

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

Étude et estimation des terres à risque par la submersion marine dans la région Ouest d'Alger

Présenté par :

Berkani Moussaab

Merzougui Salem Wajih

Soutenu le 14/ 07 /2021 devant le jury

M BELKESSA R.	Président (Professeur)	ENSSMAL
M OTMANI H.	Promoteur (MCB)	ENSSMAL
M^{me} KERAGHEL M.	Co promotrice (MCB)	ENSSMAL
M^{me} MEHDID S.	Examinatrice (MAA)	ENSSMAL
M FERNANE L.	Examineur (MAA)	ENSSMAL

2020-2021

Remerciements

Nous remercions en premier lieu nos parents, sans qui nous n'aurions jamais pu atteindre ce point dans nos vies.

Nous adressons notre gratitude et nos sincères remerciements à notre promoteur, Mr Otmani, pour son suivi ainsi que pour les conseils bienveillants qu'il nous a prodigués.

Nous tenons également à remercier notre Co-promotrice, Mme Keraghel, pour nous avoir soutenu, aidé et suivi tout au long de l'exécution de ce travail.

Sans oublier d'adresser nos plus vifs remerciements à Mr Sallaye et

Mr Aoui sans qui nous n'aurions pas pu atteindre nos objectifs.

Nous exprimons également notre gratitude à Mme Benallou Jmen, pour ses recommandations techniques et les conseils qu'elle nous a procurés.

Nos vifs remerciements sont destinés à nos chers collègues Brahim, Chmissa et Lina et Khadidja et Ahlem et Amira pour les informations qu'ils ont partagées avec nous et pour leur soutien et encouragements.

Toute notre reconnaissance aux enseignants de notre école, pour tous les efforts qu'ils ont consentis pour notre formation durant notre cursus.

Pour finir, nous remercions Mr Belkessa, Mme Mehdid et Mr Fernane qui nous font l'honneur de présider et d'évaluer notre travail.

Wajih, Moussaab

Dédicace

***Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour
dont nos parents ne cessent de nous combler. Leurs prières
nous ont été d'un grand secours pour mener à bien notre
parcours.***

***Que dieu leur procure bonne
santé et longue vie.***

A nos frères et nos sœurs.

A nos chers amis, à la team 'L3AYLA'

et surtout notre promotion GPL sans exception.

***A tous ceux qui, par un mot ou une prière, nous ont soutenu
et donné la force de continuer.***

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Table des matières	III
Liste des figures	V
Liste des tableaux	XIII
Liste des abréviations	XIV
Introduction générale	XVI
Chapitre i : cadre général	1
1.1 Le système littoral	3
1.1.1 <i>Morpho-dynamique côtière</i>	4
1.1.2 <i>Hydrodynamique du littoral</i>	7
1.1.3 <i>La submersion marine</i>	10
1.1.4 <i>Evaluation du risque de submersion marine</i>	12
1.2 Le changement climatique	12
1.2.1 <i>Les rapports d'évaluation du giec</i> :	13
1.2.2 <i>Les variations du niveau de la mer</i>	14
1.3 Localisation et choix de la zone d'intérêt.....	17
Chapitre ii : Diagnostic physique et interaction des facteurs	18
2.1 Etude hydro-climatique	17
2.1.1 <i>Les précipitations</i>	17
2.1.2 <i>La température</i>	19
2.1.3 <i>Les vents</i>	20
2.1.4 <i>Synthèse climatique</i>	23
2.1.5 <i>Inventaire des cours d'eaux</i>	25
2.1.6 <i>Evaluation des flux sédimentaires</i> :	27

2.2	Etude géologique.....	29
2.2.1	<i>Caractéristiques géologiques.....</i>	29
2.2.2	<i>Géologie locale</i>	29
2.2.3	<i>Stratigraphie de la région.....</i>	29
2.2.4	<i>Caractéristiques géomorphologiques</i>	30
2.3	Etude topo-bathymétrique	34
2.3.1	<i>Approche méthodologique</i>	34
2.3.2	<i>Résultats et discussions.....</i>	38
2.4	Etude hydrodynamique et hydro-sédimentaire	48
2.4.1	<i>Sélection et choix du modèle.....</i>	48
2.4.2	<i>Résultats et discussion</i>	51
2.5	Etude de l'évolution de la ligne du rivage.....	76
2.5.1	<i>Acquisition des données.....</i>	76
2.5.2	<i>Approche méthodologique</i>	76
2.5.3	<i>Résultats et discussions.....</i>	79
	Chapitre iii : Scenarios de submersion et impact sur la zone cotiere	98
3.1	Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine	95
3.2	Valorisation des terres perdues par la submersion marine.....	108
3.3	Résultats et discussion.....	109
3.3.1	<i>Submersion a une période de retour veingtenale</i>	109
3.3.2	<i>Submersion avec une période de retour cinquantennale.....</i>	110
3.3.3	<i>Submersion a une période centennale</i>	110
	Conclusion générale.....	127
	Références bibliographique	118

Liste des figures

Figure 1: Les différents domaines du littoral (Larid 2011).....	3
Figure 2: Composantes d'un système morpho-dynamique côtier (Cowell et Thom, 1994, Modifié).....	5
Figure 3: Les différents domaines de propagations des vagues (Tourdiat et Chevalier, 1995)	6
Figure 4: Classification des plages, d'après (Turner et Masselink, 1998),.....	7
Figure 5: Processus hydrodynamiques dans la zone côtière (Stepanian, 2002).....	8
Figure 7 : Schématisation du courant de retour (Castelle, 2004)	9
Figure 6: Schéma représentant les caractéristiques de la houle.	9
Figure 8 : Le courant de dérive ou "longshore current" (Leyva, 2005)	10
Figure 9 : Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage) (BRGM et Cachan 2012).....	11
Figure 10 : Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer(1993-2006)en Méditerranée d'après Topex/Poseidon et Jason-1. (Source www.legos.obs-mip.fr).....	15
Figure 11: Impacts potentiels des changements climatiques sur la zone côtière.	16
Figure 12: Situation géographique de la zone d'étude.....	17
Figure 13: Variation des moyennes annuelles des précipitations (1988-2020)	18
Figure 14: Variations des moyennes mensuelles des précipitations (1988-2020)	19
Figure 15: Les variations mensuelles des températures (1988-2020)	19
Figure 16: Répartition annuelle des vents en % (Données Windguru, Station Alger Port), (entre Mai 2006 -Mai 2017)	21
Figure 17: Roses des vents saison hivernale : station Alger (Données windguru, 2005-2016)....	21
Figure 18: Roses des vents saison estivale : station Alger (Données windguru, 2005-2016.....	22
Figure 19: Diagramme Ombrothermique (NSRDB Data Viewer, 1988/2020)	23
Figure 20: Localisation de la région d'étude dans le climagramme d'EMBERGE	25
Figure 21 : Carte représentant le bassin versant de l'Oued Beni Messous	26
Figure 22 : Carte représentant le bassin versant de l'Oued Mazafran	27

Figure 23: Variation mensuelle de débit solide d'Oued Mazafran ANRH(2003-2012).....	28
Figure 24: Carte géologique de la zone d'étude.....	30
Figure 25: Détails des prospections terrain sur la zone d'étude. A :Embouchure Oued Beni Messous, B : La plage Fontaine, C : Plage de Sidi Fredj Ouest, D : Plage de Zéralda.....	32
Figure 26: Etapes de réalisation d'un fichier forme de la Topo-bathymétrie.....	36
Figure 27: Procédure de l'interpolation ANUDEM (topo vers raster).....	37
Figure 28: Etapes de représentation de l'MNT et de profondeur	38
Figure 29: Carte du Réseau Triangulé Irrégulier (TIN) De La Zone Ouest d'Alger.....	39
Figure 30: Carte Des Pentés De La Zone Ouest d'Alger.....	39
Figure 31 : Visualisation du réseau triangulé irrégulier (TIN) de la zone ouest d'Alger en trois dimension sur ArcScene 10.4.1	40
Figure 32: Organigramme Des Etapes De Création Des Profils	41
Figure 34: Localisation des profils 03 et 04 et 05	42
Figure 33: Localisation des profils 01 et 02	42
Figure 35: Profil De L'embouchure De Oued Beni-Messous	43
Figure 36: Oued Beni-Messous (Photo prise le 14\06\2021).....	43
Figure 37: Profil De : Cap Sidi-Fredj.....	44
Figure 38: Cap Sidi-Fredj (Source : https://www.pinterest.fr).....	44
Figure 39: Profil de l'embouchure d'Oued Aggar	45
Figure 40: Embouchure Oued Aggar (Photos prise le 15/06/2021).....	45
Figure 41: Profil plage FAMILIALE ZERALDA	46
Figure 42: Plage Familiale Zéralda (Photo prise le 14/06/2021)	46
Figure 43: Profil de l'embouchure d'Oued Mazafran	47
Figure 44: Oued Mazafran (Photos prise le 15/06/2021).....	47
Figure 45: Emprise du modèle	49
Figure 46: Carte bathymétrique 2021.....	49
Figure 47: Rose des vagues (2017)	50

Figure 48: Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord.	52
Figure 49: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 01.....	52
Figure 50: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 02.....	53
Figure 51: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 03.....	53
Figure 52: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la zone Ouest d'Alger	54
Figure 53: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 01.....	54
Figure 54: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 02.....	55
Figure 55: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 03.....	55
Figure 56: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la zone Ouest d'Alger.....	56
Figure 57: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 0156	
Figure 58: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 02.	57
Figure 59: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 03.	57
Figure 60: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Zone Ouest d'Alger.....	60
Figure 61: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous- Zone 01.....	60
Figure 62: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous- Zone 02.....	61
Figure 63: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous- Zone 03.....	61
Figure 64: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger	62
Figure 65: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 01.....	62

Figure 66: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 02.....	63
Figure 67: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 03.....	63
Figure 68: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger.....	64
Figure 69: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 01.....	64
Figure 70: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 02.....	65
Figure 71: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 03.....	65
Figure 72: Résultats de la réfraction de la houle direction Nord dans la zone Ouest d'Alger.....	68
Figure 73: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 01.....	68
Figure 74: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 02.....	69
Figure 75: Résultats De La Réfraction De La Houle De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 03.....	69
Figure 76: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger.....	70
Figure 77: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Sous-Zone 01.....	70
Figure 78: Résultats De La Réfraction De La Houle De La Houle 315N Dans La Sous-Zone 02.....	71
Figure 79: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Sous-Zone 03.....	71
Figure 80: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger.....	72
Figure 81: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 01.....	72
Figure 82: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 02.....	73

Figure 83: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 03.	73
Figure 84 : Étapes de la méthodologie de suivi du trait de côte (OTMANI et al, 2019).	77
Figure 85 : Les principaux outils de la barre d'outils du DSAS.	77
Figure 86: Carte des provinces sédimentaires de la zone d'étude.....	79
Figure 87: Carte des transects de la province sédimentaire 01 de la zone d'étude.....	80
Figure 88 : Carte des transects de la province sédimentaire 02 de la zone d'étude.....	81
Figure 89 : Bilan surfacique de la zone d'étude entre 1959 et 2019.	82
Figure 91 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 2019 de la province sédimentaire 01	83
Figure 90: Evolution du trait de côte entre 1959 et 2019 de la province sédimentaire 01.....	83
Figure 92 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 2019 de la province sédimentaire 02.....	84
Figure 93 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 1980 de la province sédimentaire 01.....	86
Figure 94 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 1980 de la province sédimentaire 02.....	87
Figure 95 : Occupation des anciennes dunes de la plage Fontaine (Prise le 14/06/2021).	88
Figure 96 : Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la province sédimentaire 01.....	89
Figure 97 : Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la province sédimentaire 02.....	90
Figure 98 : Les ouvrages de protection de Palm beach & Azur plage (Photos prise le 15/06/2021)	91
Figure 99 : Les ouvrages de protection de Sidi Fredj Ouest (prise le 15/06/2021).....	92
Figure 101 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2017 de la province sédimentaire 01.....	93
Figure 102: Evolution du trait de côte entre 1999 et 2017 de la province sédimentaire 02.....	94
Figure 103 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2019de la province sédimentaire 01.....	96
Figure 104 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2019 de la province sédimentaire 02.....	97
Figure 105: La démarche adoptée pour la cartographie des zones à risque de Submersion marine	96
Figure 106: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Nord au large de la zone d'étude	100

Figure 108: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Nord-Ouest au large de la zone d'étude.....	101
Figure 107: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Ouest au large de la zone d'étude.	101
Figure 109: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Nord.....	102
Figure 110: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Nord	102
Figure 111: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Nord	103
Figure 112: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Nord-Ouest.	103
Figure 113: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Nord-Ouest.....	104
Figure 114: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Nord-Ouest.....	104
Figure 115: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Ouest.....	105
Figure 116: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Ouest.	105
Figure 117: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Ouest.	106
Figure 118: Carte d'occupation de sol de la zone d'étude.....	108
Figure 119: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger.....	112
Figure 120: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie El Djamila.....	112
Figure 121: d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	113
Figure 122 : Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennales` de la zone Ouest d'Alger.....	113
Figure 123: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennales ` de la baie El Djamila.	114
Figure 124: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennales ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	114
Figure 125: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la zone Ouest d'Alger.	115

Figure 126: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale ` de la baie El Djamila.....	115
Figure 127: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	116
Figure 128: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger.....	116
Figure 129: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie El Djamila.....	117
Figure 130: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	117
Figure 131: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes` de la zone Ouest d'Alger.....	118
Figure 132: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes ` de la baie El Djamila.	118
Figure 133: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	119
Figure 134: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale ` de la zone Ouest d'Alger.....	119
Figure 135: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie El Djamila.....	120
Figure 136: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	120
Figure 137: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger.....	121
Figure 138: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale de la baie El Djamila.....	121
Figure 139: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	122
Figure 140: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes` de la zone Ouest d'Alger.....	122

Figure 141: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales` de la baie El Djamila.....	123
Figure 142: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	123
Figure 143: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale` de la zone Ouest d'Alger.....	124
Figure 144: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale ` de la baie El Djamila.....	124
Figure 145: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).	125

Liste des tableaux

Tableau 1: Récapitulatif des rapports d'évaluation du GIEC entre 1990 et 2019.....	13
Tableau 2: Variantes thermiques.....	24
Tableau 3: Données d'entrée pour le calcul du quotient pluviométrique d'EMBRGER.....	24
Tableau 4: Fiche technique des plages de la zone d'étude.....	33
Tableau 5: Caractéristiques des données utilisées dans l'étude.....	35
Tableau 6: conditions aux limites de la houle de la zone Ouest d'Alger	50
Tableau 7: Observations Du Courant De Chaque Houle Pour Les Trois Sous-Zones.....	59
Tableau 8: Observations Du Transport Sédimentaire De Chaque Houle Pour Les Trois Sous-Zones	66
Tableau 9: Observations de la réfraction de la houle des trois directions dominantes pour les trois sous-zones	74
Tableau 10: Caractéristiques des données utilisées dans l'étude.....	76
Tableau 11: Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR.....	81
Tableau 12: La distribution des nombre d'apparition des classes des hauteurs significatives par direction.....	97
Tableau 13: La distribution des fréquences d'apparition de classes des hauteurs significatives par direction.....	98
Tableau 14: les H extrêmes en fonction des probabilités d'occurrence	100
Tableau 15: Moyennes des houles extrêmes au niveau de la zone de déferlement	107
Tableau 16: Niveaux d'inondation extrême.	109
Tableau 17: Résultats de la valorisation des terres perdues	126

Liste des abréviations

°C : degré Celsius.

