est en Ouest avec des vitesses varient entre 0.2m/s à 0.7m/s, Ouest en Est avec des vitesses varient entre ,0.03m/s à 0.9m/s, ce courant est produit principalement par le phénomène de réfraction de la houle. Cependant à l'Est du port de Cap Djinet, on remarque des champs de courants plus important qui dépasse la vitesse de 1.1m/s orienté vers la direction Ouest, c'est l'origine des accumulations de quantités importantes du sable au niveau de la jetée principale et favorise l'ensablement du port avec des vagues venant de l'autre côté. La tendance érosive est accentuée par des courants de retours globalement au niveau de « Zemmouri et Boumerdes » leurs vitesses oscillent entre 0.5 m/s et 0.75 m/s.

- **Champs des courant pour un MDW=315°**

D'après la figure 41, les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Au large, ce courant prend une direction nettement opposée mais avec des vitesses nettement faibles ne dépassent pas 0.5m /s dans la partie Est. Dans la partie Ouest, au niveau de la plage de Zemmouri, on observe des champs de courant importants avec des vitesses qui dépassent 1m/s. Ce courant joue un rôle important dans la redistribution des sédiments accumulés au voisinage du port pour alimenter la partie érodée.

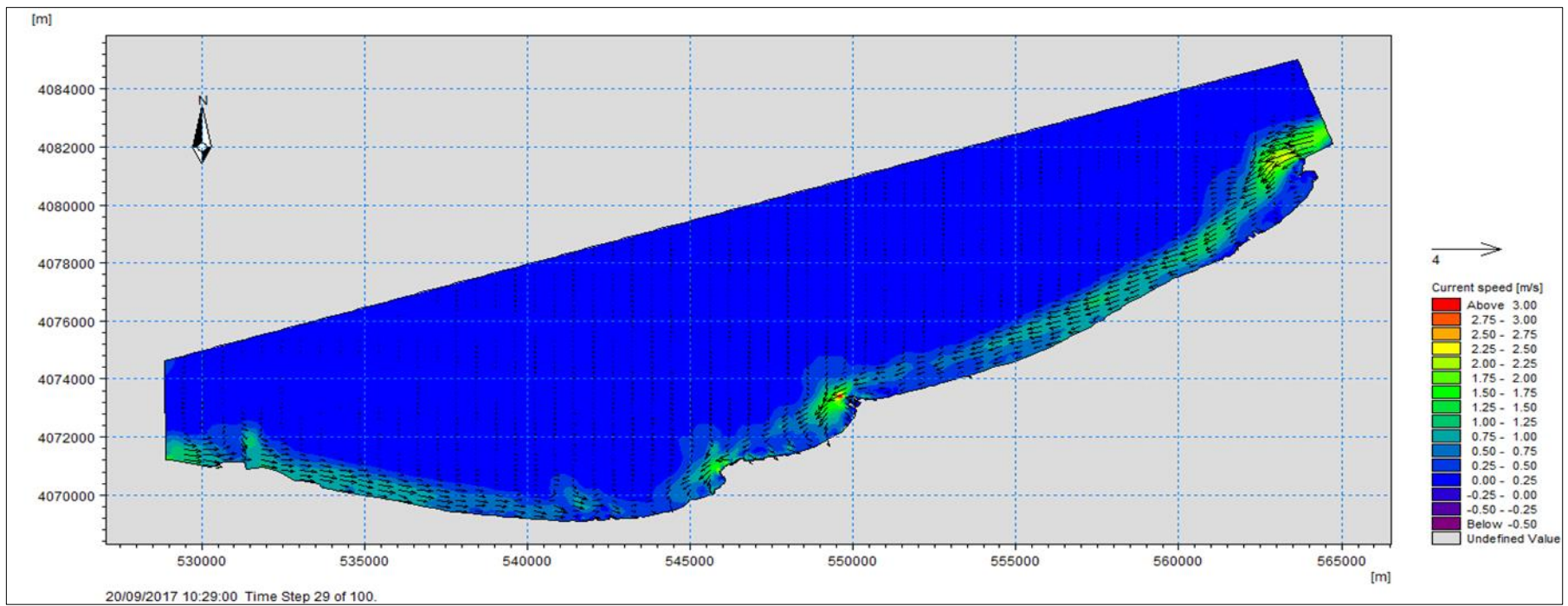


Figure 39: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).

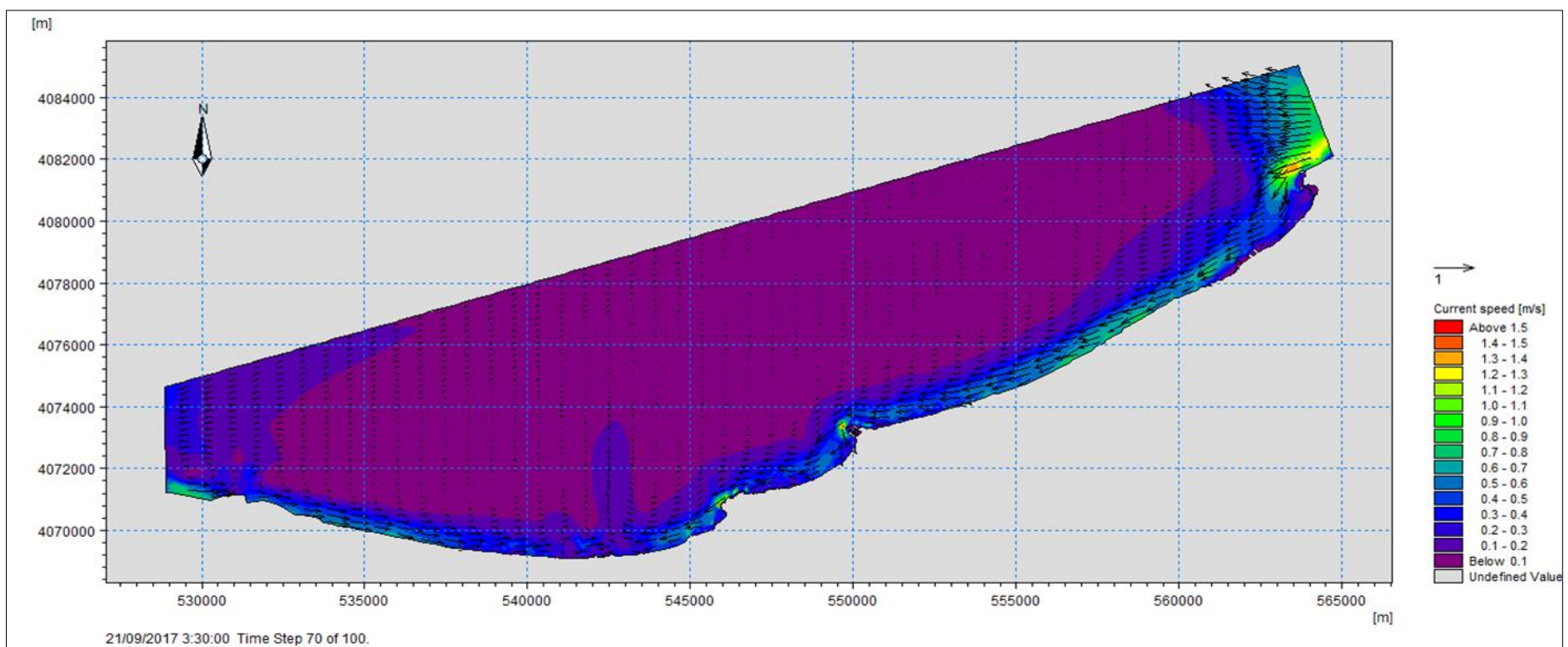


Figure 40: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).

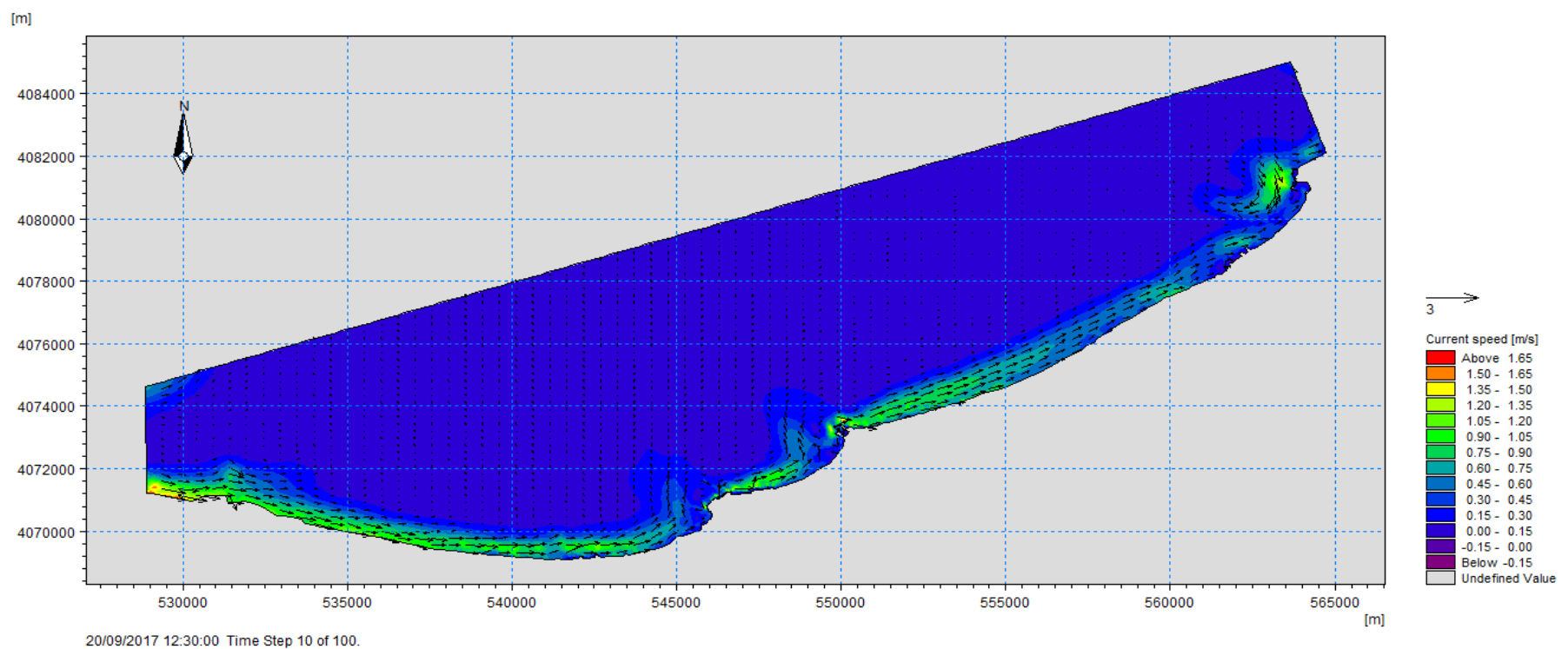


Figure 41: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Ouest (315°).

➤ **La baie d'Alger**

• **Champs des courant pour un MDW=45°**

La figure 42 montre que les houles du Nord Est 45 génèrent un champ des courants évolue d'une manière parallèle au rivage et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses faibles comprises entre 0.14 m /s et 0.4 m/s au niveau de la partie centrale jusqu'au port d'Alger.

Un gradient de vitesse atteint un maximum 0.9 m /s au niveau d'extrémité Est, dû généralement à la diffraction de la houle et à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone. Ces courants de dérive sont capables de transporter du sable et accentuer l'érosion des plages.

• **Champs des courant pour un MDW=360°**

D'après la figure 43, on observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Nord, avec un gradient de vitesse moins important par rapport à la vitesse de courant de direction Nord Est, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.4 m/s dans la partie Est. On constate une circulation tourbillonnaire remarquable derrière les ouvrages de protection et les jetées, caractérisés par le même gradient de vitesse 0.4 m/s, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages.

• **Champs des courant pour un MDW=315°**

La figure 44 montre que la dérive littorale générée par la réfraction de la houle du Nord-Ouest, donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement opposée, avec un gradient de vitesse faibles dans la partie Est ou les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.4 m /s.

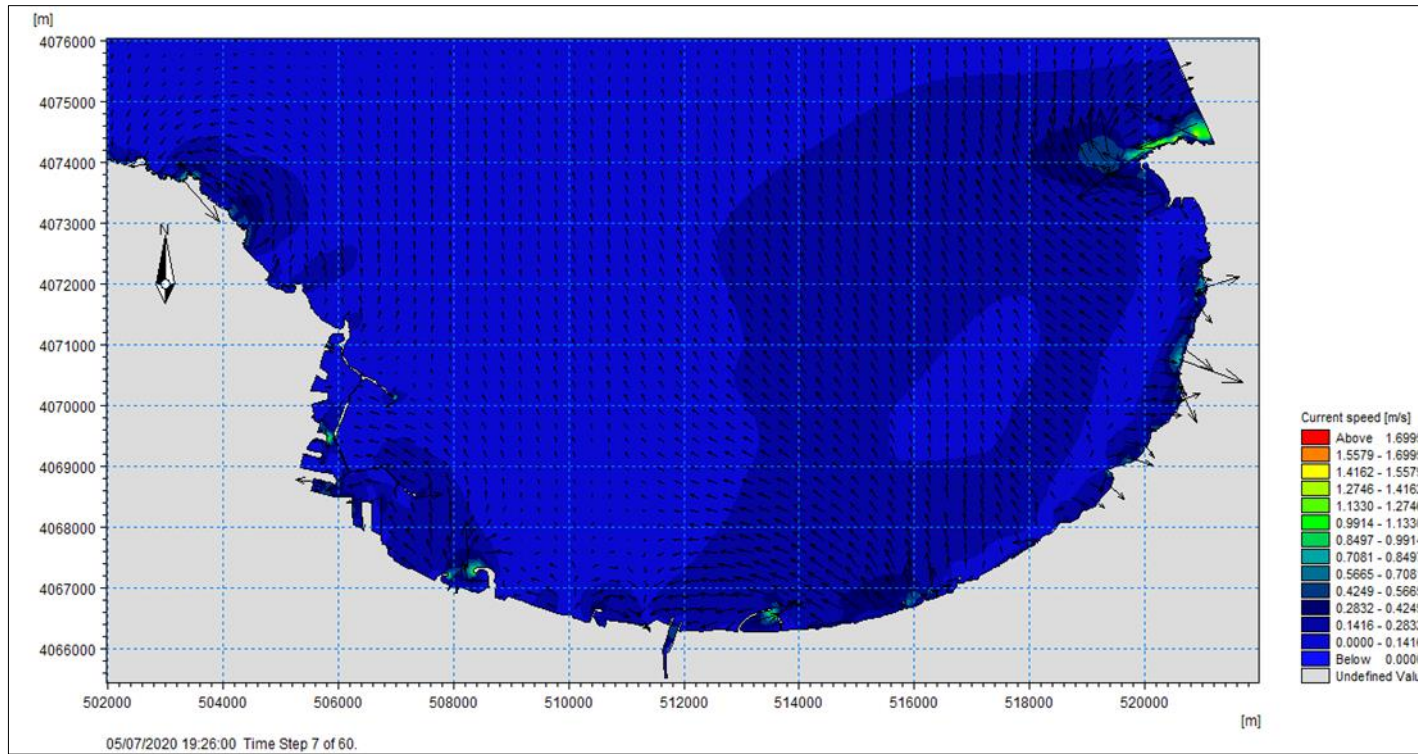


Figure 42: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).

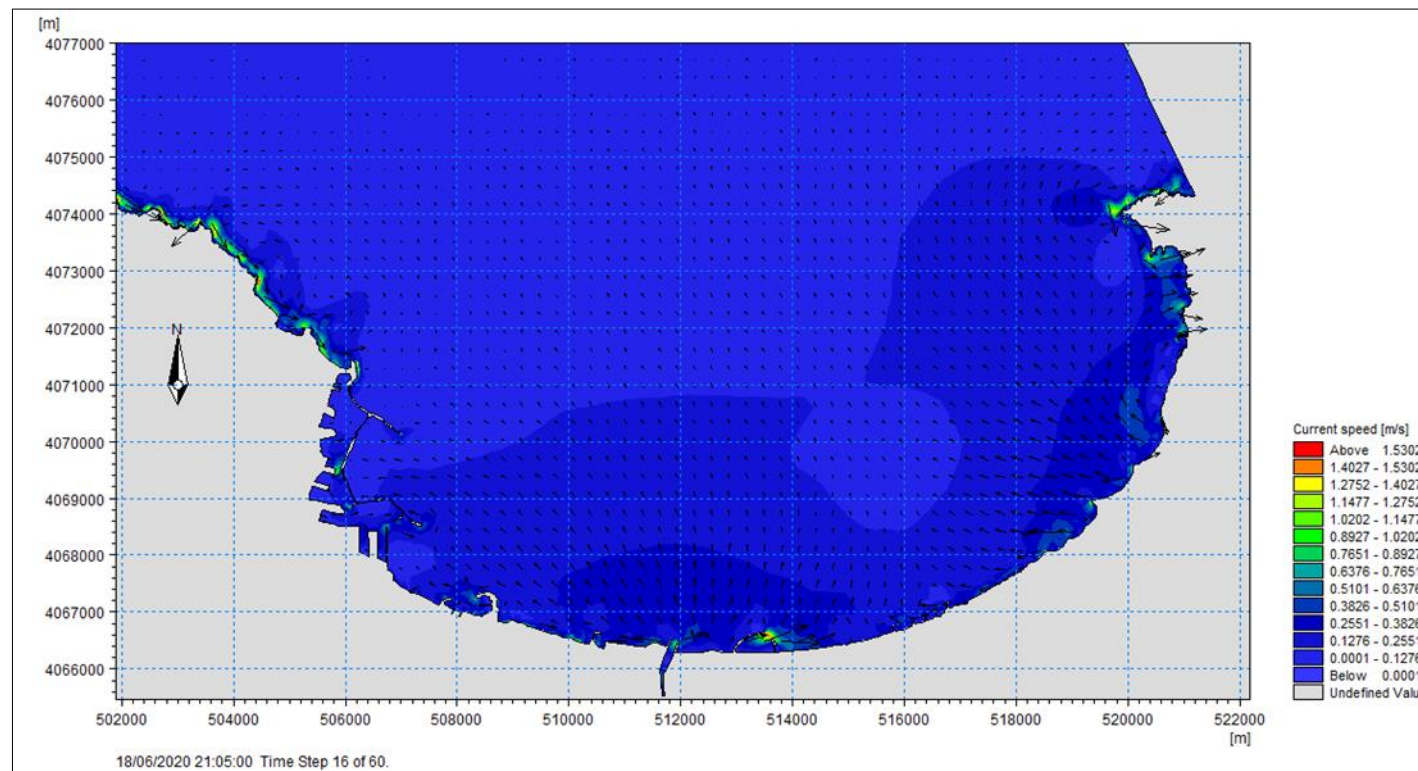


Figure 43: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).

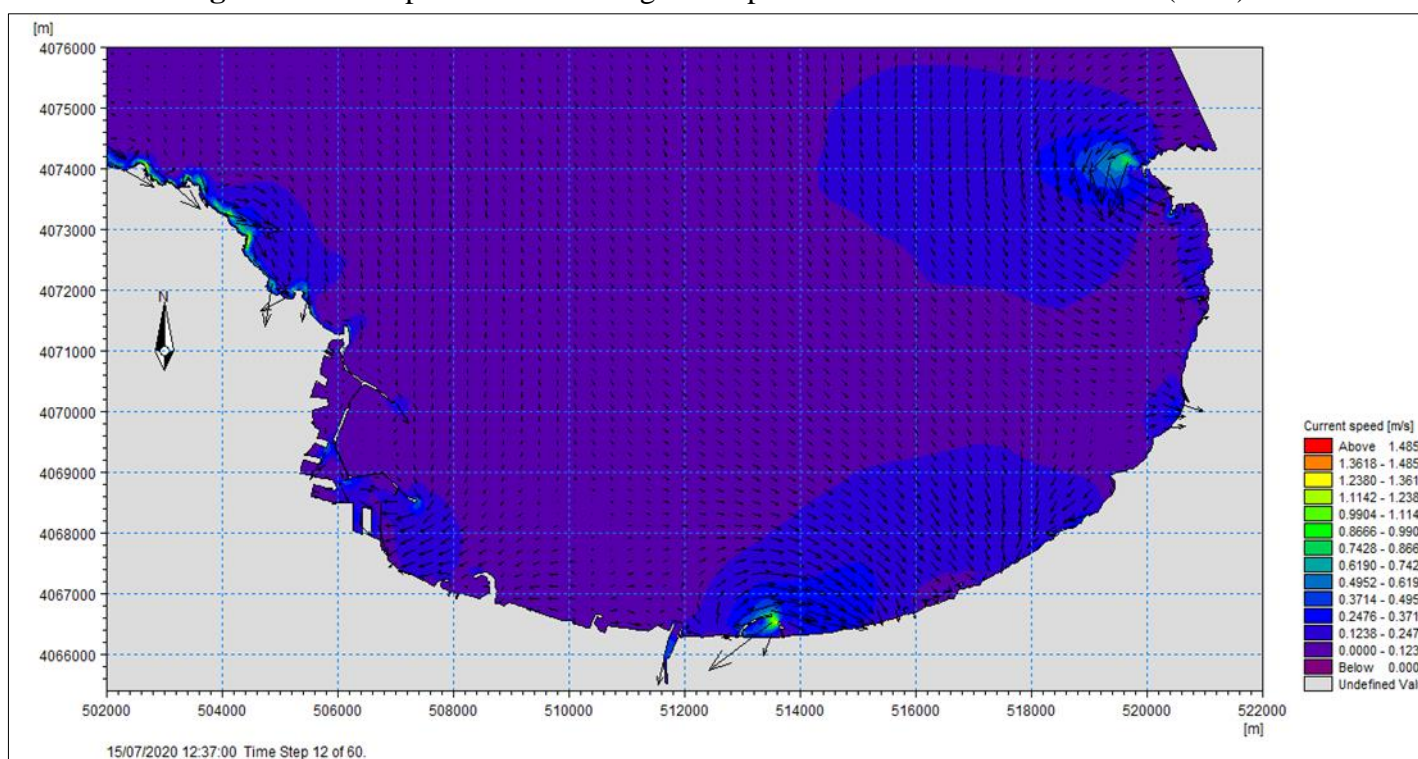


Figure 44: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Ouest (315°).

➤ **La baie de Bou Ismail**

• **Champs des courant pour un MDW=45°**

La figure 45 montre le champ des courants générés par des houles de secteur Nord- Est. D'après cette figure, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques dans toute la zone, surtout dans la partie Est, où on observe un courant important qui est dirigé vers l'Ouest et évolué d'une manière parallèle à la côte, avec une vitesse varie entre 0. 2m/s à 0.9m/s. Des vitesses importantes varient entre 0.3m /s à 0.8m /s enregistrées dans la zone Centre est dû généralement à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone.

• **Champs des courant pour un MDW=360°**

D'après la figure 46, on constate que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres, qui sont dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse varie entre 0.1m/s et 0.6m/s dans la partie Ouest, une vitesse de 0.3m/s et 1m/s dans la partie Est. Ces courants vont provoquer le déplacement des quantités importantes de sédiment et accentuer l'érosion de ses zones.

• **Champs des courant pour un MDW=315°**

Les courants littoraux générés par la réfraction de la houle du Nord-Ouest 315° présentés sur la figure 47, ces houles donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Ce courant prend une direction avec des vitesses moyennes dans la partie Centre ou les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.9m /s et 0.5m/s au niveau du Cap Caxine, une vitesse de courant varie entre 0.25m/s et 0.9m/s dans la partie Ouest de la baie. Ces courants accentuent l'érosion par le déplacement des quantités importantes des sédiments.

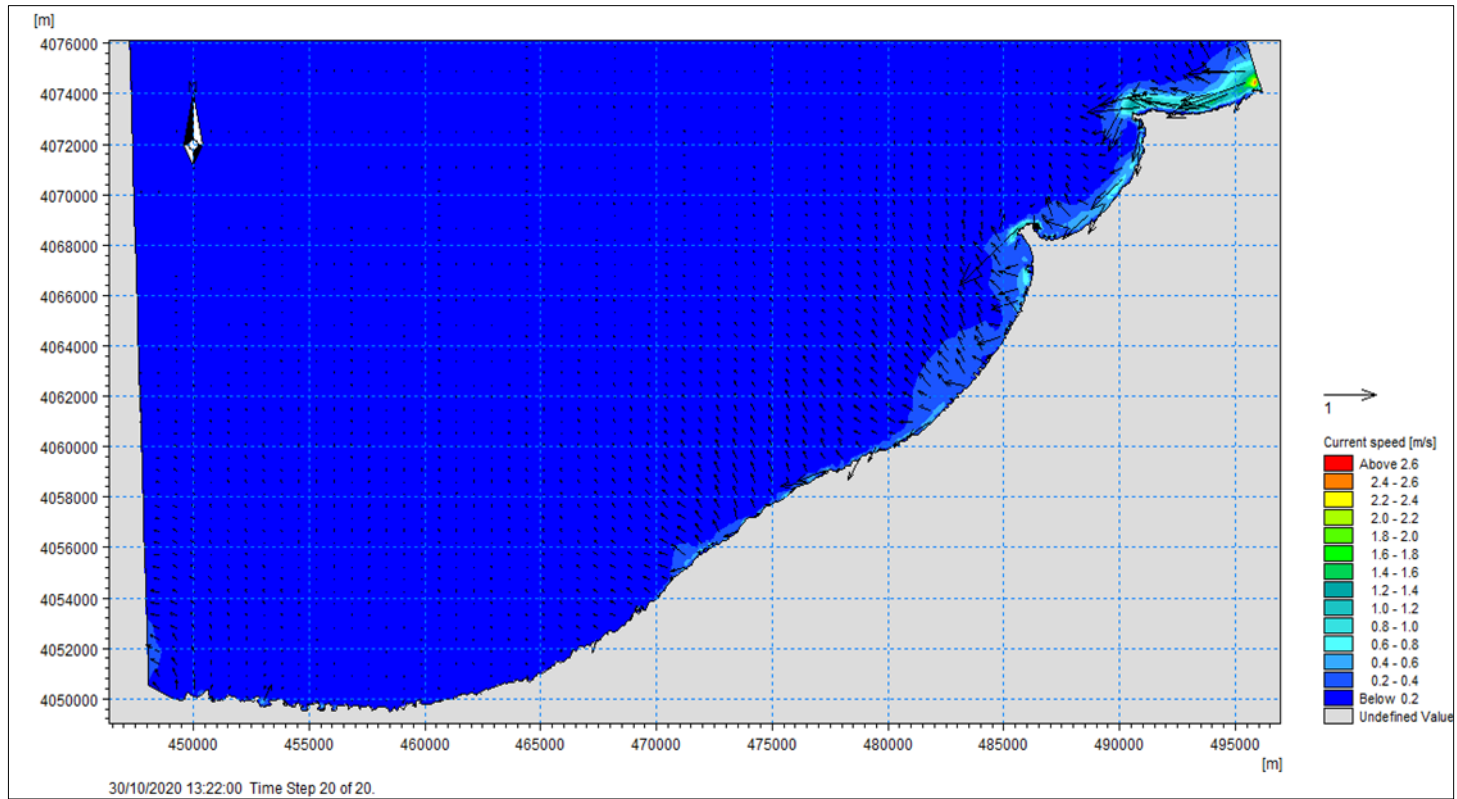


Figure 45: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Est (45°).

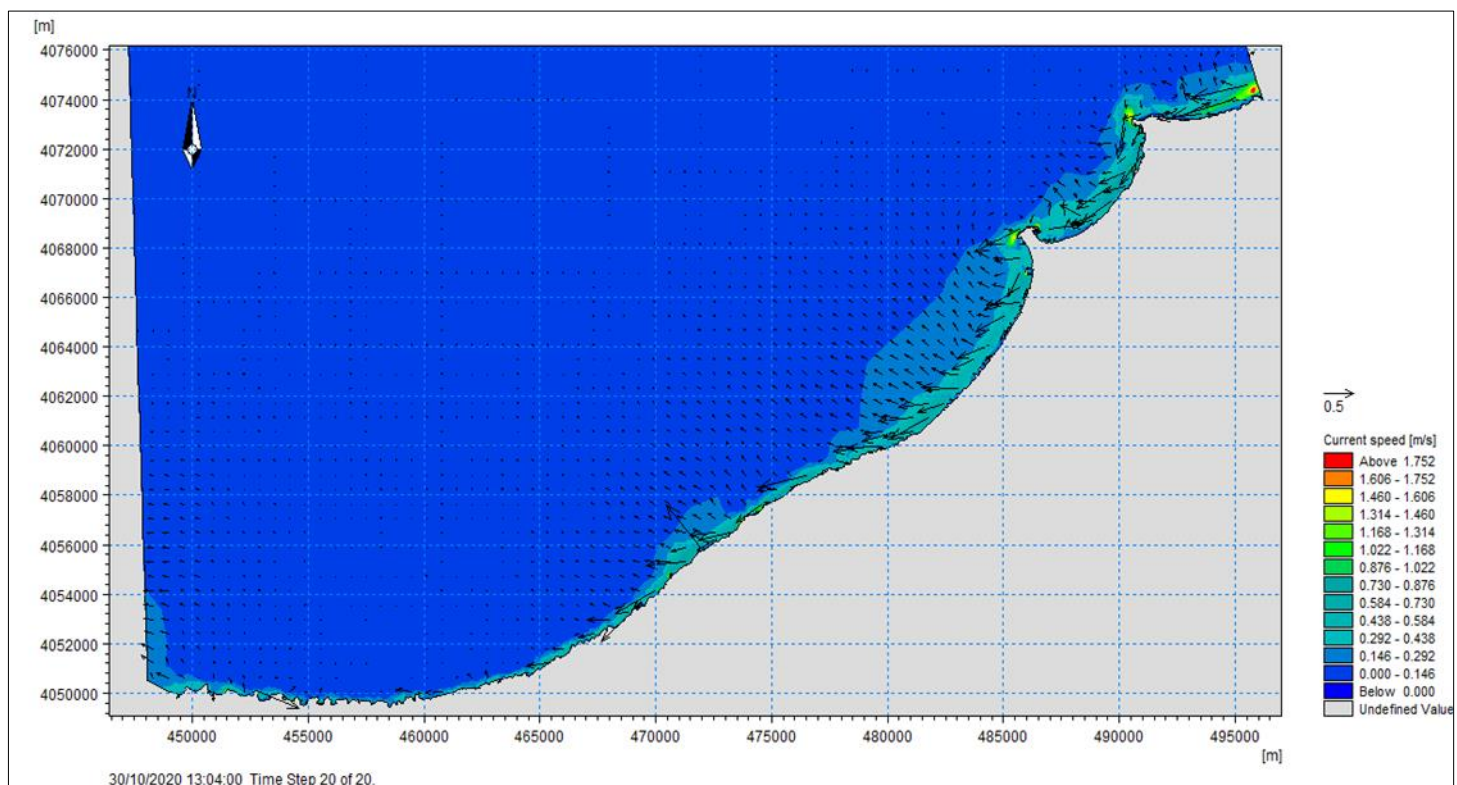


Figure 46: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord (360°).

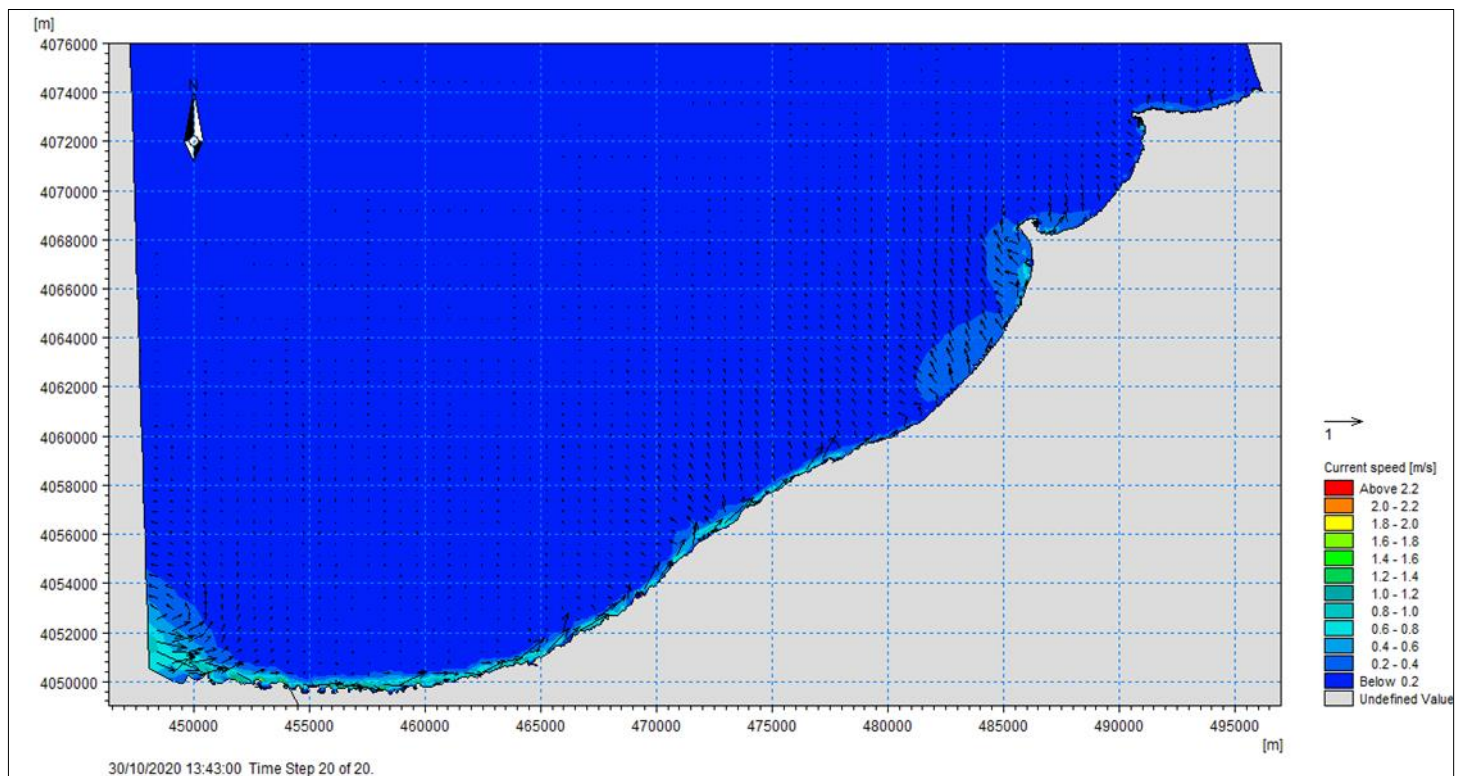


Figure 47: Champs des courants engendrés par les houles de direction Nord-Ouest (315°).

2.3. Module ST (transport sédimentaire)

2.3.1. Calibration du module ST

Sous l'action combinée des courants et des vagues, le module Mike 21 ST calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée. (Mechouet, O, 2016).

2.3.2. Interprétation du module ST

➤ La baie de Zemmouri

De façon générale dans la baie de Zemmouri (figures 48, 49,50), les houles provenant de secteur Nord-Est, engendrent un dérive littorale s'orientent de l'Est vers l'Ouest, les houles de secteur Nord-Ouest engendrent un dérive se dirige d'Ouest vers l'Est, néanmoins les houles de secteur Nord engendrent un transport sédimentaire qui converge vers les deux directions selon la morphologie de la zone au voisinage de la côte.

De Cap Djinet, au port de Zemmouri, la dérive littorale engendrée par les houles de secteur Nord-Est (45°), et qui se dirige d'Est en l'Ouest, parallèlement à la côte, favorise un déplacement de sable avec une capacité de transport varie entre 3374.352 m³/an/s et 10123.056 m³/an/s , En allant vers le secteur Ouest (Boumerdes, Boudouaou El Bahri et Réghaia), autour des ouvrage de protection le champ de courant entraînant un déplacement des grandes quantités de sables vers le Nord dont le débit varie entre 3437.42 m³/an/m et 9050.83 m³/an/m, les vecteurs du transport sédimentaire indiquent une divergence voire une érosion très forte un recul important du trait de côte, à l'extrémité Ouest de la baie, une divergence des écoulements a été mise en évidence : elle est causée par le déferlement des houles sur le platier rocheux. Cette divergence se retrouve dans le transport vers le Ouest et vers le Nord pour les deux directions de houle Nord-Est et Nord autour de la des pointes rocheuses, qui déclenche un transit sédimentaire vers la baie d'Alger et vers le large. Par contre, les houles en provenance de Nord-Ouest génèrent un courant qui contourne les ouvrages et forme derrière celui-ci un vortex qui revient vers l'ouvrage, en favorisant l'entraînement des quantités de sables vers le Sud et en causent l'engraissement des plages. Près du port de Cap Djinet, le champ des courant transporte les sédiments vers le Nord avec un taux varie entre 2112.912 m³/an/m et 9.145.44 m³/an/m. Au niveau de Boumerdes un courant de retour est dirigé vers le large, engendré par les houles de direction Nord, ce dernier va transporter des quantités considérables du sédiment et favorise l'érosion avec des taux de sable de 3532.032 m³/an/m et 9145.44 m³/an/m.

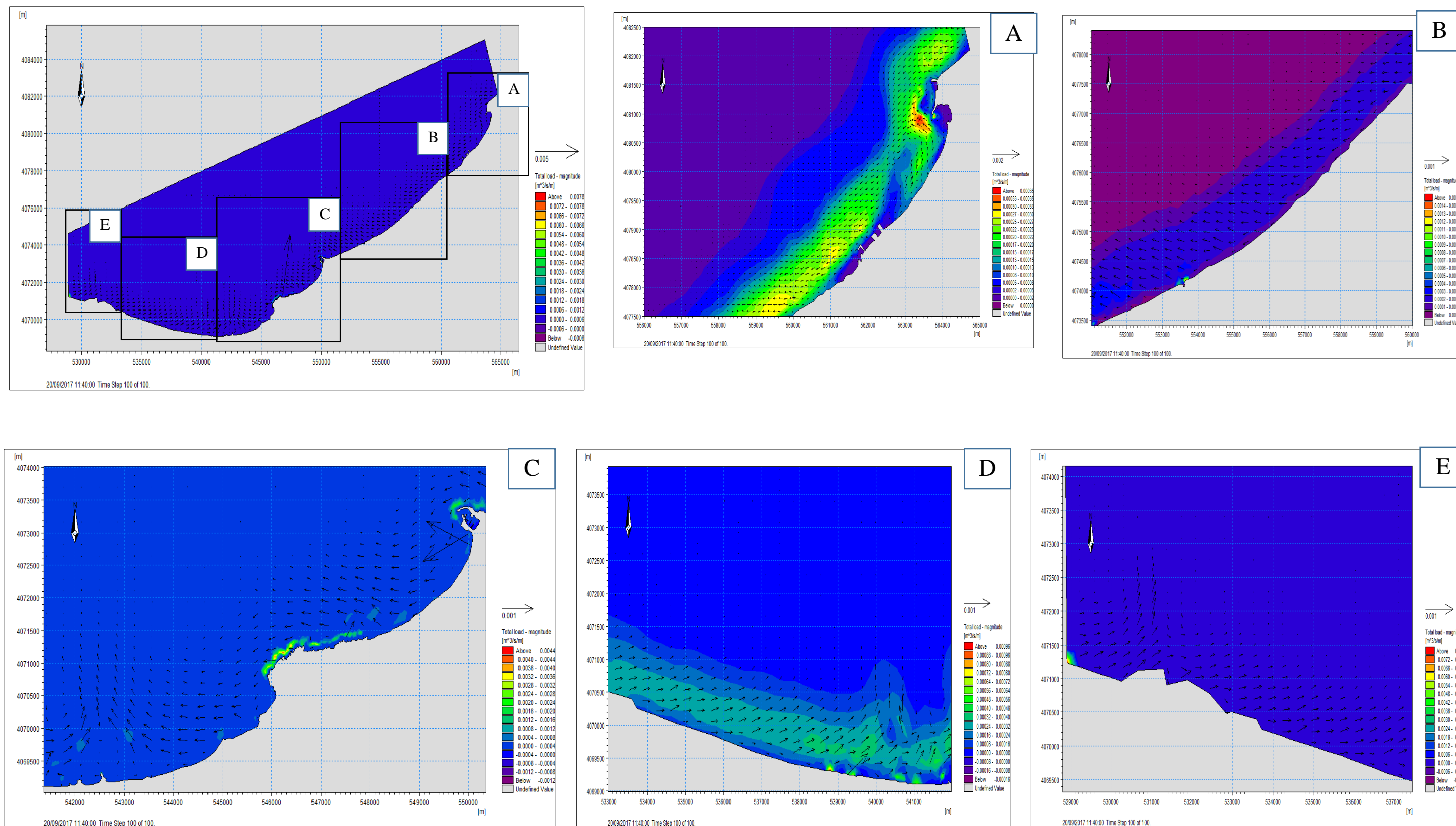


Figure 48: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)

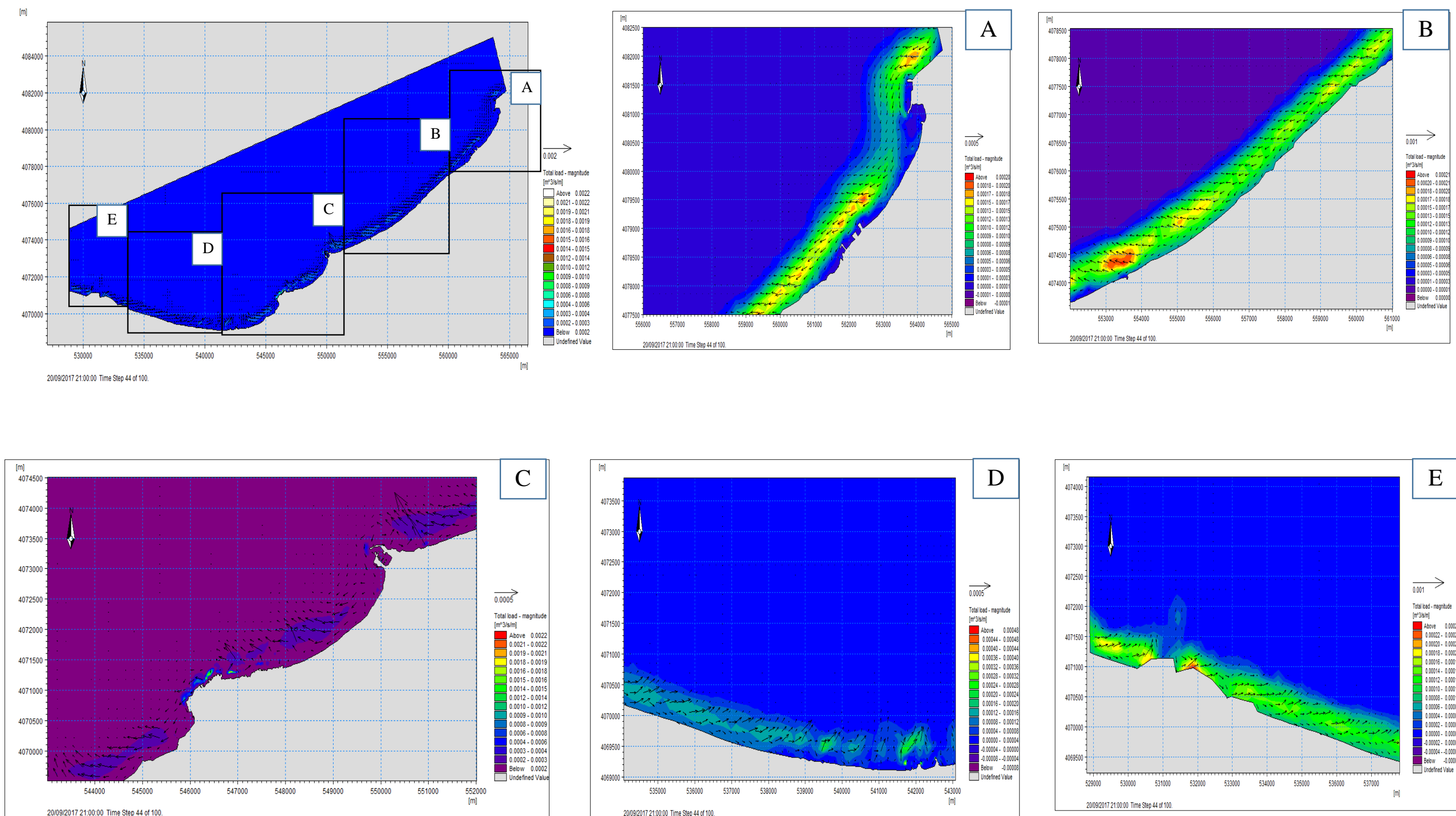


Figure 49: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord (360°)

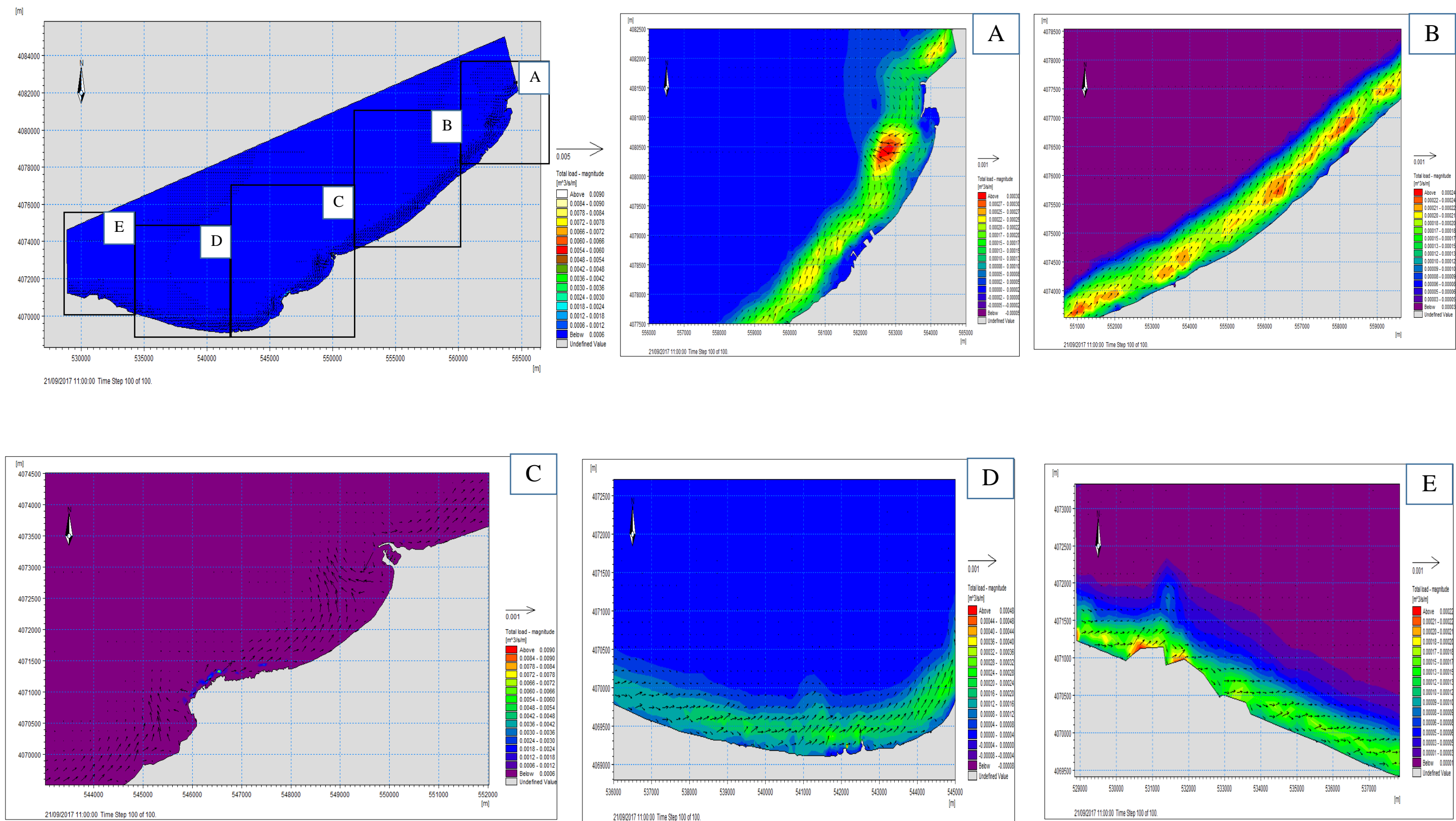


Figure 50: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)

➤ La baie d'Alger

Les figures 51 ,52 et 53 représentent le transport sédimentaire engendré par les dérivés littorales venant des différents secteurs, Nord-Est, Nord-Ouest et Nord. Sur la zone du Port d'Alger à Oued El-Harrach, le transport est assez uniforme. Les houles en provenance du Nord-Ouest vont engendrer une dérive littorale vers l'Est au voisinage de la cote, ses courants de dérivés changent leurs direction vers le large et donnent naissance à des courants de retours qui favorisent le transport avec un taux $10690.704 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$, alors que les houles en provenance de Nord et Nord-Est vont plutôt engendrer non seulement un transport vers l'Ouest et mais aussi vers le large avec un débit de l'ordre de $9453.25 \text{ m}^3/\text{an} /\text{m}$. La résultante de cette dérive dépendra de l'énergie des houles respectives. On s'attend à ce qu'elle soit globalement orientée vers le Nord, étant donné la dominance des régimes de Nord-Est et de Nord. Sur les plages de la partie Est de la baie d'Alger, à l'ombre du Cap Matiffou, le transport s'effectue vers le Nord-Ouest à cause d'une recirculation des courants. Les résultats du transport sédimentaire sur la zone allant de la Tamentfoust à l'Oued El-Harrache sont qualitativement conformes à l'analyse des écoulements menée précédemment et confirment la dérive littorale parallèle à la côte sur cette zone. Sur cette zone, l'intensité de la dérive diminue entre le Nord et le Sud ce qui aurait tendance à favoriser une accumulation de sable dans certaines plages abritées, mais que dans le même temps les houles de Nord-Ouest engendrent un transport vers le large. Le bilan sédimentaire est donc complexe, et résulte de la contribution de chaque houle. Il existe également des gradients dans le transport brut le long du rivage sur l'ensemble du littoral de cette partie Est. Entre Tamentfoust et Bordj El Bahri, la capacité du transport brut est constante de l'ordre de 1576.8 à $4415.04 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ vers le large engendré par les courants de retours. A partir de la plage de Bateau cassé jusqu'à la plage de Lido, le transport brut augmente de 7127.136 à $10207.408 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et cela du à l'exposition de cette zone aux différentes houles. Pour toute variabilité naturelle de l'orientation du trait de côte, l'intensité du transport brut reste relativement stable. Ces pertes de sables vers le large engendrent l'érosion continue de ces plages sableuses.

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

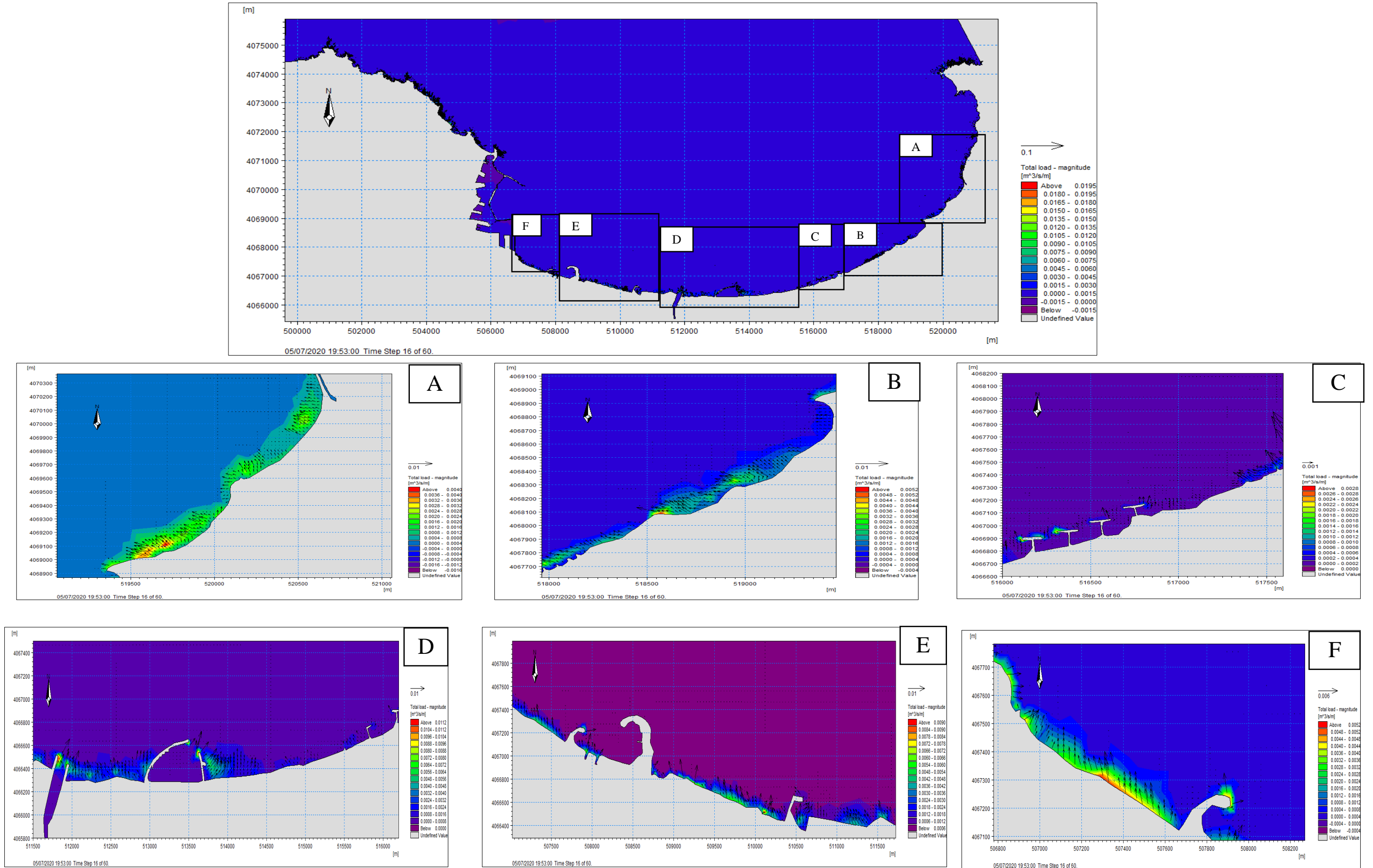


Figure 51: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

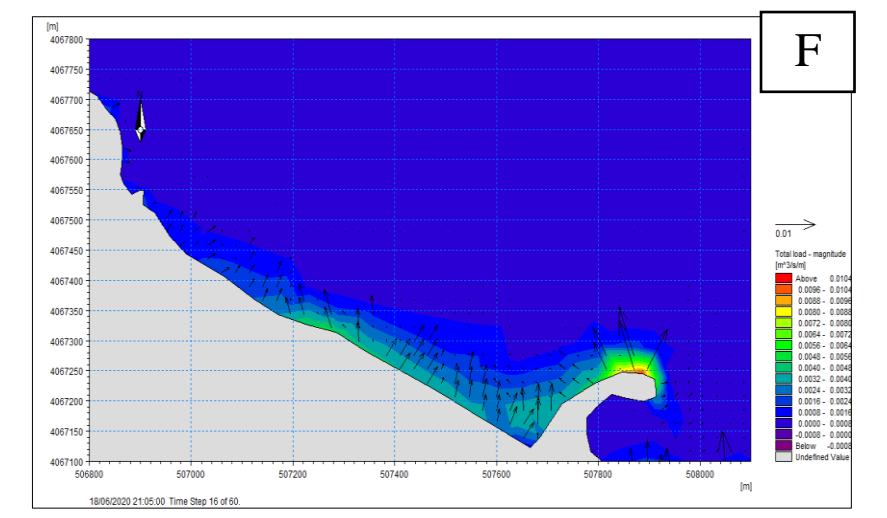
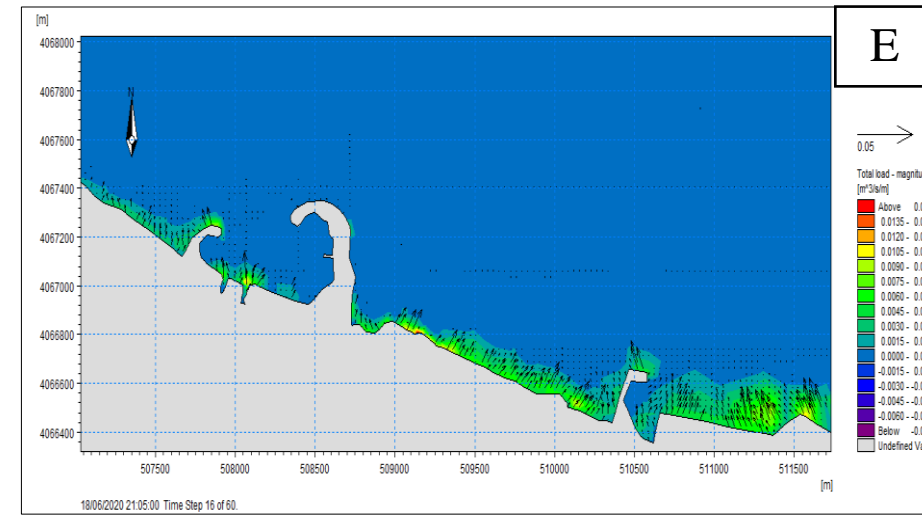
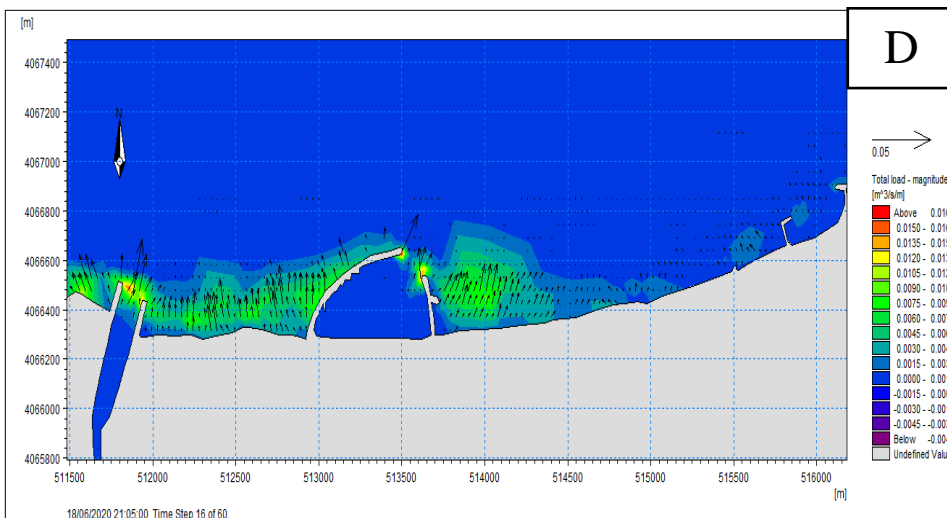
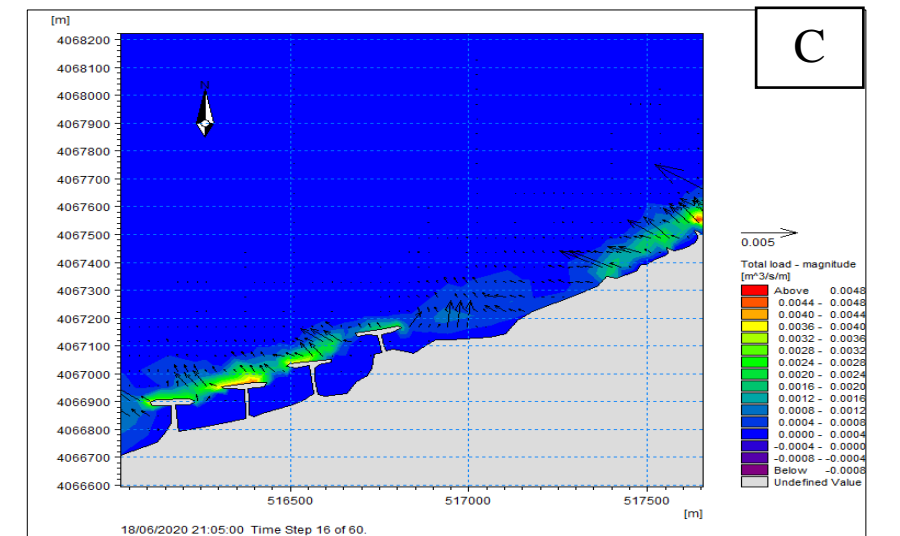
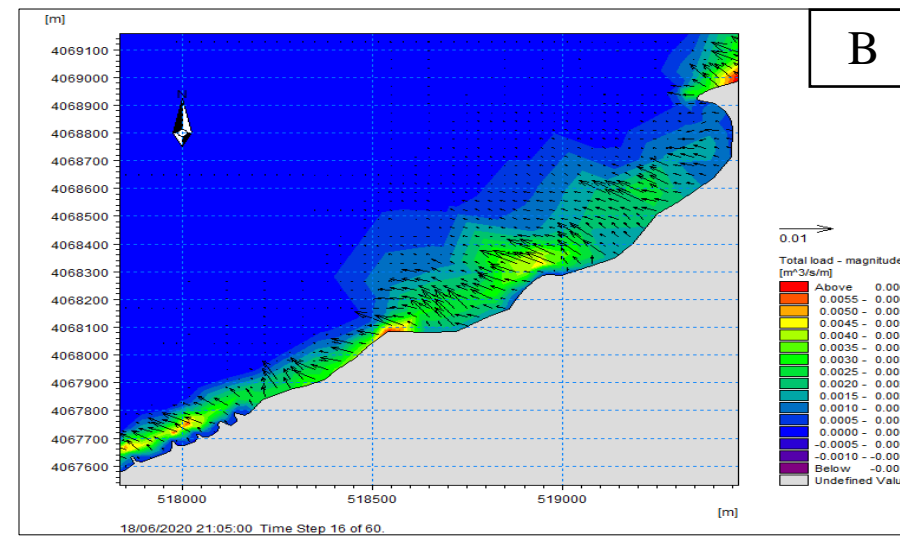
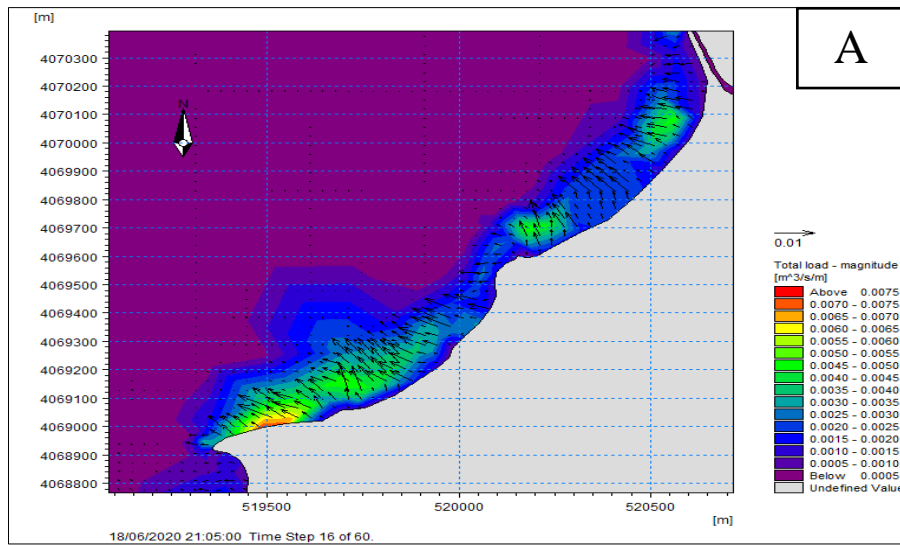
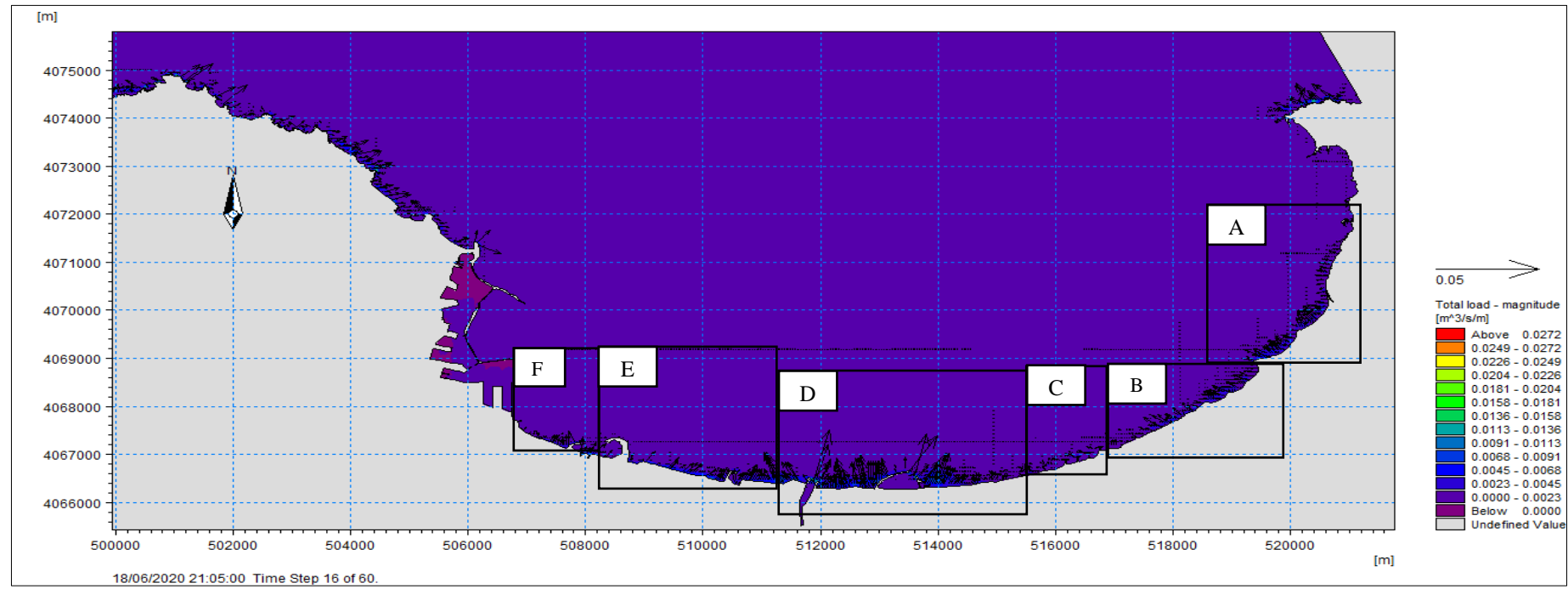


Figure 52: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord (360°)

Chapitre III Modélisation de la dynamique côtière à l'avant côte du littoral de la zone d'étude.