2D : deux dimensions.

3D : trois dimensions.

ANCC : Agence Nationale des Changements Climatiques.

APPL : Agence chargée de la Protection et de la Promotion du Littoral de la wilaya d'Alger.

Cm : centimètre.

CRF : Centre de Repos Familial.

CTZ : Complexe Touristique Zeralda.

DEM : Digital Élevation Model.

DGPS : Differential Global Positioning Système.

DSAS : Digital Shoreline Analysis System.

DTM : Digital Terrain Model.

E : Est.

EPR : End Point Rate.

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Evaluation du climat.

h : heurs.

IDW : Inverse Distance Weighting (l'inverse de la distance pondérée).

IGN : Institut Géographique National.

Km : kilomètre.

Km² : kilomètre carré.

LRR : Linear Regression Rate.

m/an : mètre par an.

m/s : mètre par seconde.

m³/s : mètre cube par seconde.

Max : Maximum.

Mm : milli mètre.

MNP : Modèles Numériques de Profondeur.

MNS : Modèle Numérique de Surface.

MNT : Modèles Numériques de Terrain.

MNTP : Modèles Numériques de Terrain et de Profondeur.

N : Nord.

N° : numéro.

NO : Nord-Ouest.

NSM : Net Shore Movement.

NSRDB : National Solar Radiation Database

O : Ouest.

OMM : organisation météorologique mondiale.

POT : Peak-Over-Threshold.

PPRL : Plan de Prévention des Risques Littoraux.

RTR : Relative Tidal Range.

SIG : Système d'Information Géographique.

t/km²/an : tonne par kilomètre carré par an.

TIN : maillage triangulaire régulier.

Introduction générale

Les systèmes littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes (Paskoff, 1992), qui sont caractérisés généralement par les notions d'aléas de submersion et d'érosion littorale (Mallet et Michot, 2012).

Le littoral algérois ne fait pas exception à cette tendance, c'est un système vulnérable aux risques d'érosion et de submersion (Bouhamadouche, 1993).

Plusieurs évènements de la submersion marine ont été observés à l'échelle mondiale, on cite parmi eux:

En Europe: l'Inondation causée par la mer du Nord en 1953; en février 2010, en France, la tempête Xynthia a provoqué une submersion marine catastrophique en Vendée et en Charente-Maritime; en 2013-2014, plusieurs exemples de submersions marines mesurées à l'aide de marégraphe sont consignées dans le rapport du SHOM; à Venise, l'Acqua alta est une submersion marine relativement périodique.

Dans le reste du monde: l'Ouragan Katrina aux USA en 2005, le Cyclone de Bholá au Bangladesh en novembre 1970

Plusieurs travaux traitent la problématique des terres à risque par le phénomène de la submersion marine, parmi eux, quelques uns se sont intéressés à notre zone d'étude, on cite comme exemples: Benallou 2020; Bounoua et Kaci, 2017; Boukhediche, 2017; Mouhoubi, 2021; Aouabdia et Dahlab, 2018; Termoul, 2015; Salhi et Talanzar 2017; Kerdel, 2016; Belabbes et Kamal, 2015 ; Belkherroubi et Belguerguid, 2017.

Ce modeste travail constitue une contribution à un thème de recherche orienté vers l'étude et l'estimation des terres à risque par la submersion marine dans la région Ouest d'Alger. L'objectif principal, vise à :

- 1- la compréhension de la tendance d'évolution du rivage de la zone ;
- 2- la connaissance du régime hydro-sédimentaire ;
- 3- l'étude et la valorisation des terres perdues.

Pour mener à terme ces objectifs, la démarche et les structurations adoptées s'appuient sur plusieurs approches réparties sur trois chapitres :

Chapitre I : Ce chapitre présente une revue bibliographique synthétique des notions de base nécessaires pour la bonne compréhension de la thématique étudiée, et la présentation de la zone d'étude choisie pour la réalisation de ce mémoire.

Chapitre II : correspond au diagnostic physique et interaction de facteurs, ce chapitre permet non seulement de mettre la zone d'étude dans son contexte géologique, géomorphologique, climatologique et hydrodynamique mais aussi de comprendre la tendance évolutive sur le volet hydro-sédimentaire, topo bathymétrique et dynamique du trait de côte.

Chapitre III : destiné à l'étude de la submersion marine et ses impacts sur la zone côtière, en se basant sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, avec une approche pratique, en élaborant des cartes d'aléa pour les différentes périodes de retour suivant différentes directions. Pour arriver par la suite à l'estimation et valorisation des terres perdues.

Chapitre I : Cadre général

1.1 Le système littoral

« Le littoral est l'espace de rencontre entre la terre, la mer et l'atmosphère. Ce lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme. » (Eid Méditerranée, 2005)

On peut subdiviser le littoral en trois zones **Figure 1** :

Partie 1 : qui est la zone supra-tidale, elle est subdivisée en 3 domaines :

Le domaine de l'arrière-pays qui est limité en haut par la limite du bassin versant et en bas par le 1er haut sommet.

Le domaine péri-littoral qui est limité en haut par le 1er haut sommet et en bas par la limite d'influence marine.

Le domaine sublittoral qui est limité en haut par la limite d'influence marine et en bas par la limite des hautes mers.

Partie 2 : C'est le domaine intertidal qui est limité en haut par la limite des hautes mers et en bas par la limite des basses mers.

Partie 3 : qui est la zone infra-tidale, elle est subdivisée 2 domaines :

Le domaine pré-littoral qui est limité en haut par la limite des basses mers et en bas par la limite des actions des houles.

Le domaine hauturier qui est limité en haut par la limite des actions des houles jusqu'aux grandes profondeurs.

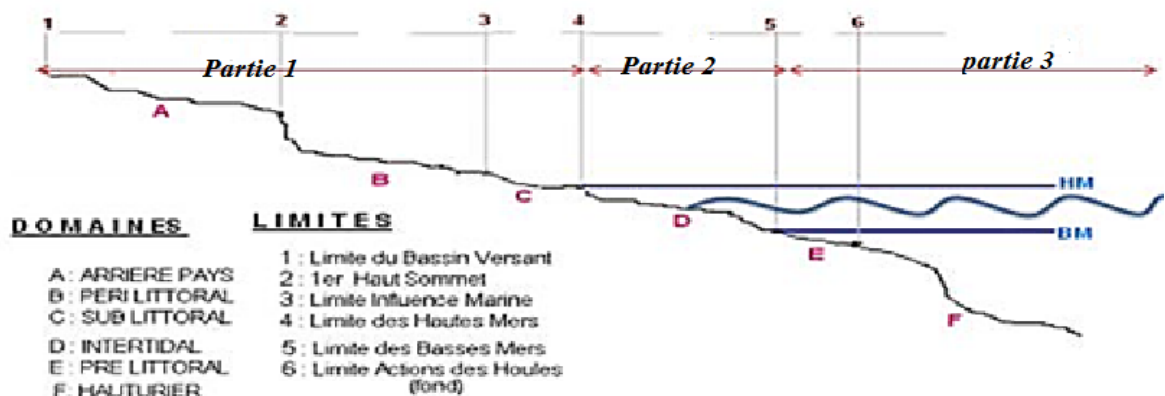


Figure 1: Les différents domaines du littoral (Larid 2011)

Un système littoral est un ensemble d'éléments en interaction dans le temps et dans l'espace, ce qui rend la tâche de comprendre leur comportement très complexe. Pour décrire ce type de système, il est possible de combiner des approches analytiques classiques avec une modélisation numérique (2D et 3D) (Mezouar et al., 2009).

Avant de présenter les constituants communs à tout système littoral, il est toutefois important d'expliquer « pourquoi ces systèmes sont complexes ».

La zone côtière algérienne qui se situe au sud du bassin méditerranéen est vulnérable, elle est soumise à de multiples risques telles que les inondations, les séismes, les tsunamis et la sécheresse. Les phénomènes comme l'érosion et la submersion marine prennent actuellement des proportions très alarmantes et inquiétantes à la fois (GIEC, 2007).

Le système côtier algérois subit de nombreuses pressions liées principalement au degré d'anthropisation, l'activité touristique incontrôlée et l'érosion côtière. Elles sont perçues comme des contraintes fortes, induisant d'importants phénomènes de dégradation.

1.1.1 Morpho-dynamique côtière

L'aménagement et la protection du littoral c'est d'abord la compréhension des différents processus et contraintes dynamiques qui régulent aussi bien la côte que l'avant-côte tels que l'interaction des vagues, houles, marées, courants, surcotes et décotes, mouvements sédimentaires, etc.

Un système morfo-dynamique est constitué d'un objet géomorphologique qui réagit aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique. Cette réponse est une tentative de mise à l'équilibre de la morphologie par rapport aux nouvelles conditions de forçages. Dans le cas des systèmes littoraux, la topographie des fonds côtiers est en constant ajustement avec la dynamique du milieu fluide. Cet ajustement morphologique est le résultat d'un gradient de transport sédimentaire (**Figure 2**).

Une modification des forçages génère une modification de la dynamique des fluides du transport sédimentaire, l'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie. Des phénomènes de rétroactions sur la dynamique des fluides et le transport peuvent être soit positifs ou négatifs (Cowell et Thom, 1994). Un processus d'autocontrôle renforce la tendance d'évolution du système en augmentant le déséquilibre. Alors qu'un processus d'autocontrôle inverse la tendance et amène le système vers l'équilibre.

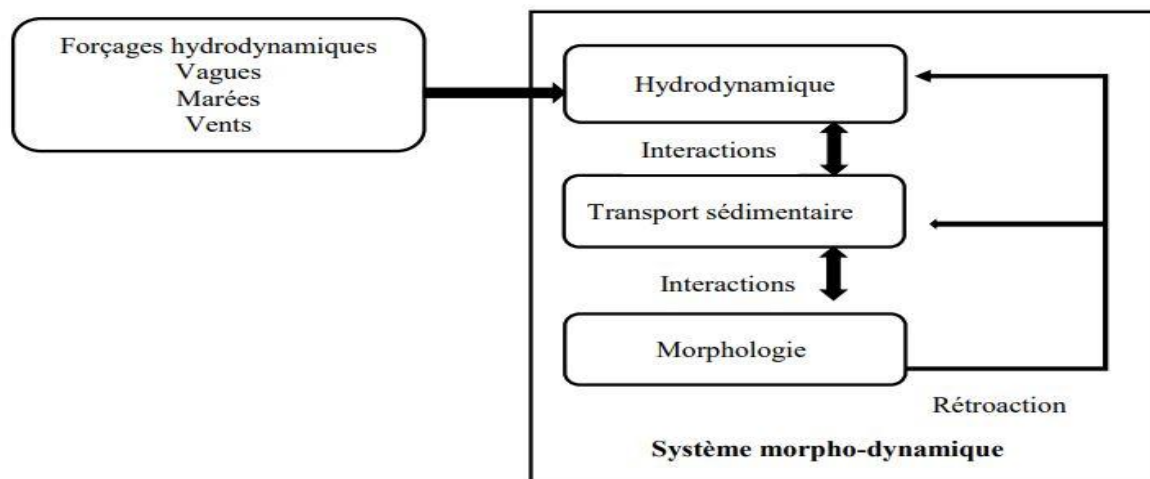


Figure 2: Composantes d'un système morpho-dynamique côtier (Cowell et Thom, 1994, Modifié)

1.1.1.1 Les plages sableuses

Une plage correspond au domaine intertidal, c'est-à-dire au domaine de balancement des marées. Cependant pour comprendre la dynamique des zones littorales que sont les plages et plus particulièrement les plages sableuses, il est nécessaire de considérer les transferts sédimentaires entre la plage et la zone infra-tidale (cross-shore) ainsi que le long de la côte. Le littoral et les plages sont des systèmes qui évoluent à différentes échelles de temps et d'espace en fonction des agents de forçage comme la houle, les marées et les courants associés (Lemos et al., 2018).

Dans sa partie émergée, la plage est généralement délimitée par des dunes ou une falaise. La profondeur de fermeture du système est considérée comme la limite en mer des plages, elle est définie comme la profondeur limite d'action de la houle, profondeur qui correspond à une demi-longueur d'onde de la houle (Suanez, 2009). Ensuite, depuis la mer vers la terre il y a d'abord la zone de levée des vagues ou "Shoaling zone" qui s'étend du point de formation des vagues au point de déferlement "Breaking point". Puis, il y a la zone de déferlement ou de surf

"Surf zone" qui s'étend depuis le point de déferlement des vagues vers le haut de plage. Enfin, le haut de plage ou "Swash zone" correspond à la zone de la pente affectée par le jet de rive. (Figure 3).

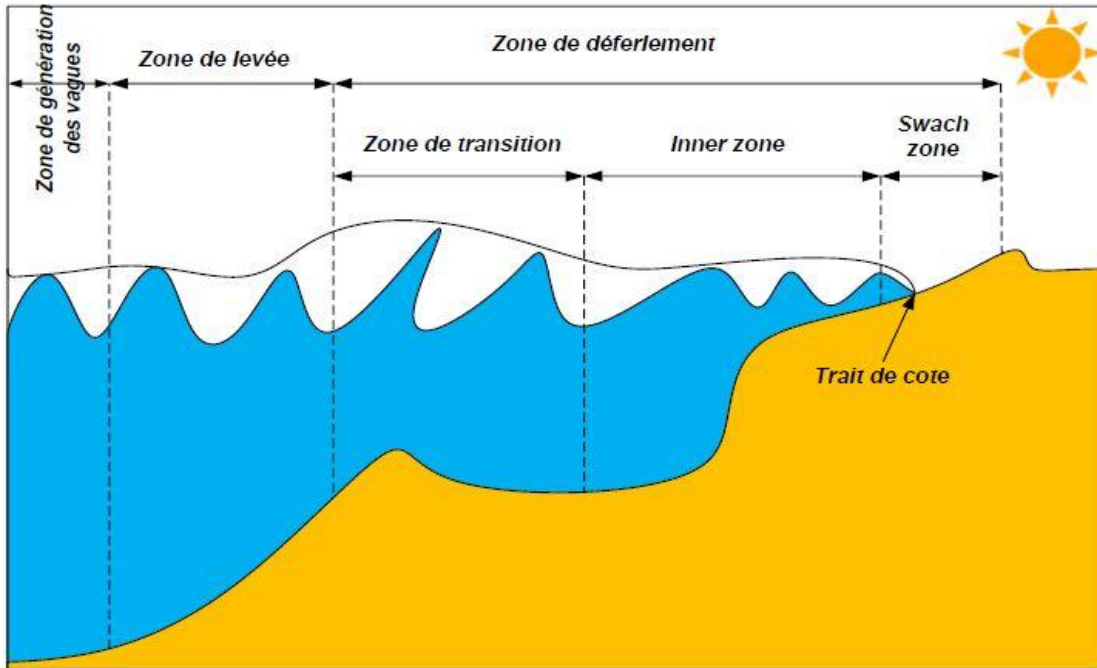


Figure 3: Les différents domaines de propagations des vagues (Tourdiat et Chevalier, 1995)

La classification la plus communément utilisée divise les plages en six catégories avec deux extrêmes : dissipatives (plages plates et peu profondes) et réfléchives (plages avec une pente forte) (Wright et Short, 1984). Ce type de classification (Figure 4) est basé sur des paramètres tels que la vitesse de chute adimensionnelle et RTR (Relative Tidal Range).

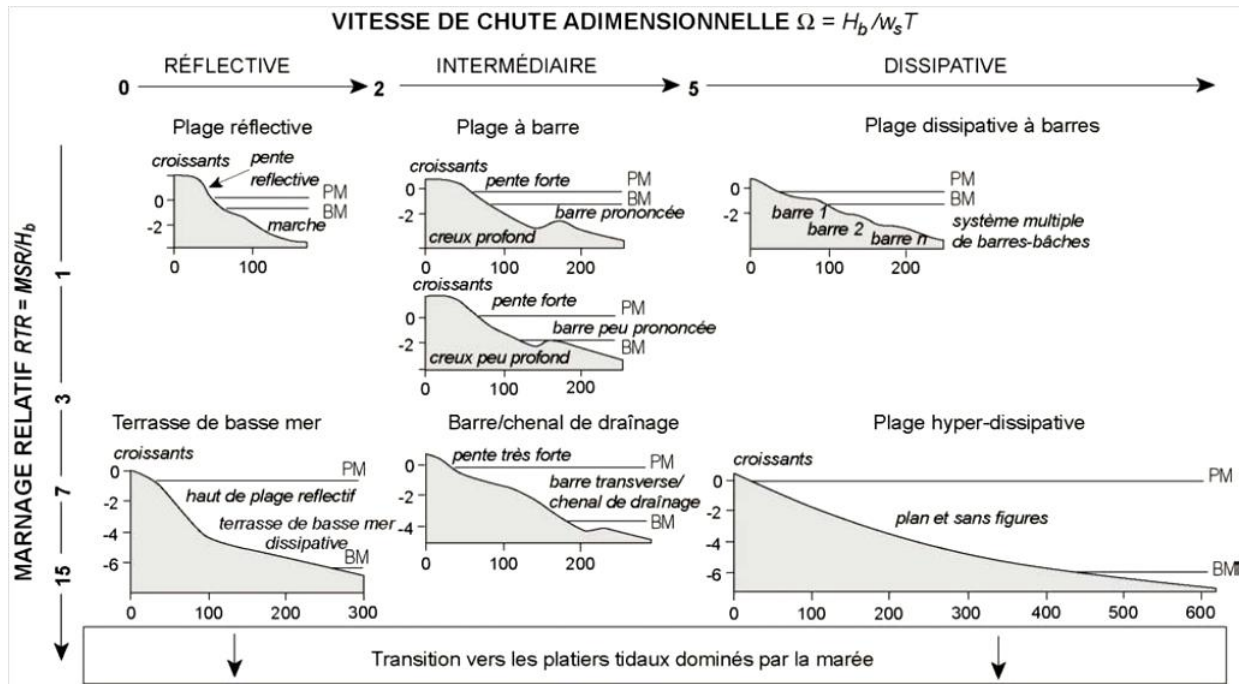


Figure 4: Classification des plages, d'après (Turner et Masselink, 1998), modifié par Dehouck (2006)

1.1.1.2 Les falaises littorales

La définition des falaises communément admise dans la littérature et proposée par Guilcher (1954) décrit cette forme comme « un ressaut de végétation, en forte pente (entre 15 ° et le surplomb), de hauteur très variable, au contact de la mer et de la terre et qui est dû à l'action ou à la présence marine ».

Une falaise ne cesse de reculer que si la mer cesse de déblayer sa base. Les éboulis engendrés par les attaques aériennes viennent alors protéger sa base jusqu'à la conduire à son profil d'équilibre.

1.1.2 Hydrodynamique du littoral

La zone littorale est une zone complexe où se produisent de nombreuses interactions entre les agents dynamiques responsables des circulations hydrodynamiques. La Figure 5 présente une vision schématique de la nature et de la répartition des divers processus hydrodynamiques dans la zone côtière (Stepanian, 2002).

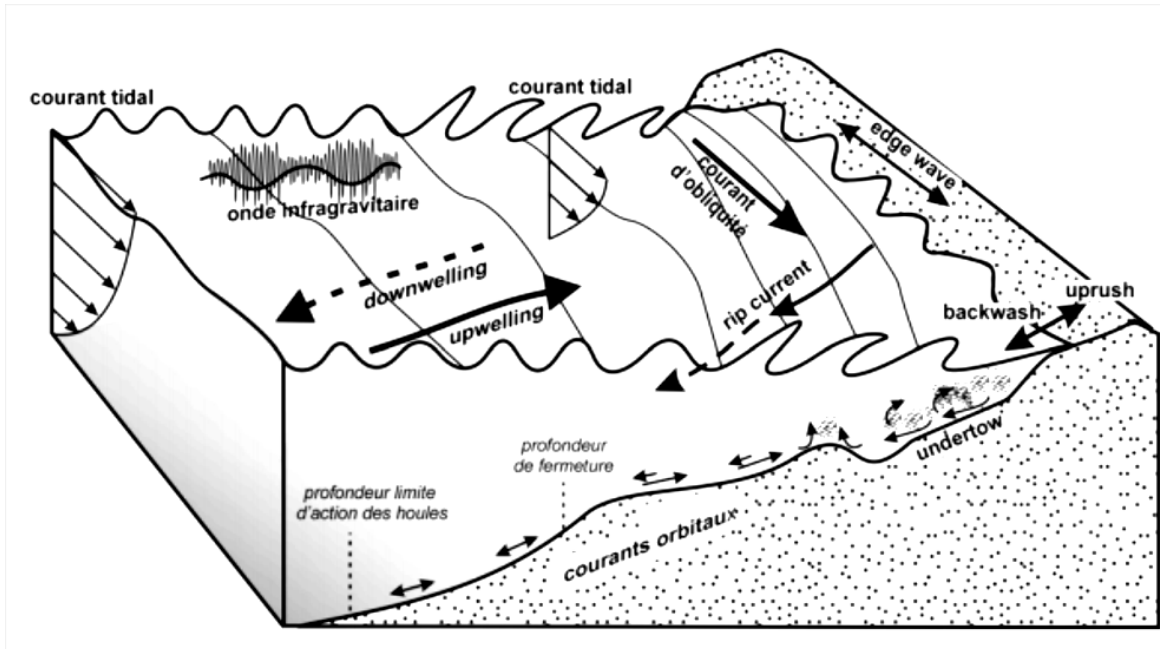


Figure 5: Processus hydrodynamiques dans la zone côtière (Stepanian, 2002)

Les processus hydrodynamiques qui influencent la zone côtière sont :

1.1.2.1 Les vagues

Les vagues sont des perturbations de la surface de la mer qui se traduisent par une ondulation de courte durée, elles sont générées par des vents de différentes intensités. La zone de formation de ces vagues s'appelle la zone de Fetch (cours Mezouar 2018).

L'hydrodynamisme sur les côtes algéroises se caractérise par une hauteur moyenne de vagues faible à moyenne (entre 0,2 et 3 m d'amplitude). Malgré l'absence de données précises sur l'hydrodynamisme de la région, la hauteur maximale des vagues observées, au cours des dix dernières années, est de 3 m (Larara et al., 2012). Les hauteurs entre 2 et 3 m n'étant atteintes en Algérie que lors des épisodes spécifiques de haute énergie comme des tempêtes ou lors de séismes (Yelles-Chaouch et al., 2001), on retiendra la hauteur de 1 m correspondant aux hauteurs les plus significatives en baie d'Alger (Hemdane et al., 2016).

1.1.2.2 La houle

La houle est définie comme un système de vagues plus ou moins régulier, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale (Guilcher, 1954). La houle est caractérisée par les paramètres spécifiés sur la Figure 6.

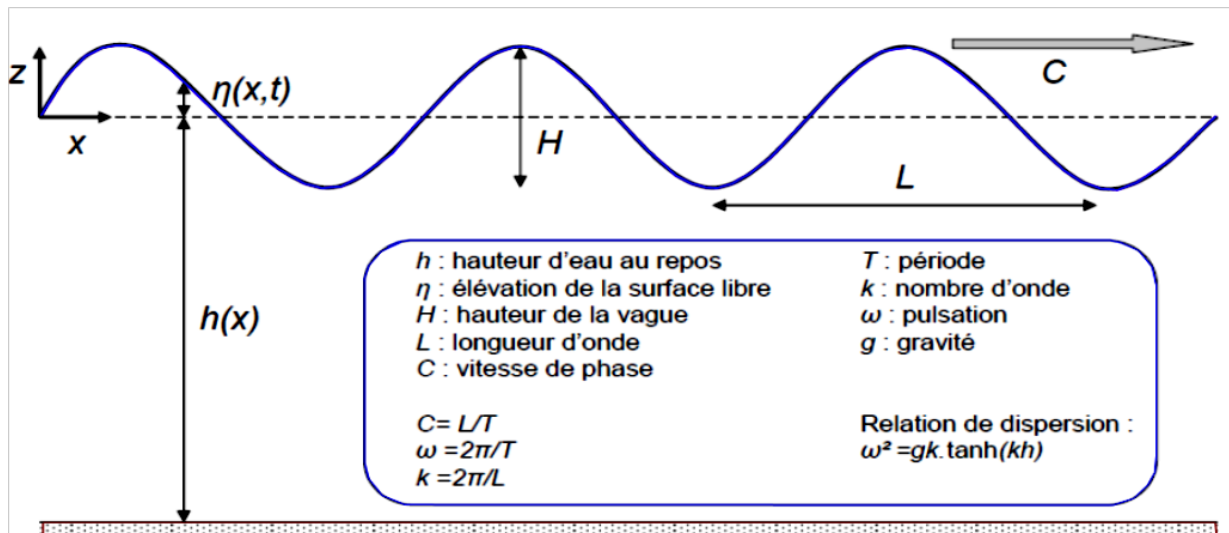


Figure 6: Schéma représentant les caractéristiques de la houle.

1.1.2.3 Les courants

Les courants sont des déplacements des masses d'eau, caractérisés par une vitesse, une direction, et un débit précis. Les courants généraux sont formés par des forces extérieures au milieu marin (vents) et/ou des forces intérieures du milieu marin (différence de salinité ou de température à l'intérieur de la mer) (Chapon et al., 1984). Il existe deux types de courants :

Cross-shore (Figure 7) Courant de retour (est dirigé perpendiculairement par rapport à la côte).

Long-shore (Figure 8) est dirigé parallèlement par rapport à la côte, il favorise le transit sédimentaire).