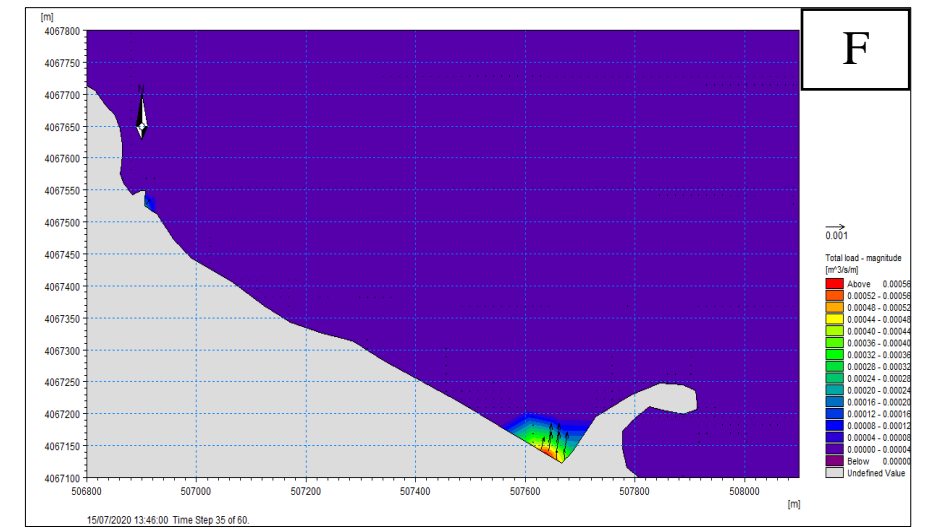
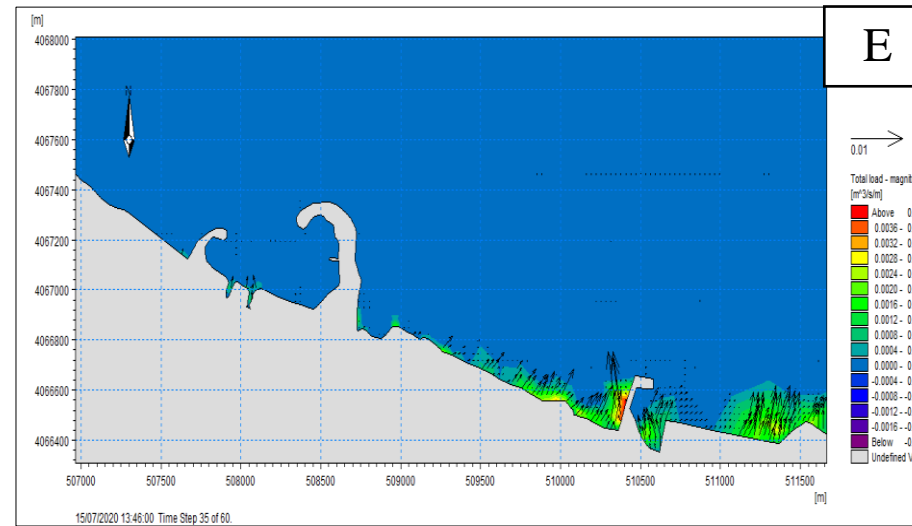
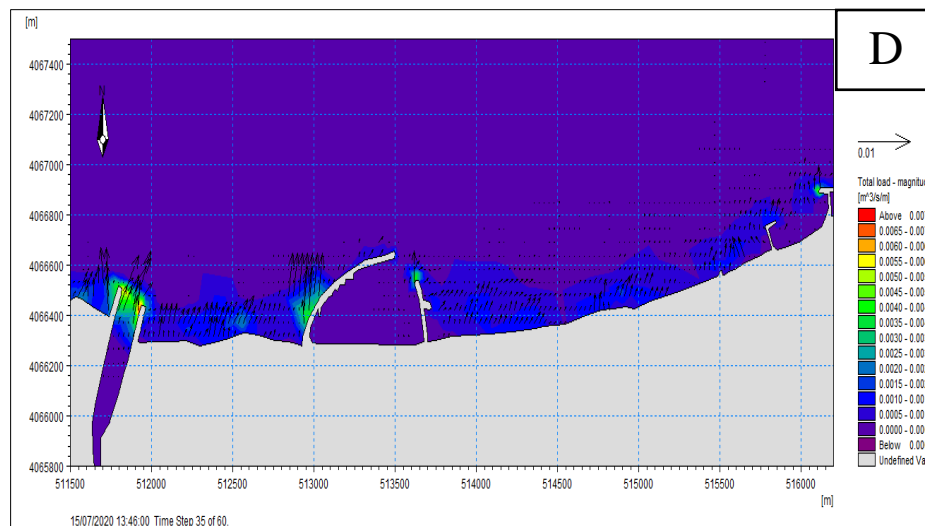
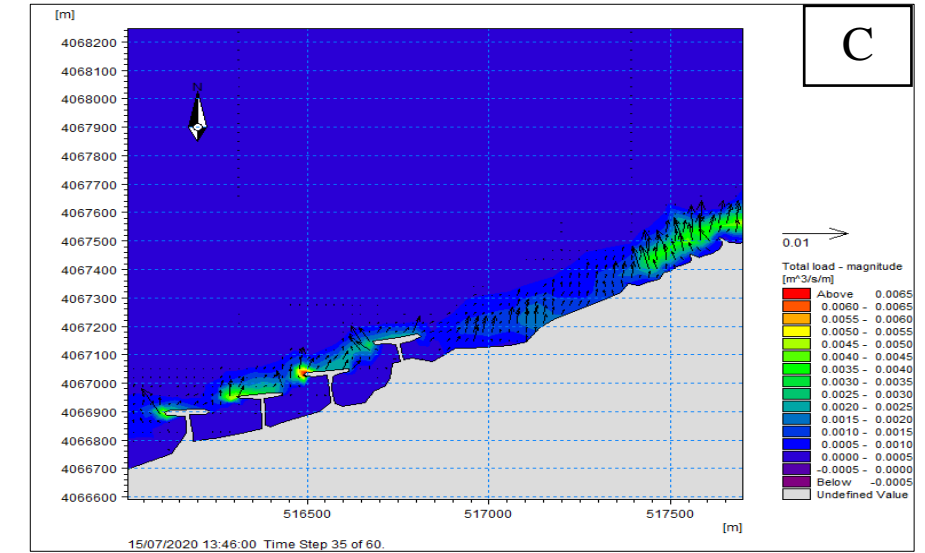
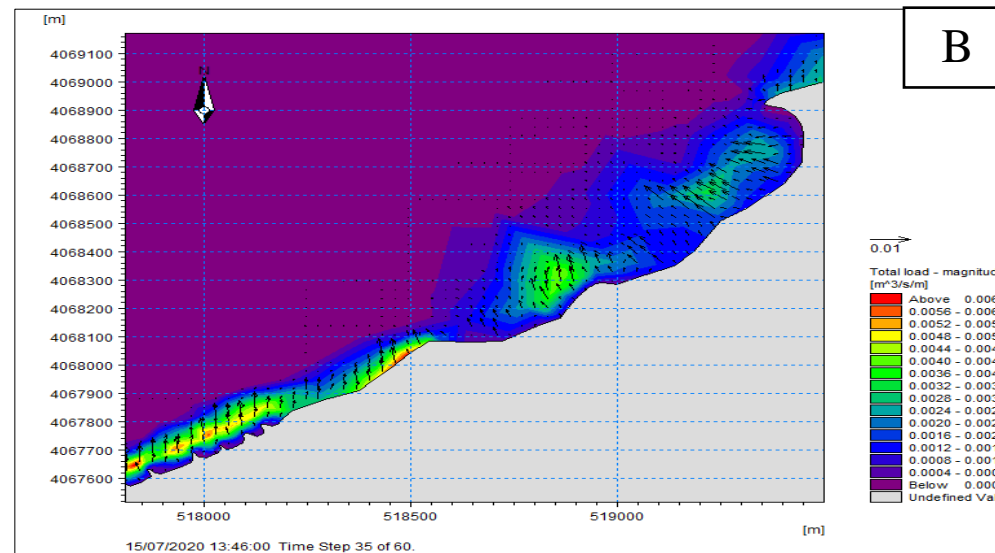
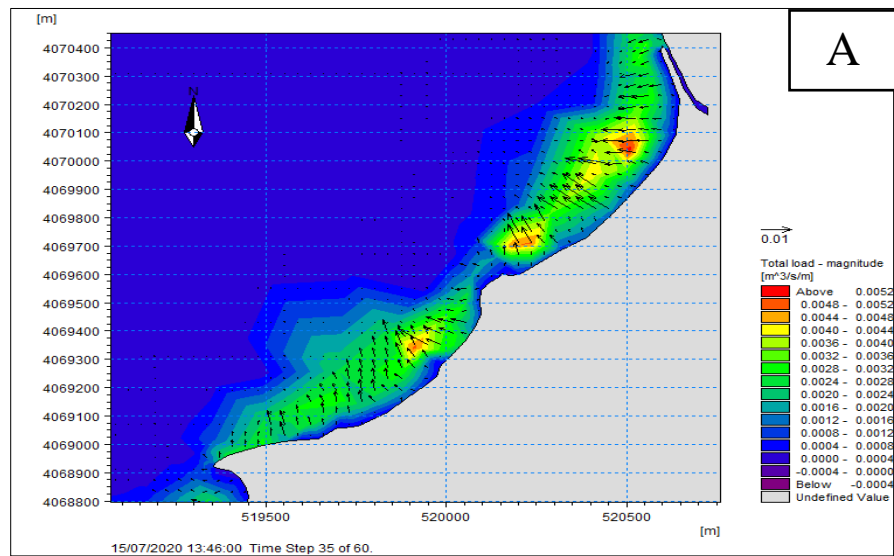
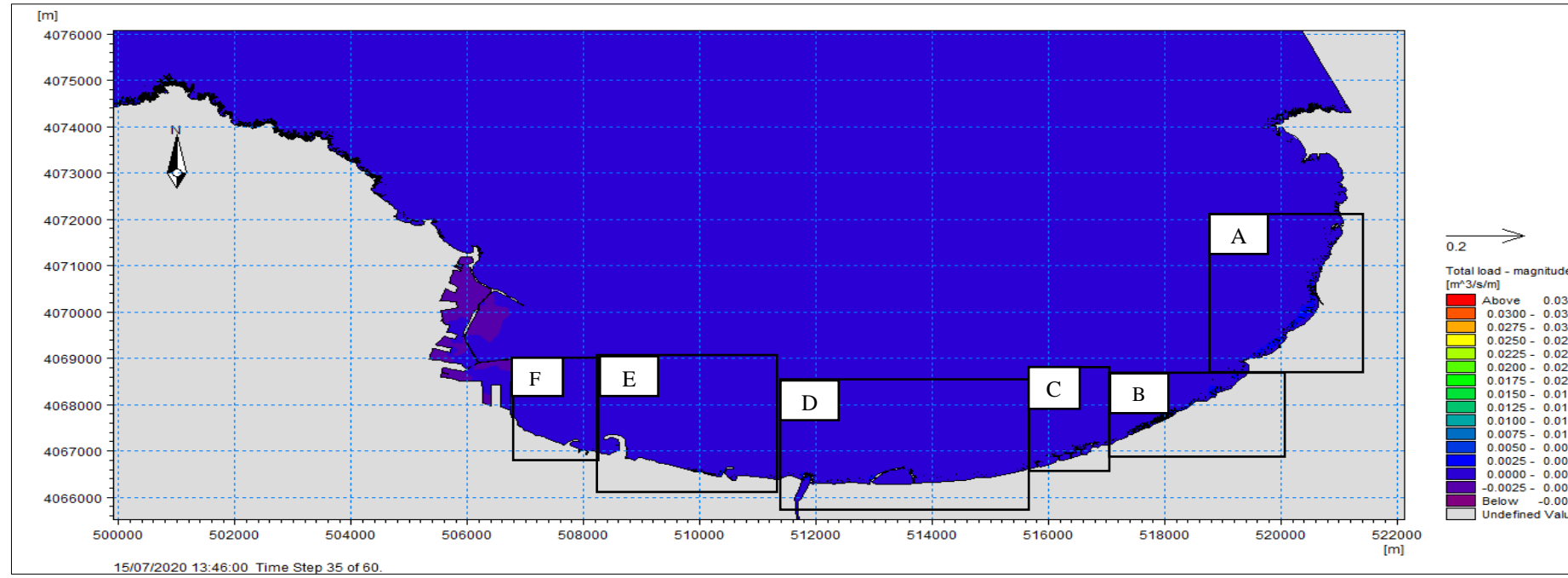


Figure 53 : le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)

➤ **La baie de Bou Ismail**

Les figures 54, 55 et 56 présentées ci-après représentent une capacité de transport instantanée en $m^3/m/s$ et sont exploitées pour comprendre qualitativement ce qui se passe au niveau du transport de la baie de Bou Ismail.

Au niveau de la zone de Sidi Fredj, le résultat de la carte obtenu montre qu'un transport longitudinal vers l'Est dans la zone de Moritti avec un débit de $9303.12 m^3/an /m$ ce qui provoque l'érosion de cette partie. On constate qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large engendré par des courants de retours. Les houles provenant des directions Nord-Est atteignent le site de façon plus ou moins frontale, engendrant la formation d'une dérive littorale dans la direction Est-Ouest, qui assure la dissémination des sédiments dans le même sens, engendrant l'ensablement du port. Cela pourrait être expliqué par la configuration géographique de la côte ainsi que la présence du port, qui protège notre zone d'étude des houles du secteur Nord-Ouest qui sont significatives en fréquence et en amplitude. Les houles en provenance du secteur Nord-Est, Nord et Nord-Ouest engendrent une dérive littorale parallèle à la côte et orientée vers le Sud-Ouest, ces courants de dérive transportent le sable vers l'Ouest sur la plage Ouest de Sidi Fredj avec un taux de $10951.04 m^3/an /m$ à qui provoque une forte érosion de cette zone. On constate qu'il y a une tendance de perte de sédiments au voisinage d'oued de Mazafran vers le large engendré par des courants de retours avec un taux de $9165.728 m^3/an /m$ suite à la houle Nord-Ouest. Les houles en provenance du secteur Nord-Est, Nord engendrent une dérive littorale parallèle à la côte et orientée vers le Sud-Ouest et l'Ouest, ces courants de dérive transportent le sable vers l'Ouest sur la plage Ouest avec un débit $7095.6 m^3/an /m$ pour la houle Nord-Est et de $10582.864 m^3/an /m$ pour la houle Nord. Les houles en provenance du secteur Nord-Ouest engendrent une dérive littorale parallèle à la côte et orientée vers l'Est avec un taux d'environ $11137.28 m^3/an /m$. La comparaison entre les différents débits engendrés par les houles des trois secteurs montre une prédominance du transport sédimentaire vers l'Ouest.

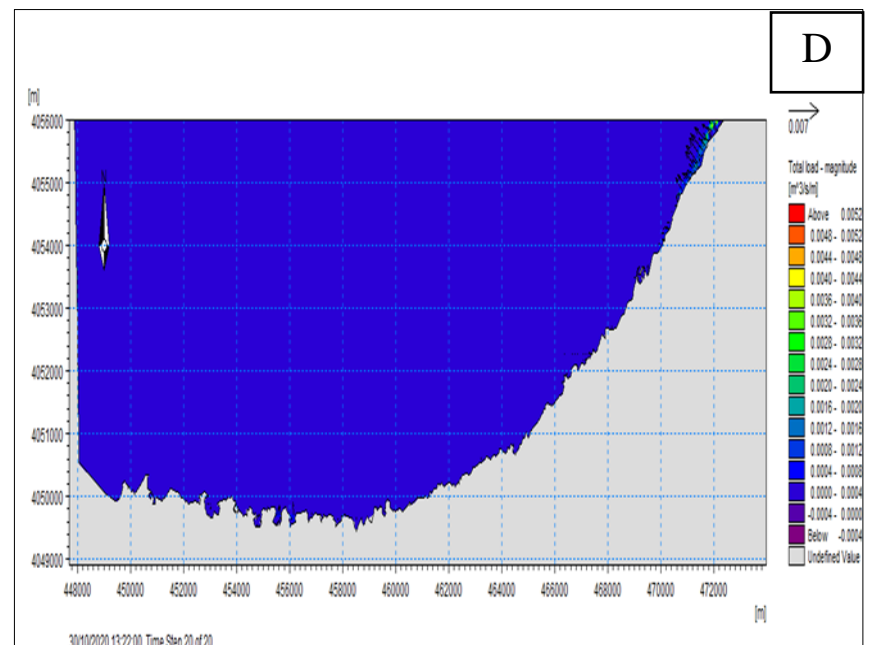
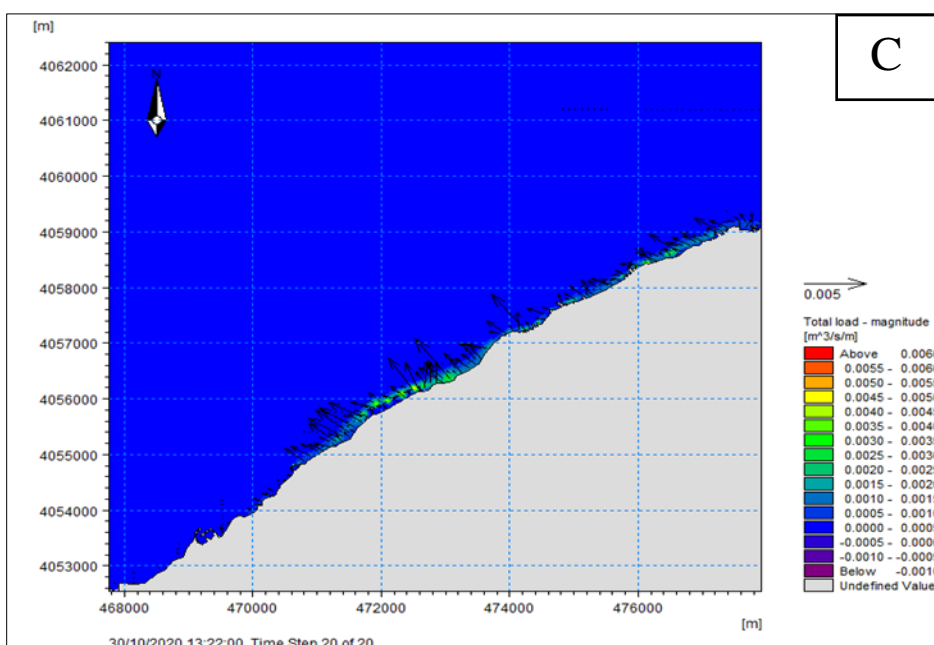
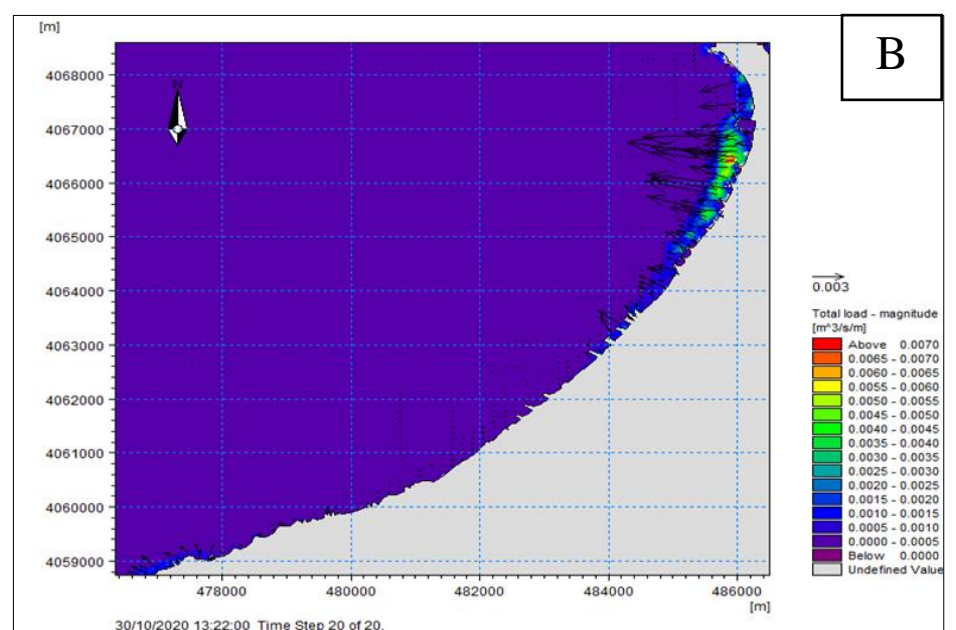
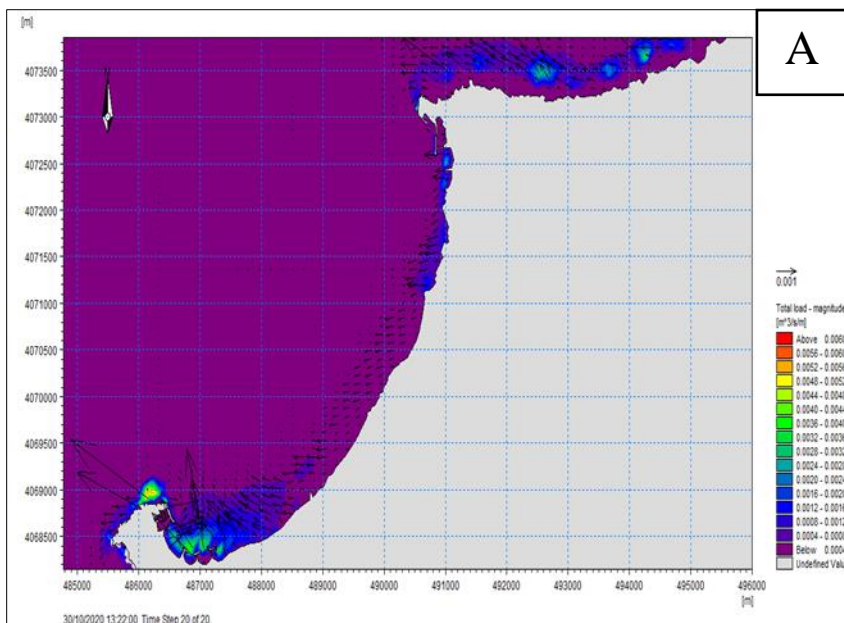
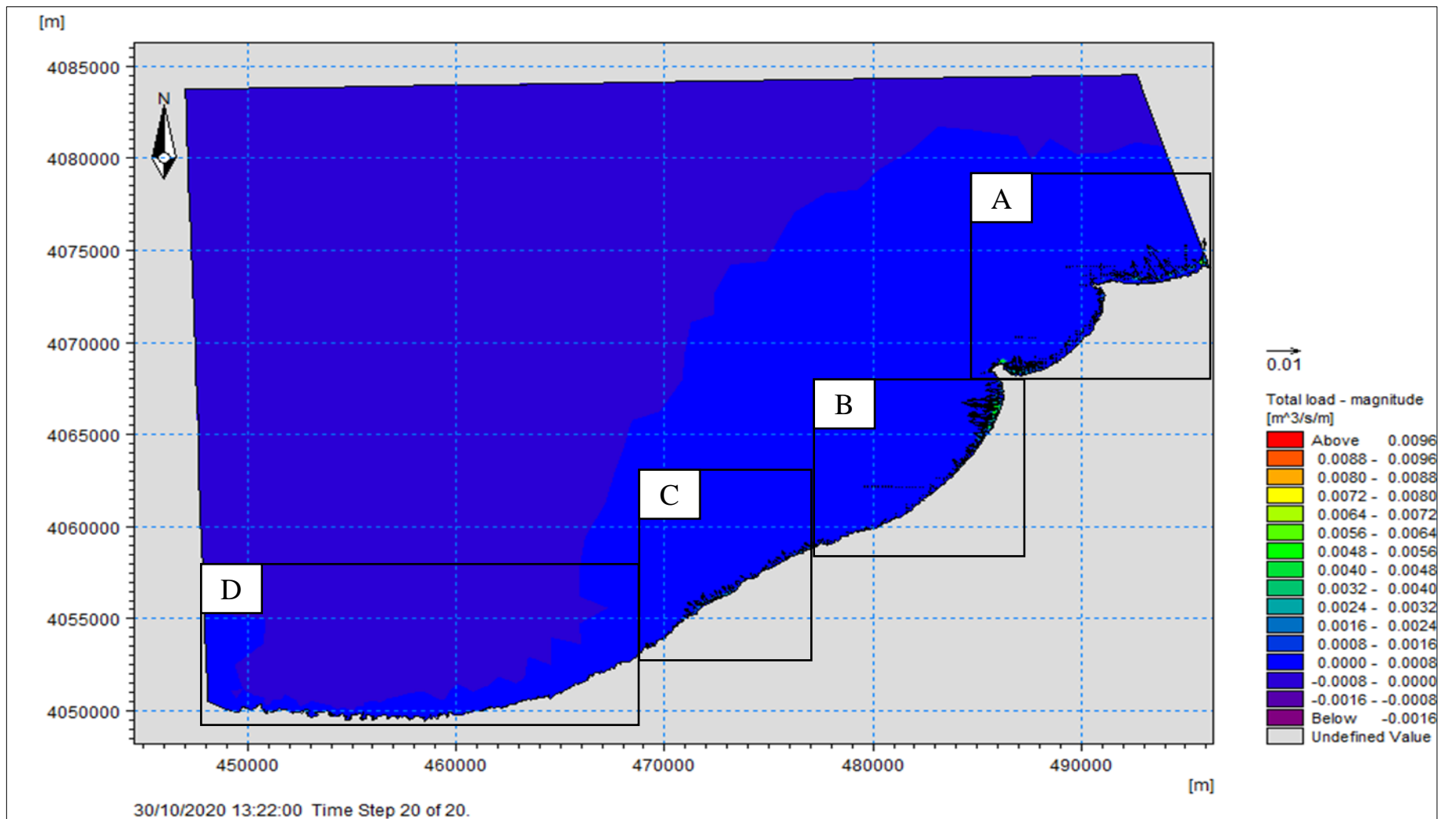


Figure 54: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Est (45°)

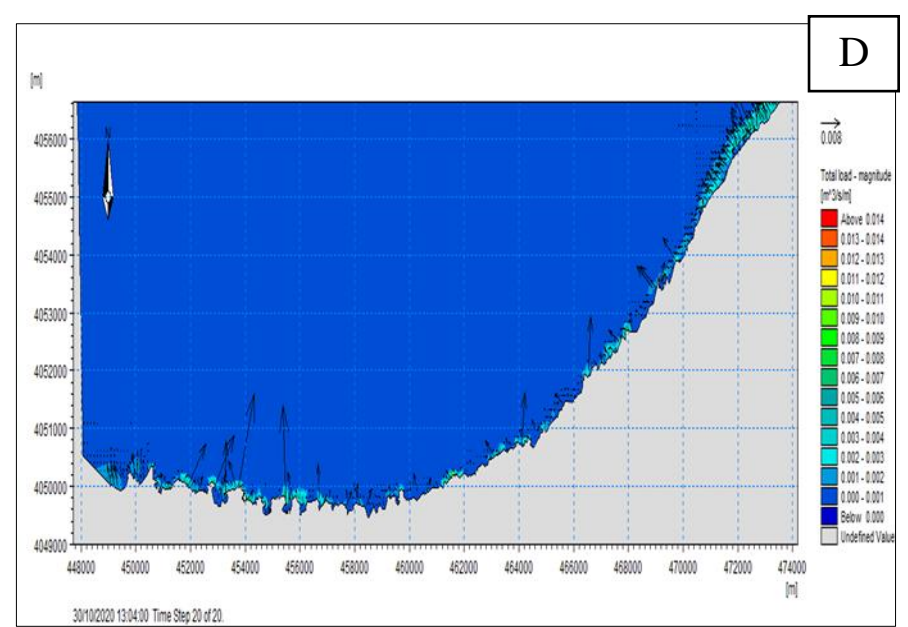
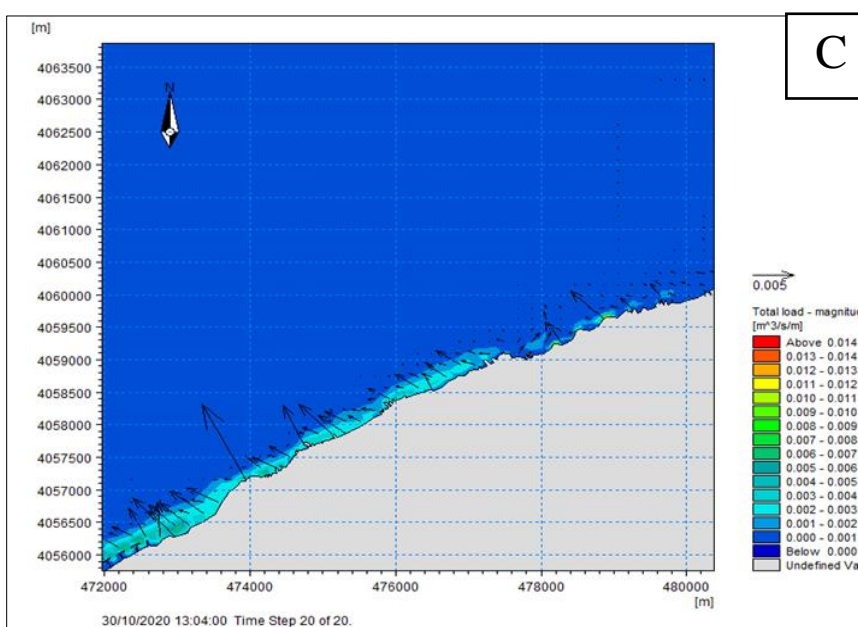
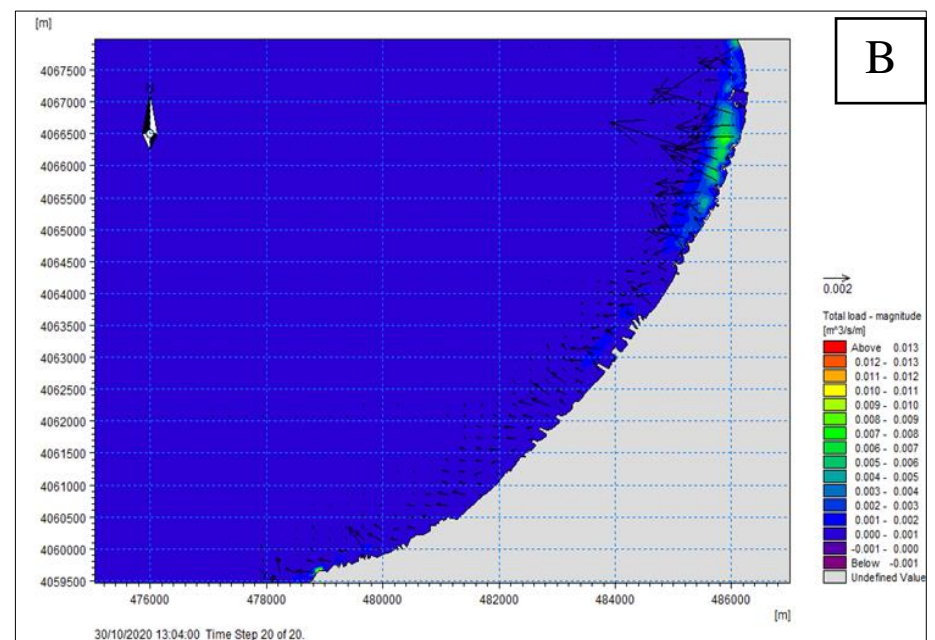
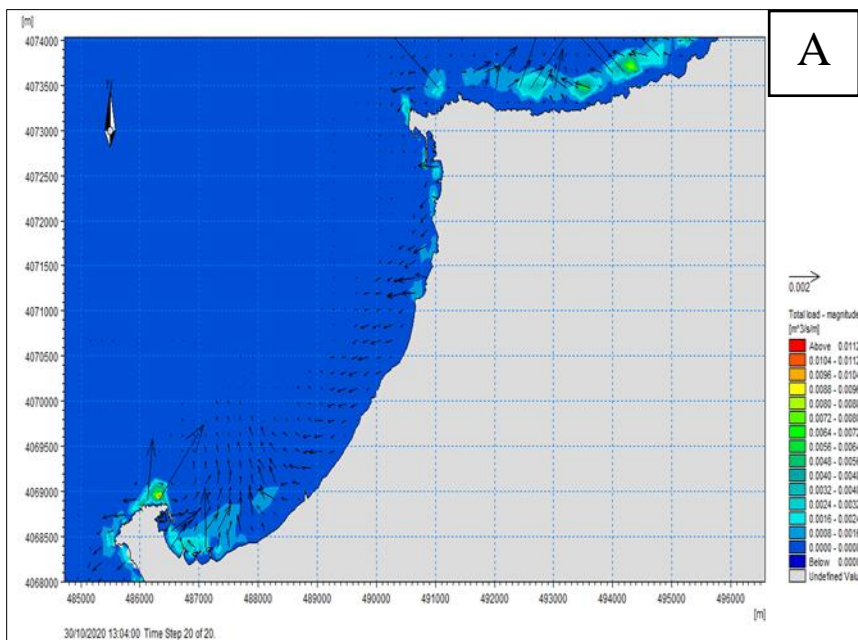
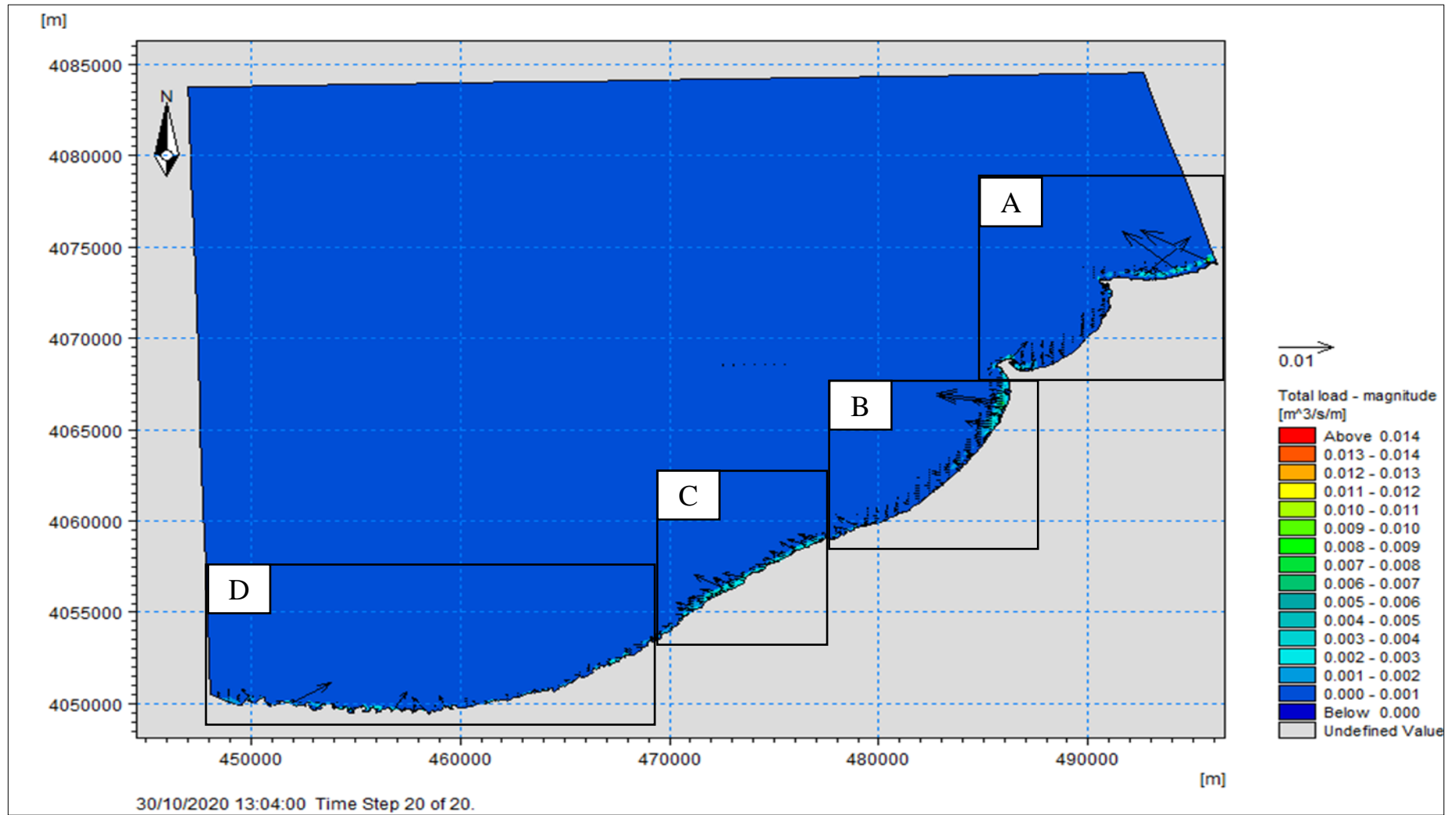


Figure 55: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord (360°)