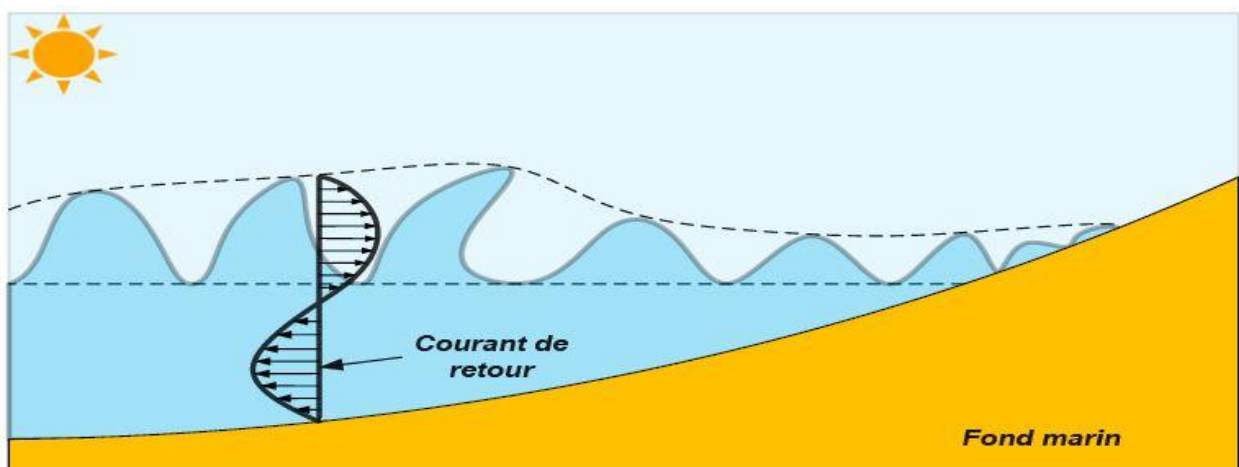


Figure 7 : Schématisation du courant de retour (Castelle, 2004)

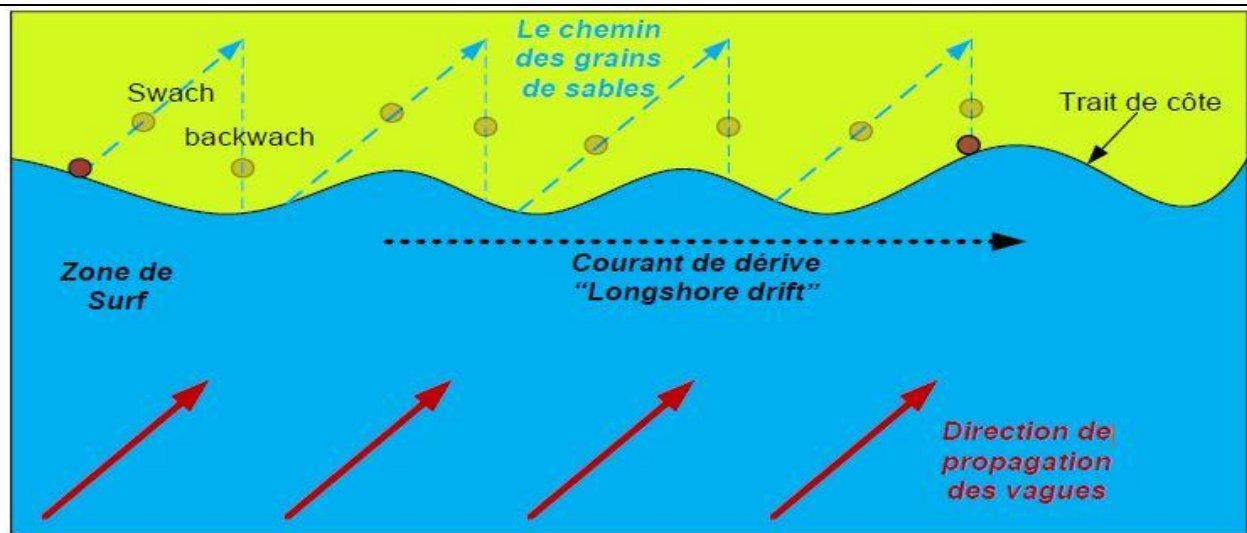


Figure 8 : Le courant de dérive ou "longshore current" (Leyva, 2005)

1.1.2.4 Le vent

Les vents sont toujours plus forts aux côtes qu'à l'arrière-pays immédiat puisque ceux qui viennent du large ne sont pas freinés par des obstacles. Par leur fréquence et leur vitesse ainsi que par leur direction, ils génèrent de la houle et des vagues dont ils peuvent accroître la cambrure. Ils génèrent également des courants superficiels qu'ils peuvent accélérer ou ralentir, voire même inverser (Salem cherif et Daghbadj, 2015).

1.1.2.5 Les marées

Ce sont des mouvements périodiques de la montée et de la descente du niveau de la mer qui sont dues à l'alignement des astres (la lune, le soleil et la terre) (Viguié, 2011).

La moyenne significative des marées est la différence verticale entre la marée la plus haute et la marée la plus basse. Dans le bassin algérois, la marée moyenne est de 0,16 m (Alberola et al., 1995). Elle est considérée comme faible.

1.1.3 La submersion marine

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (Mate, 1997 in Demouche, 2017), généralement né de la conjonction des phénomènes extrêmes (dépression atmosphérique, vent, houle, pluie) et de forts coefficients de marée provoquant une surcote importante du plan d'eau.

D’après NIELSEN (2009) et SHALLENGER (2000), les tempêtes entraînent une élévation du niveau moyen de l’eau car elles combinent les effets d’une faible pression atmosphérique et ceux de forts vents. Ensuite, les effets d’une forte houle s’ajoutent au phénomène : les vagues cassant sur les côtes, plus particulièrement sur les plages plates, vont s’étendre sur plusieurs mètres et générer des effets appelés “Wave setup” et “Swash”(in Demouche, 2017)

Selon le guide méthodologique des PPRL (2014) (Plan de Prévention des Risques Littoral), trois modes de submersion marine sont distingués (Figure 9) :

Submersion par débordement : Lorsque le niveau marin est supérieur à la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel.

Submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues : Les paquets de mer dépassent la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel après déferlement de la houle.

Submersion par 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.

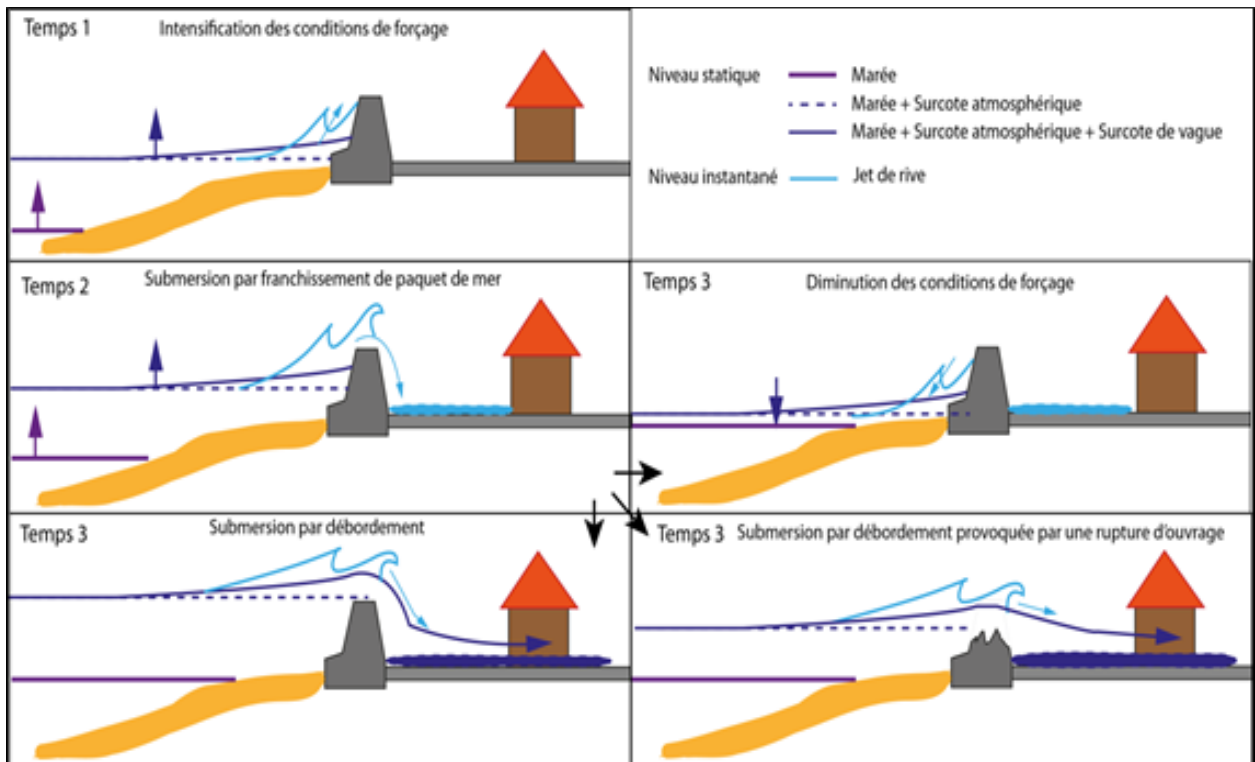


Figure 9 : Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d’ouvrage) (BRGM et Cachan 2012).

1.1.4 Evaluation du risque de submersion marine

Il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation du risque de la submersion des côtes. Parmi ces méthodes :

1.1.4.1 La loi de Larras

Cette méthode retenue pour l'estimation de l'aléa de submersion est celle utilisée par plusieurs auteurs (Fletcher et al., 1995; Bellomo et al., 1999; Benavente et al., 2006; Suarez et al., 2007; Kumar et al., 2008). Dans cette méthode la caractérisation et la cartographie des terres qui sont à risque de submersion dans la côte de la zone d'étude sont basées sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, modélisée par l'utilisation du logiciel de cartographie « **ArcGis 10.4** ». et c'est la méthode utilisée dans notre étude.

1.1.4.2 Peak-Over-Threshold (POT)

La méthode Peak Over Threshold (méthode POT) est une façon de modéliser des valeurs extrêmes. Le concept principal de la méthode est d'utiliser un seuil pour isoler les valeurs considérées comme extrêmes par rapport au reste des données et de créer un modèle pour les valeurs extrêmes en modélisant la queue de toutes les valeurs dépassant ce seuil.

1.1.4.3 Méthode de ‘ mapping flood hazard in low-lying coasts ‘

C'est une méthode visant à cartographier le risque de submersion des côtes basses. Cette démarche reprend la méthode élaborée par les **PPR-L**. Toutefois, l'estimation des niveaux d'eau extrêmes est réalisée en considérant les effets du ‘Wave setup’. De même, les paramètres dynamiques tels que l'érosion du trait de côte et l'élévation du niveau d'eau pour 2100 ont été pris en compte.

1.2 Le changement climatique

Le changement climatique correspond à un changement du «temps moyen» observé dans une région donnée. Le temps moyen comprend à tous les éléments associés au temps, à savoir la température, les caractéristiques des vents et des précipitations. Le terme de changement climatique, tel qu'utilisé par le **GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Evaluation du climat)**, désigne tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou provoqué par les activités humaines.

De nombreuses études (Folland et al., 1990) démontrent que le climat mondial s'est réchauffé au cours des 150 dernières années. La hausse de température n'a pas été constante ; des

cycles de réchauffement et de refroidissement se sont succédé à des intervalles de plusieurs décennies. Néanmoins, la tendance à long terme est au réchauffement planétaire (GIEC, 2001, 2007).

1.2.1 Les rapports d'évaluation du GIEC :

Le GIEC a présenté 06 rapports entre 1990 et 2019. Depuis le premier rapport d'évaluation, les prévisions des scientifiques se sont affinées et prédisent désormais avec certitude le réchauffement climatique d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Les principaux résultats de ces rapports sont portés dans (Tableau 1) qui suit :

Tableau 1: Récapitulatif des rapports d'évaluation du GIEC entre 1990 et 2019.

Le rapport	Les principaux résultats
Le 1^{er} rapport (GIEC, 1990)	Les experts ont surtout utilisé des modèles du climat à l'équilibre qui prévoient d'ici 2100 une température moyenne en surface de 1,5 à 4,5°C supérieure à la valeur actuelle.
Le 2^{ème} rapport (GIEC, 1996)	Celui-ci conclut à l'existence d'une influence perceptible de l'homme sur le climat mondial. Une série de six scénarios a été utilisée pour se rapprocher de la gamme des émissions résultant des activités humaines jusqu'à l'an 2100. Il a été tenu compte des effets de refroidissement de concentrations accrues d'aérosols sulfatés dans les simulations. Les résultats obtenus indiquent une gamme possible de réchauffement en 2100 de 1,0 à 3,5°C.
Le 3^{ème} rapport (GIEC 2001)	Ce rapport prévoit que quel que soit le scénario considéré, et les hypothèses adoptées pour les croissances démographique et économique, et l'intensité énergétique, la consommation mondiale d'énergie primaire devrait être multipliée d'ici 2050, au minimum par 2,3 et au maximum par 3. La température moyenne pourrait connaître une augmentation variant entre 1,4 et 5,8°C vers la fin de ce siècle.
	Dans ce rapport, il est indiqué que la température moyenne à la surface

<p>Le 4^{ème} rapport (GIEC, 2007)</p>	<p>du globe a augmenté de 0,76°C depuis 1860, dont 0,74°C depuis 1900 et 0,2°C depuis 1990. Il est aussi précisé que d'ici 2100, pour la série de scénarios envisagés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions du GIEC et selon les projections de modèles, la température moyenne de l'air à la surface du globe devrait augmenter de 1,1°C à 6,4°C par rapport à 1990, et que la valeur obtenue de ce réchauffement en faisant la moyenne des modèles varie de 1,8 à 4°C. En outre, des changements devraient se produire pour ce qui est de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes climatiques extrêmes.</p>
<p>Le 5^{ème} rapport (GIEC, 2015)</p>	<p>95 % de certitude que depuis le milieu du XXe siècle, l'activité humaine est la cause principale du réchauffement observé.</p>
<p>Le 6^{ème} rapport (GIEC, 2019)</p>	<p>Un rapport spécial sur l'impact d'un réchauffement global de 1,5 °C a été réalisé. Toutefois, les risques associés à ce réchauffement sont nettement inférieurs à ceux d'un réchauffement de +2°C. L'adaptation reste nécessaire que ce soit à +1,5°C ou +2°C, mais plus le réchauffement est important et plus l'adaptation doit être importante. Dans tous les cas, les capacités d'adaptation des sociétés humaines seront limitées</p>

1.2.2 Les variations du niveau de la mer

Selon le dernier rapport du GIEC, 2019, la hausse du niveau marin en 2100 sera plus importante de 10 cm si le réchauffement global atteint 2,0°C au lieu de 1,5°C. Elle entraînera alors le déplacement de plus de 10,4 millions de personnes supplémentaires. Au-delà de +1,5°C, il existe un fort risque d'instabilité des calottes glaciaires, qui pourrait entraîner une augmentation de plusieurs mètres du niveau marin sur plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires.

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 (**Figure 10**). 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).

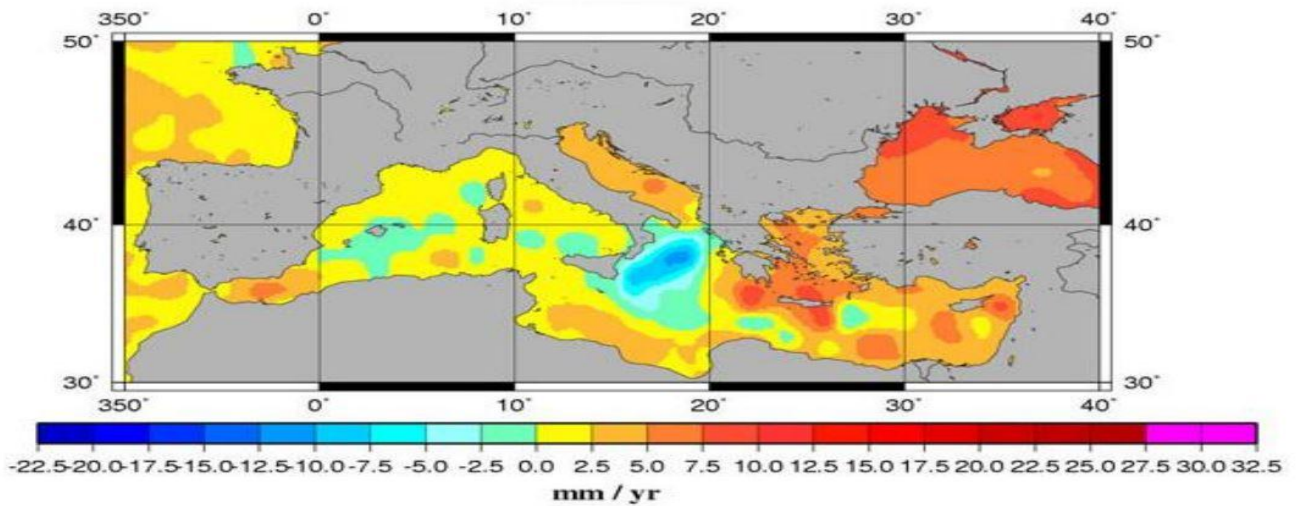
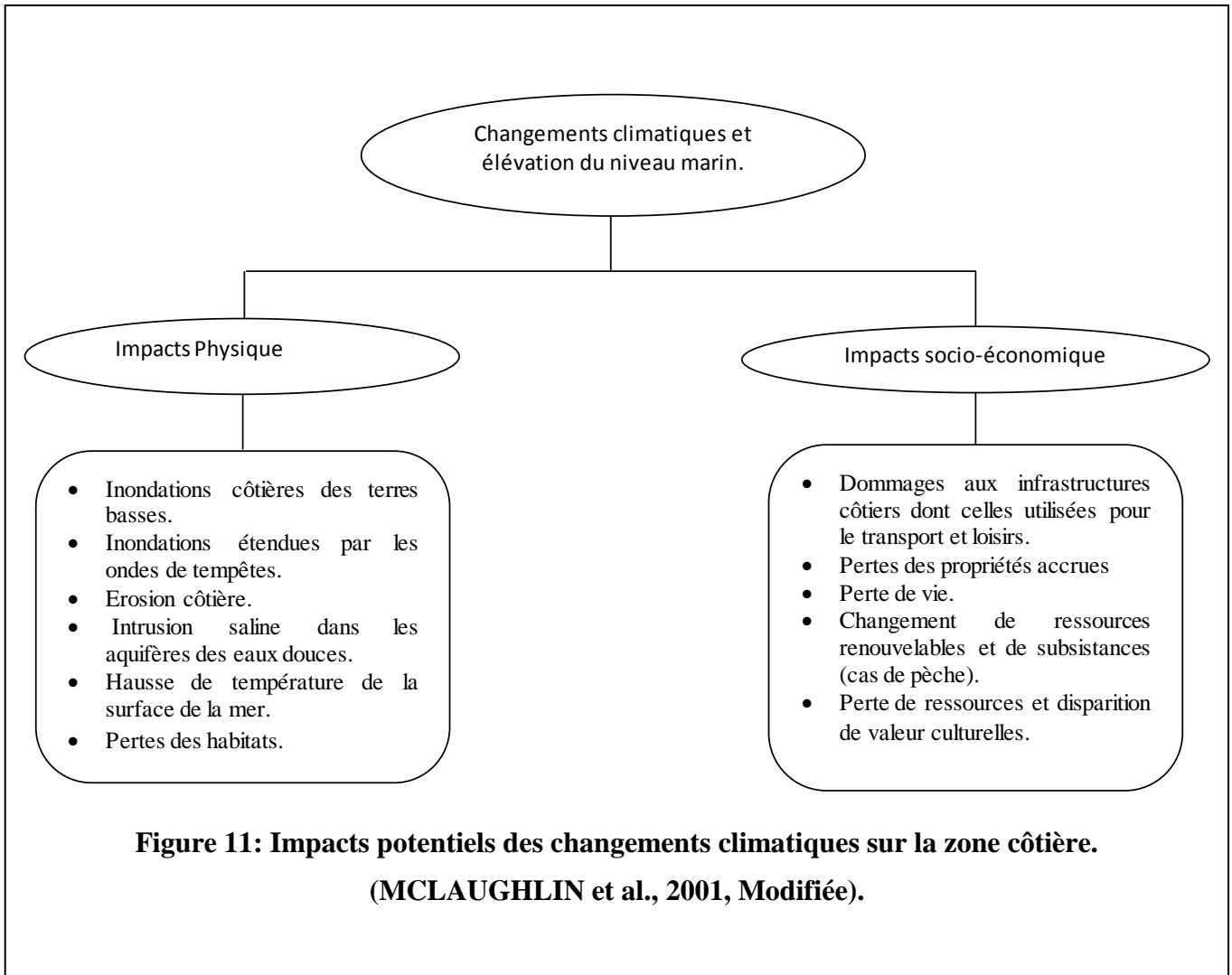


Figure 10 : Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer(1993-2006)en Méditerranée d'après Topex/Poseidon et Jason-1. (Source www.legos.obs-mip.fr)

Les impacts de l'élévation du niveau de la mer sont résumés sur la Figure 11.



1.3 Localisation et choix de la zone d'intérêt

La zone d'étude constitue le secteur Ouest d'Alger, elle s'étend du port de Ain El Benian à l'est jusqu'à l'embouchure de l'Oued Mazafran à l'Ouest sur un linéaire d'environ 30 km. (Figure 12) Spatialement, elle se localise entre les latitudes 36°48'15"N et 2°53'39"E et les longitudes 36°41'51"N et 2°48'6"E. La zone comprend une partie de la baie de Bouismail à l'Ouest, et la baie d'El Djamila à l'Est. Administrativement parlant, les communes de la zone d'étude sont de l'Est vers l'Ouest : Ain Benien, Cheraga, Staoueli et Zéralda.

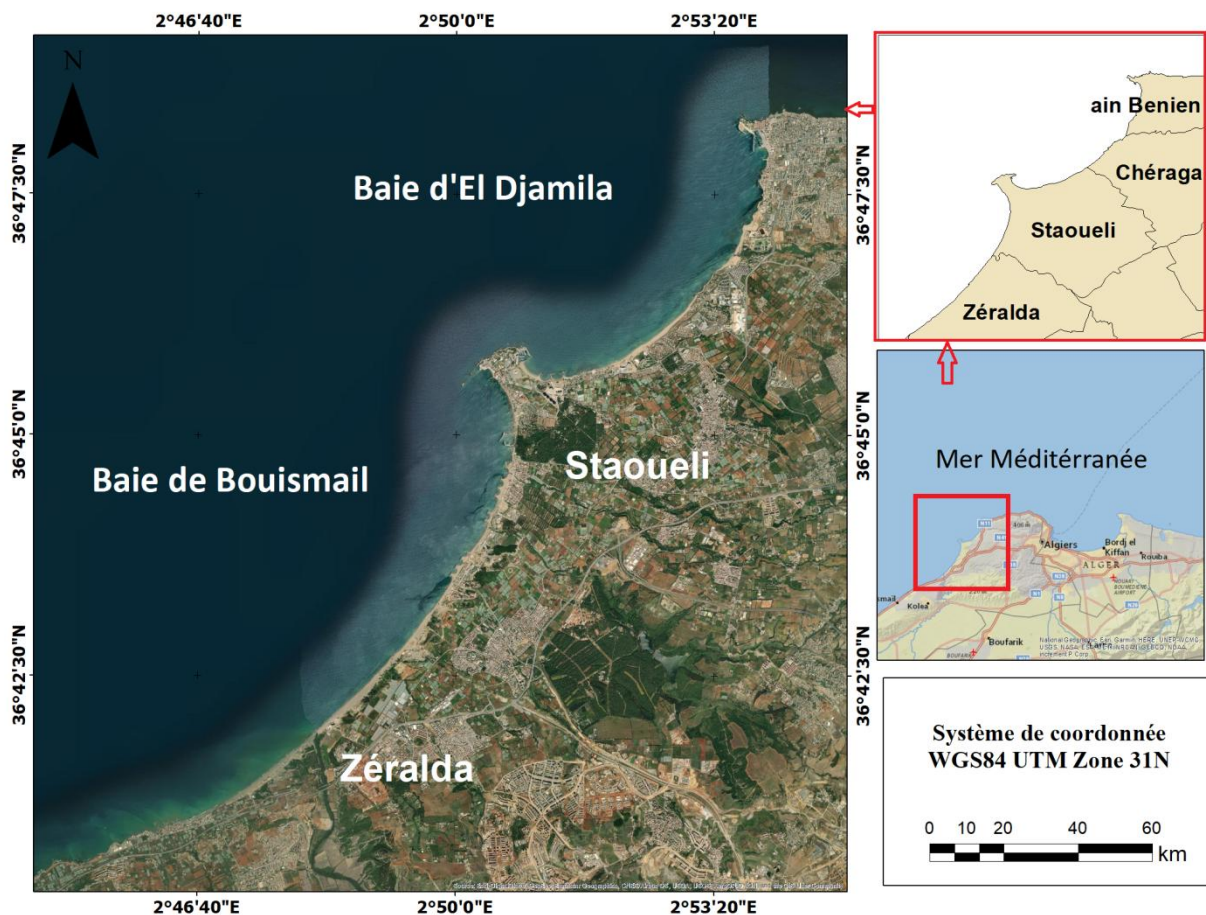


Figure 12: Situation géographique de la zone d'étude

Cette zone est caractérisée par des cotes basses généralement des plages sableuses, elle contient un grand réservoir sédimentaire sous forme de dunes littorale. Elle est caractérisée aussi par une zone humide du côté de l'oued Mazafran. Cependant, cette zone est menacée par plusieurs phénomènes hydrodynamiques telles que l'érosion et la submersion.

Chapitre II : Diagnostic physique et **interaction des facteurs**

2.1 Étude hydro-climatique

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants. En région méditerranéenne le climat est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes. Les facteurs climatiques sont formés par un ensemble de phénomènes énergétiques constitués par la lumière, la température et les facteurs hydrologiques et mécaniques (Ramade, 1984).

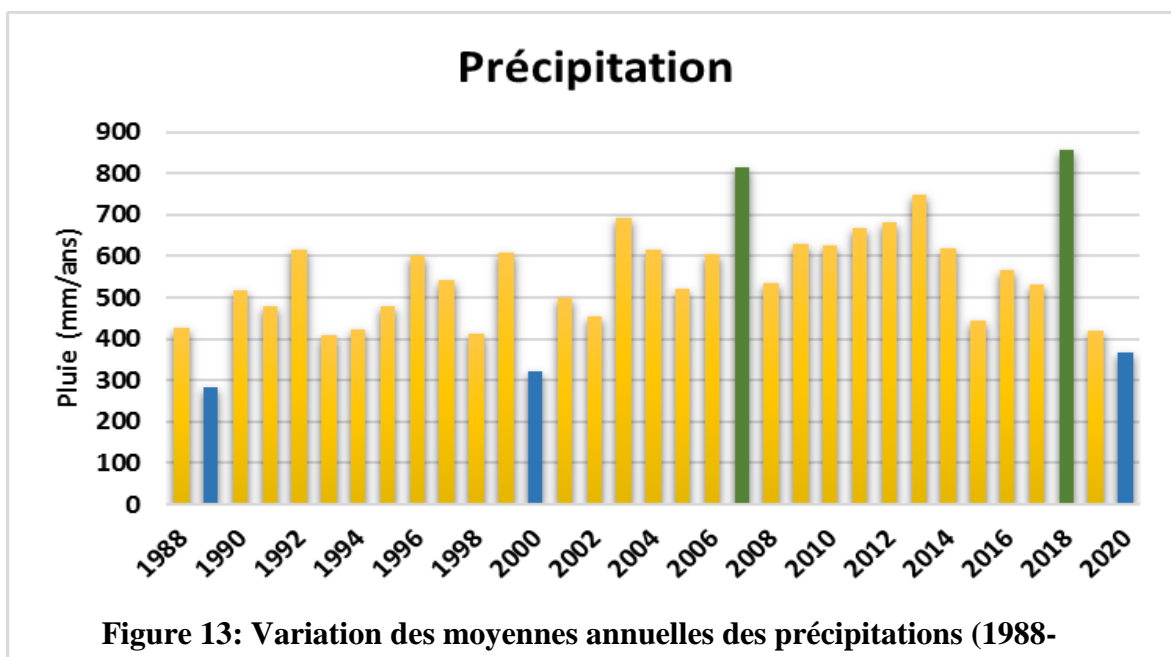
Dans la bande côtière, le climat est typiquement méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés. Pour évaluer la variabilité interannuelle des processus d'érosion des plages et processus d'engraissement qui jouent un rôle important dans l'évolution de la morphologie côtière, une étude interannuelle et mensuelle des données climatiques (vent, température et précipitation) a été effectuée sur la base des données disponibles au niveau du site « [NSRDB Data Viewer](#) » et « [windguru](#) ». de 1988 à 2020.

2.1.1 Les précipitations

Les précipitations sont le principal facteur climatique qui détermine les régions menacées par la dégradation des sols et par une éventuelle désertification.(OMM 2005).

2.1.1.1 Variation annuelle

L'analyse des variations des moyennes annuelles des précipitations sur la période entre 1988 et 2020 révèle une variation dans le régime pluviométrique qui tourne autour de 600 mm entre (1988, 2006) et entre (2008, 2017), avec des pics qui dépassent les 800 mm en 2007 et 2018 (Figure 13).



2.1.1.2 Variation mensuelle

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies très importantes en automne et surtout en hiver, souvent avec des régimes orageux.

L'analyse des données met en évidence :

- Une période pluvieuse allant d'Octobre à Mars avec des valeurs mensuelles comprises entre 80,77 et 51,54 mm (Figure 14). Globalement, les mois les plus pluvieux sont Novembre et Décembre avec des cumuls mensuels de l'ordre de 80,77 et 72 mm, Ces pluies hivernales sont le plus souvent courtes et intenses.
- Une période sèche s'étalant sur le reste de l'année, c'est-à-dire du mois de Mai au mois de Septembre où les précipitations sont rares avec des valeurs mensuelles comprises entre 38,08 et 4,59 mm.