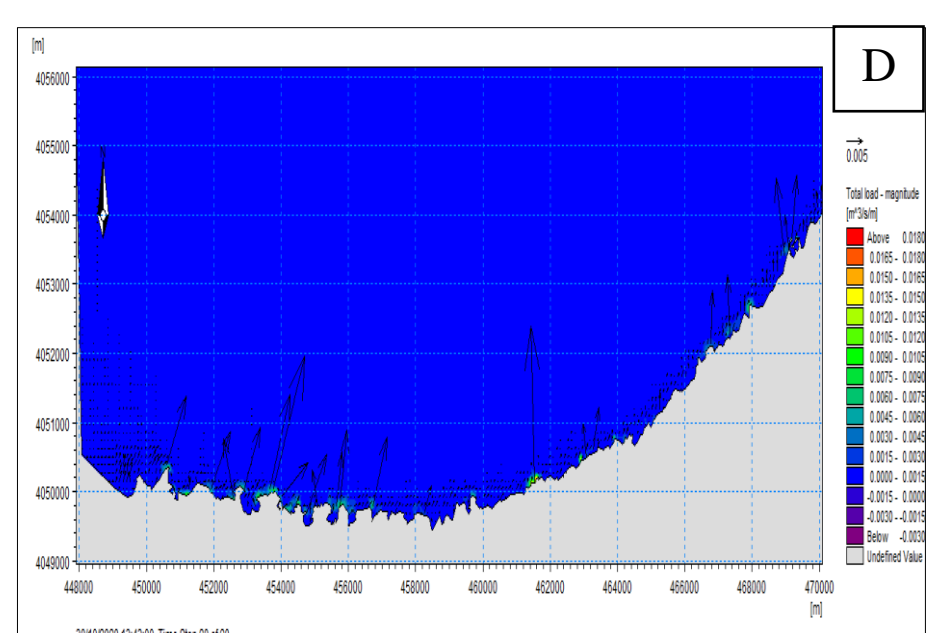
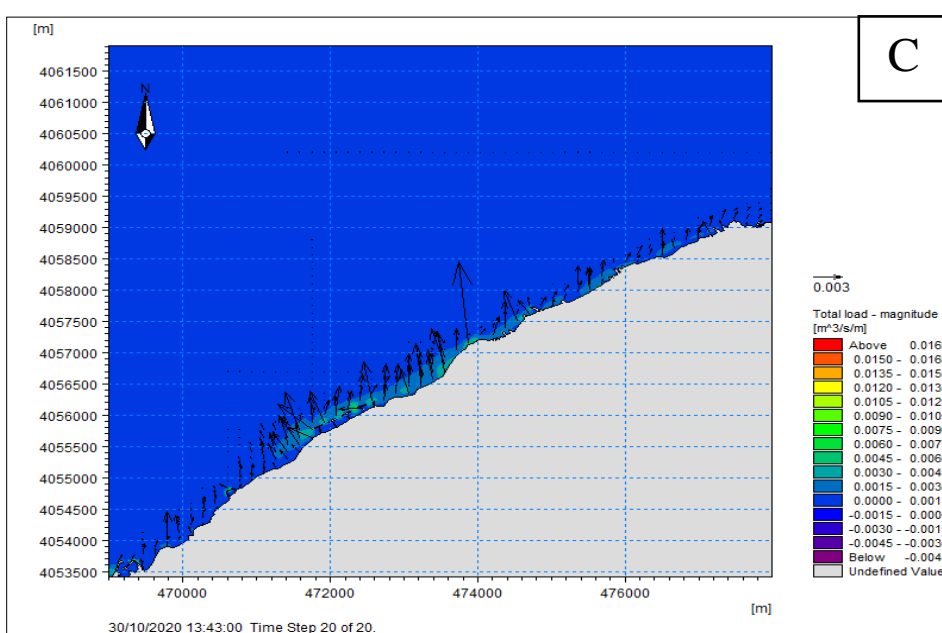
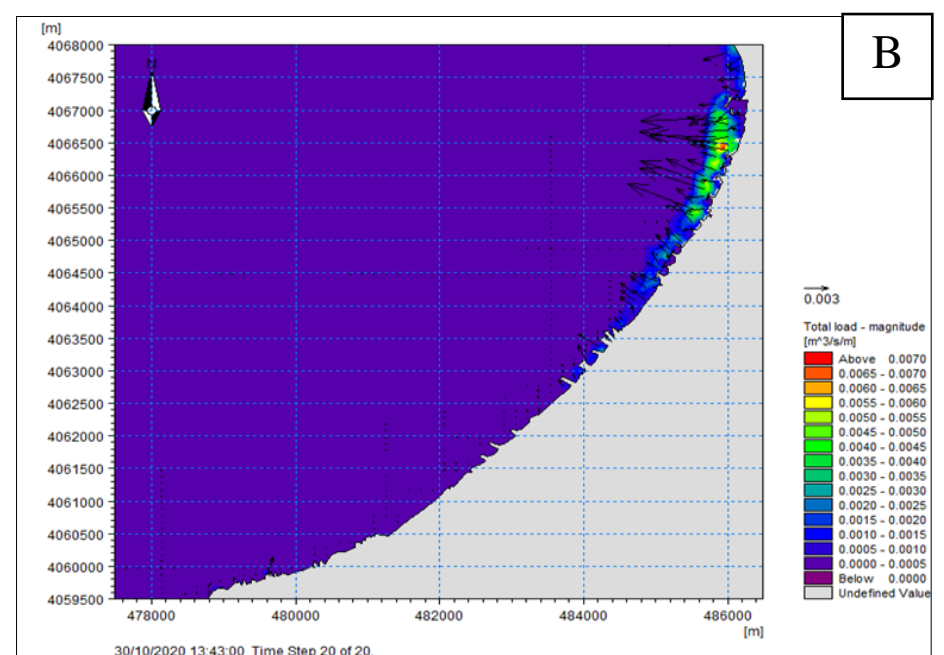
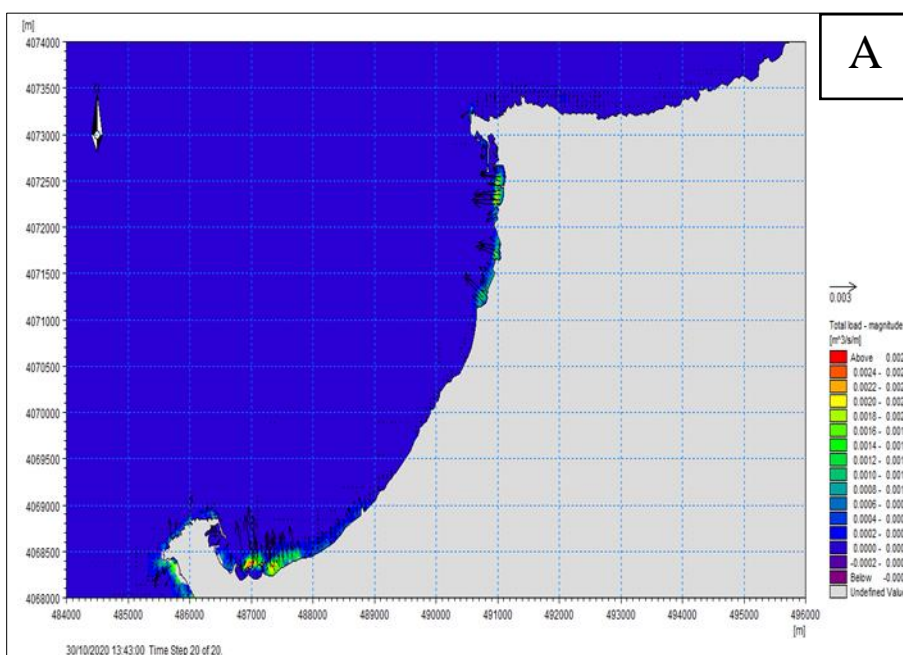
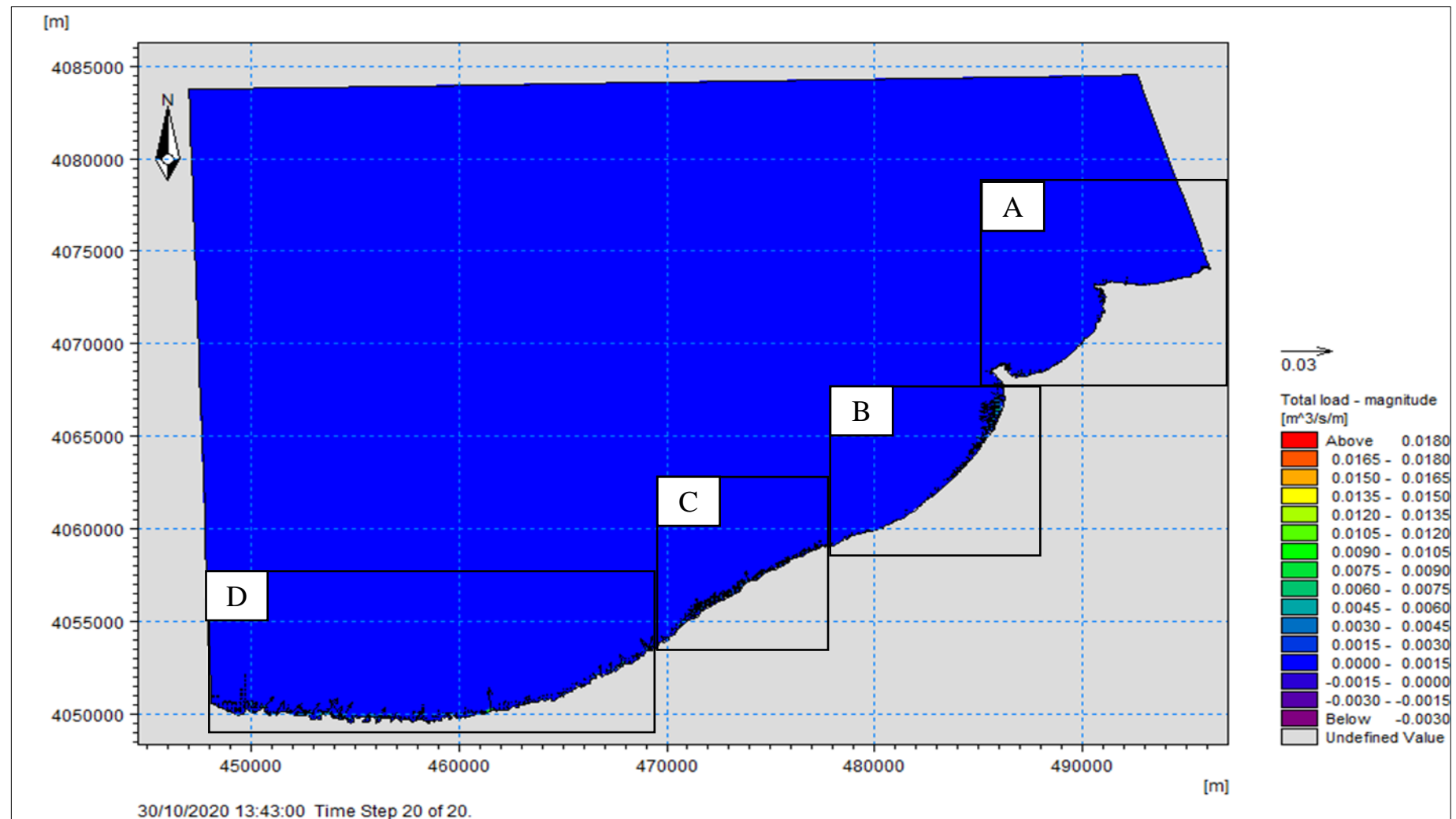


Figure 56: le transport sédimentaire engendré par les houles de direction Nord-Ouest (315°)

Conclusion

Le modèle numérique Mike 21 nous a permis de calculer et de modéliser les phénomènes hydrodynamiques qui caractérisent notre zone d'étude, d'après les résultats de simulation nous avons pu analyser le comportement de ces phénomènes sur la côte et leur propagation avec tous les processus de transformation qui surviennent lors de cette dernière. Cette analyse montre que pour :

➤ **La baie de Zemmouri**

- ✚ Les houles les plus énergétiques sont celles de secteur Nord-Ouest (315°).
- ✚ Les courants engendrés par les houles les plus énergétiques de secteur Nord-Ouest (315°) sont des courants de dérive littorale qui conduisent à un transit sédimentaire vers l'Est, mais concernant la partie (port de Zemmouri et ouvrage de protection) le transport se dirige vers le large, ce qui signifie que notre zone subit une érosion.
- ✚ Le transport sédimentaire engendré par les houles de secteur Nord et Nord-Est se dirige de l'Est vers l'Ouest, avec un taux de transit important, où la plage de Boumerdes affiche une tendance à l'érosion qui tend à diminuer rapidement vers une accrétion, avec un engraissement au niveau des ouvrages de protection.

➤ **La baie d'Alger**

- ✚ Les houles les plus énergétiques sont celles de secteur Nord-Est (45°).
- ✚ Les houles provenant des secteurs Nord-Est (45°), et Nord (360°) génèrent des courants de dérive littorale Est-Ouest caractérisés par un faible gradient de vitesse qui ne dépasse pas 0.9m/s , ce qui nous amène à déduire que notre zone d'étude n'est pas soumise à un courant complexe.
- ✚ Le transit littoral, qui est généré par des dérives littorales de direction Nord-Est, conduit à des accumulations sableuses dans certaines plages abritées de la partie Est d'Alger. Les courants de retour dans la partie Centre engendrent la perte de sédiments vers le large et favorisent l'érosion.

➤ **La baie de Bou Ismail**

- ✚ Les houles les plus énergétiques sont celles de secteur Nord-Est (45°).
- ✚ Les courants engendrés par les houles les plus fréquentes de secteur Nord-Est (45°) sont des courants de dérive littorale s'orientés vers l'Ouest.

Le transit littoral engendré par les houles de trois secteurs montre une prédominance.

**Chapitre IV: Evolution spatio-
temporelle du trait de côte du littoral de
la zone d'étude**

Introduction

Le recul du trait de côte n'est pas un phénomène ancien mais son ampleur s'est accrue au cours des dernières décennies. Les variations historiques de la ligne de rivage et le façonnage du système littoral dépend de plusieurs facteurs naturels et anthropiques, tel que la houle la variation eustatiques du niveau de la mer, la fréquence des tempêtes, le bilan des apports sédimentaires et les activités humaines (**Ganzalez et al 1997**). (**Ouzidad.A, Merrouche.F ,2019**).

Ces perturbations lentes et rapides dégagent un ajustement du système qui évolue vers un nouvel état d'équilibre correspondant aux nouvelles conditions imposés (effets de réaction – relaxation) (**Sabatier 2001**). Ses conséquences sont souvent difficiles à observer dans les conditions dynamiques les plus habituelles.

Nous allons fait une analyse diachronique des variations de la position du trait de côte de la métropole en 1972 – 2020.

1. Moyen et méthode

1.1.Aperçu sur le logiciel Arc GIS desktop 10, l'extension DSAS et SAS Planet

1.1.1. Arc GIS DESKTOP 10.4

Arc GIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine *Esri* (Environmental_System_Research_Institute, Inc.). C'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde,

Le logiciel Arc GIS 10.4 comprend : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox. (**Ouzidad.A, Merrouche.F 2019**).

➤ ArcCatalog

C'est la fenêtre qui comporte une structure logique des fichiers de données, bases de données et documents Arc GIS pour Serveur dont vous disposez. Avec un menu principal qui comporte des outils permettant d'accéder aux emplacements courants tels que le dossier racine d'une carte et la géodatabase par défaut.

➤ ArcMap

C'est l'application qui représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres tel que la barre d'échelle, la flèche nord, le titre, le texte descriptif, la légende ... etc.

➤ Arc Toolbox

C'est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (**Asbai, 2013 in Nadir M., 2016**).

Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

1.1.2. DSAS (Digital Shoreline Analysis System)

Le logiciel Digital Shoreline Analysis System est un complément à Esri Arc GIS Desktop 10.4 qui nous a permis de calculer des statistiques de taux de changement à partir de plusieurs positions historiques du littoral. L'exécution de cette analyse nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géodatabase (une entité par année) et la numérisation d'une ligne de base (onshore ou offshore) à partir de laquelle DSAS créera des transects perpendiculaires qui viendront couper les différents traits de côtes. C'est à partir de ces points d'intersection que DSAS calcule le taux d'évolution entre les différents traits de côte. Il connaît en effet le temps écoulé entre deux traits de côte (date) et la distance entre les deux lignes (distance calculée entre les deux points d'intersection). (USGS).

En sortie, DSAS fournit une table contenant les statistiques d'évolution (taux de régression linéaire, moyenne des moindres carrés...) et une table contenant les caractéristiques des points d'intersection (coordonnées, distance par rapport à la ligne de base) (**Lafon & Hoareau & Mallet & Desprats, 2010**).

1.1.3. SAS Planet

SAS.Planet est un logiciel russe, qui vous permet d'afficher et de télécharger une carte ou une photo satellitaire avec un langage de programmation Pascal soumises par des services tels que Google Earth, Google Maps, Bing Maps....., etc.

1.2.Méthodologie

Une fois toutes les données sont prêtes, il convient de les traiter à l'aide d'outils spécifiques afin de cartographier le trait de côte, et d'effectuer des études diachroniques visant à calculer les taux d'évolution du trait de côte.

Dans notre cas, on a effectué un traitement, basant essentiellement sur l'utilisation des logiciels Arc gis et l'extension DSAS a fin de digitaliser les traits de côte et de tracer les transects.

- La digitalisation des traits de côte par le logiciel Arc GIS Desktop 10.4 afin de la réalisation des cartes.
- Le calcul statistique des vitesses d'érosion (EPR), des taux nets d'évolution (LRR) et les distances entre la ligne de rivage la plus ancienne 1972 et celle qui est la plus récente 2020 ,(1972-1999; 1999-2017 (résolution 50 cm) ; 2017-2020) à partir des différents traits de côte par DSAS v4.3.
- Afin de lancer l'outil DSAS, le référentiel choisi est le système WGS UTM Nord 31, puis on a créé une ligne de base qui est entièrement parallèle au changement moyenne des différents traits de côte.
- Génération des transects perpendiculaires à la ligne de base avec une longueur de 500 m et un espacement de 20 m.

➤ Le Taux De Point Final (EPR)

Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la plus ancienne rive et la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement deux dates du littoral (Faye, 2012).

➤ Le Linear Regression Rate-Of-Change (LRR)

Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés (ou alors la ligne de base). Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analyse la cinématique de littoral pour plus de deux dates. (Ouzidad.A, Merrouche.f 2019).

➤ Le Net Shoreline Movement (NSM)

Il correspond à la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne. (Ouzidad.A, merrouche.f 2019).

1.3.Résultats et discussions

On est face à un travail qui permette l'estimation de la dynamique du trait de côte toute au long de la métropole, cette évaluation est mesurer sur 5581 transects perpendiculaires au trait de côte et qui sont de 500 m de longueur et espacés l'un aux autres par 20 m (Figure 24).



Figure 57:Création des transects espacés de 20 m à partir de code de calcul DSAS.

Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

Pour mieux étudier l'évolution des lignes de cote de la métropole, et calculer les différents indices (EPR, LRR et NSM), notre zone d'étude a été divisé en trois baies (Bou Ismail, Alger et Zemmouri) et chaque baie est découpée en zones (Tableau 5).

Tableau 5: Cellules hydro sédimentaires de la métropole.

	Baie de Zemmouri	Baie d'Alger	Baie de Bousmail
Secteur Est	Cellule 1 : Du Cap Djinet à La station électrique.	Cellule 1 : Du Cap Matifou à Oued Hamiz.	Cellule 1 : Du Ras Acrata à Sidi Fredj.
	Cellule 2 : De station électrique à Oued Isser.	Cellule 2 : D'Oued Hamiz à Ouvrages de fort de l'eau.	Cellule 2 : De Sidi Fredj à Ziralda.
	Cellule 3 : De Oued Isser jusqu'au port de Zemmouri.	Cellule 3 : D'Ouvrages de fort de l'eau à Oued El Harrach.	Cellule 3 : De Sidi Fredj à Ziralda.
Secteur Centre	Cellule 4 : De port de Zemmouri jusqu'au Cap Blanc.	Cellule 4 : De Oued El Harrach jusqu'à El Hamma.	
	Cellule 5 : Du Cap blanc jusqu'aux ouvrages de Boumerdes.		
Secteur Ouest	Cellule 6 : Du ouvrages de Boumerdes jusqu'aux ouvrages de Ain Taya.		
	Cellule 7 : Du ouvrages de Ain Taya jusqu'à la falaise du Cap Matifou.		

Des calculs d'EPR et NSM ont été réalisés pour chaque baie et pour des périodes différentes (1972-1999) ,(1999-2017),(2017-2020) et (1972-2020) , représentés dans les tableaux N (5 ,6 et 7),(8 ,9 et 10),(11 ,12 et 13) et (14 ,15 et 16) ci-dessous :

Cette analyse diachronique du trait de côte, 1972 et 2020, met en évidence un découpage spatial de chaque plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps .

1.3.1. Cinématique du trait de côte à une échelle pluriannuelle (1972- 2020)

1.3.1.1.La période 1972-1999

➤ Baie de Zemmouri

Pour une période de 27 ans, la ligne de rivage de la baie de Zemmouri est en perpétuelle évolution entre phase d'accrétion et autre d'érosion.

Les cotes sableuses des cellules 2 ,4 et 6 (plage de Cap Djinet, Sghirat, Zemmouri, et Reghaia), ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -2.67m/an, -0.86 m/an, -0.45m/an et -1.43 m/an respectivement, avec un maximum de recul de -5.07 m/an enregistré au niveau de plage de Cap Djinet. Cette érosion est due à la conjugaison des facteurs naturels et anthropiques.

Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

Par contre les cellules 1 ,3 ,5 et 7 (plage de Boumerdes et Boudouaou El Bahri) ont connu une accrétion avec un taux de progradation moyen de 0.05 m/an et 0.3 m/an respectivement, un maximum de 6.25 m/an enregistré au niveau de côte Est de la station électrique (Tableau 6).

➤ Baie d'Alger

Entre 1972-1999, le littoral de la baie d'Alger est caractérisé par des secteurs en érosion et autre en accrétion.

Les côtes sableuses des cellules 1, 2, 3 et 4 (plage de Bordj El Bahri, Istanbul, Sablette 2), Oued Hamiz et port de Plaisance Mohamadia Alger ont subi un recul considérable avec une vitesse d'érosion moyen de -1.42 m/an, -0.63m/an, -0.45m/an, -0.20 m/an, -1.69 et -1.48 respectivement, avec un maximum de recul -6.33 m/an enregistré au niveau de Oued Hamiz.

Alors que les cellules 1, 3 et 4 (plage de Tamnfoust, Lido, Sablette 1) et Oued El Harrach ont connu une accrétion avec un taux d'engraissement moyen de 0.74 m/an, 0.51, 4.9 et 1.73 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 7.68 m/an enregistré au niveau du Sablettes. À cause des apports solides de Oued El Harrach et donc des formations des dépôts sédimentaire.

Ces résultats sont résumés dans le Tableau 7.

➤ Baie de Bous Imail

D'une façon générale, la baie de Bou Ismail est caractérisée par une accrétion le long de son rivage à l'exception de quelques portions qui ont marqué une érosion, dont les côtes sableuses de la cellule 1 et 2 (plage de Sidi Fredj Est et Plage Ouest) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -0.12 m/an et -0.04 m/an respectivement et un maximum de -0.13 m/an enregistré au niveau de plage de Sidi Fredj Est. Cette érosion est due aux effets répété et cumulés des tempêtes que subit la zone.

Par contre les cellules 5 et 6 (plage d'El Bahdja et Club des Pins) ont connu une accrétion avec un taux d'engraissement moyen de 0.09 m/an et 0.06 m/an respectivement et un maximum de 0.11 m/an enregistré au niveau de Plage d'El Bahdja, à cause des actions anthropiques et les sédiments transportées par l'action des houles qui forme des dépôts sédimentaires et donc des formes d'accrétion.

Tandis que le rivage de la cellule 3 a connu une accrétion modérée avec un taux moyen de 0.01 m/an. (Tableau 8).

Tableau 6 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1972-1999).

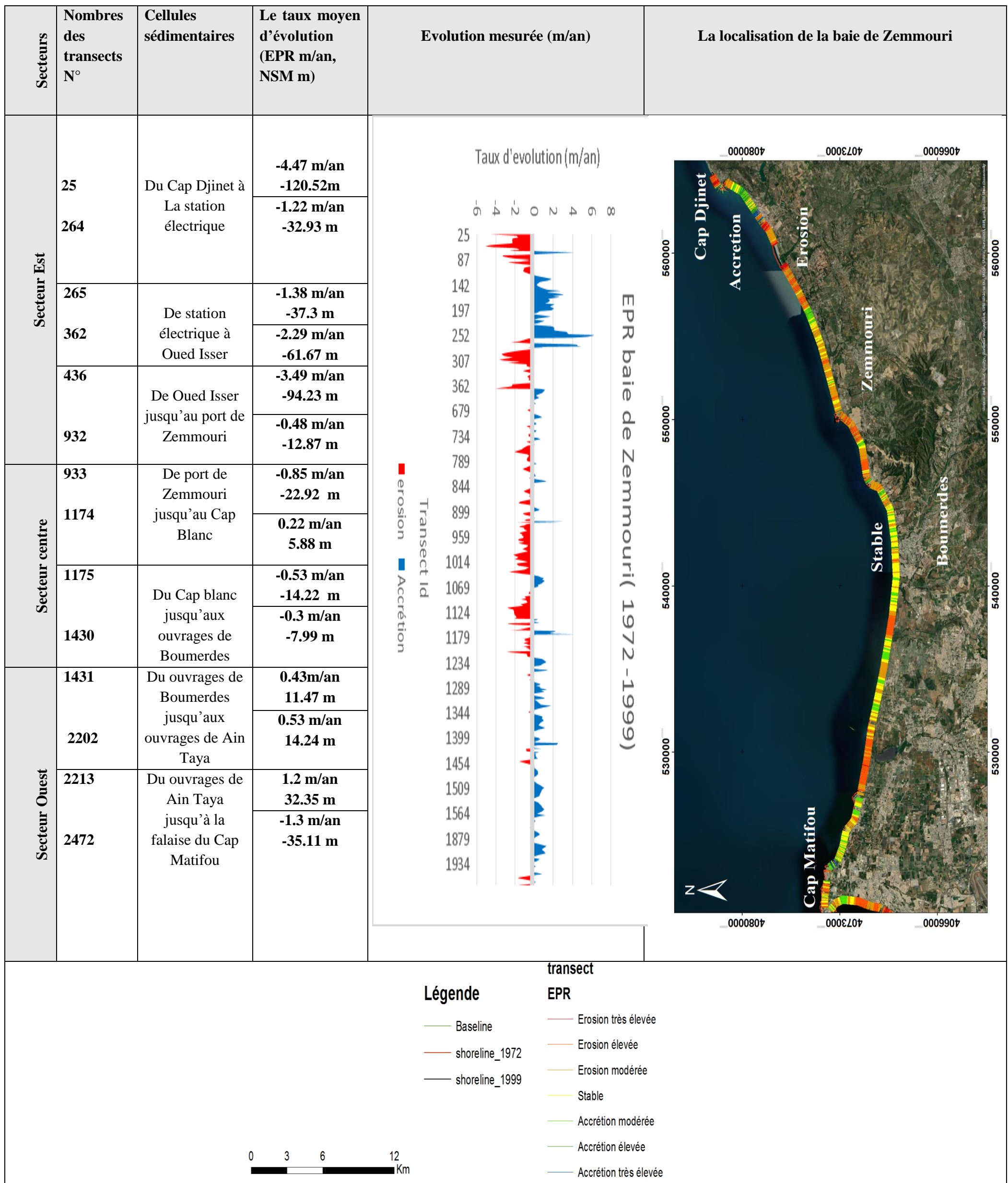


Tableau 7 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1972-1999).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie d'Alger
Secteur Est	2544	Du Cap Matifou à Oued Hamiz	2.22m/an 60.02m		
	2824		-1.71 m/an -46.15 m		
	2825	D'Oued Hamiz à Ouvrages de fort de l'eau	-1.13 m/an -30.6 m		
	3113		-1.03 m/an -27.75 m		
	3114		-1.13 m/an -30.47 m		
3356	D'Ouvrages de fort de l'eau à Oued El Harrach	1.55 m/an 41.9 m			
Secteur Centre	3357	De Oued El Harrach jusqu'à El Hamma	1.85 m/an 49.79 m		
	4606		0.58 m/an 15.72 m		

Légende

transect

- Baseline
- shoreline_1972
- shoreline_1999

- Erosion très élevée
- Erosion élevée
- Erosion modérée
- Stable
- Accrétion modérée
- Accrétion élevée
- Accrétion très élevée

Tableau 8 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bou Ismail (1972-1999).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie de Bousmail
Secteur Est	13	Du Ras Acrata à Sidi Fredj	0.02 m/an 16.62m	<p>EPR Bousmail 1972 -1999</p>	
	417		-0.01 m/an -9.03 m		
	423	De Sidi Fredj à Ziralda	-0.01 m/an -6.83m		
	737		0.01 m/an 6.06 m		
	738	De Ziralda à Oued Mazafran	-0.01m/an -6.23 m		
	819		0.02 m/an 9.21m		

Légende

— Shoreline_1972	— Erosion modérée
— Shoreline_1999	— Stable
— Baseline	— Accrétion modérée

0 1.5 3 6 Km

1.3.1.2.La période 1999-2017

➤ Baie de Zemmouri

Dans une durée de 18 ans, la ligne de rivage de la baie de Zemmouri a subi une érosion sur les côtes sableuses, les cellules 3, 5, 6 et 7 (plage de Zemmouri, Boumerdes et Reghaia) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -2.97 m/an, -1.03 m/an, -0.45 m/an et -0.28 m/an respectivement, avec un maximum de recul -8.44 m/an enregistré au niveau de la plage de Ain Taya. Cette érosion est due aux facteurs anthropiques et hydrodynamiques.

Par contre les cellules 1, 2 et 4 (plage de Cap Djinet et Sghirat) ont connu une accrétion avec un taux d'engraissement moyen de 0.05 m/an et 0.3 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 20.12 m/an enregistré au niveau de Mersa Djinet (Tableau 9).

➤ Baie d'Alger

Pour cette même période la baie d'Alger a subi une érosion considérable.

Les côtes sableuses des cellules 2, 4 (plage de la Sirène, Sablette) et Oued El Harrach ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -0.73 m/an, -1.54 m/an, et -0.97 m/an respectivement et un maximum de recul -9.78 m/an enregistré au niveau de Oued El Hamiz.

Par contre les cellules 1, 2 et 3 (plage de Tamnfoust, Lido) et Port Mohamadia Alger ont connu une accrétion avec un taux d'engraissement moyen de 1.92 m/an, 0.71 m/an et 1.87 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 14.09 m/an enregistré au niveau de Oued El Harrach à cause des apports des Oueds qui forme des dépôts sédimentaires (Tableau 10).

➤ Baie de Bous Imail

Durant cette période de 18 ans (1999-2017), la baie de Bous Imail marque des taux d'érosion ainsi des taux d'accrétion comme suite :

Les côtes sableuses des cellules 1 et 3 (plage de Club des Pins, Khelloufi et de colonel Abbas) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -5.27 m/an, -0.14 m/an et -0.96 m/an respectivement, avec un maximum de recul -6.81 m/an enregistré au niveau de la plage de Club des Pins. Cette érosion est due aux facteurs hydrodynamiques et de l'action des vagues et des houles chargées d'énergie qui servira dans l'érosion de cette portion de ligne de rivage.

Par contre les cellules 1, 2 et 3 (plage de : les dunes, Shératon, Sidi Fredj Ouest, Mazafran, El Batoire) et Oued Mazafran ont connu une accrétion avec un taux d'engraissement moyen de 1.99 m/an, 0.45 m/an, 0.25 m/an, 4.71 m/an et 2.18 m/an et 0.55 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 6.52 m/an enregistré au niveau de la plage de Mazafran (Tableau 11).

Tableau 9 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1999-2017).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie de Zemmouri
Secteur Est	18	Du Cap Djinet à La station électrique	1.33 m/an 24.12m		
	264		1.44 m/an 26.13 m		
	265	De station électrique à Oued Isser	1.61 m/an 29.13 m		
	386		-2.8 m/an -50.76 m		
	453	De Oued Isser jusqu'au port de Zemmouri	-3.01 m/an -54.52 m		
950	1.85 m/an 33.53 m				
Secteur centre	951	De port de Zemmouri jusqu'au Cap Blanc	2.05m/an 37.19m		
	1191		-0.41 m/an -7.46 m		
	1192	Du Cap blanc jusqu'aux ouvrages de Boumerdes	-0.37 m/an -6.73 m		
1429	0.02 m/an 0.35 m				
Secteur Ouest	1430	Du ouvrages de Boumerdes jusqu'aux ouvrages de Ain Taya	-0.69 m/an -12.45 m		
	2260		-5.25 m/an -95.13 m		
	2261	Du ouvrages de Ain Taya jusqu'à la falaise du Cap Matifou	-5.39 m/an -97.79 m		
2698	0.7 m/an 12.63 m				

Légende		transect
	Baseline	EPR
	shoreline_1999	
	shoreline_2017	

	Erosion très élevée
	Erosion élevée
	Erosion modérée
	Stable
	Accrétion modérée
	Accrétion élevée
	Accrétion très élevée

0	3	6	12
Km			

Tableau 10 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1999-2017).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie d'Alger
Secteur Est	2699	Du Cap Matifou à Oued Hamiz	2.5 m/an 45.31m		
	2739		0.35 m/an 6.36 m		
	2740	D'Oued Hamiz à Ouvrages de fort de l'eau	0.62 m/an 11.29 m		
	3015		-0.48 m/an -8.79m		
	3016		0.43 m/an 7.74 m		
Secteur Centre	3304	D'Ouvrages de fort de l'eau à Oued El Harrach	0.66 m/an 11.95 m		
	3305		0.59 m/an 10.69 m		
	3550	De Oued El Harrach jusqu'à El Hamma	0.67 m/an 12.18 m		

Légende

- Baseline
- shoreline_1999
- shoreline_2017

transect

EPR

- Erosion très élevée
- Erosion élevée
- Erosion modérée
- Stable
- Accrétion modérée
- Accrétion élevée
- Accrétion très élevée

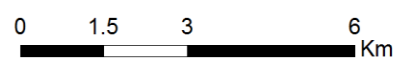
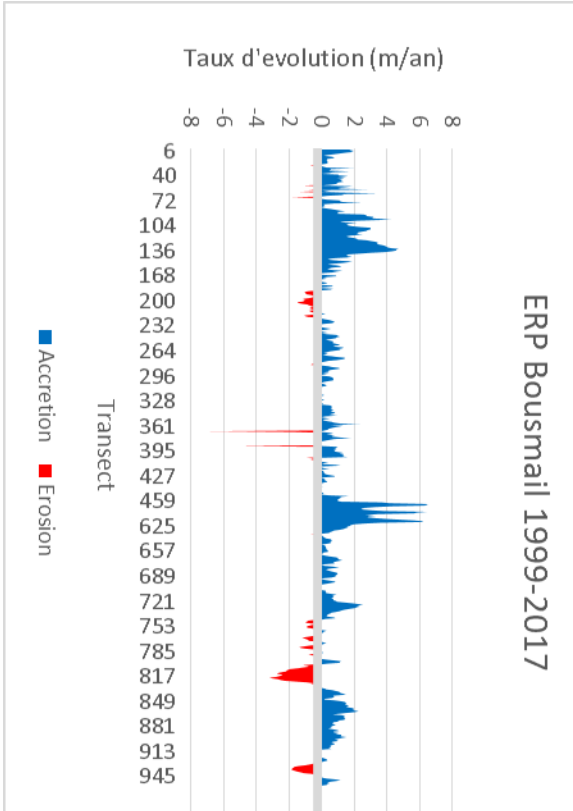
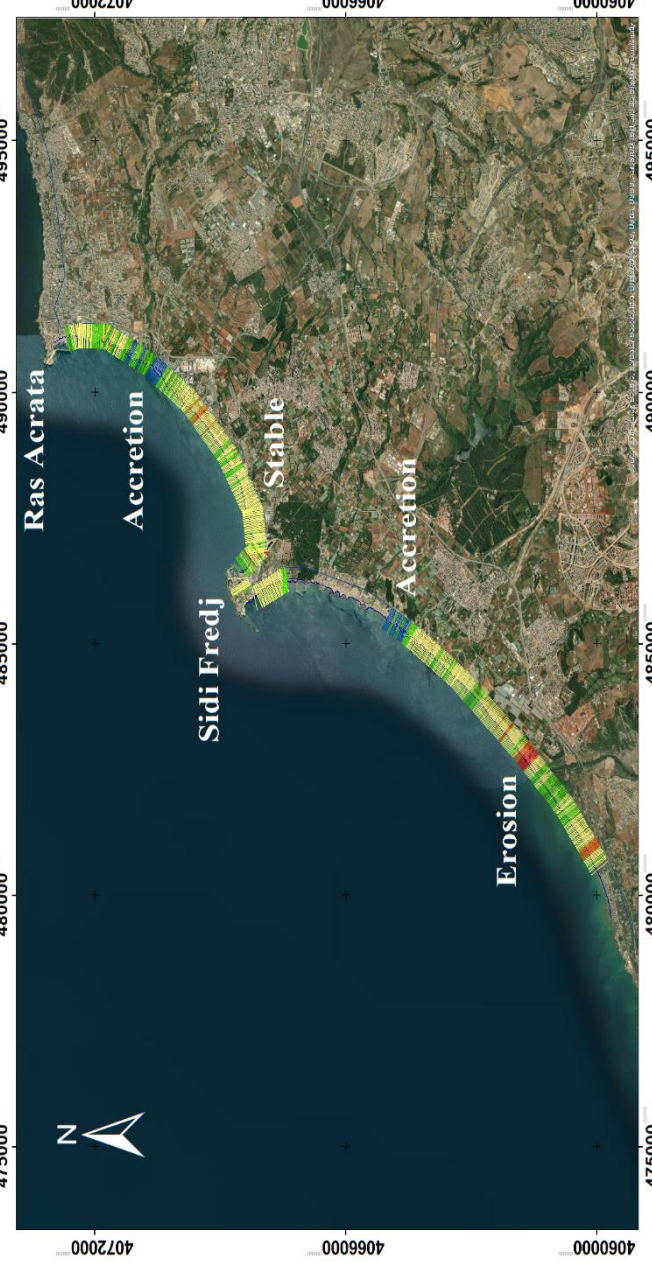


Tableau 11 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bou Ismail (1999-2017).


Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie de Bou Ismail
Secteur Est	6 411	Du Ras Acrata à Sidi Fredj	1.96 m/an 36.68m		
			0.43 m/an 7.99m		
	416 600	De Sidi Fredj à Ziralda	-0.22 m/an -4.1 m		
			6.3 m/an 117.57 m		
	603 837	De Ziralda à Oued Mazafran	2.64 m/an 49.24 m		
			-2.24 m/an -41.86 m		

Légende

- Shoreline_2017
- Shoreline_1999
- Baseline

transect EPR

- Erosion très élevée
- Erosion élevée
- Erosion modérée
- Stable
- Accrétion modérée
- Accrétion élevée
- Accrétion très élevée



Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

1.3.1.3.La période 2017-2020

➤ Baie de Zemmouri

Durant ces dernier 3 ans, la baie de Zemmouri subit un changement toute au long de la ligne de rivage dont les côtes sableuses de la zone 2 et 7 (Mandora ,Oued Isser et la plage de reghaia) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -9.3 m/an, -11.2 m/an, -3.04 m/an respectivement et un maximum de recul -20.95 m/an enregistré au niveau de plage de Oued Isser. Ces formes d'érosion sont causées par les agents hydrodynamiques et la concentration de l'énergie de la houle.

Par contre les cellules 4, 5 et 6 (la plage de Zemmouri El Bahri, Sghairat et Boumerdes) ont connu une accrétion avec un taux d'engraisement moyen de et un maximum d'accrétion de 19.85 m/an enregistré au niveau de Cap Djinet.

(Résultats résumé dans le tableau 12).

➤ La baie d'Alger

Pour la baie d'Alger, après une observation du graphe d'EPR en fonction de transects et des cartes des changements de la ligne de rivage, on remarque que la ligne de rivage cette baie est en générale subit beaucoup plus d'engraisement que d'érosion toute au long de ce trait de côte durant ces dernies 3 ans.

Les côtes sableuse des cellules 1 et 2 (plage de Tamnfoust, Marina Palm) et Oued El Hamiz ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -3.15 m/an, -5.24 m/an, -3.50 m/an respectivement et un maximum de recul -17.95 m/an enregistré au niveau de Marina Palm.

Par contre les cellules 2 et 4 (plage de Bateau cassé, Sablette) et Oued El Harrach ont connu une accrétion avec un taux d'engraisement moyen de 12.55 m/an, 11.65 m/an et 12.57 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 20.4 m/an enregistré au niveau de la plage de la Sirène Bordj El Kiffen. Cette accrétion est due principalement aux effets répétés et cumulés des forçages hydrodynamiques au niveau de cette zone (Tableau 13).

➤ La baie de bou Ismail

On discutant pour la même période dans la baie de Bou Ismail , les côtes sableuses des cellules 1, 2 et 3 (plage les dunes, la Madrague, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Mazafran et Khelloufi) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -3.63 m/an, -1.05 m/an, -6.2 m/an, -0.89 m/an, -1.7 m/an et -2.73 m/an respectivement et un maximum de recul -18.01 m/an enregistré au niveau de plage de Plage Ouest. Cette érosion est due à des fortes concentrations des énergies de la houle au voisinage de la côte qui engendre des courants de dérive littorale.

Un taux d'accrétion entrecoupe cette érosion, dont les cellules 1 et 3 (plage de Sidi Fredj Est, Zeralda 1) et Oued Mazafran ont connu une accrétion. Avec un taux d'engraisement moyen de 7.4 m/an, 5.62 m/an et 1.62 m/an et un maximum d'accrétion de 20.85 m/an respectivement enregistré au niveau de Plage Ouest (Tableau 14).

Tableau 12 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (2017-2020).

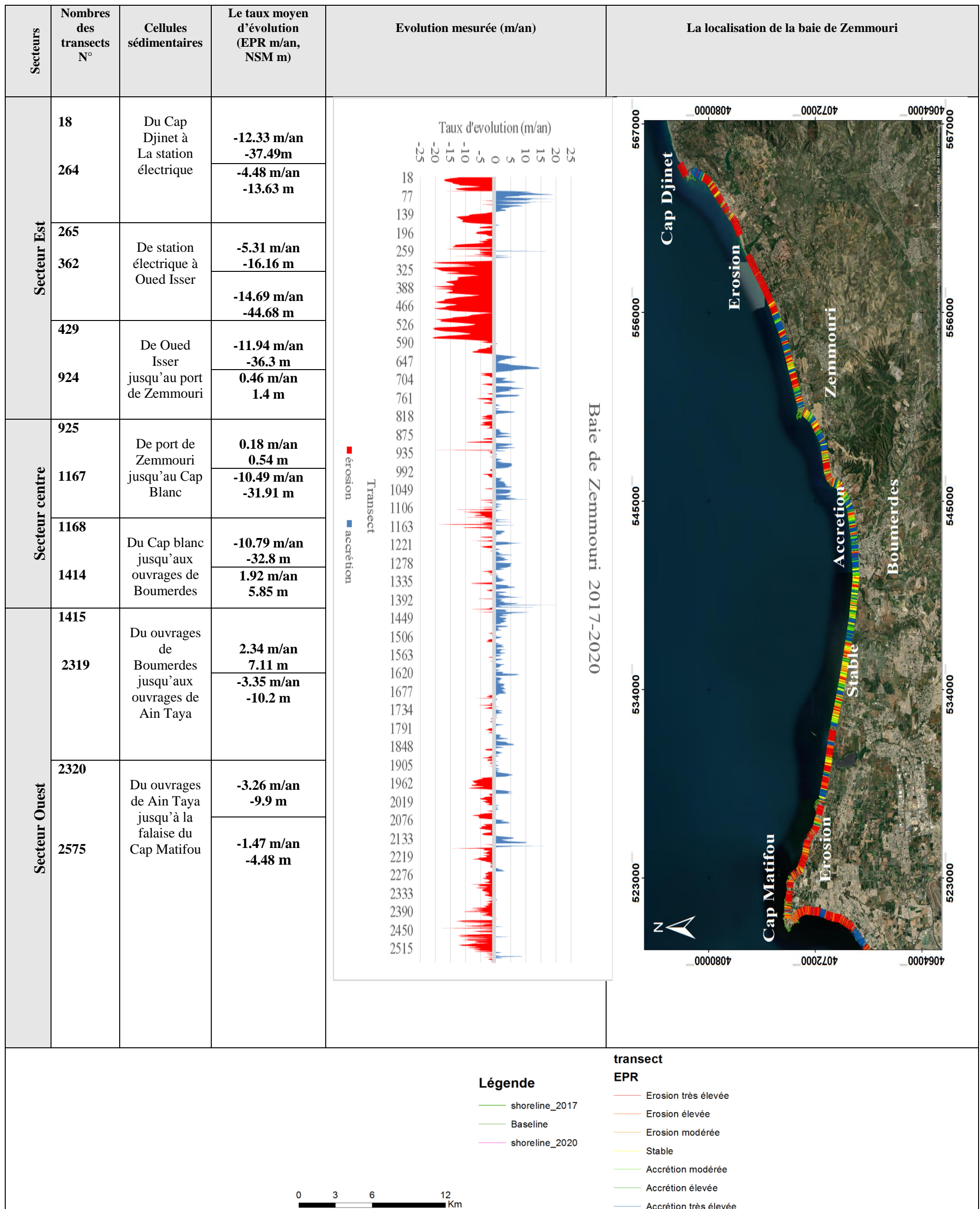


Tableau 13 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (2017-2020).

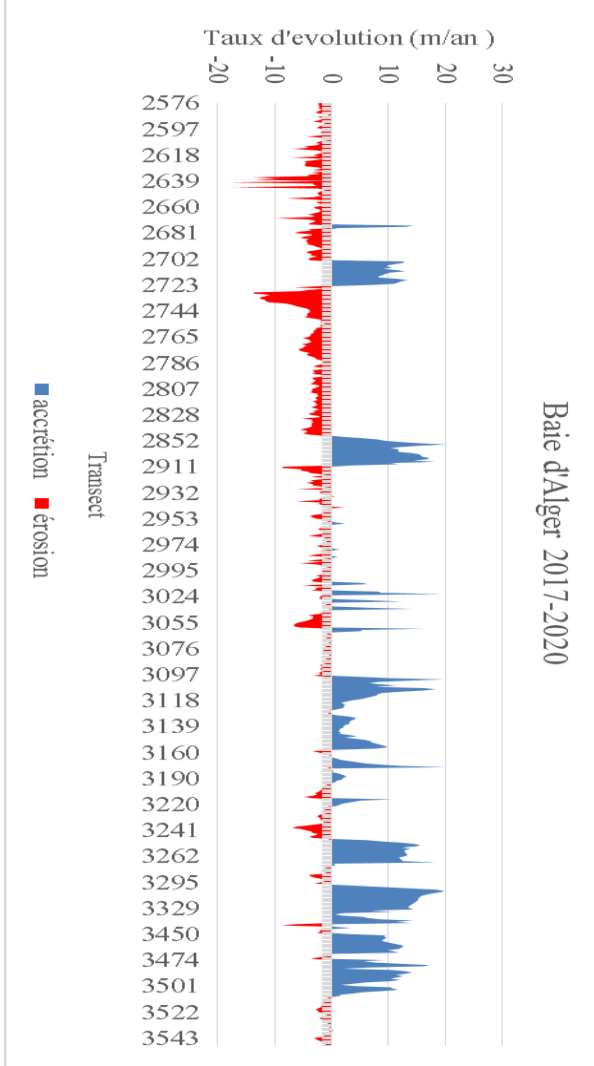
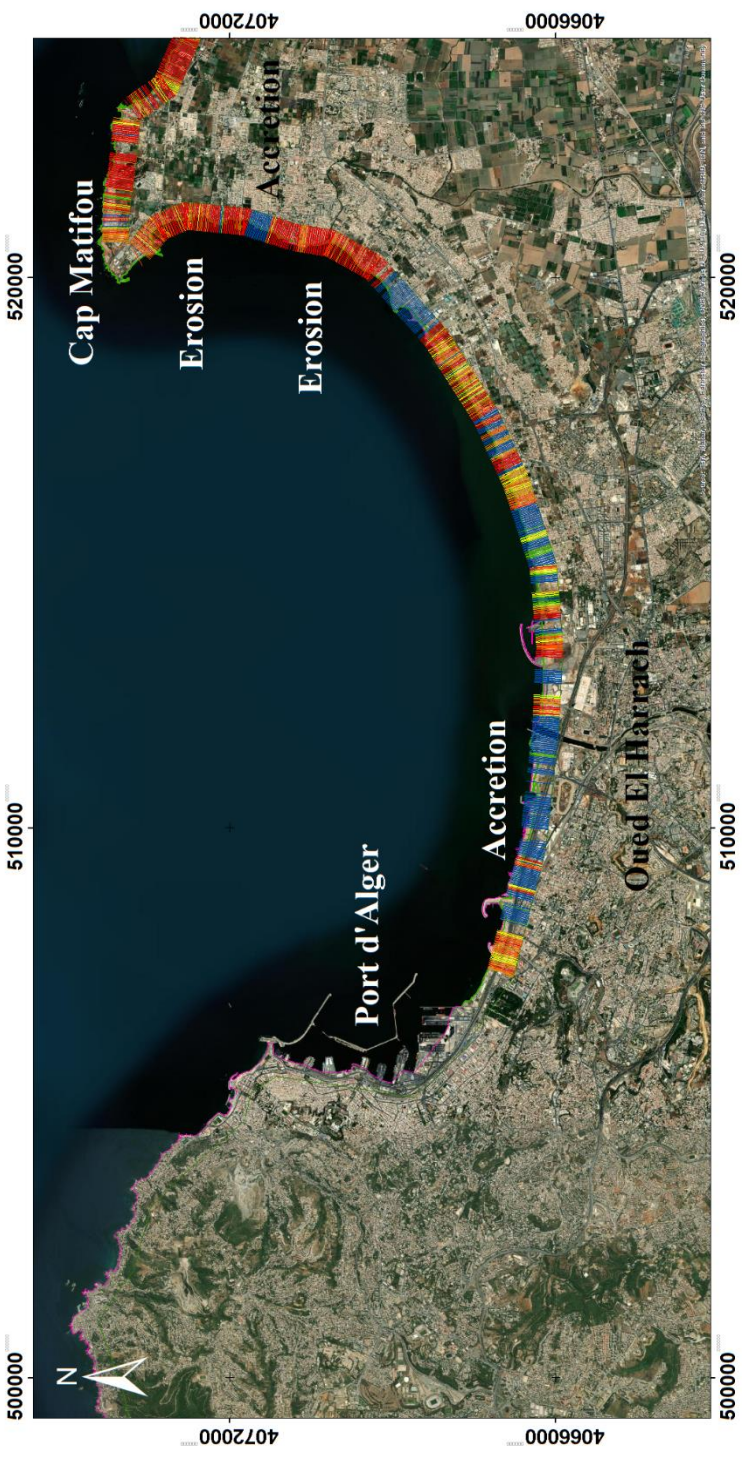
Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie d'Alger	
Secteur Est	2576	Du Cap Matifou à Oued Hamiz	-2.22 m/an -6.75 m			
	2777		-4.82 m/an -14.66 m			
	2778	D'Oued Hamiz à Ouvrages de fort de l'eau	-3.76 m/an -11.42 m			
	3095		-1.91 m/an -5.81 m			
	3096		-2.17 m/an -6.59 m			
Secteur centre	3303	D'Ouvrages de fort de l'eau à Oued El Harrach	23.37 m/an 71.07 m			<p>Légende</p> <ul style="list-style-type: none"> — shoreline_2017 — Baseline — shoreline_2020 <p>transect EPR</p> <ul style="list-style-type: none"> — Erosion très élevée — Erosion élevée — Erosion modérée — Stable — Accrétion modérée — Accrétion élevée — Accrétion très élevée
	3304		24.11 m/an 73.31 m			
	3549	De Oued El Harrach jusqu'à El Hamma	-0.83 m/an -2.51 m			
	3076					



Tableau 14 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bou Ismail (2017-2020).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie de Bou Ismail	
Secteur Est	4688	Du Ras Acrata à Sidi Fredj	2.87 m/an 8.73 m			
	5132		4.95 m/an 15.04 m			
	5133	De Sidi Fredj à Ziralda	5.25 m/an 15.97 m			
	5341		-4.04 m/an -12.29 m			
	Secteur Est	5342	De Ziralda à Oued Mazafran			-2.89 m/an -8.79 m
		5579				-2.43 m/an -7.39 m

Légende

- shoreline_2017
- Baseline
- shoreline_2020

transect

EPR

- Erosion très élevée
- Erosion élevée
- Erosion modérée
- Stable
- Accrétion modérée
- Accrétion élevée
- Accrétion très élevée



Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

1.3.1.4. La période 1972-2020

Après une division périodique de 48 ans et une lecture des graphes de taux net moyen de ce recul qu'est calculé par la méthode EPR (résultats résumé dans les tableaux N° 15 , 16 et 17), on peut est arriver à une analyse concernant ces 3 baies:

➤ La baie de Zemmouri

Pendant cette période (1972-2020) les côtes sableuses des cellules 3, 6 et 7 (plage de Zemmouri, Reghaia et Ain Taya) ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -1.9 m/an, -1.04 m/an, -1.48 m/an respectivement et un maximum de recul -11.57 m/an enregistré au niveau d'Ain Taya. Cette érosion est due aux facteurs hydrodynamiques et de l'action des vagues et des houles chargées d'énergie qui érode cette côte.

Par contre la cellule 2 (plage Mandora) connu une accrétion avec un taux d'engraisement moyen de 0.74 m/an, et un maximum d'accrétion de 9.14 m/an enregistré au niveau de Cap Djinet.

Une stabilité a été marqué pour la Zone 4 et 5 (plage Sghirat et Boumerdes).

➤ La baie d'Alger

Durant ces 48 ans la baie d'Alger subit une érosion modérée en générale sur sa partie Est entrecoupée par des taux d'érosion.

Les côtes sableuses de la cellule 1 (Alger plage) et Oued El Hamiz ont subi un recul considérable avec un taux d'érosion moyen de -0.6 m/an et -1.2 respectivement et un maximum de recul -2.59 m/an enregistré au niveau d'Oued El Hamiz à cause des facteurs hydrodynamique et des attaques des vagues et des houles chargées d'énergie et aussi des facteurs anthropiques qui faire changer cette forme de ligne de rivage .

Par contre les cellules 1, 3 et 4 (plage de Tamnfoust, Marina Palm, Sablette) et Oued El Harrach ont connu une accrétion avec un taux d'engraisement moyen de 0.64 m/an, 0.79 m/an et 4.03 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 4.92 m/an enregistré au niveau de la Marina Palm.

Cette accrétion est dû aux apports solides qui forme des dépôts sédimentaires d'un côté et à cause des installations des ouvrages durant toute cette période par l'état d'autre coté et donc du facteur anthropique.

➤ La baie de Bou Ismail

Pour les dernier 48 ans la baie de Bou Ismail a subit une érosion modérée le long de sa ligne de rivage en moyenne. Les cellules 1 et 2 (plage de Sidi Fredj Est, les dunes, Palm Beach et Sidi Fredj Ouest) ont connu un taux d'érosion moyen de -1.2 m/an, -0.71 m/an, -4.89 m/an et -6.15 m/an respectivement et un maximum de recul (-18 m/an) au niveau de plage Ouest.

Ce recul est entrecoupé par un petit engraisement au niveau des cellules 1 et 3 (plage la Madrague et Oued Mazafran) avec un taux d'engraisement moyen de 0.62 m/an et 1.07 m/an respectivement et un maximum d'accrétion de 20.9 m/an enregistré au niveau de plage de Sidi Fredj Est.

Tableau 15 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Zemmouri (1972-2020).

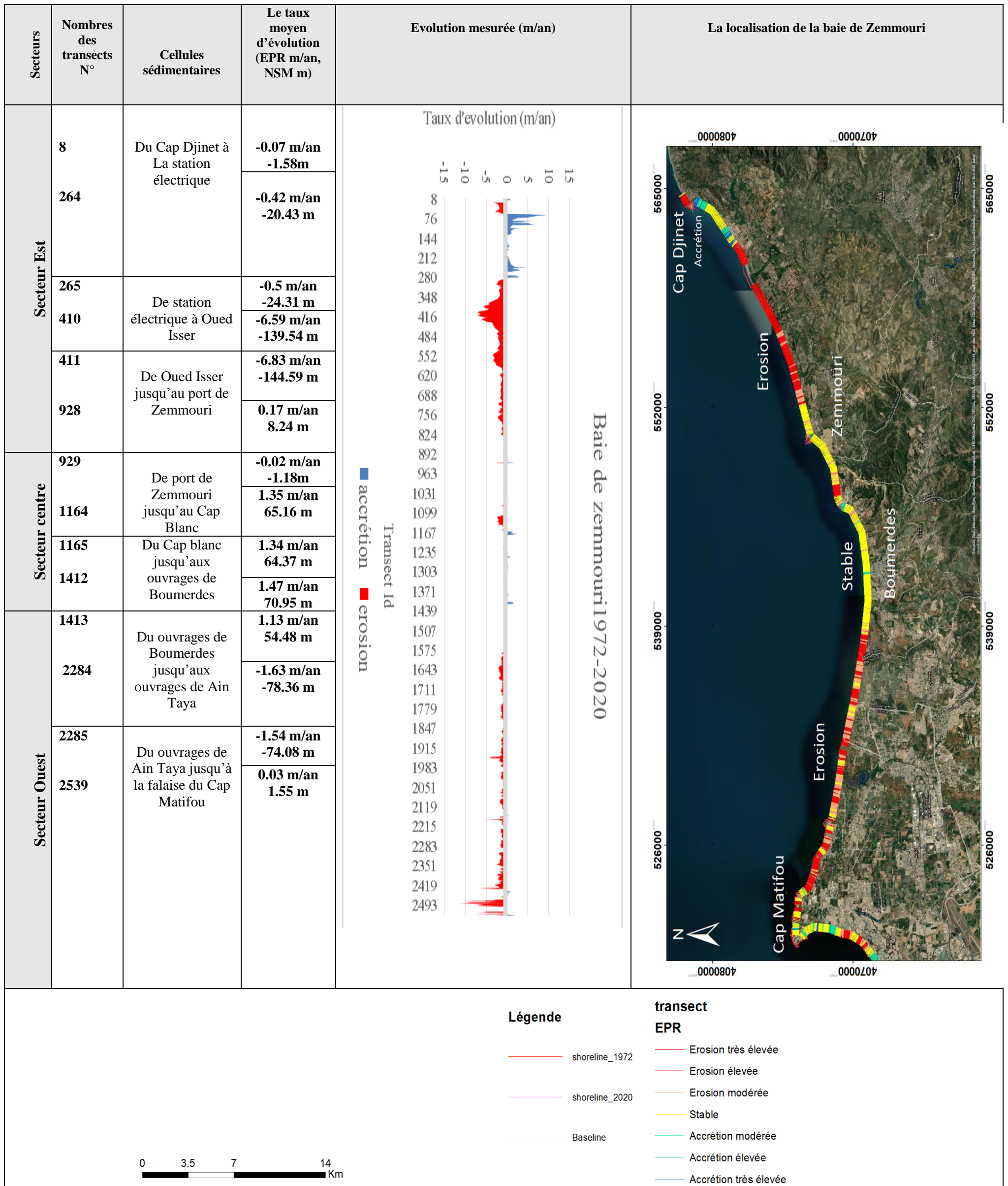


Tableau 16 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie d'Alger (1972-2020).

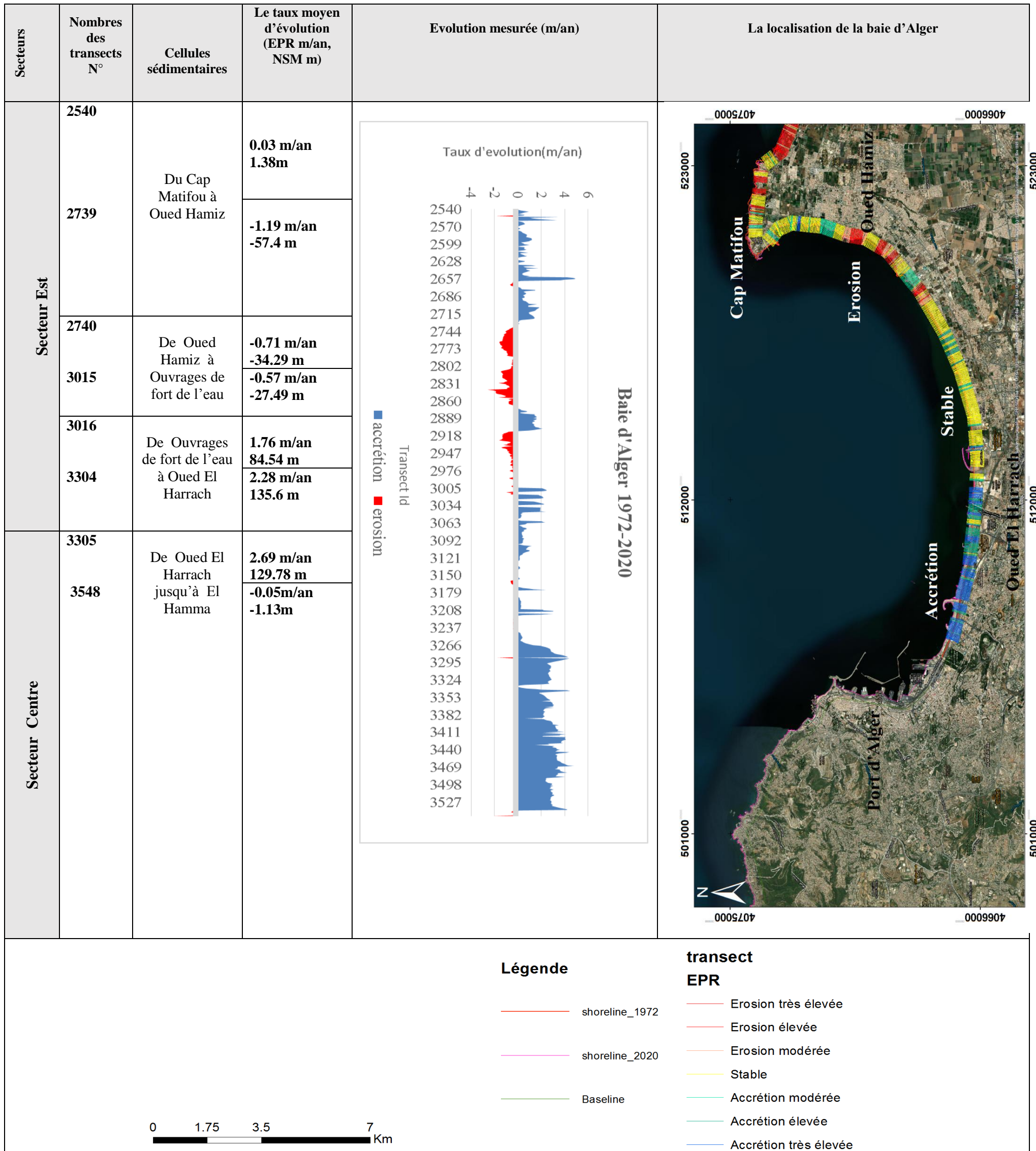


Tableau 17 : Cartographie de l'aléa érosion côtière des de la baie de Bou Ismail (1972-2020).

Secteurs	Nombres des transects N°	Cellules sédimentaires	Le taux moyen d'évolution (EPR m/an, NSM m)	Evolution mesurée (m/an)	La localisation de la baie de Bou Ismail
Secteur Est	4677	Du Ras Acrata à Sidi Fredj	0.25 m/an 12.02m	<p style="text-align: center;">Baie de Bou Ismail 1972-2020</p>	
	5121		4.24 m/an 12.09 m		
	5122	De Sidi Fredj à Zeralda	6.6 m/an 20.06 m		
	5347		-0.5 m/an -24.14 m		
	5348	De Zeralda à Oued Mazafran	-0.54m/an -25.84 m		
	5581		-3.9 m/an -11.86 m		

Légende

- shoreline_1972
- shoreline_2020
- Baseline

transect EPR

- Erosion très élevée
- Erosion élevée
- Erosion modérée
- Stable
- Accrétion modérée
- Accrétion élevée
- Accrétion très élevée

1.3.2. Evolution provisionnelle du trait de côte 2020-2100

Après une étude précise de la morpho dynamique littorale de la métropole pour une période de 48 ans (1972-2020), on est face maintenant à une étude de long terme (2020-2100) donc une provision de 80 ans.

Les résultats d'évolution provisionnelle du trait de côte 2020-2100 obtenue par la méthode des EPR :

$$\text{EPR (1972-2020) m/an} * (2100_{-2020}) \text{ an} = \text{NSM (2020-2100)}.$$

Après avoir tracé un trait de côte provisionnel pour l'année 2100, on lance les calculs de taux d'évolution (EPR) pour obtenir les résultats ci-dessous (Figures 58 ,59 et 60) :



Figure 58:Position du trait de côte de la baie de Zemmouri durant les années 2020-2100.



Figure 59: Position du trait de côte de la baie d'Alger durant les années 2020-2100.

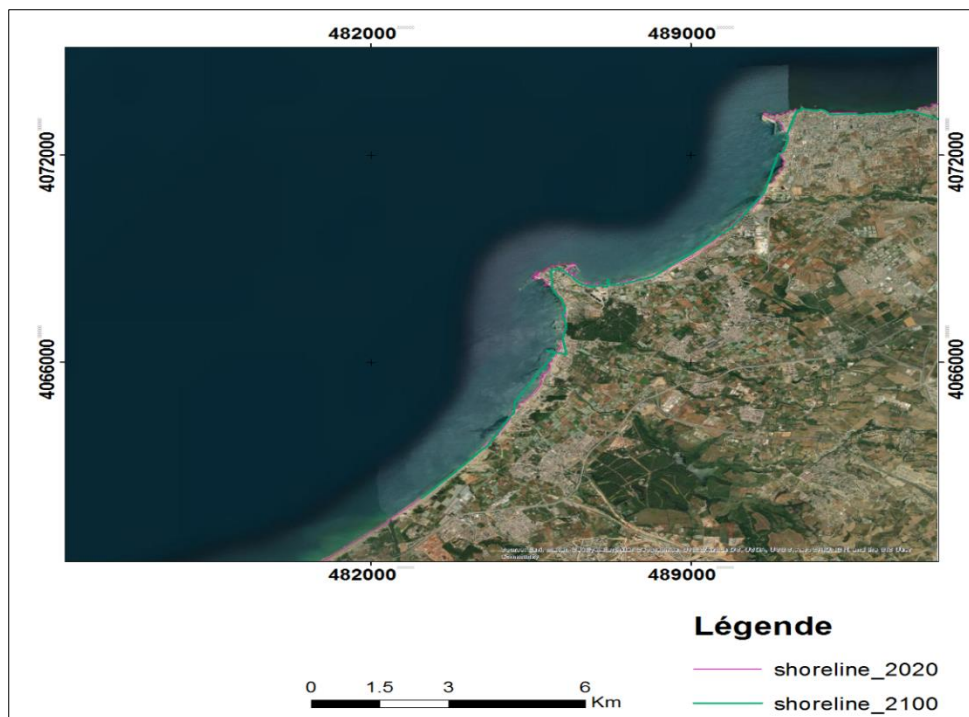


Figure 60: Position du trait de côte de la baie de Bou Ismail durant les années 2020-2100.

Chapitre IV Evolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral de la zone d'étude

A l'horizon de 80 ans, le trait de côte de notre zone d'étude sera évolué d'une façon oscillatoire entre recul et engraissement, un recul avec un taux d'érosion moyen de -0.58m/an a été enregistré sur tout la métropole (Figure 61). Ce phénomène de recul est peut être due aux facteurs hydrodynamique et aux facteurs anthropiques futures.

Par rapport à l'accrétion, un engraissement avec un taux d'accrétion moyen de 0.66 m/an en moyen. Et ça c'est due peut-être aux installations portuaires et des ouvrages de protection installés dans les temps futurs et aussi aux énergies des houles et des vagues qui servent dans le transport sédimentaire.

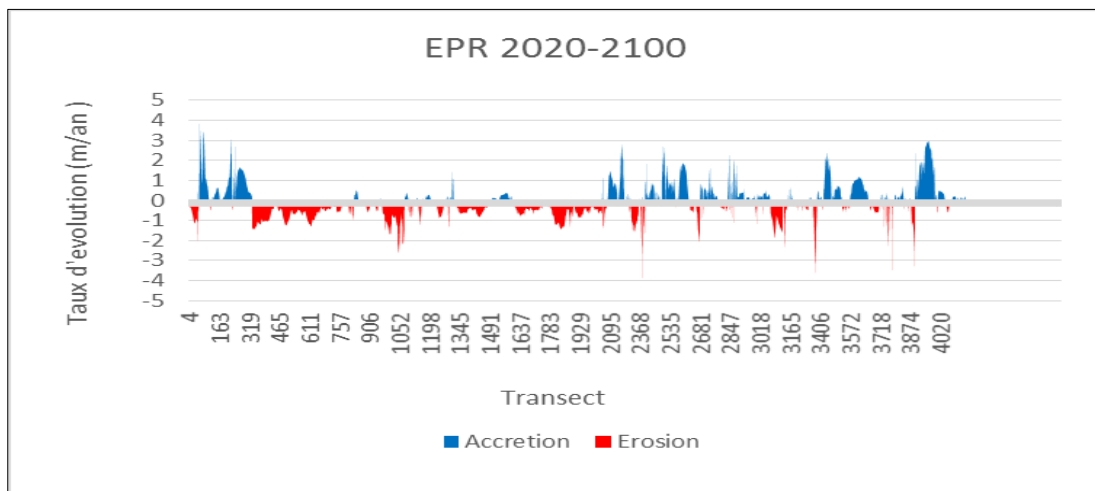


Figure 61: Evolution du trait de côte entre 2020 et 2100 au niveau de la Métropole

Conclusion

Cette étude d'évolution du trait de côte durant les dernier 48 ans, nous a permis de conclure que la métropole a subi pendant cette période (1972-2020) une oscillation entre érosion et accrétion, tel que le taux de recul net par la méthode EPR est varié entre -0.01m/an et -18.01m/an donc en moyenne une valeur de -1.24 m/an a été enregistrée ; pour l'accrétion un taux moyen d'engrondissement de 1.4 m/an a été enregistré.

Un recul alors très clair au niveau de la baie de zemmouri et la baie de Bou Ismail, alors que la baie d'Alger a subit une accrétion élevée surtout au niveau de Oued El Harrach et des ouvrages et installation portuaire et de protection installés durant cette période.

**Chapitre V: Risques et vulnérabilité des
systèmes côtiers face à la submersion
marine**

Introduction

La submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (Meedat, 1997).

Elle envahisse 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.

Elles peuvent se produire lorsqu'il y a :

- Un débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel,
- Une rupture du système de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin : défaillance d'un ouvrage de protection ou formation de brèche dans un cordon naturel, suite à l'attaque de la houle (énergie libérée lors du déferlement), au mauvais entretien d'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, au phénomène de surverse, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc.
- Un franchissement par paquets de mer liés aux vagues, lorsqu'après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel,

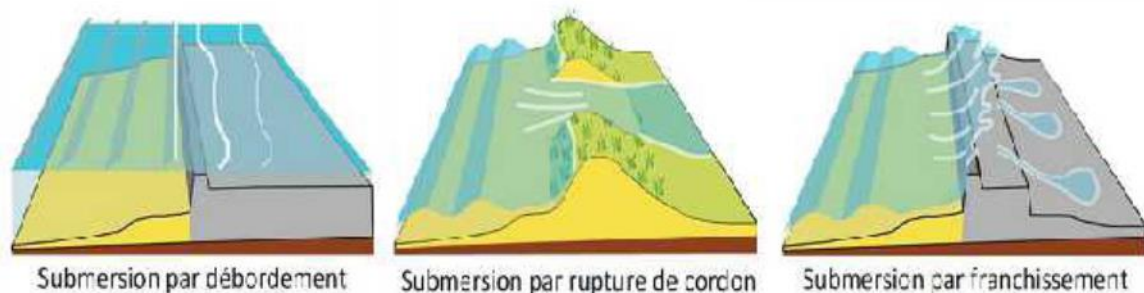


Figure 62: Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec Surcotes associées (CARIOLET, 2011 in BREILH, 2015).

Le phénomène responsable de ces submersions marines d'origine météorologique (ORRM)

- La chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau. C'est le phénomène de baromètre inverse ;
- Le vent a un double effet sur le plan d'eau :
- Il est à l'origine de l'agitation du plan d'eau et de la formation des vagues dont les caractéristiques, hauteur, période, secteur de provenance, sont directement liées à celles du vent et au Fesch du bassin maritime ;
- Il 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 ;

Chapitre V Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face à la submersion marine

- Les vagues, générées au large par le vent, se propagent vers la côte et déferlent. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation Moyenne du niveau de la mer (le « ave set-up », ou set-up, ou surcote liée aux vagues) pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres ;
- La marée, peu importante dans le contexte méditerranéen, avec un marnage pouvant atteindre environ 0,5 m au maximum, se cumule en période de tempête à la surcote, favorisant ainsi la pénétration des eaux marines sur les terres émergées.

Le phénomène de « surcote atmosphérique » ou « surcote de tempête » est l'addition de l'effet baromètre inverse et de l'élévation du niveau du plan d'eau sous l'effet du vent. Ainsi, lors d'une tempête, le niveau moyen de la mer résulte de l'addition de la surcote atmosphérique et du set-up;

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.