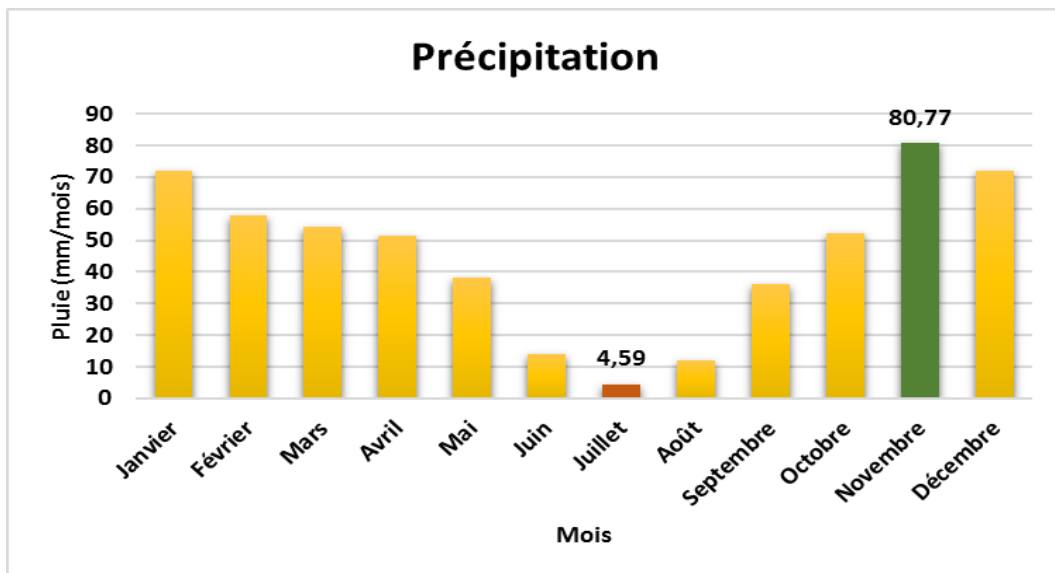


Figure 14: Variations des moyennes mensuelles des précipitations (1988-2020)

2.1.2 La Température

L'analyse de la moyenne mensuelle des températures (Figure 15) montre que le mois d'Aout est le mois le plus chaud avec une moyenne de 26,54°C alors que le mois de Janvier est le mois le plus froid ou les températures moyennes n'excèdent pas 11,90°C.

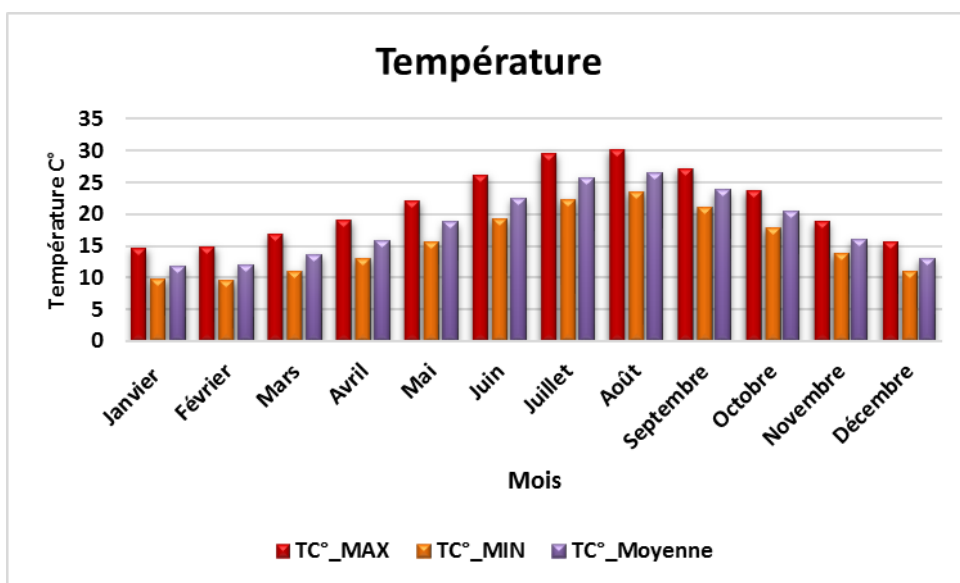


Figure 15: Les variations mensuelles des températures (1988-2020)

2.1.3 Les vents

Les vents par leurs actions directes sur la déformation de la surface libre (houle, vague) et leurs conséquences en termes de dynamiques sédimentaires , sont des agents météorologiques particulièrement importants à considérer. Les vents interviennent également dans l'évolution et la reconstitution des dunes- (Seffah et Talaa, 2017).

L'analyse du régime des vents locaux des dernières années est effectuée à partir de 02 sources de données météorologiques afin de comparer et valider la fiabilité des sources :

- Des données [windguru](#) de la station **Alger** de 2005 à 2016.
- Des données du site internet [windfinder](#) ; qui met à disposition des statistiques de vents entre 2012 et 2016, à partir d'enregistrements infra-journalières (chaque les trois heures) de 7 h à 19 h au niveau de la station « Port d'Alger ».

L'analyse statistique des données du vent nous a permet de déterminer les fréquences d'apparition des vents par secteurs à deux échelles : annuelle et saisonnière.

Echelle annuelle

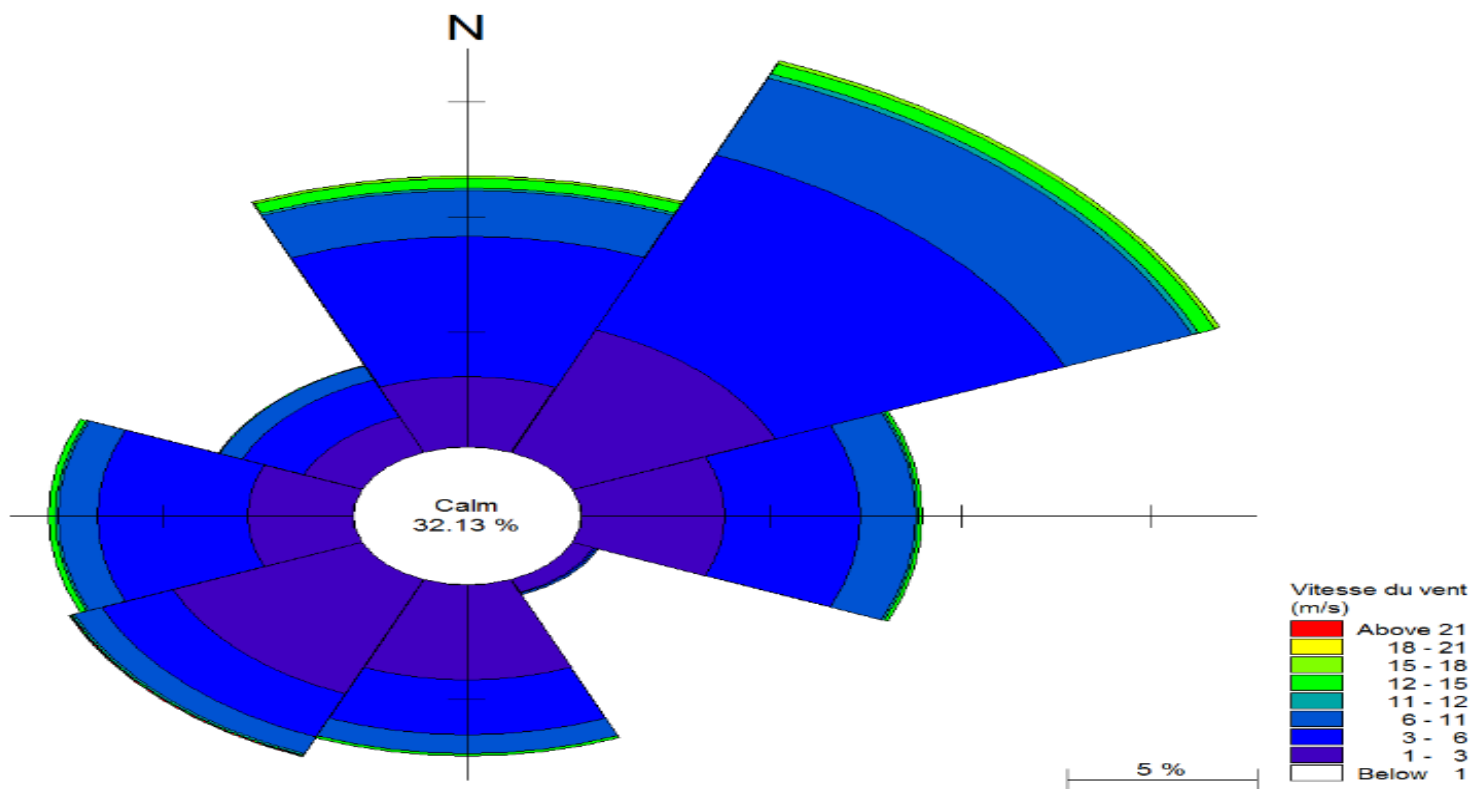


Figure 16: Répartition annuelle des vents en % (Données [Windguru](#), Station Alger Port), (entre Mai 2006 -Mai 2017)

Les vents dominants sont de secteur Nord-Est avec une fréquence moyenne de 11.4 % avec un champ de vitesse moyenne entre 3 et 9 m/s. Les vents calmes représentent 32,13 %. (Figure 16)

Echelle saisonnière : la Figure 17 et la Figure 18 montrent deux régimes de vent: hivernal et estival.

La période hivernale :

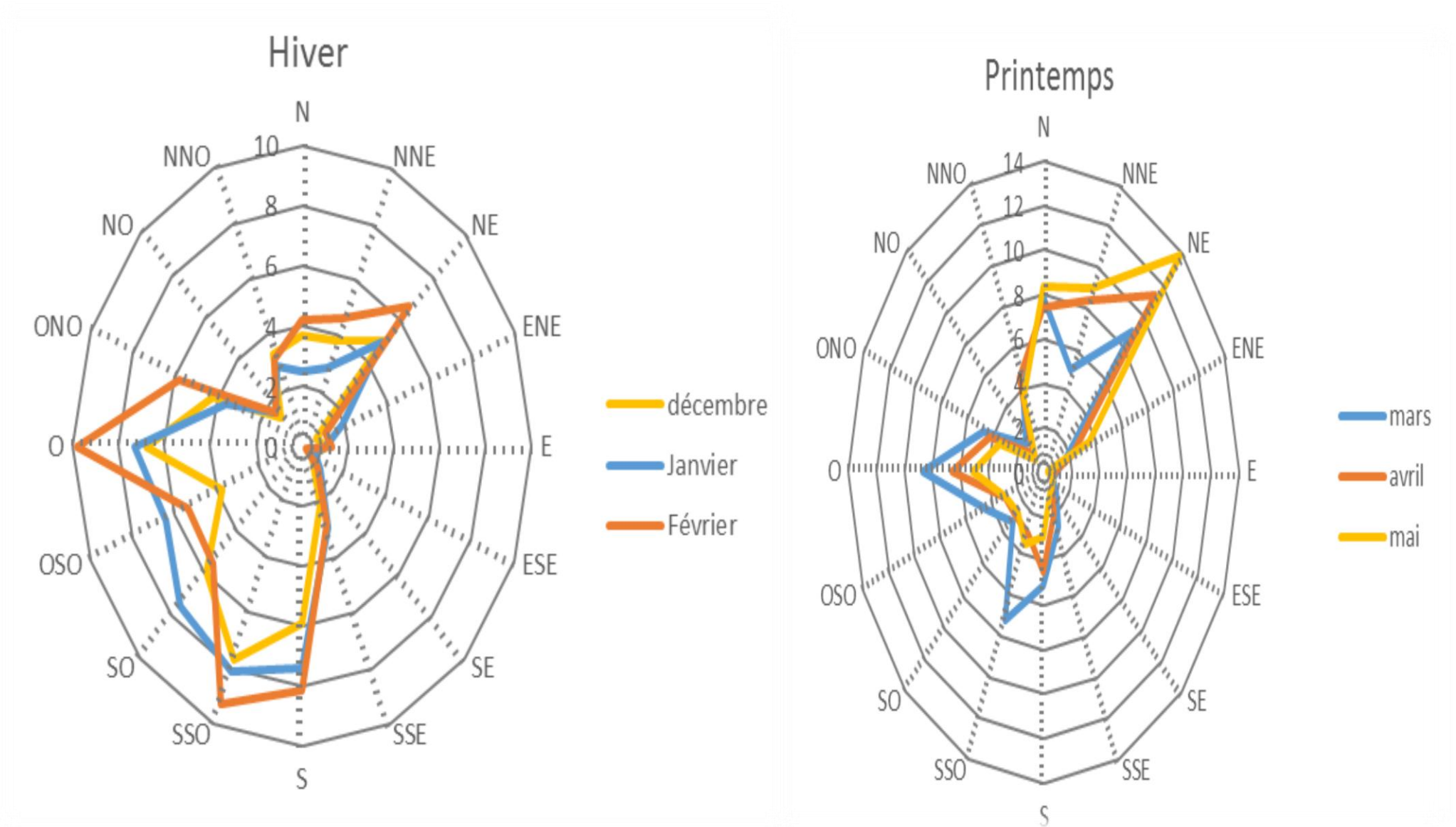


Figure 17: Roses des vents saison hivernale : station Alger (Données [windguru](#), 2005-2016)

Les vents abondants sont de secteur O à NO avec une fréquence de 8 % et un champ de vitesse moyenne de 3 à 9 m/s avec une fréquence de 37 %. Cette période est caractérisée par l'apparition des vents de tempêtes avec des vitesses supérieures à 12 m/s d'une fréquence moyenne de 3 %.

La période estivale :

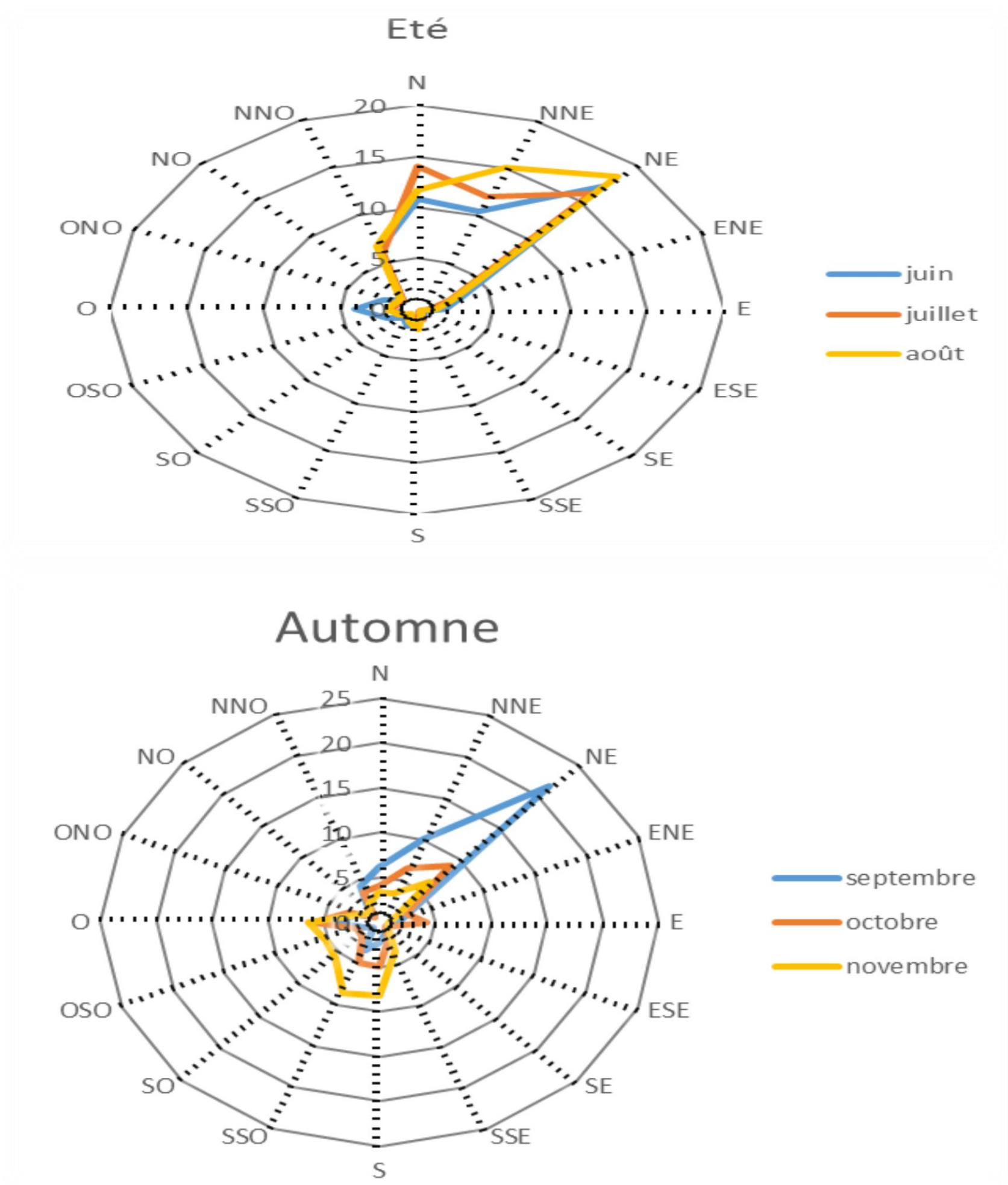


Figure 18: Roses des vents saison estivale : station Alger (Données [windguru](http://windguru.com), 2005-2016)

Les vents qui dominant sont de secteur NE à NNE avec une fréquence d'apparition de 12.63 %, le champ de vitesse et de 3 à 8 m/s avec une fréquence de 40,24 %. (Boukhediche, 2017)

2.1.4 Synthèse climatique

La Figure 19 montre clairement que le climat de la zone d'étude est caractérisé par une période sèche d'Avril à Octobre et par une période humide le reste de l'année.

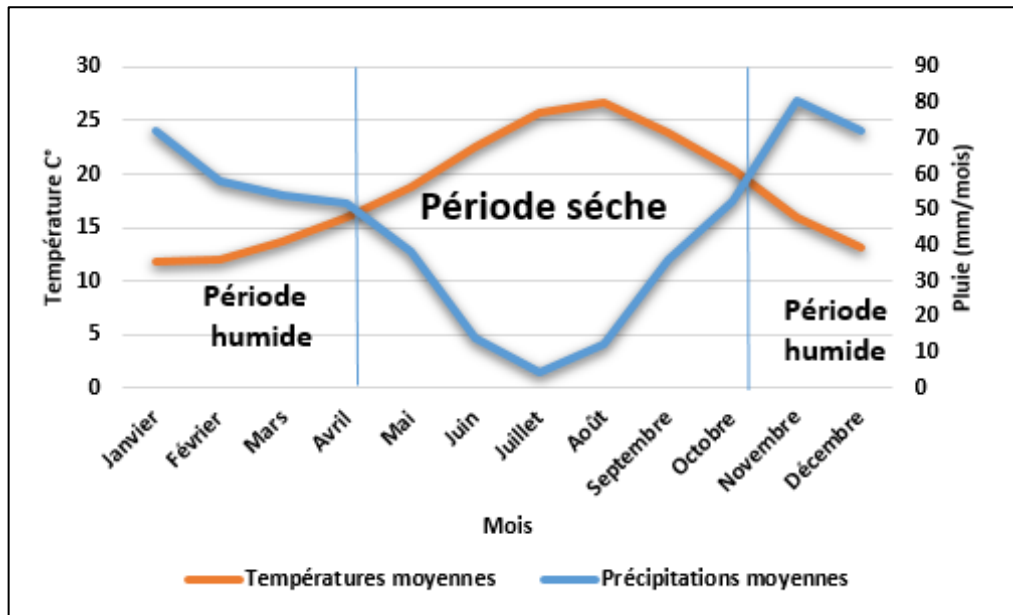


Figure 19: Diagramme Ombrothermique (NSRDB Data Viewer, 1988/2020)

Pour déterminer le bioclimat d'une région, EMBERGER (1955) a institué un quotient pluviothermique Q2 valable pour les climats de type méditerranéen.(Helali et Moussaoui, 2016).

$$Q2 = 1000 * P / (M - m) (M + m)$$

Ce quotient a été modifié par (Stewart (1969) in Tabta et Takka, 2013) en :

$$Q3 = 3,43 * P / (M - m)$$

- **Q2** : Quotientpluvio-thermique annuel (en mm).
- **P** : Précipitation annuelle moyenne (en mm).
- **M** : Moyenne des maximales des mois le plus chaud (en C°).
- **m** : Moyenne des minimales des mois le plus froid (en C°).

Pour définir l'étage bioclimatique de notre région d'étude, nous avons utilisé le climagramme pluvio-thermique de **Sauvage (1963)** qui combine deux paramètres climatiques. L'axe des ordonnées représente les valeurs du quotient(Q3) et sur l'axe des abscisses figurent les

valeurs de température minimale (m) du mois le plus froid. Sur ce climagramme nous avons **cinq étages** bioclimatiques : **Saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide**

Ces derniers sont divisés en sous étages (inférieur, moyen et supérieur) puis en variantes thermiques en fonction de la valeur de (m) Tableau 2 :

Tableau 2: Variantes thermiques

$0^{\circ} < m < -3^{\circ}$	Froid
$+3^{\circ} < m < +7^{\circ}$	Tempéré
$0^{\circ} < m < +3^{\circ}$	Frais
$m > +7^{\circ}$	Chaud

La valeur du quotient pluviométrique d'EMBRGER Q3 est égale à **90,59**. Suivant le climagramme d'EMBERGER (Figure 20) la zone d'étude présente un climat subhumide chaud supérieur.

Tableau 3: Données d'entrée pour le calcul du quotient pluviométrique d'EMBRGER

Variable	P	M	m	Q3
Valeur	545,68mm	30 ,32 C°	9,66 C°	90,59

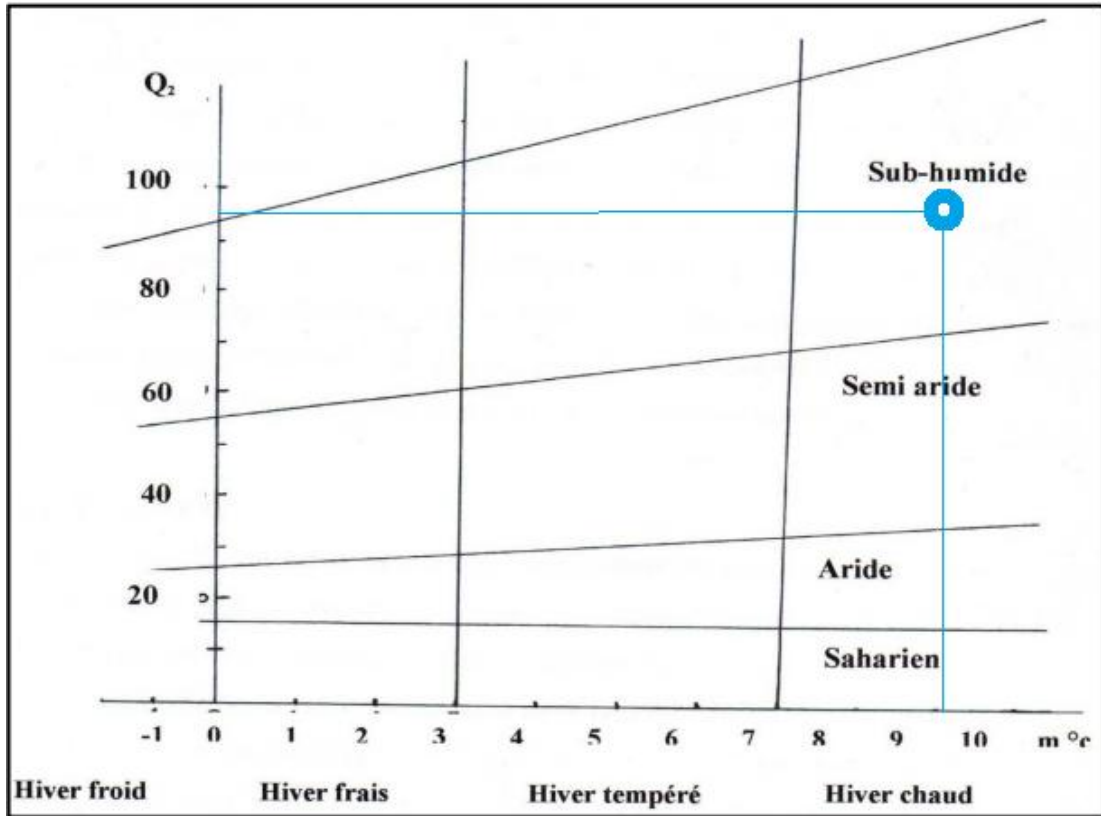


Figure 20: Localisation de la région d'étude dans le climagramme d'EMBERGE

Notre zone d'étude est caractérisée par un climat typiquement méditerranéen avec des étés chauds et secs mais avec des hivers doux et pluvieux. Les précipitations sont abondantes et parfois diluviennes. Les températures sont plutôt uniformes, les étés sont longs et ensoleillés, avec, des fréquences d'apparition des vents très variée qui peut être des vents de tempêtes sur la côte cela peut refléter la possibilité. d'arrachement et d'apport de matériaux via les cours d'eau, l'érosion au niveau des plages.

2.1.5 Inventaire des cours d'eaux

Le réseau hydrographique de la côte Ouest algéroise est constitué essentiellement de deux cours d'eaux importants qui affectent considérablement la morpho-dynamique côtière : oued Mazafran qui représente la limite ouest de la zone d'étude et oued Beni Messous.

2.1.5.1 **Oued Beni Messous**

Se situe à 18 km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et Club des Pins, alimente la Baie d'El Djamila, son débit est faible par rapport au débit des autres oueds (Oued Nador et Oued Mazafran) (Figure 21). La superficie de bassin versant d'environ 33 Km², son embouchure est à

environ 2Km à l'Ouest du port d'El Djamila, il est rarement à sec, lors de fortes précipitations il a une capacité de ravinement peu importante. Son débit est faible, estimé à 77000 H m³/an (0.245 m³/s) (in (Bouzeoura et Houa 2018))

2.1.5.2 Oued Mazafran

Situé à l'Ouest de Sidi Fredj, Oued Mazafran est formé par la ramification des Oueds DjerChaffa et Bou-Roumi (Figure 22). Cet Oued débouche entre Zéralda et Douaouda possédant un bassin versant de 1850 m², avec un apport période moyenne de 2850 Hm³/an (in (Bouzeoura et Houa 2018))

Les reliefs du bassin versant du Mazafran montrent des zones où les pentes sont assez importantes, qui vont influent sur la vitesse d'écoulement du cours d'eau.