Les méthodes actuelles mises en œuvre s'appuient généralement sur des formulations empiriques du débit franchissant, qui permettent le forçage de modèles hydrodynamiques pour simuler l'inondation ; ces approches présentent toutefois un certain nombre de limites, notamment vis-à-vis de leur domaine d'application (elles supposent généralement une configuration idéalisée de la côte et de la bathymétrie qui peut n'être pas compatible avec une situation réelle) et par le fait qu'elles lissent l'effet de chaque vague en un débit moyen continu.

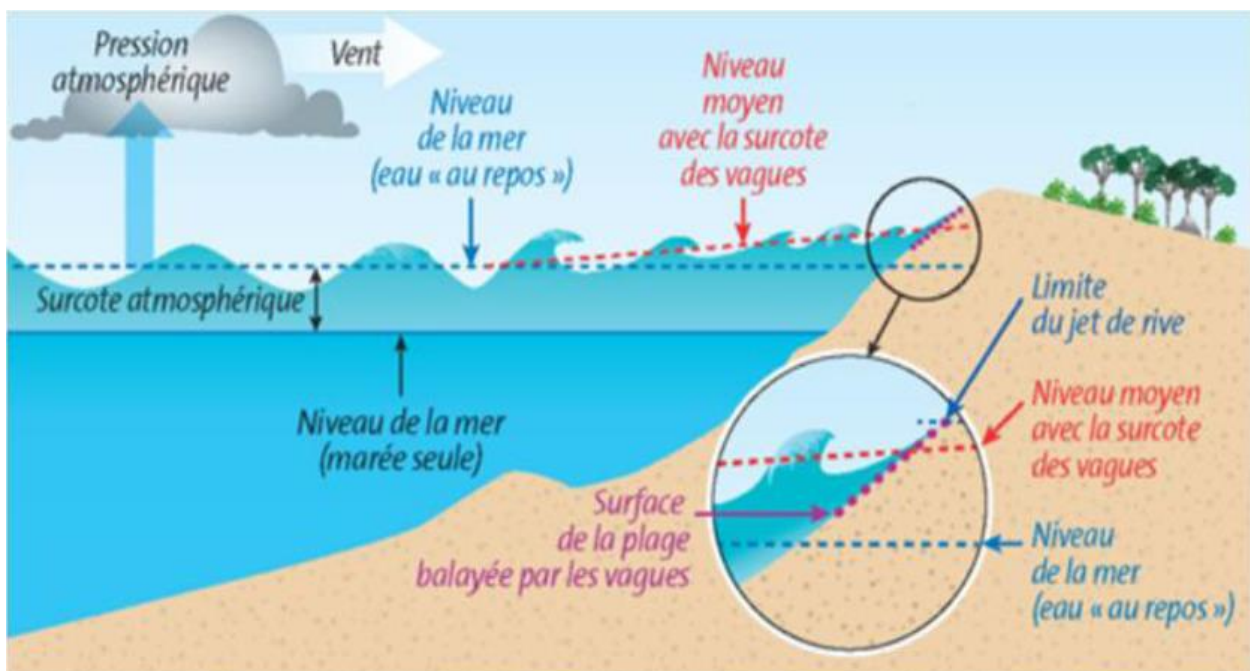


Figure 63:Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau. (ORRM).

1. Méthodologie

Cette étude a pour but de caractériser et cartographier les terres à risque de submersion dans la côte de la zone d'étude, elle est basée sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, modélisée par l'utilisation du logiciel de cartographie « ArcGis 10.4 ». La méthode retenue pour l'estimation de l'aléa submersion est celle utilisée par plusieurs auteurs (**Fletcher et al., 1995** ; **Benavente et al., 2006** ; **Suarez et al., 2007** ; **Kumar et al., 2008**).

Cette méthode est basée sur :

- Détermination des niveaux d'inondation extrêmes prenant en compte le « Wave setup wind set-up et l'élévation du niveau de la mer due à la baisse de la pression atmosphérique » ;
- Croisement des niveaux extrêmes avec la topographie de la zone ;
- Superposition avec la carte d'occupation du sol afin de cartographier les zones à risque d'inondation pour tous les niveaux.

✓ Le MNT

C'est une carte indiquant la forme brute du terrain sans construction ni végétation. Il correspond à une schématisation du modèle de la région étudiée (Figure 64).

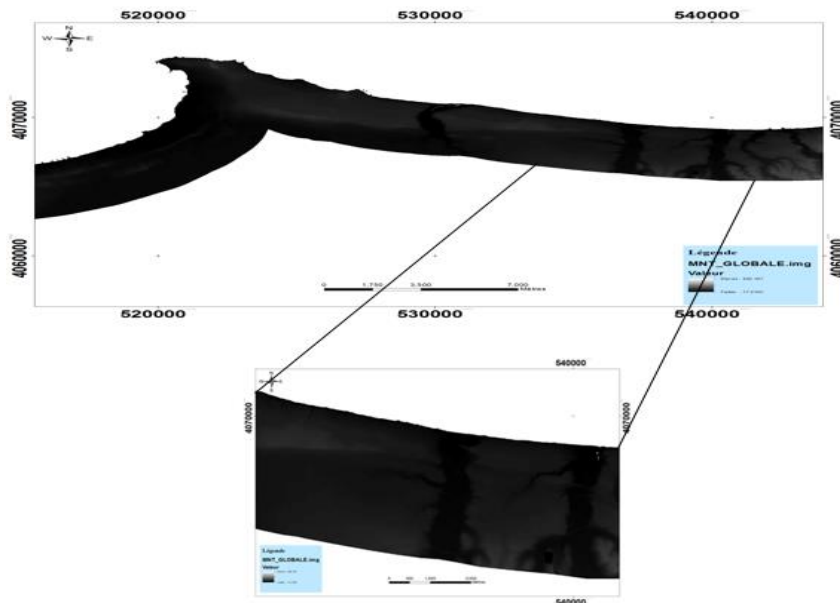


Figure 64: Modèle numérique de terrain d'une résolution de 30 cm pour la zone d'étude.

1.1. Les scénarios de l'élévation de niveau marin

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**:

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

Où:

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

Chapitre V Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face à la submersion marine

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.

Variation du niveau de la mer en fonction de la pression atmosphérique (effet barométrique inverse)

Le niveau de la mer peut changer en fonction des variations de la pression atmosphériques. Ainsi, les basses pressions engendrent une surcote. Contrairement, les hautes pressions provoquent une décote. Ce phénomène est appelé effet barométrique inverse.

La variation du niveau de la mer liée à la pression atmosphérique peut être approchée à partir de la formule qui suit :

$$Z = 0.01 (1013 - p)$$

Où :

p : est la pression atmosphérique en hectopascal,

1013 hPa : étant la pression correspondant au niveau de repos de la mer.

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

1.2.Les terres 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). Ceci se traduirait par l'inondation des terres basses et des changements dans la morphologie côtière. Les répercussions potentielles d'un tel phénomène dépendent non seulement du taux de cette hausse, de la fréquence et de l'intensité des houles de tempêtes, mais aussi de la sensibilité de la côte à la submersion, qui à son tour dépend de la morphologie et de la topographie de la zone côtière.

Le développement du tissu urbain dans la zone côtière de la grande baie de Zemmouri est caractérisé par une occupation longitudinale préférentielle. Cette occupation anarchique et intense va rendre le milieu très vulnérable aux aléas météorologiques qui sont à son tour accélérée par la faible topographie de la zone. Pour estimer les superficies des terres qui seront inondées par les niveaux extrêmes de l'élévation de niveau de la mer, les cote de ces niveaux ont été confrontées au model numérique du terrain (MNT). Aussi et dans le but d'identifier les facteurs de risque sur les unités constructives de la zone d'étude, ces mêmes niveaux d'inondations ont été superposés a une carte d'occupation du sol.

2. Résultats

2.1. Les scénarios des niveaux extrêmes

Pour évaluer les niveaux d'inondation et délimiter les zones à risque correspondantes, des scénarios sont pris en utilisation dans le travail pour la zone d'étude qui sont de :

1m, 2m, 3m, 5m et 8m.

Sur le logiciel Arc Gis, le niveau d'inondation est superposé à un modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution altimétrique de 50 cm, de la zone d'étude en vue de cartographier la zone submersible.

En dernier et après qu'on termine cette superposition pour les 5 scénarios et les projeter sur les images ortho rectifiées de notre zone d'étude, on peut commencer la rédaction des cartes de submersion.

Les cartes de submersions

Les cartes de submersion sont obtenues après la modélisation de ce phénomène sous Arc GIS 10.4 et pour faciliter la discussion des cartes on a choisit de discuter chaque scénario à part :

Présentation de la métropole et des baies

La figure 65 représente la situation globale de la superposition des 5 scénarios le long de la côte de la métropole.



Figure 65: Carte représentatif de la submersion marine (scénarios 1m ,2m ,3m ,5m et 8m) pour la métropole.

2.1.1. Scénario 3m

➤ La baie de Zemmouri

A un niveau d'inondation de 3m (Figure 66, 67), les eaux marines seront étalées vers l'arrière-pays touchant : les plages, les infrastructures portuaires et touristiques. Ainsi que les réseaux hydrographiques notamment, Oued Boumerdes, Oued Boudouaou et Oued Réghaia qui sont donc complètement affecté par ce niveau d'inondation.

➤ La baie d'Alger

Pour un niveau d'inondation de 3m (Figure 68, 69), les zones urbanisées seront les plus affectées surtout dans le secteur Est (Bordj El Bahri) .Puis vient la zone portuaire du secteur Ouest d'Alger qui sera totalement inondée. Le réseau hydrographique (Oued El Hamiz et Oued El Harrach) est aussi affecté quasi entièrement par ce niveau d'inondation.

➤ La baie de Bou Ismail

D'après la figure 70,71 et pour un niveau d'inondation de 3m, les plages, les ouvrages de protections, les installations portuaires et les dunes seront les terrains les plus touchées par ce niveau de submersion. Ainsi que la zone urbaine et les terres agricoles et terres nu de Zeralda qui sera affectée par cette inondation. Oued Mazafran c'est l'Oued qu'est entièrement touché par ce phénomène.

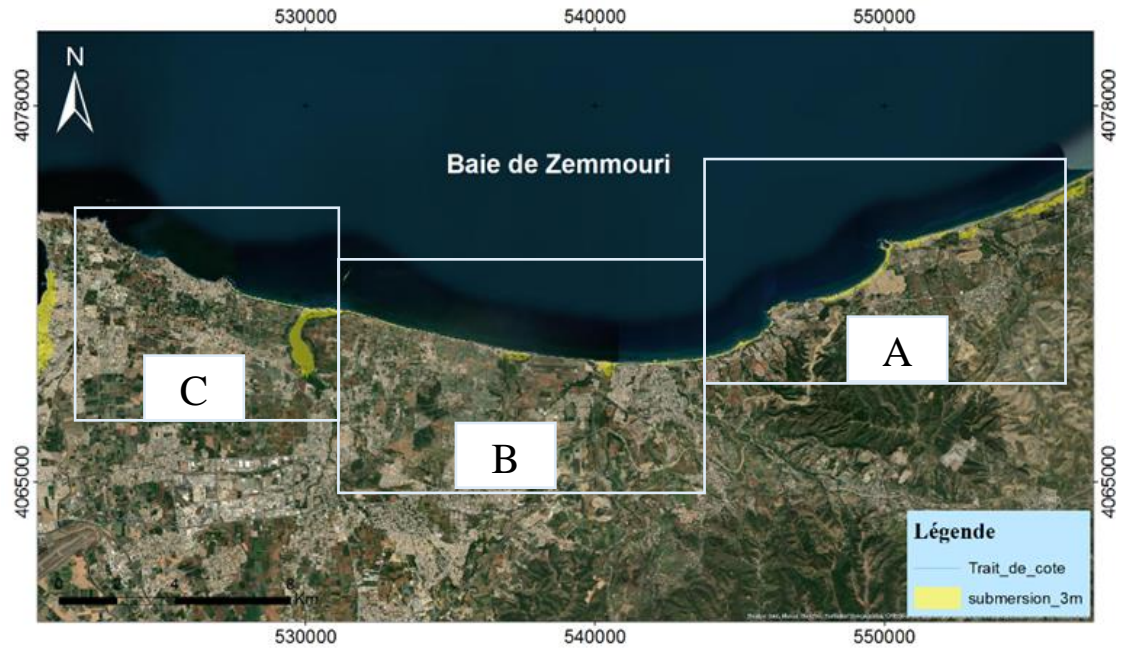


Figure 66: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie de Zemmouri.



Zone 1



Zone 2



Zone 3

Figure 67: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie de Zemmouri par zone.

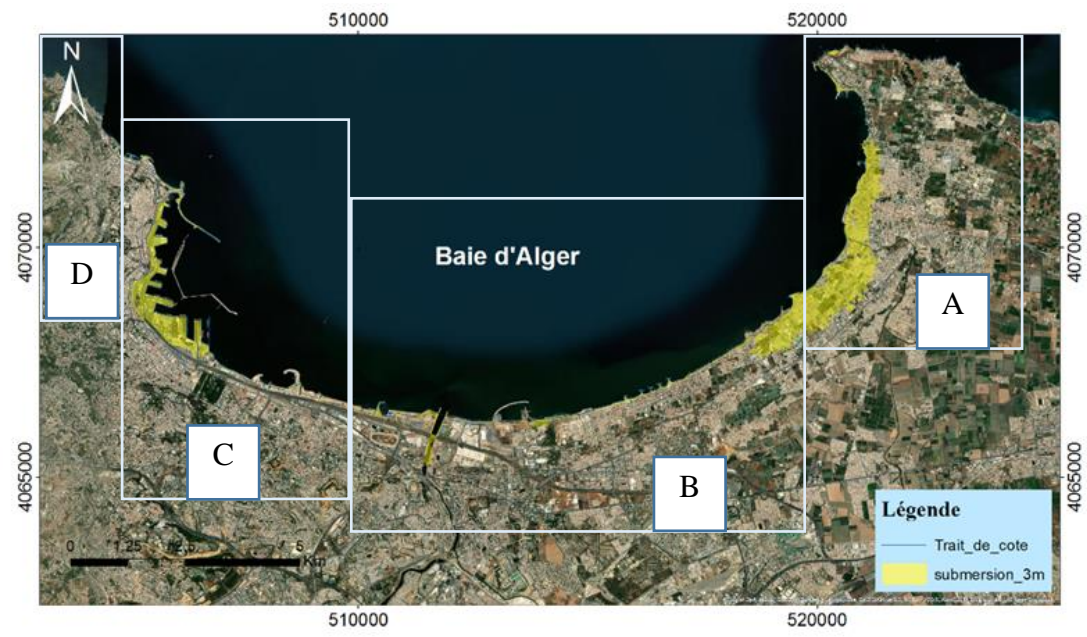


Figure 68: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie d'Alger.



Zone 1



Zone 2



Zone 3



Zone 4

Figure 69: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie d'Alger par zone.

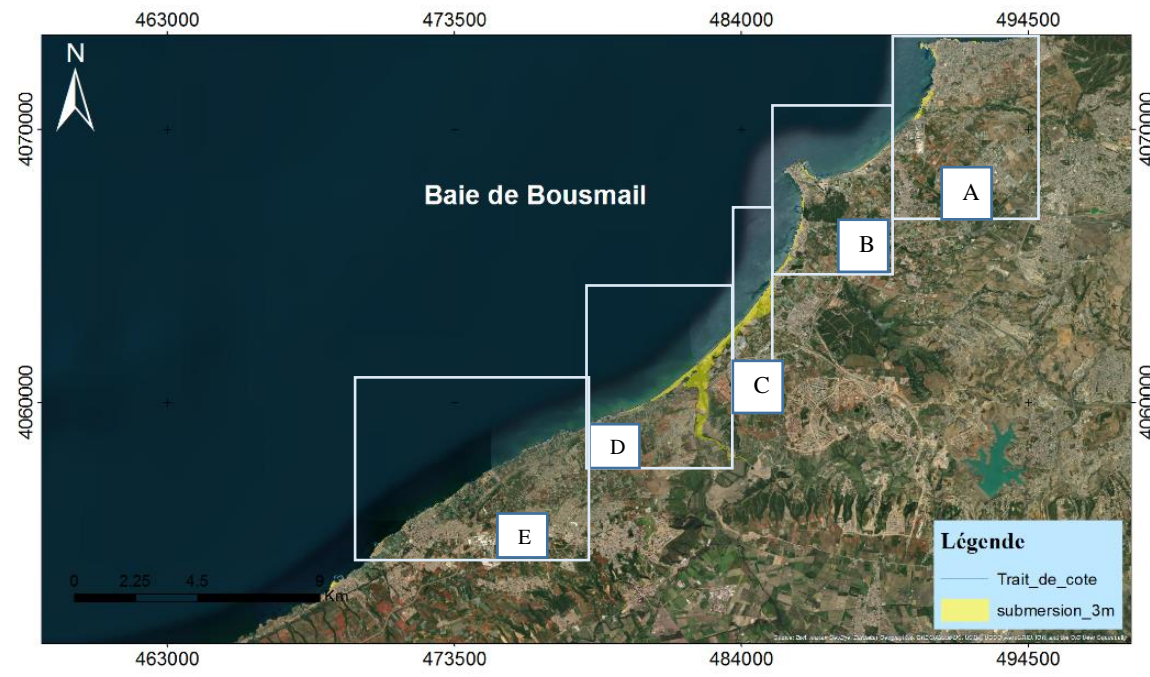


Figure 70: Carte représentatif de la submersion marine scénario 3m de la baie de Bou Ismail.



Figure 71: Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 3m de la baie de Bou Ismail par zone.

2.1.2. Scénario 1m

➤ **La baie de Zemmouri**

La figure 72 illustre l'inondation potentielle par un niveau de 1m de la baie de Zemmouri, touchant presque toutes les zones situées le long de rivage de la baie, tel que les ouvrages situés le long de la baie, courbet marine, les plages sableuses (plage Sghirat, plage Surcouf...plage Zemmouri, plage Reghaia...) le rocher pourri, ainsi que les embouchures.

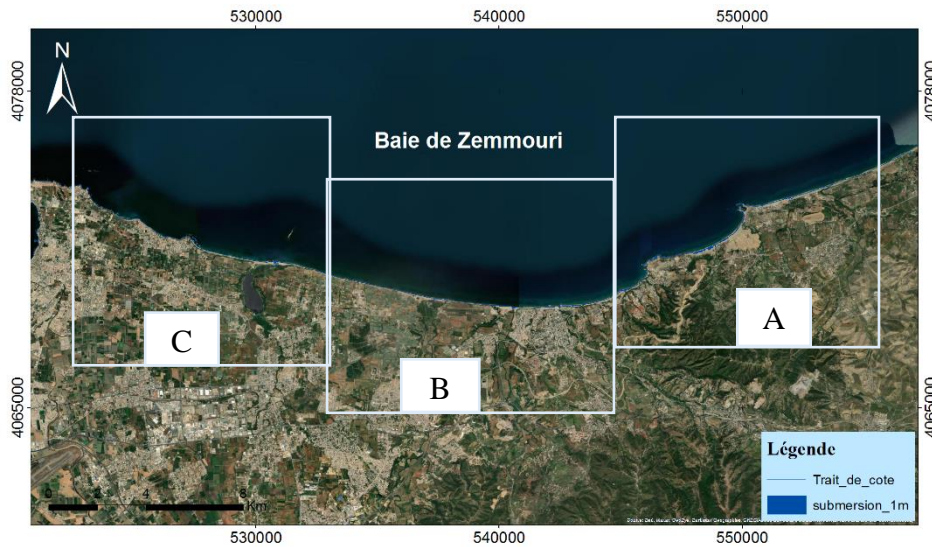


Figure 72: Carte représentatif de la submersion marine scénario 1m de la baie de Zemmouri.

➤ **La baie d'Alger**

La figure 73 montre les zones de la côte de la baie d'Alger qui seraient inondées pour le niveau de 1 m. l'inondation par ce scénario affectant essentiellement les zones près de rivage, parmi les : les zones d'installation portuaire (port d'Alger, port Tementfoust...) et au niveau des ouvrages de protection, entre Cap Matifou et Marina palm. Une inondation importante au niveau de plage stanboul et les bateaux cassés.

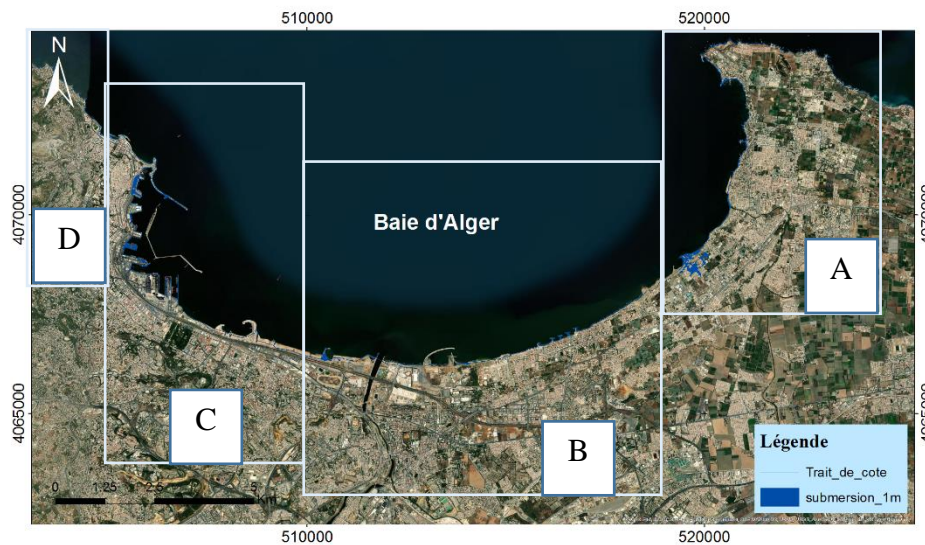


Figure 73: Carte représentatif de la submersion marine scénario 1m de la baie d'Alger.

➤ La baie de Bou Ismail

D'après la figure 74, les zones de la côte de la baie de Bou Ismail subiront une inondation par le niveau 1 m. Les terrains les plus touchés par ce niveau sont essentiellement les plages (plage palm beach, la plage Sidi Fredj Est et Ouest...) et les installations portuaires (port Sidi Fredj), ainsi que les réseaux hydrographiques seront affectés par ce niveau d'inondation, notamment, oued Mazafran qui sera partiellement submergé.

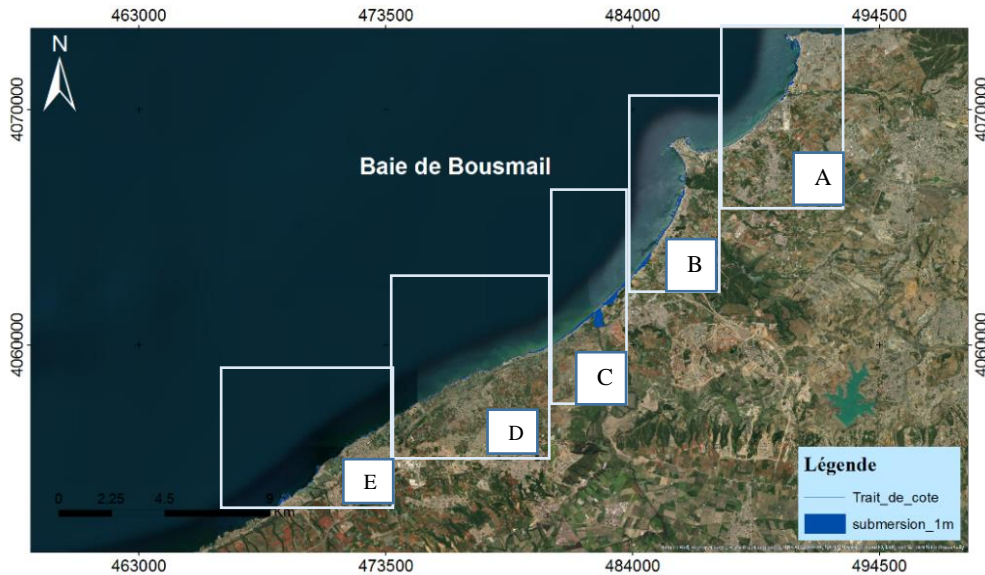


Figure 74: Carte représentative de la submersion marine scénario 1m de la baie de Bou Ismail.

2.1.3. Scénario 2m

➤ La baie de Zemmouri

A un niveau minimum d'inondation de 2m (Figure 75), les eaux marines pénètrent vers l'arrière-pays touchant : les plages, les infrastructures portuaires et touristiques. Ainsi que les réseaux hydrographiques notamment, Oued Boumerdes et Oued Boudouaou qui sont affecté par ce scénario au niveau de son embouchure et Oued Réghaia qui est complètement affecté par ce niveau d'inondation.

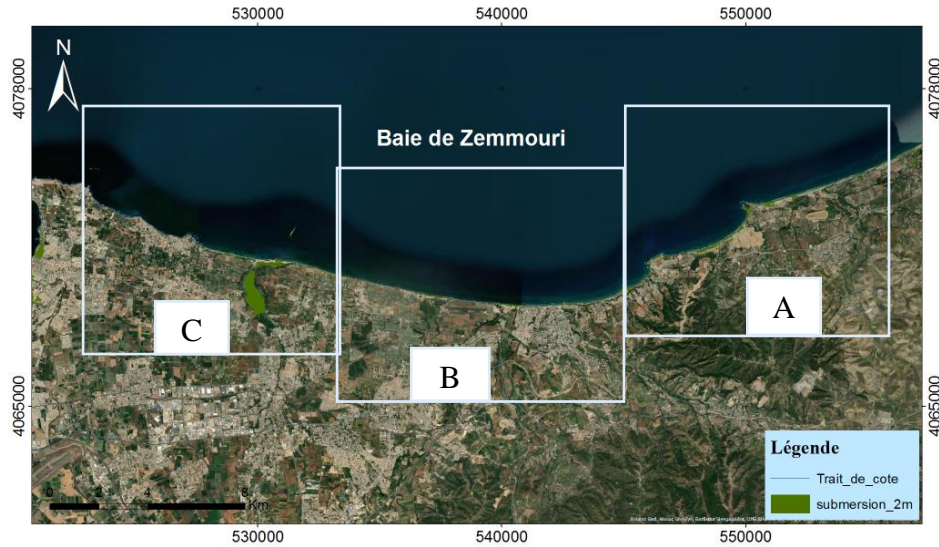


Figure 75: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie de Zemmouri.

➤ **La baie d'Alger**

Pour un niveau d'inondation minimum de 2m (Figure76), les zones urbanisées seront les plus affectées surtout dans le secteur Est (Bordj El Kiffen) .Puis vient la zone portuaire du secteur Ouest d'Alger qui sera totalement inondée. Le réseau hydrographique (Oued El Hamiz et Oued El Harrach) est aussi touché par ce niveau d'inondation.

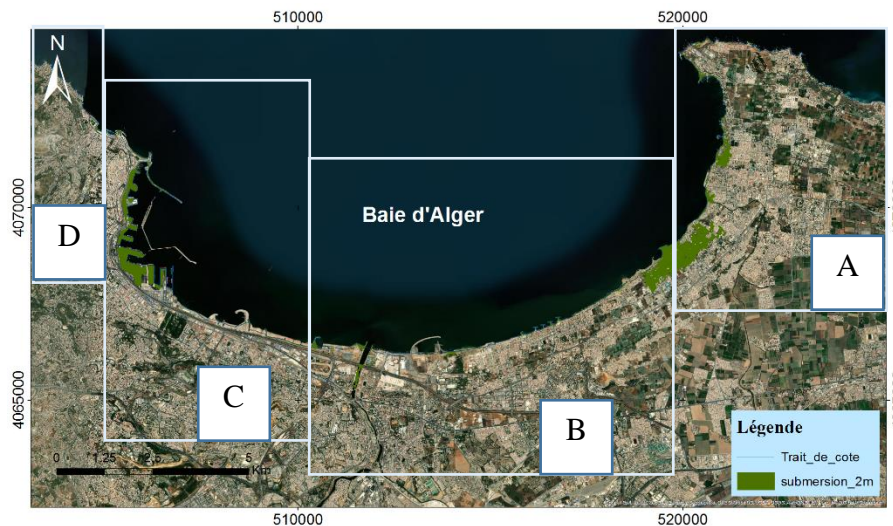


Figure 76: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie d'Alger.

➤ La baie de Bou Ismail

La figure 77 illustre l'inondation potentielle par un niveau de 2 m de la baie de Bou Ismail, touchant essentiellement les zones près de rivage tel que les plages (plage palm Beach, la plage Sidi Fredj Est et Ouest...) et les installations portuaires (port Sidi Fredj), ainsi que les réseaux hydrographiques seront affectés par ce niveau d'inondation, notamment, oued Mazafran qui sera quasi-totalement submergé.

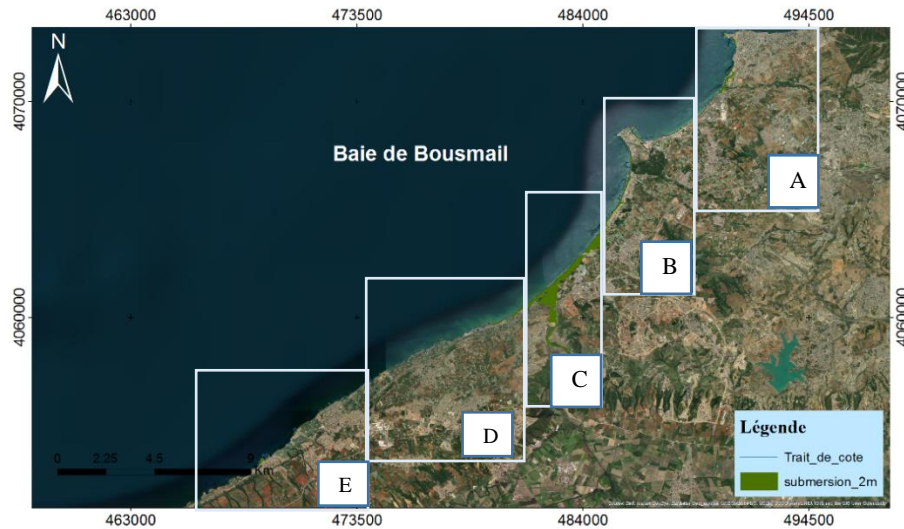


Figure 77: Carte représentatif de la submersion marine scénario 2m de la baie de Bou Ismail.

2.1.4. Scénario 5m

➤ La baie de Zemmouri

La figure 78 illustre l'inondation potentielle par un niveau de 5m de la baie de Zemmouri, les zones de la côte touchant par ce niveau sont essentiellement les terres agricoles, les plages, les dunes et les zones urbanisées, ainsi que les réseaux hydrographiques seront affectés par ce niveau d'inondation, notamment, oued Corso, oued Boudouaou et oued Reghaia qui seront totalement affectés par ce niveau d'inondation.

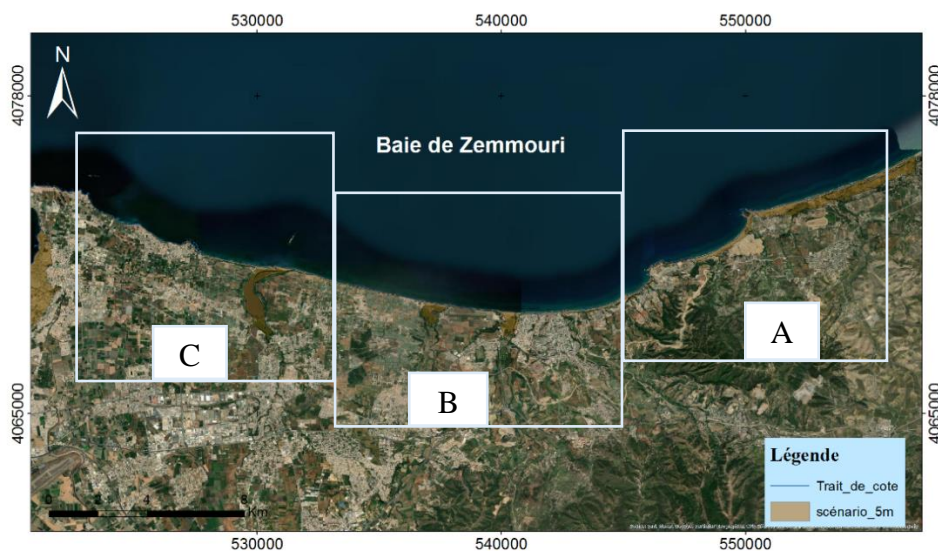


Figure 78: Carte représentatif de la submersion marine scénario 5m de la baie de Zemmouri.

➤ La baie d'Alger

La figure 79 montre les zones de la côte de la baie d'Alger qui seraient inondées pour le niveau de 5 m. l'inondation par ce scénario affectant les zones urbanisées, où se manifeste une inondation importante au niveau de la zone Bordj El Bahri, puis vient la zone portuaire d'Alger, aussi les zones industrielles et les complexes touristiques seront touchés par ce niveau d'inondation, par ailleurs, oued El Harrach sera totalement submergé lors d'une inondation pareille.

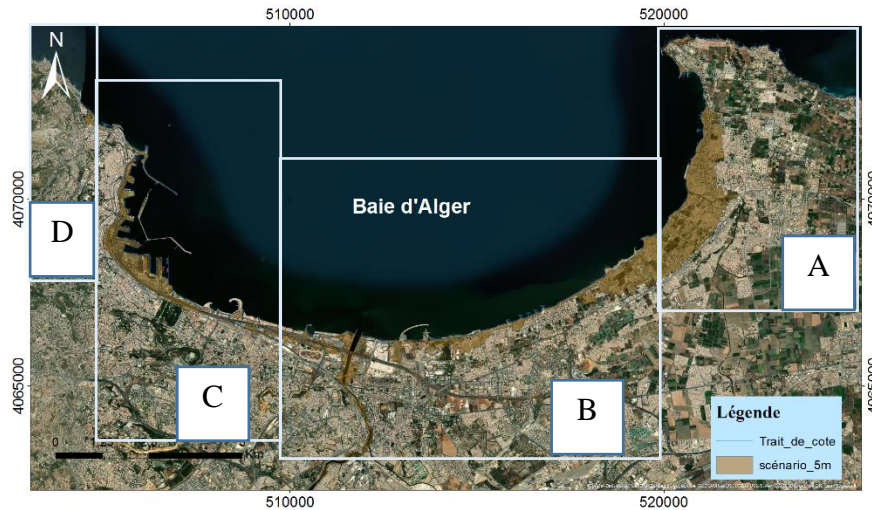


Figure 79: Carte représentative de la submersion marine scénario 5m de la baie d'Alger.

➤ La baie de Bou Ismail

D'après la figure 80, les zones de la côte de la baie de Bou Ismail subiront une inondation totale par le niveau 5 m. Les terrains les plus touchés par ce niveau sont essentiellement les plages et les dunes, les terres agricoles, les zones urbaines seront aussi touchées par ce niveau d'inondation tel que de Zeralda et d'El Djamila, ainsi que les réseaux hydrographiques seront affectés par ce niveau d'inondation, notamment, oued Mazafran qui sera totalement submergé par ce niveau d'inondation.

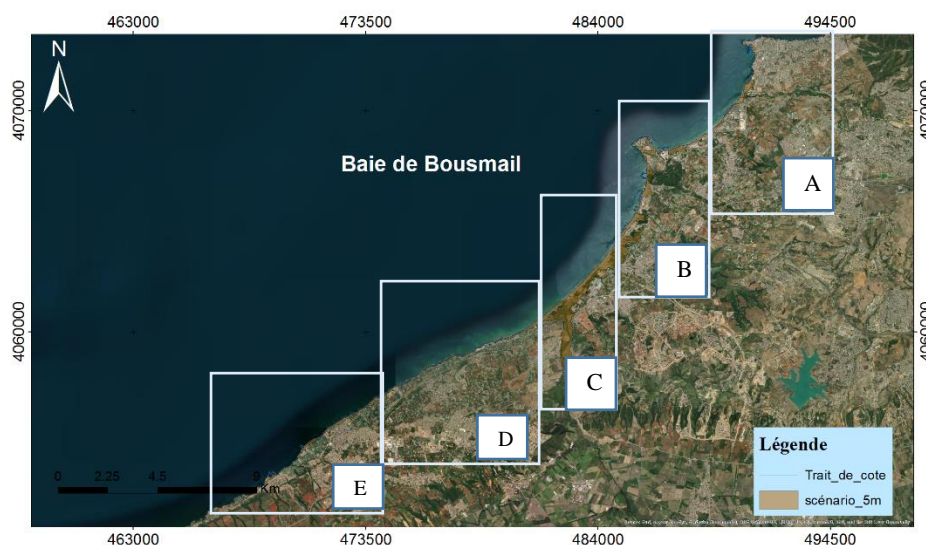


Figure 80: Carte représentative de la submersion marine scénario 5m de la baie de Bou Ismail.

2.1.5. Scénario 8m

➤ La baie de Zemmouri

A un niveau maximum d'inondation (8m) (Figure 81), la superficie des zones inondées sera importante. Les eaux marines pénètrent vers l'arrière-pays touchant totalement : les plages, les infrastructures portuaires et touristiques, les habitats, les terres agricoles et espaces verts. Ainsi que les réseaux hydrographiques notamment, Oued Isser, Oued Boumerdes, Oued Corso, Oued Boudouaou et Oued Réghaia qui sont beaucoup affecté par ce niveau d'inondation.

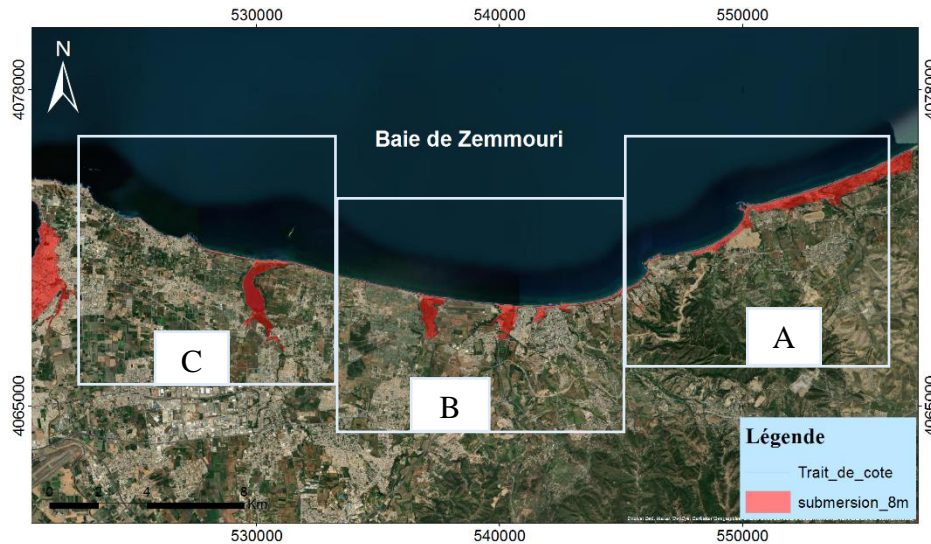


Figure 81: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie de Zemmouri.

➤ La baie d'Alger

Pour un niveau d'inondation de 8m (Figure 82), les zones urbaines côtières (Villes de Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri) seront les plus affectées par ce scénario. Puis vient la zone portuaire d'Alger qui sera totalement inondée. Le réseau hydrographique (Oued El Hamiz et Oued El Harrach) est aussi affecté complètement par ce phénomène d'inondation.

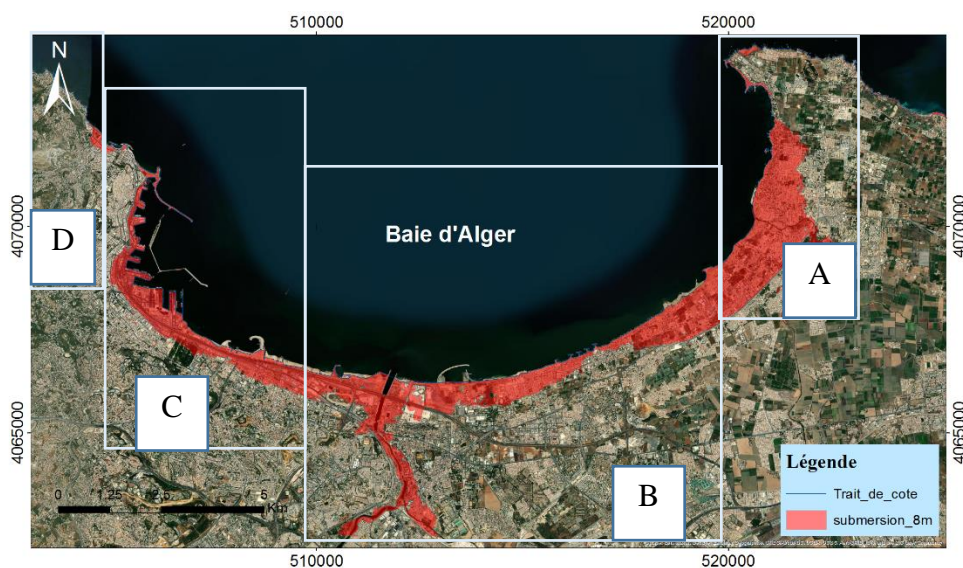


Figure 82: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie d'Alger.

➤ La baie de Bousmail

D'après la figure 83, les plages, les installations portuaires, les complexes touristiques de Zeralda, Sidi Fredj et les dunes seront les terrains les plus touchés par ce niveau de submersion de 8m. Ainsi que la zone urbaine côtière (Zeralda, Sidi fredj, Moretti et El Djamilia) et les terres agricoles et terres nu de Zeralda qui sera affectée par cette inondation.

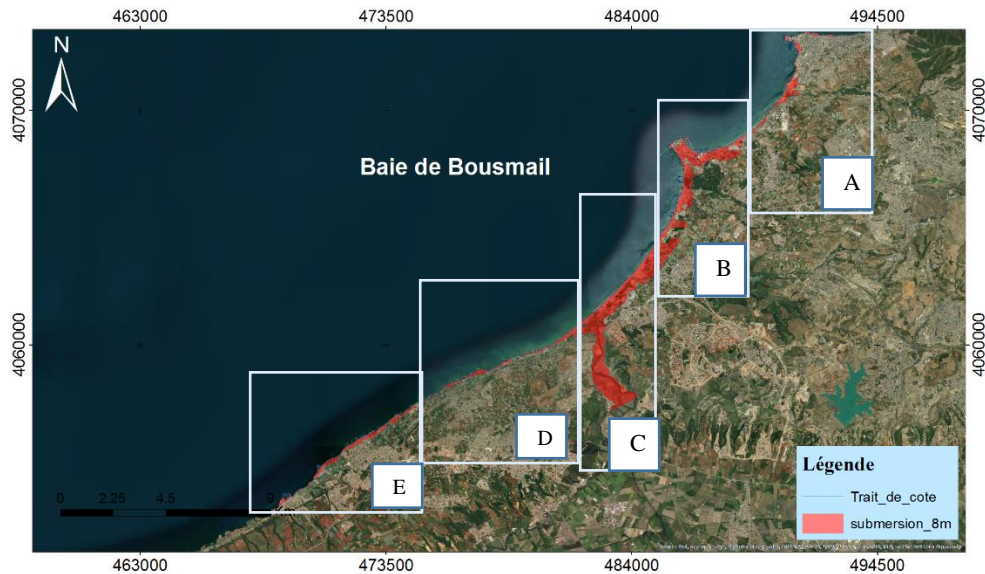


Figure 83: Carte représentatif de la submersion marine scénario 8m de la baie de Bou Ismail.

2.2. Les estimations des superficies des terres inondables

La procédée consiste à interpoler les courbes de niveaux à partir des cartes topographiques et à les confronter aux cotes des scénarios d'inondation (1m, 2m, 3m, 5m, 8m,). Ceux-ci ont été ensuite superposés à la carte d'occupation des sols. Ceci nous a permis :

D'évaluer les superficies susceptibles d'être potentiellement perdues par submersion, appréhender les zones les plus exposées et représenter les facteurs de risque d'inondation des différentes unités cartographiques identifiées.

Chapitre V Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face à la submersion marine

Tableau 18 : Superficies inondées dues à la submersion marine de la métropole (scénario 1m, 2m, 3m, 5m et 8m).

	1m (ha)	2m (ha)	3m (ha)	5m (ha)	8m (ha)
Bâti	16.73	111.28	271.23	640.85	1161.19
Espace vert	3.91	70.43	103.36	217.31	385.04
Infrastructure de protection	26.86	98.55	142.33	158.90	161.34
Côte rocheuse	21.87	34.07	42.61	53.63	62.42
Patrimoine et hébergement Touristique	2.14	13.23	33.55	103.70	176.40
Plage	145.97	225.87	276.38	325.85	338.95
Terrain nu	17.17	65.35	132.49	247.82	367.45
Terre agricole	19.48	77.36	178.10	450.57	765.08
Zone humide	3.97	101.67	107.59	137.24	144.30
Totale	258.1	797.81	1287.64	2335.87	3562.17

Il ressort de cette analyse de la perte des terres due à l'inondation marine dans la métropole et qui sont représentés dans le tableau 18, et les figures 84, 85, 86 et 87 ; que :

- Les inondations potentielles les plus importantes pour les scénarios d'un niveau minimum (1m ; 2m) toucheraient les plages avec des superficies d'environ 200 ha de la métropole, cependant les Infrastructures de protection avec une superficie de 90 ha, ou le cordons dunaires, Patrimoine et hébergement touristique, ont été détruits.
- A des scénarios d'un niveau moyennement élevé d'inondation (3m, 5m), la superficie inondée passera de 100 ha à 300 ha, touchant: les terres agricoles terre nu et espace vert, les zones urbanisées et tous ce qu'est bâti avec une superficie d'environ 600 ha.
- Pour le niveau maximum d'inondation (8m) la superficie des zones inondées passera les 100 ha pour tous ce qu'est zone humide, plages et infrastructures de protection. Tandis que les terres agricoles, terrain nu et les espaces vert sont les plus touchées par ce niveau avec une perte qui dépasse les 200 ha. Alors que tous ce qu'est bâti sera presque quasiment inondé avec des superficies qui dépassent les 1000 ha pour toute la métropole.

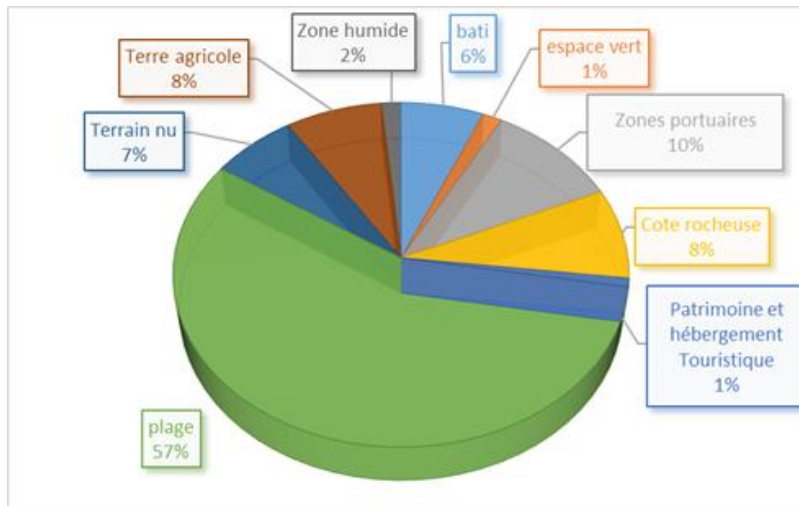


Figure 84: circuit relative des superficies inondées (scénario 1m).

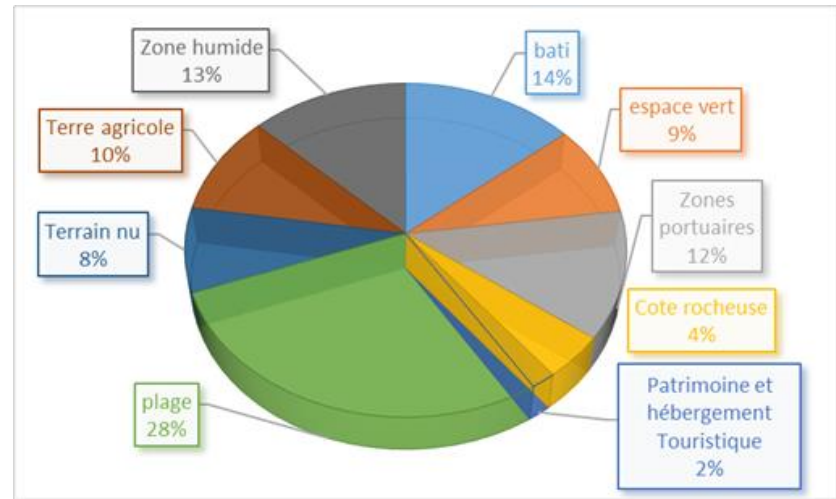


Figure 85: circuit relative de superficies inondées (scénario 2 m).

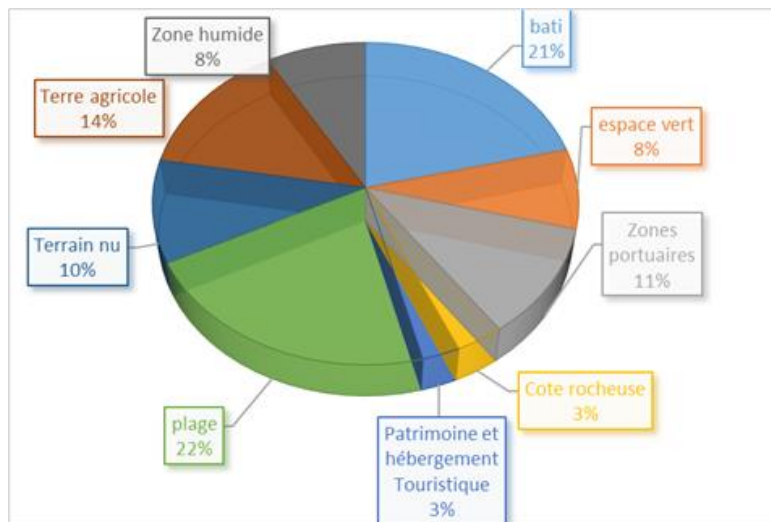


Figure 86: circuit relative de superficies inondées (scénario 3m).

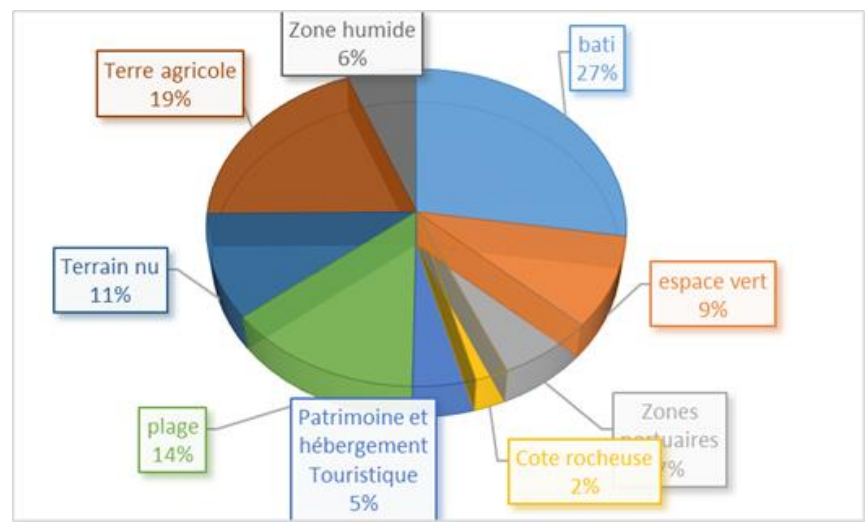


Figure 87: circuit relative de superficies inondées (scénario 5m).

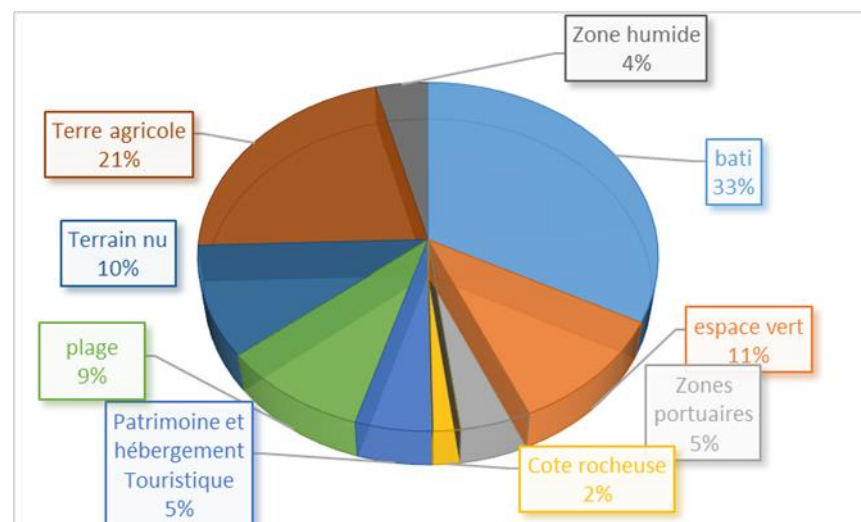


Figure 88: circuit relative de superficies inondées (scénario 8 m)

Conclusion

Les résultats de notre étude de la modélisation de submersion marine et des pertes des terres ont permis de définir les risques de ce phénomène :

- Le recul mécanique du trait de côte par la remontée du niveau des eaux pourra entraîner l'attaque d'aménagements ; cordons dunaires, patrimoine, hébergement touristique et infrastructures pour différents niveaux de remontée d'eau.
- Si la ligne de rivage est fragile, les dommages seront importants sur les équipements, aménagements urbains existants ;
- L'eau remontera plus loin dans les oueds dont les embouchures ne sont pas fermées par une flèche sableuse.

Conclusion générale

Conclusion générale

La zone littorale se trouve à l'interface entre la mer, le continent, l'atmosphère (**Carter, 1988**), et parfois les fleuves et les infrastructures humaines. Ces environnements sont contrôlés par l'interaction de multiples processus physiques très complexes entre les sédiments et le fluide (**SPM., 1984**) évoluant de l'échelle géologique jusqu'aux étroites interactions qui existent entre le fluide et le sédiment (**Van Rijn, 1986**) mais aussi des processus climatiques et anthropiques intervenant à des échelles temporelles et spatiales diverses, la compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires. (**Dalila, 2014**).

L'objectif principal de cette étude était de contribuer à la compréhension des impacts des changements climatiques qui affectent notre zone d'étude, aussi de comprendre les processus hydrosédimentaires et l'interaction terre-mer à travers ces processus, par l'utilisation des différents types de données avec un ensemble des moyens et des techniques, particulièrement les outils de modélisation, pour bien cerner la relation existante entre la dynamique et la morphologie qui évolue sur une échelle spatio-temporelle.

- En premier lieu, nous avons commencé par un contexte général, dans lequel, on a abordé quelques notions et des approches générales qui portent des caractérisations concernant la notion de littoral, le forçage hydrodynamique, l'intervention humaine qui affecte la zone côtière.
- La deuxième partie, on s'est intéressé à définir le site choisi avec sa situation géographique régionale et local, aussi en terme des différents aperçus : géographie, géologique, géomorphologique, hydrologique, climatologique, océanographique.
- La troisième partie, on s'est intéressé seulement à une étude de l'hydrodynamisme et la modélisation numérique de la réfraction de la houle, champs des courants et capacité de transport solide par les modèles couplés de Mike 21/3 coupled Model FM, qui nous ont permis de déterminer la direction des houles dominantes, des courants côtiers et le sens de transit sédimentaire et quantifier ce déplacement en relation avec l'hydrodynamisme en présence d'ouvrages de protection. Cette étude montre que :

- ✚ La baie de Zemmouri est exposée à un régime de houles de différentes directions, où les houles de direction Nord-Ouest sont les plus fréquentes, elles atteindront la côte avec une hauteur significative variant entre 0.2 m à 1.5 m, engendrent des courants avec une vitesse de l'ordre de 0.5 m/s qui transportent les sédiments vers le large. Les houles de secteur Nord (360°) ont presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction Nord-Ouest (315°). Les houles (45°) Nord –Est engendrant une dérive de littorale parallèle à la côte avec des vitesses variant entre 0,08 et 1,2 m/s et des courants de retours dans le sens opposé qui permettent de transporter des quantités de sédiments de l'ordre de 6244.15 m³/an/m, de l'Ouest vers l'Est et vers le large aussi.

Conclusion générale

- ✚ La baie d'Alger soumise à une houle énergétique arrive de secteur Nord-Est (45°), elle arrive à la côte avec des vitesses variant 0.4m à 1.8m, cette houle génère des courants de dérive littorale ne dépassent pas 0,9 m /s et des courants de retours qui induisent le transport sédimentaire avec des quantités de l'ordre de 9453.25 m³/an /m. Ce transport conduit à une oscillation entre accrétion et érosion au niveau des plages sableuse de la baie d'Alger, avec un départ de sédiments vers le large.

- ✚ La baie de Bou Ismail subit une propagation des houles de direction Nord-Est (45°) qui sont dominantes, elles atteignent la côte avec des hauteurs significatives variant entre 0.17m à 2.7m, affectent les plages sableuses de cette baie.
Les champs de courants engendrés par les vagues, ont mis en évidence l'apparition d'un courant de dérive littorale Est-Ouest généré par les houles provenant des secteurs Nord –Est (45°N), et Nord (360°N) avec une faible vitesse varie entre 0. 2m/s à 0.9m/s.
Le transit littoral, qui est généré par des houles de direction Nord-Est, le long de la baie, d'Est en Ouest ce qui conduit à des accumulations sableuse naturelle le long des ouvrages de protection, avec départ de sédiments vers le large avec des quantités de l'ordre de 9303.12 m³/an /m, qui favorise l'érosion au niveau des plages sableuse.

- La quatrième partie met en évidence une étude de la cinématique du trait de côte à une échelle pluriannuelle (de 1972 à 2020), associée par une étude provisionnelle de 2020 à 2100, par l'utilisation de l'outil DSAS, qui repose sur une analyse des tendances d'évolution surfacique du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation à partir de calculs statistiques notamment le (NSM, LRR et l'EPR), qui s'est conclu avec les résultats suivants :
 - ✚ Une distance de recul de -42.24 m avec une vitesse d'évolution -1.07 m/an pour la baie de Zemmouri,
 - ✚ Une distance de recul de 41.78 m avec une vitesse d'évolution 0.88 m/an pour la baie d'Alger,
 - ✚ Une distance de recul de -9.99 m avec une vitesse d'évolution -0.39 m/an pour la baie de Bou Ismail,

- Au cours de ces derniers 48 ans, ces résultats indiquent une alternance entre érosion et accrétion le long de la métropole algéroise, ces dernières nécessitent une surveillance continue au niveau du trait de côte pour mieux comprendre ces phénomènes.

- La cinquième partie est consacrée pour les simulations des phénomènes de submersions marines, où on a travaillé sur une proposition des scénarios d'élévation de niveau marin par (1m, 2m, 3m, 5m et 8 m), les superficies susceptibles d'être potentiellement inondées par ces scénarios sont d'environ 258.1 ha à un niveau d'inondation minimal de 1 m, 797.81 ha à 2m , 1287.64 ha à 3m , 2335.87 ha à un niveau d'inondation moyen de 5m et 3562.17 ha à un niveau maximal de 8m. Les résultats de cette étude montrent que cette proposition est une contrainte qui doit être forcément intégrée à la conception des aménagements côtiers de la métropole algéroise, compte tenu de la vulnérabilité des zones basses, des franges littorales et des plages.

Conclusion générale

Finalement, nous nous sommes rendues compte que le but d'un travail d'un mémoire ce n'est pas seulement limité à une collection des données plus fiable pour avoir des réponses concrètes mais le plus important c'est de bien comprendre, de tracer une méthode d'analyse et de traitement de ces données avec des simples outils, même si c'est d'une façon limitée, et d'essayer de bien transmettre le message pour pouvoir au minimum contribuer aux problématiques actuelles.

Ce travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'études, nous a permis en premier lieu d'élargir nos connaissances sur la modélisation numérique des systèmes côtiers, de créer une base de

Données récentes qui pourront servir pour une étude future de la zone ou même pour les projets de fin d'études qui traitent le même sujet.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), 2003.

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.

BONNOT-COURTOIS C., LEVASSEUR J.E. (2002). Reconnaissance de la limite terrestre du domaine maritime. Intérêt et potentialités de critères morfo-sédimentaires et botaniques. Rapport Ministère de l'équipement, CETMEF/RIVAGES, Laboratoire de géomorphologie et environnement littorale, 160 p.

BOUKHENNAF. M. A. (2016). Mise en place d'une base de données Littorale intégrées dans un SIG, application à la wilaya de Boumerdes. Mémoire fin d'étude. [Mémoire d'ingénieur en Gestion et Surveillance du Milieu Marin et Littoral]. Dely Brahim. Alger: ENSSMAL, p. 53-54.

BOUNAB.B, CHAMBLIM, 2016. Processus morfo-sédimentaire et évolution multi-échelle de la plage Front de mer de la ville de Boumerdès. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p 35-36 .

CALAFAT. F.M., GOMIS. D (2009). Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945-2000. *Global and Planetary Change*, 66(3-4), 225-234 19.

CARIOLET, J.-M. and S. SUANEZ. (2009). Approche méthodologique pour une cartographie du risque de submersion des côtes basses. *Houille Blanche-revue Internationale De L'Eau - HOUILLE BLANCHE*: 52-58.

CARIOLET, J.-M. (2011). Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne: vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météocéaniques et des paramètres morfo-sédimentaires. Thèse de doctorat. *Océanographie physique*. France : Université de Bretagne occidentale-Brest. 247 p.

CARTER R, W, G. (1999). Coastal Environments, an introduction to the Physical, Ecological and Cultural systems of coastlines. Academic Press. San diego: 617 pages.

COJAN, Isabelle. , RENARD, Maurice. (2013). Sédimentologie (3e édition).N°3. Paris: Dunod.p.100-220.

COWELL P, J and THOM B, G. (1994). Morphodynamics of coastal evolution, (eds): R. W. G. Carter and C. D. Woodroffe. , Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme De MASTER en Géoscience Marine Et Génie Côtier. Beb Ezzouar. Alger: U.S.T.H.B, p.36-37.

DE VRIEND, HUIB. J. (1991). Sea-level rise and shore nourishment: a discussion. *Coastal Engineering*. Vol. 16, n° 1, p. 147-163.

Références bibliographiques

DENAMIEL, C. (2006). Modélisation hydrodynamique 3D en zone pré-littorale : Caractérisation des effets des houles de tempête sur la circulation océanique [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers. Montpellier : l'Université Montpellier 2. Disponible sur le web <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00680405v2/document>.

DHI (2014). MIKE 21 Spectral Wave Module. Scientific Documentation [En ligne]. [consulter le 14/06/2020]. Disponible sur le Web : www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf.

DHI (2014). MIKE 21/3 Couple Model FM. Disponible sur le web : www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf.

DHI (2014). MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Scientific Documentation. Disponible sur le web : www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf.

DJOUDER, F. (2018). évaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer méditerranée sur le littoral du Golf de Bejaia. Thèse de doctorat. Beb Ezzouar. Alger. Thèse de doctorat en Géomorphologie. USTHB, p:1-2.

DJOUDER, F., BOUTIBA, M. (2017). Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 10, no 14, Springer, 299 p.

DOMZIG, Anne. (2006). Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale. Brest.

FAYE, IBRAHIMA. (2010). Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes [En ligne]. Thèse de doctorat. Géographie. Bretagne : l'Université de Bretagne Occidentale. Disponible sur le web: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00472200/pdf/dynamique-du-trait-de-cote-en-afrique-del_ouest-mauritanie-guinee-bissau-volume1.pdf.

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] [Consulter le 4/9/2020]. *Journal of Coastal Research*, JSTOR, 188–204 p. Disponible sur [«https://www.jstor.org/stable/4298321»](https://www.jstor.org/stable/4298321).

HASLETT S, K. (2000). Coastal systems, Routledge, London, p. 218

HENAFF, A. MANUELLE, P 2014. Gestion des risques d'érosion et de submersion marine. In : Guide méthodologique. P.153.

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).

KHEDIMI, F., ABDERRAHMANI, K. (2008). Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de télédétection, Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 69 p.

Références bibliographiques

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.

LEM. (1996). Expertise pour l'étude de protection de rivage du site est de la baie d'Alger Document non publié. Alger: Laboratoire des études maritimes.

LEO C. VAN RIJN. (2000). Principles of coastal morphology, Aqua Publications.

MADI, F. (2009). Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines (Cas : la baie d'Alger), Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 82 p.

MAOUCHE S., MORHANGE C., MEGHRAOUI M., (2009). Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean, *Marine Geology* 262, 1-4, p. 96.

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

MECHOUET, O. (2016). Aménagement de la promenade de la baie d'Alger : étude sur modèle réduit physique le transport sédimentaire dans la promenade des Sablettes « baie d'Alger ». Mémoire fin d'étude. Mémoire d'ingénieur en Aménagement du littoral. Dely Brahim. Alger: ENSSMAL, p. 74-75.

MEEDDAT : ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

MEYSSIGNAC. B et al. (2010). Two-dimensional reconstruction of the Mediterranean sea level over 1970– 2006 from tide gage data and regional ocean circulation model outputs. *Global and Planetary Change*, 77(1-2), 49-61 20.

MOHAMMED, N. (2016). Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire fin d'étude. Mémoire d'ingénieur en Aménagement du littoral. Dely Brahim. Alger: ENSSMAL, p. 88-89.

ONM .Office National de la Météorologie. Recueil de perturbations atmosphériques extrêmes en Algérie. *Journal de météorologie*.

OUZIDA, F. MERROUCHE, A. (2019). Etude de l'érosion côtière à partir des images Satellitaire (cas de littorale de Zemmouri). Mémoire de projet de fin d'étude. [Mémoire de projet

SABATIER, F. (2001). Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône. Thèse de doctorat. Géosciences de l'environnement. Marseille : Université d'Aix-Marseille III, 272 p.

Site des observations météorologiques. [En ligne]. [Consulter le 24 /09/2020]. Disponible sur le web : <https://rp5.ru> .

STÉPANIAN, A. (2002). Evolution morphodynamique d'une plage macro tidale à barres: Omaha beach (Normandie). Thèse de doctorat. Caen. Caen : Université de Caen, P. 22-23.

Références bibliographiques

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.

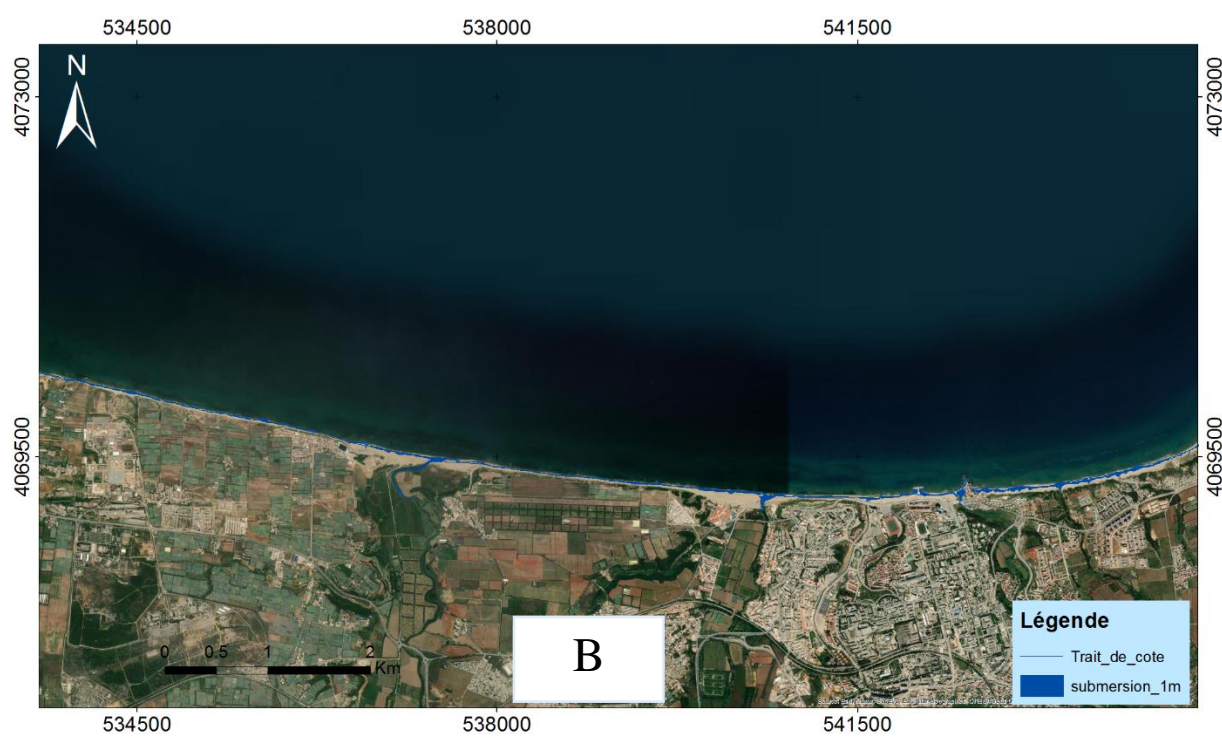
SWIFT D.J.P., NIEDORODA A.W., VINCENT C.E., HOPKINS T.S. (1985). Barrier island evolution, Middle Atlantic Shelf, U.S.A. Part I: Shoreface dynamics. *Marine Geology*, 63, 361-383.

THAN, V. (2015). Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens [En ligne]. [Consulter le 04/07/2020]. Thèse de doctorat. Mathématiques. Marseille : l'Université d'Aix Marseille. Disponible sur le web: <http://www.theses.fr/2015AIXM4736>.

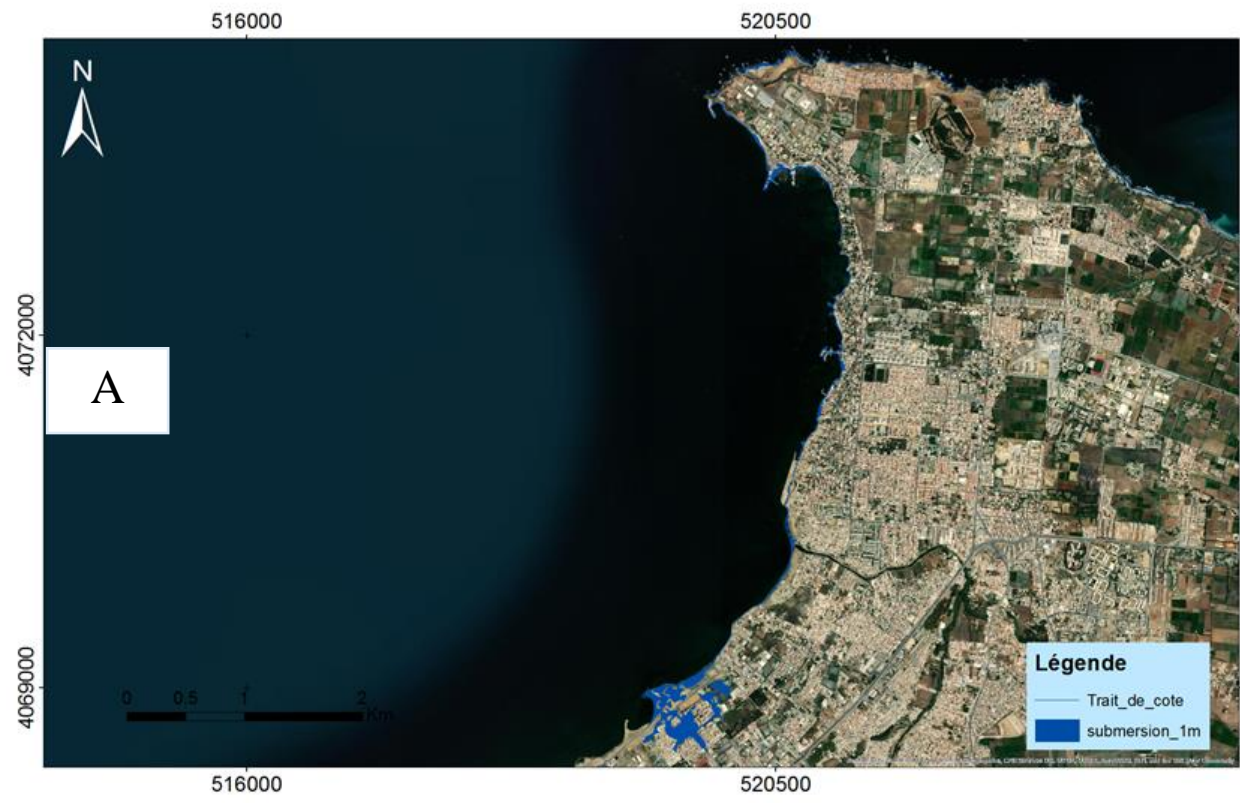
TSIMPLIS. M.N et al. (2013). The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 944-952

WRIGHT, L.D., THOM, B.G. (1977). Coastal depositional landforms: a morph dynamic approach. *Progress. Physical Geography*. vol.1, n°1(3), p. 412-459.

Annexes

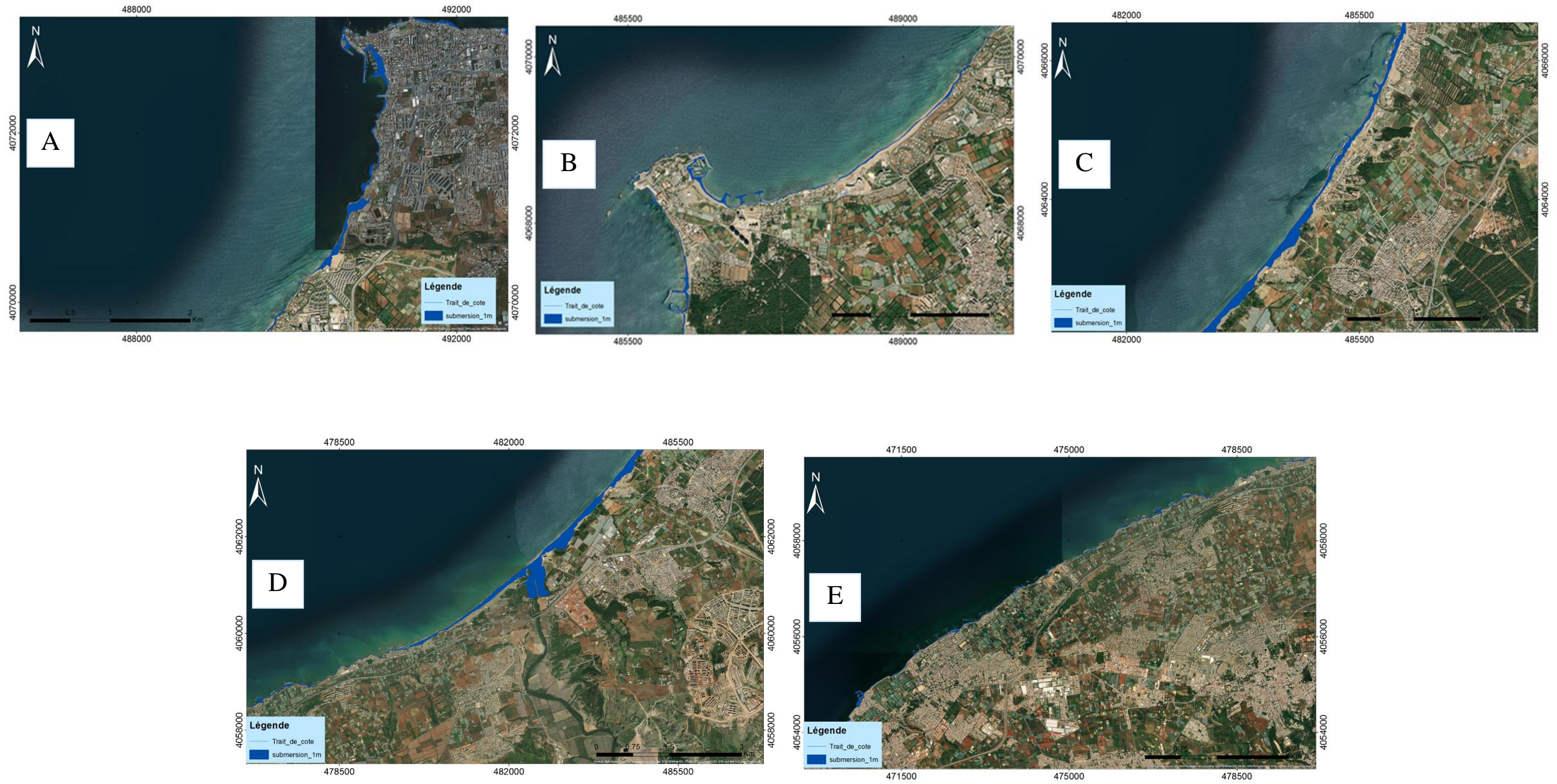


Annexe 1 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 1m de la baie de Zemmouri.

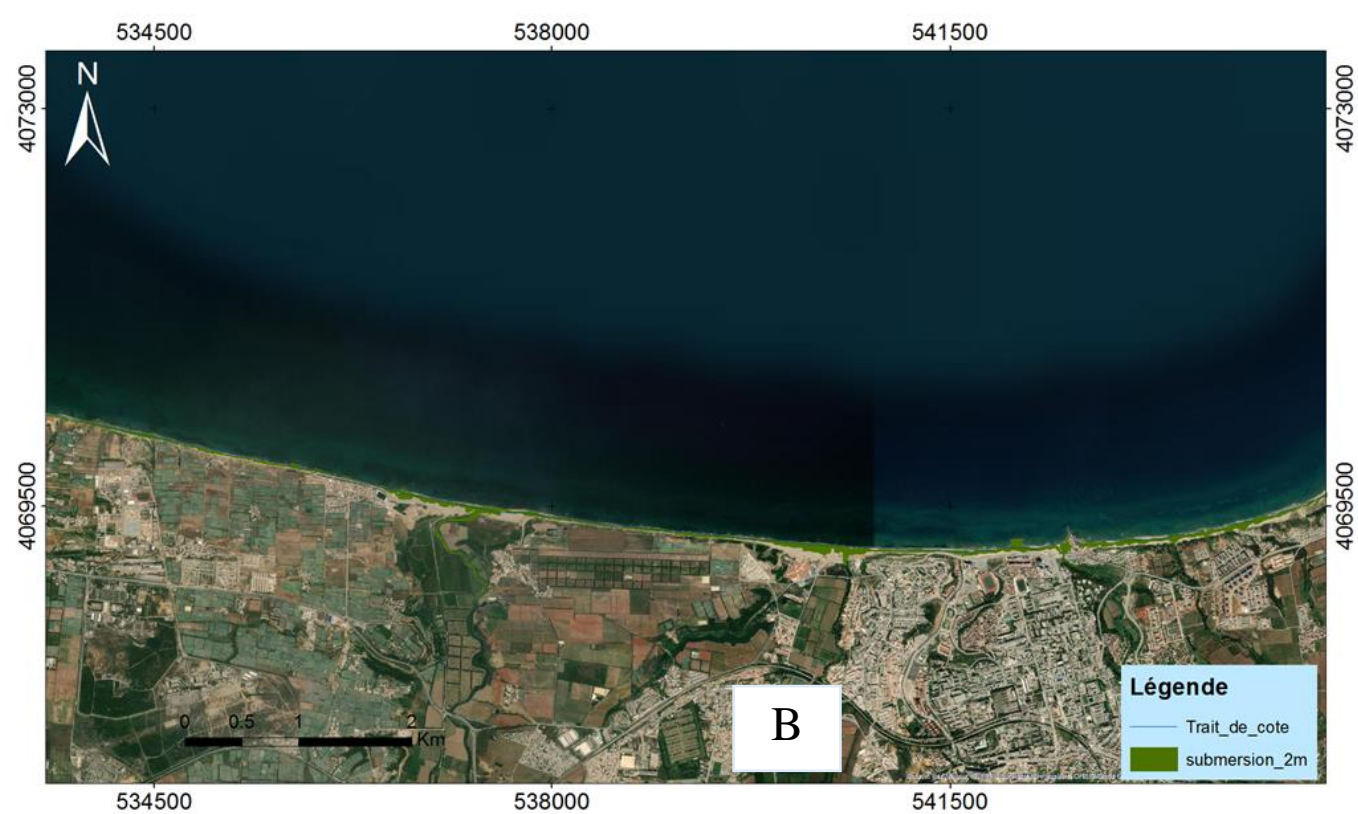


Annexe 2 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 1m de la baie d'Alger.

Annexes



Annexe 3 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 1m de la baie de Bou Ismail.

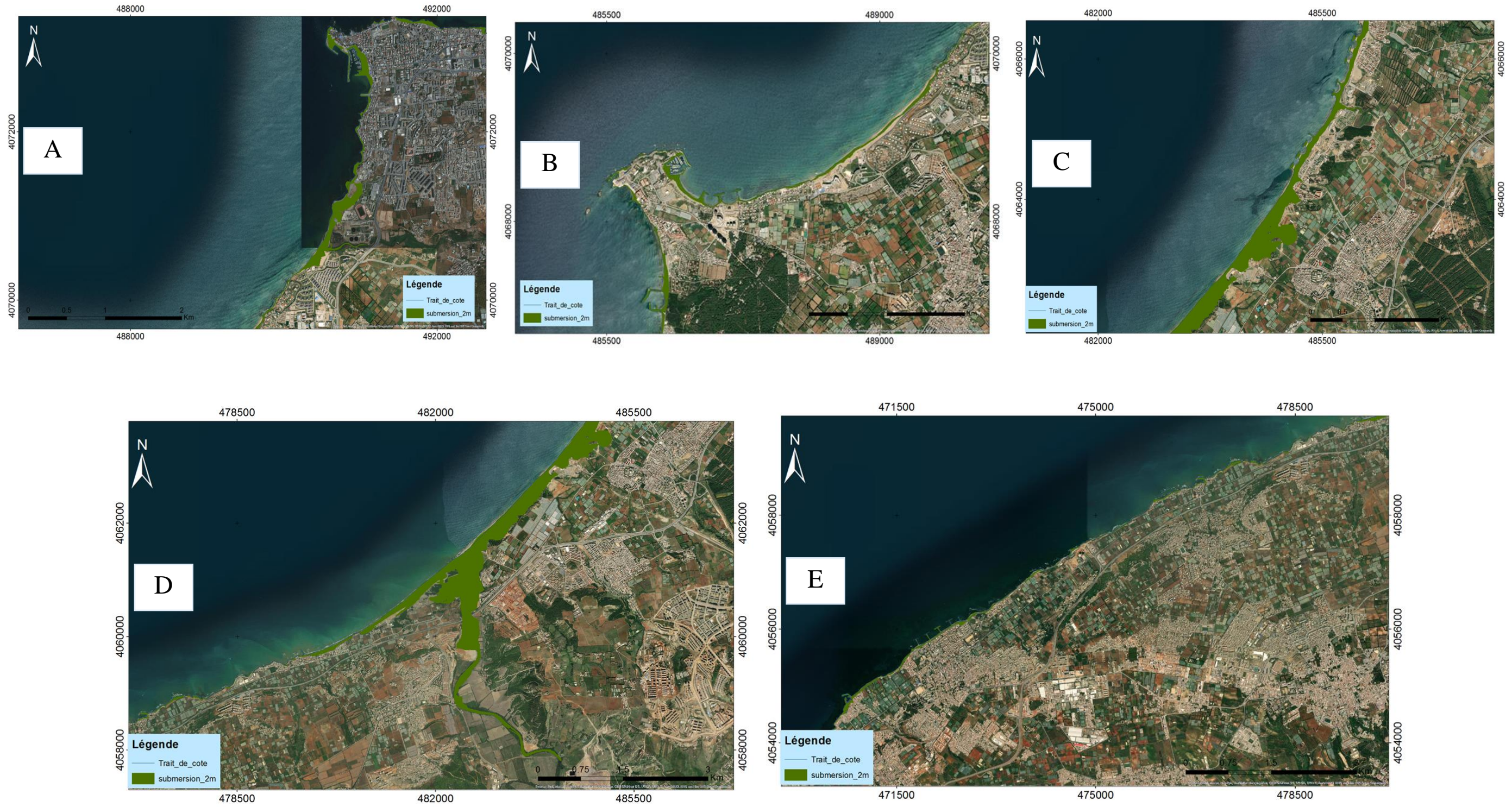


Annexe 4 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 2m de la baie de Zemmouri.

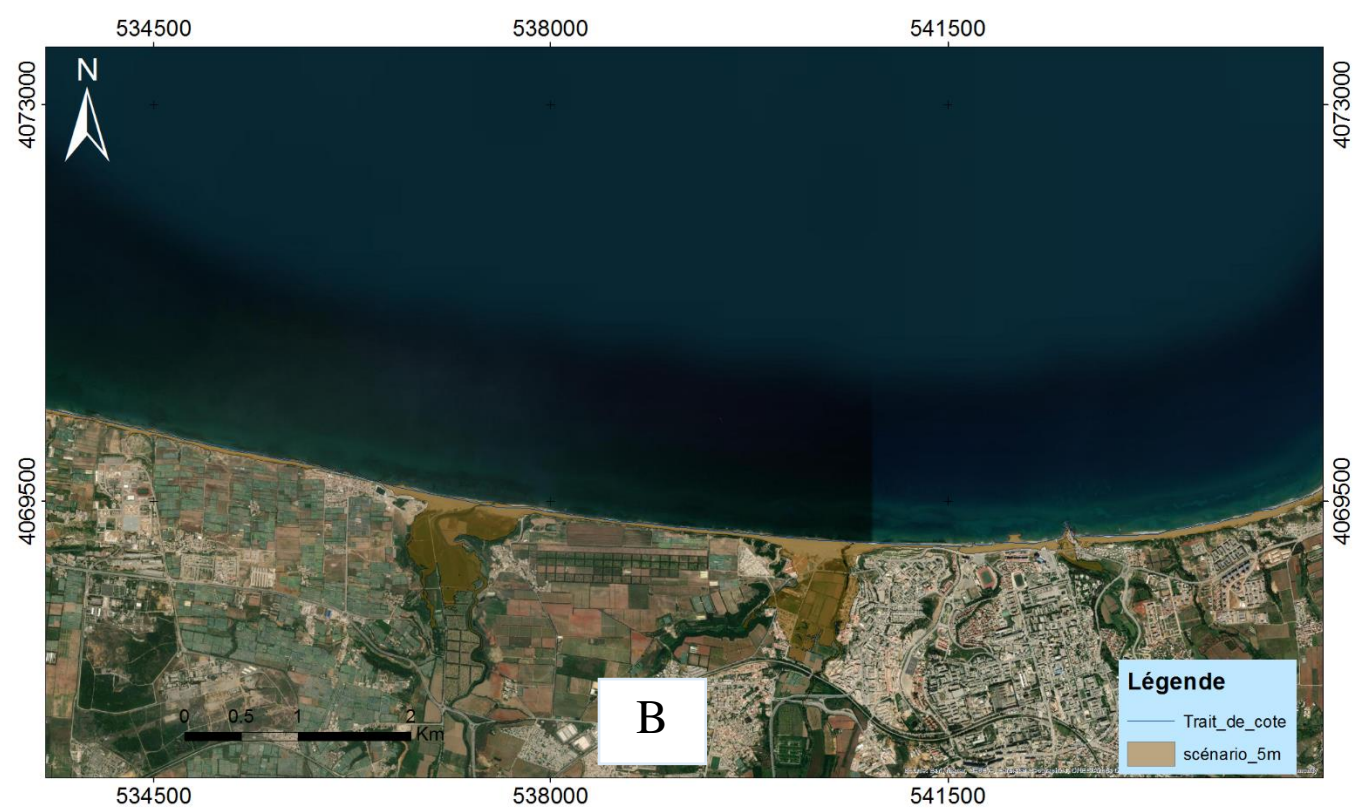


Annexe 5 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 2m de la baie d'Alger.

Annexes



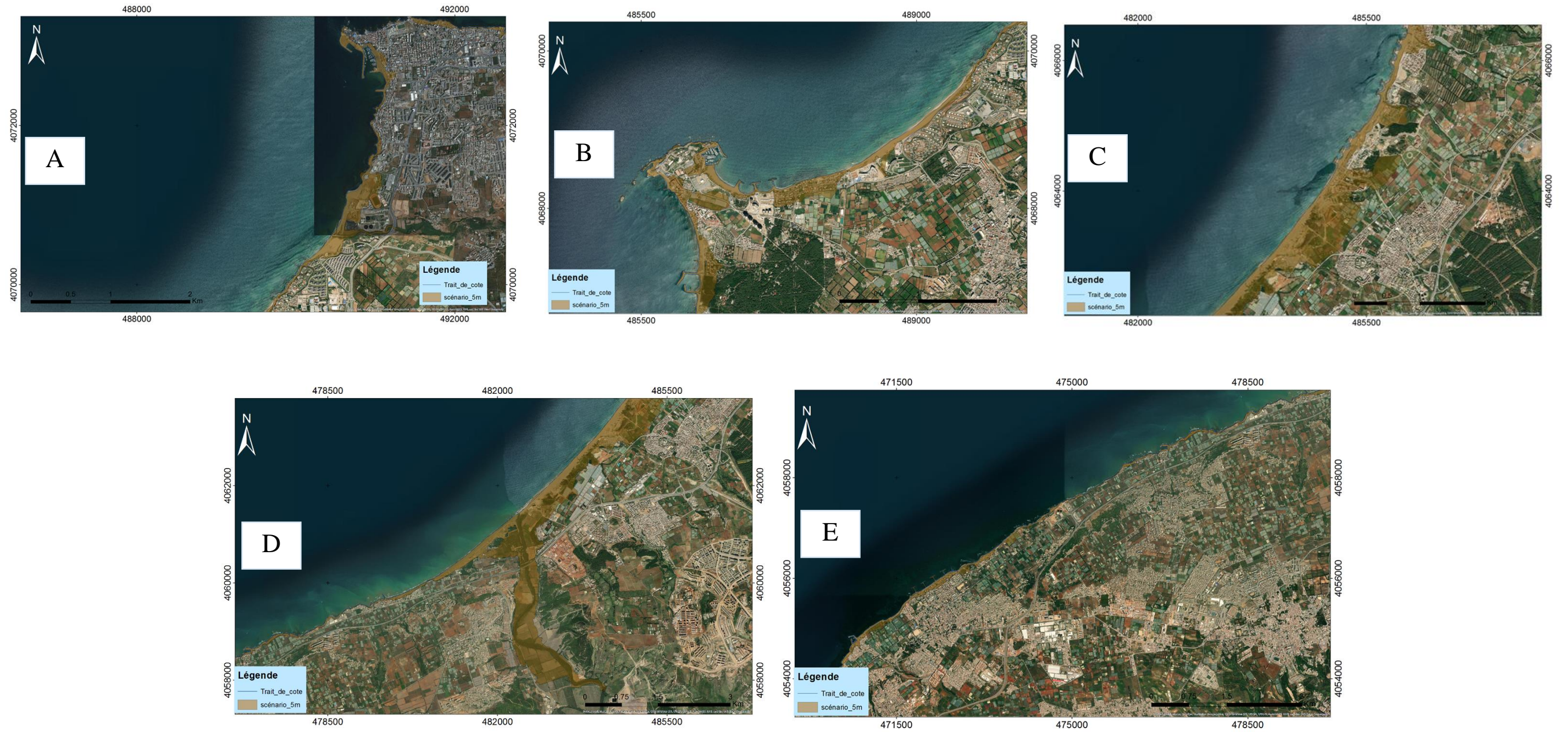
Annexe 6 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 2m de la baie de Bou Ismail.



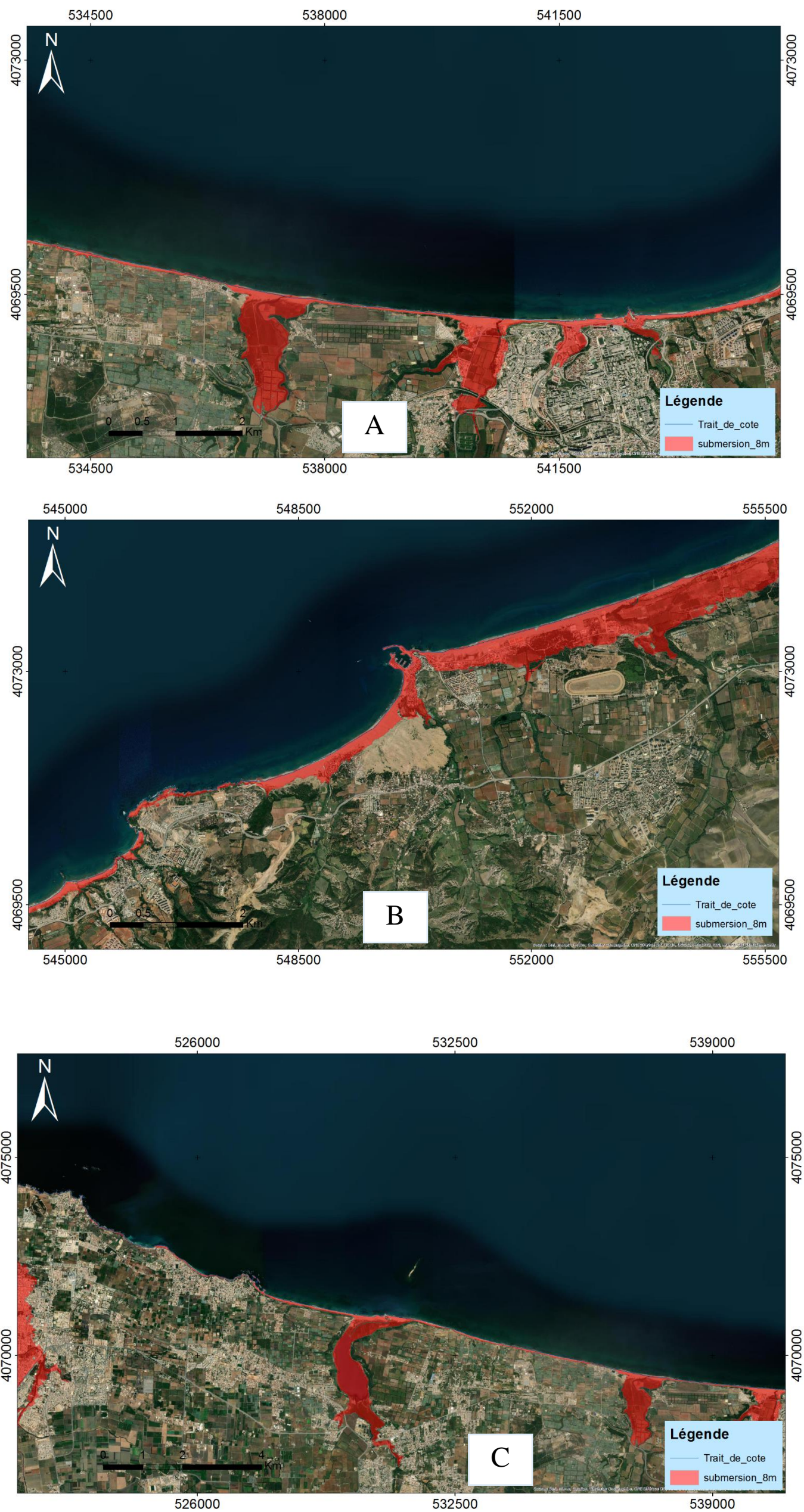
Annexe 7 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 5m de la baie de Zemmouri.



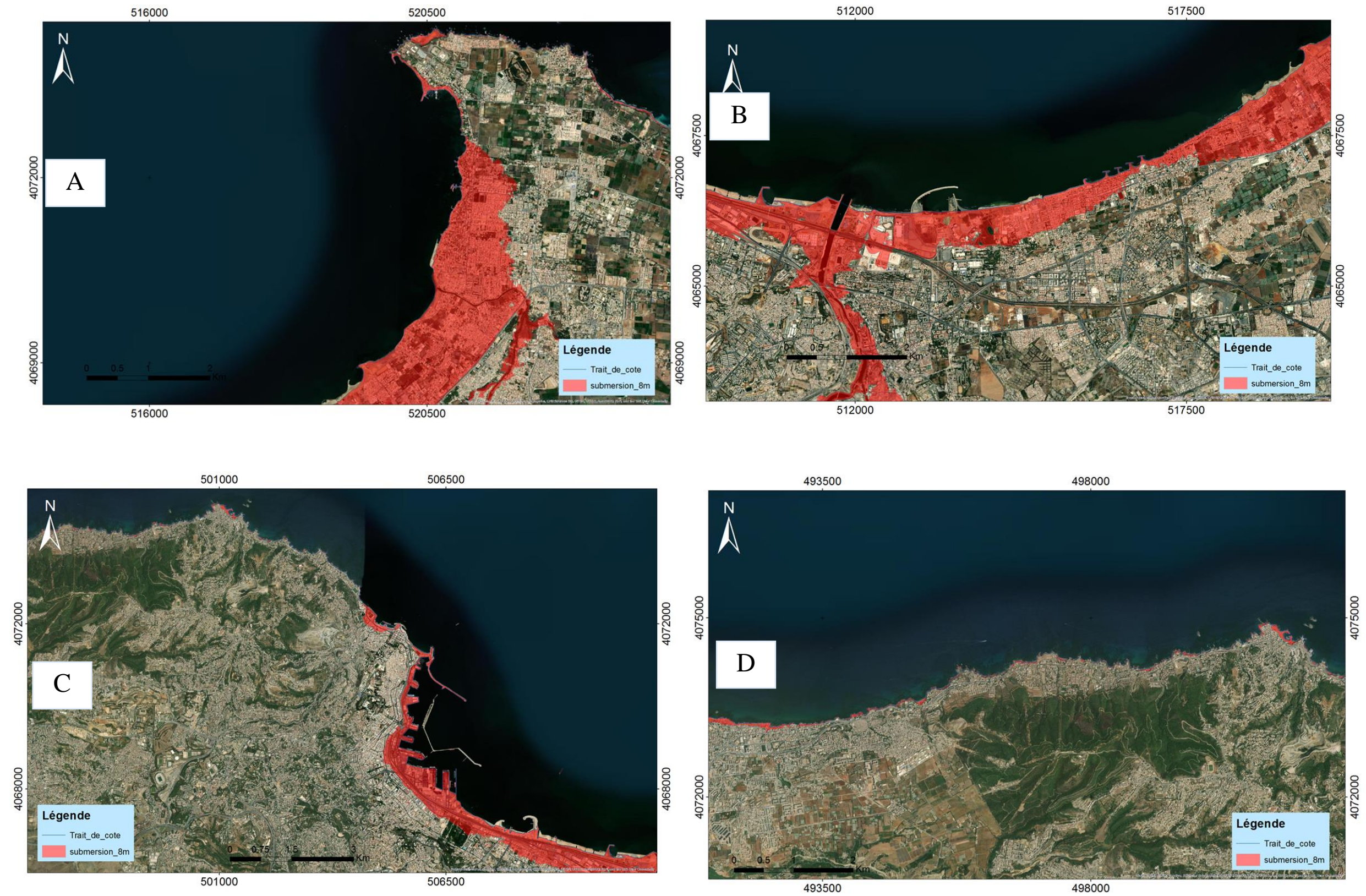
Annexe 8 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 5m de la baie d'Alger.



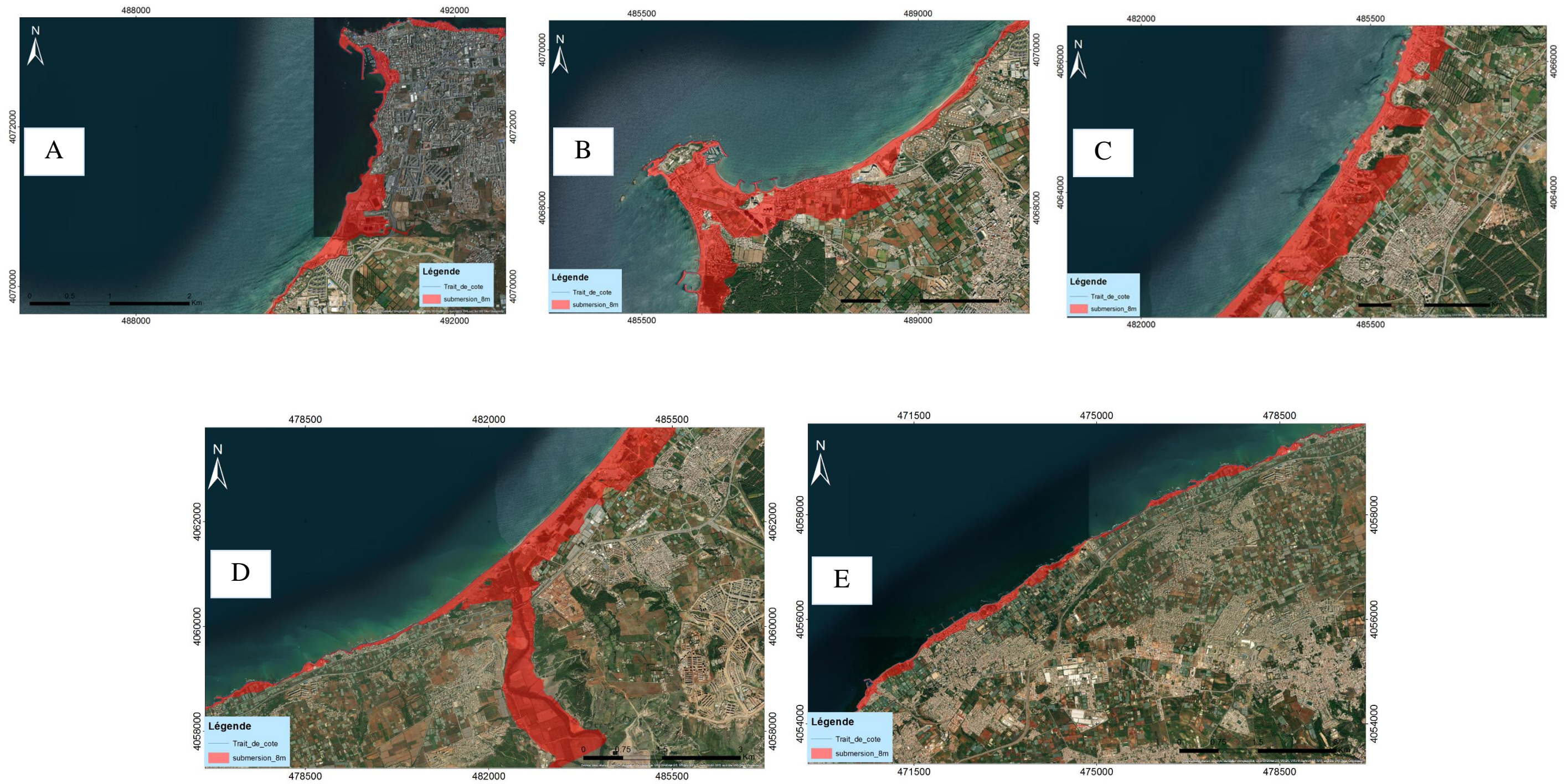
Annexe 9 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 5m de la baie de Bou Ismail.



Annexe 10 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 8m de la baie de Zemmouri.



Annexe 11 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 8m de la baie d'Alger.



Annexe 12 : Cartes représentatifs de la submersion marine pour un scénario de 8m de la baie de Bou Ismail.

Résumé

Aujourd'hui, la façade maritime algérienne, à l'instar des littoraux méditerranéens qui est exposée aux impacts de changement climatique et d'élévation du niveau moyen de la mer, tels que les phénomènes d'érosion et de submersion marine. Il a été constaté que le phénomène d'érosion affecte l'ensemble des plages sableuses existantes, où 80 à 85% subissent des situations d'amaigrissement, tandis que, près de 10% seulement sont en état de stabilité, cela est dû aux processus hydrosédimentaire.

1287.64 ha des terres subissent un risque d'inondation par un niveau d'élévation d'eau moyen de 3m. Cependant, il a été ressorti que le recul de trait de côte devient plus en plus perçu, avec un taux de recul moyen de l'ordre de -0.39 m/an sur une échelle de 1972 à 2020. Pour cela on a consacré ce travail pour mieux comprendre l'impact de ces phénomènes sur notre zone d'étude à moyen et à long terme.

Mots clés : littorale, métropole algéroise, submersion marine, modélisation numérique, érosion, trait de côte, baie d'Alger, baie de Bou-Ismaïl, baie de Zemmouri.

الملخص:

اليوم، الواجهة البحرية الجزائرية، مثل كل سواحل البحر الأبيض المتوسط، تتعرض لتأثيرات تغير المناخ وارتفاع متوسط مستوى سطح البحر، وظاهرة الانجراف والغطس البحري. وقد لوحظ أن ظاهرة الانجراف تؤثر على جميع الشواطئ الرملية الموجودة، حيث يمر 80 إلى 85% من حالات تراجع، بينما ما يقرب من 10% فقط في حالة مستقرة، وهذا يرجع إلى عمليات الترسيب المائي.

1287.64 هكتار من الأرض معرضة لخطر الانجراف بمتوسط ارتفاع منسوب المياه 3 م. زيادة على ذلك، فقد تم الكشف عن أن تراجع الخط الساحلي أصبح ملحوظا أكثر فأكثر، بمتوسط معدل تراجع يبلغ حوالي -0.39 م / سنة على مقياس من عام 1972 إلى عام 2020. وبناءً على ذلك، خصصنا هذا العمل لفهم أفضل لتأثير هذه الظواهر على منطقة دراستنا على المدى المتوسط والطويل.

الكلمات المفتاحية: الساحل مدينة الجزائر العاصمة الغمر البحري، النمذجة العددية، التعرية، الساحل، خليج الجزائر، خليج بواسماعيل، خليج الزموري.

Abstract:

Today, the Algerian water front, like the Mediterranean coasts which is exposed to the impacts of climate change and rise in mean sea level. It has been observed that the phenomenon of erosion affects all existing sandy beaches, where 80 to 85% of are exposed to regressions, while only about 10% are in a steady state, and this is due to the processes of hydro sedimentary.

1,287.64 hectares of land are at risk of erosion, with an average water level of 3 meters. Moreover, it was revealed that shoreline retreat is becoming more and more noticeable, with an average rate of decline of about -0.39 m / year on a scale from 1972 to 2020. Accordingly, we devoted this work to a better understanding of the impact of these phenomena in the region. Our study is in the medium and long term

Keywords: coast, Algiers metropolis, marine submersion, numerical modeling, erosion, coastline, bay of Algiers, bay of Bou-Ismaïl, bay of Zemmouri.