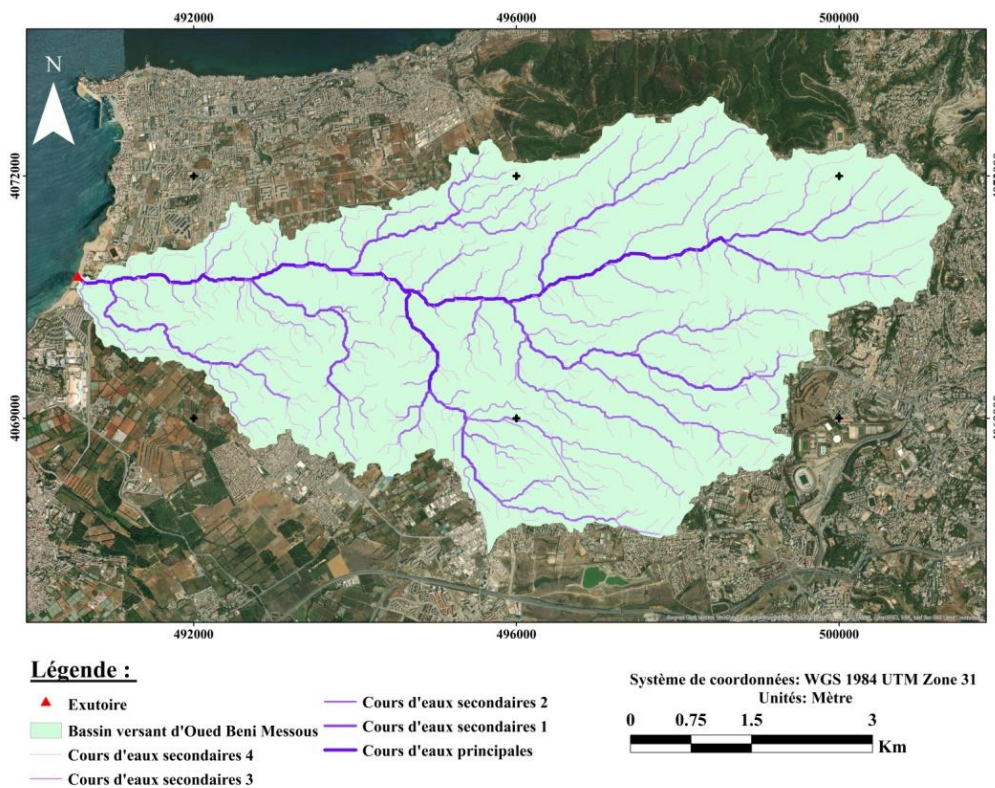


Figure 21 : Carte représentant le bassin versant de l'Oued Beni Messous

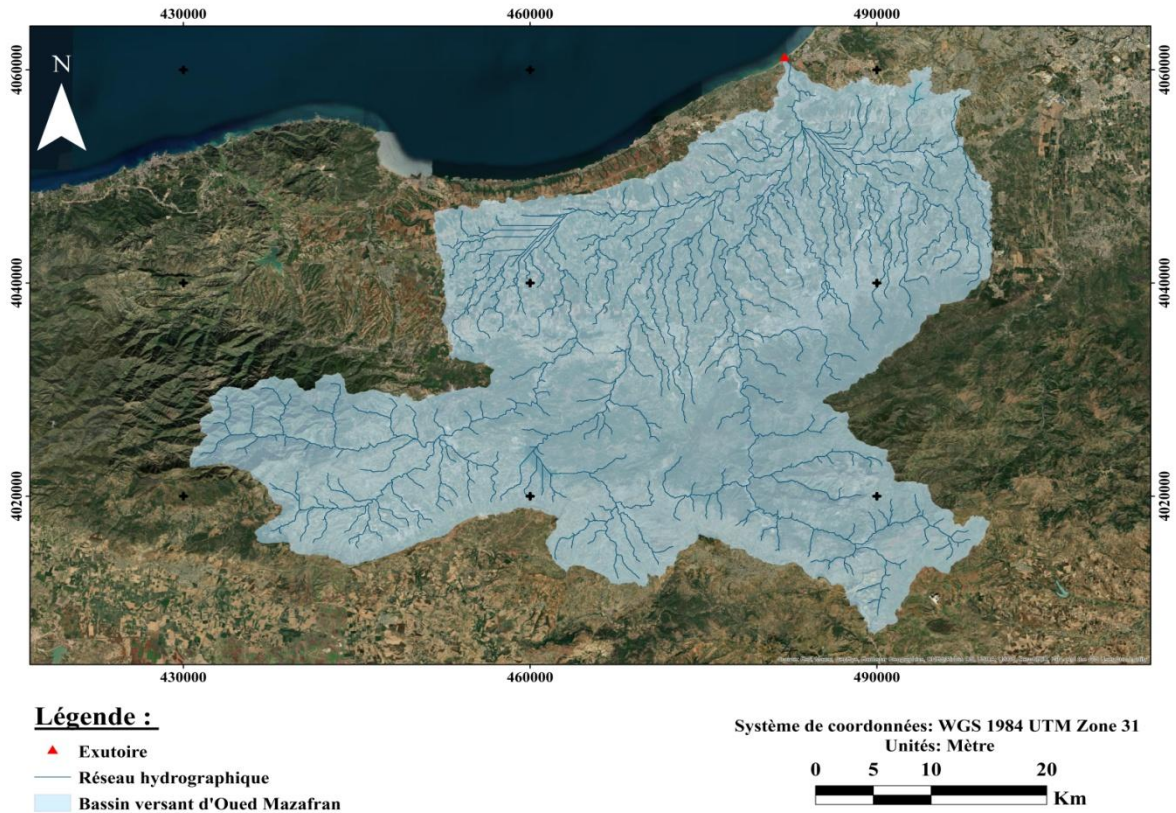


Figure 22 : Carte représentant le bassin versant de l'Oued Mazafran

2.1.6 Evaluation des flux sédimentaires :

La zone d'étude présente principalement deux oueds, mais Oued Mzafran est considéré comme le plus important suite à leur grand débit solide charrié vers la mer ouverte ce qui assure une alimentation des plages à proximité.

D'après la Figure 23

, Les débits solide d'Oued Mazafran augmentent progressivement en période hivernale et diminuée en période estivale par endroits au fur et à mesure qu'on s'approche de la zone alimentation de l'oued par la nappe phréatique. Le débit atteint son maximum durant la période printanière (mois de mars) estimé par 17.76 Kg/s, tandis les valeurs minimal sont enregistrées durant la saison estivale (mois d'Aout 0.29 Kg/s).

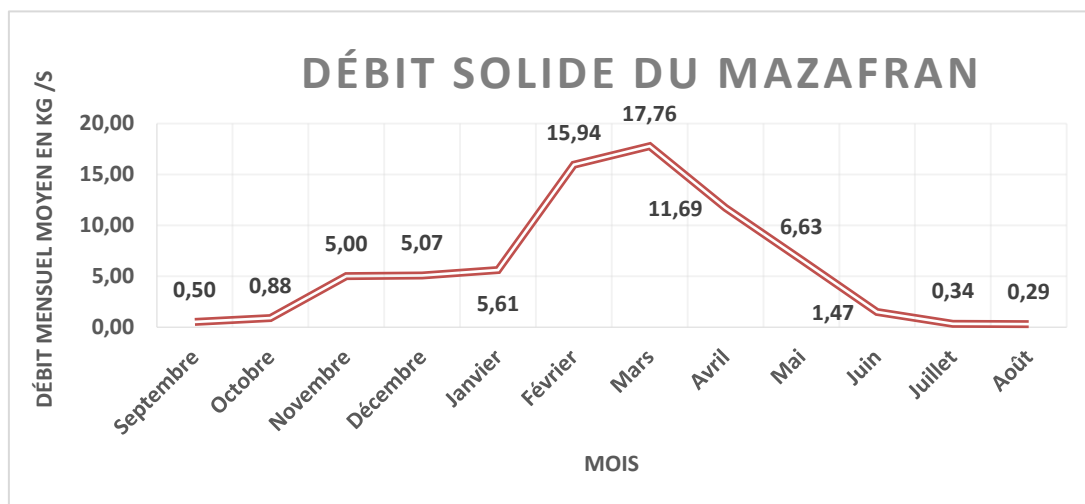


Figure 23: Variation mensuelle de débit solide d'Oued Mazafran ANRH(2003-2012)

2.2 Étude Géologique

L'analyse de l'environnement géologique et sédimentologique permet, d'une part, de définir les sources ultimes et proximales de sédiments des différents segments du cordon dunaire et des plages de la côte étudiée et, d'autre part, de connaître les processus de leurs mises en place (Kermani , 2016).

2.2.1 Caractéristiques géologiques

Le massif de Bouzareah ou le massif d'Alger, ce relief est constitué de roches cristallophylliennes, de mica et de schiste, les bords nord de ce massif sont caractérisés par des barrières de Terraces marines. Les substratums métamorphiques de la presqu'île de Sidi Fredj et d'El Marsa sont constitués de granites et de gneiss largement fissurés et diaclases.(Nadir 2016).

2.2.2 Géologie locale

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger (Sekkal 1986), ce relief est constitué d'un socle métamorphique primaire au niveau de cap Matifou et au mont Bouzaréah, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja. (Messaoud, 1987).

2.2.3 Stratigraphie de la région

La région d'Alger a connu une très grande lacune de sédimentation au cours du Secondaire et de la base du Tertiaire (Éocène-Oligocène), seul le Primaire et le Mio-plio-quadernaire y est représenté, mais la formation la plus importante est celle du quadernaire (bougherara, 2011).

D'après SOGREA (2010), le faciès du Quadernaire marin, largement représenté tout le long du littoral, présente une succession de couches qui débutent par (Figure 24):

- Un calcaire coquillier (connue aussi sous le nom de lumachelle),
- Un grès et les dépôts de plage (qui terminent l'épisode marin)
- Les dépôts dunaires, plus lapidifiés (terrasses plus récentes). Les dépôts marins peuvent atteindre 10 mètres d'épaisseur alors que les dépôts éoliens atteignent une trentaine de mètres d'épaisseur.

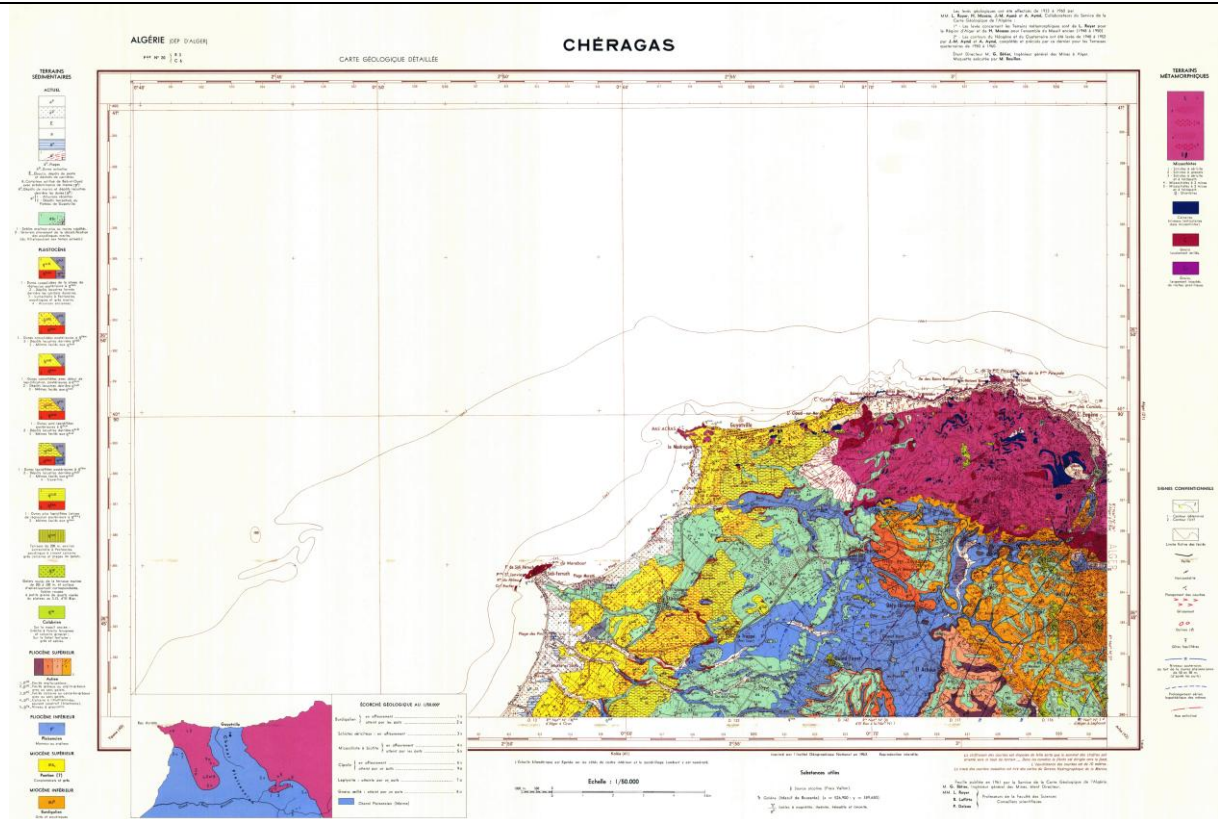


Figure 24: Carte géologique de la zone d'étude

2.2.4 Caractéristiques géomorphologiques

L'étude morpho-structurale constitue l'élément le plus déterminant de la compréhension de l'évolution géomorphologique de la zone d'étude (Kermani, 2016).

La côte Ouest Algéroise comprend la baie d'El Djamila et une partie de la grande baie de Bouismail, elle est caractérisée par des aspects littoraux peu diversifiés à savoir : des plages (plage Azur, Palm Beach Sidi Fredj ...), des dunes (le cordon de Zéralda) et des côtes à falaises.

2.2.4.1 Les plages

La majorité des plages de la zone sont sableuses, qui ne diffèrent que dans la forme : plages rectilignes, de poche ou de pied de falaise (Tableau 4).

Ce secteur est caractérisé par l'abondance des plages sableuses ouvertes le long de la baie d'El Djamila jusqu'à Oued Mazafran (Tableau 4), et la présence des plages de poche et de pied de falaise au niveau du linéaire rocheux à l'est. Le Tableau représente un récapitulatif d'une prospection terrain ainsi qu'un traitement basique sous ArcGis de la zone d'étude.

De nombreux platiers rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau jusqu'à des profondeurs de 4 à 5 m sur la plage de Moretti et de Club des Pins. Actuellement, certains affleurements sont recouverts par l'ensablement de la zone adjacente à la jetée Sud du port.

2.2.4.2 Les dunes

De grands champs de dunes accompagnent presque toujours les plages bien alimentées en sable (Paskoff, 2010).

Les dunes littorales de la baie d'El Djamila constituent le prolongement oriental d'un cordon dunaire prenant naissance à l'embouchure de l'Oued Mazafran et qui continue jusqu'à l'Est de l'Oued Béni Messous. Le cordon atteint une largeur maximale sur les plages de Staoueli et Club des Pins. Ces dunes ont une extension et une morphologie très variable en fonction de la direction des vents dominants. En effet, il existe deux bandes littorales parallèles à la côte. L'une borde la haute plage, c'est la zone des dunes mobiles, l'autre se situe vers l'intérieure des terres, et est caractérisée par une couverture végétale dense ; c'est la zone des dunes fixes.

Les systèmes dunaires de la côte Ouest d'Alger sont en voie de dégradation à cause de l'extension excessive du tissu urbain, des constructions incontrôlées, des structures de plage et l'extraction de sable à des fins de construction (Amis, 2004).

Le cordon dunaire est considéré comme une barrière naturelle de protection de l'arrière-pays face aux forces côtières. Malheureusement, les acteurs de la zone ont commencé à l'arasé pour l'installation d'infrastructures balnéaires comme celles de Kheloufi à l'Ouest (Figure 25).

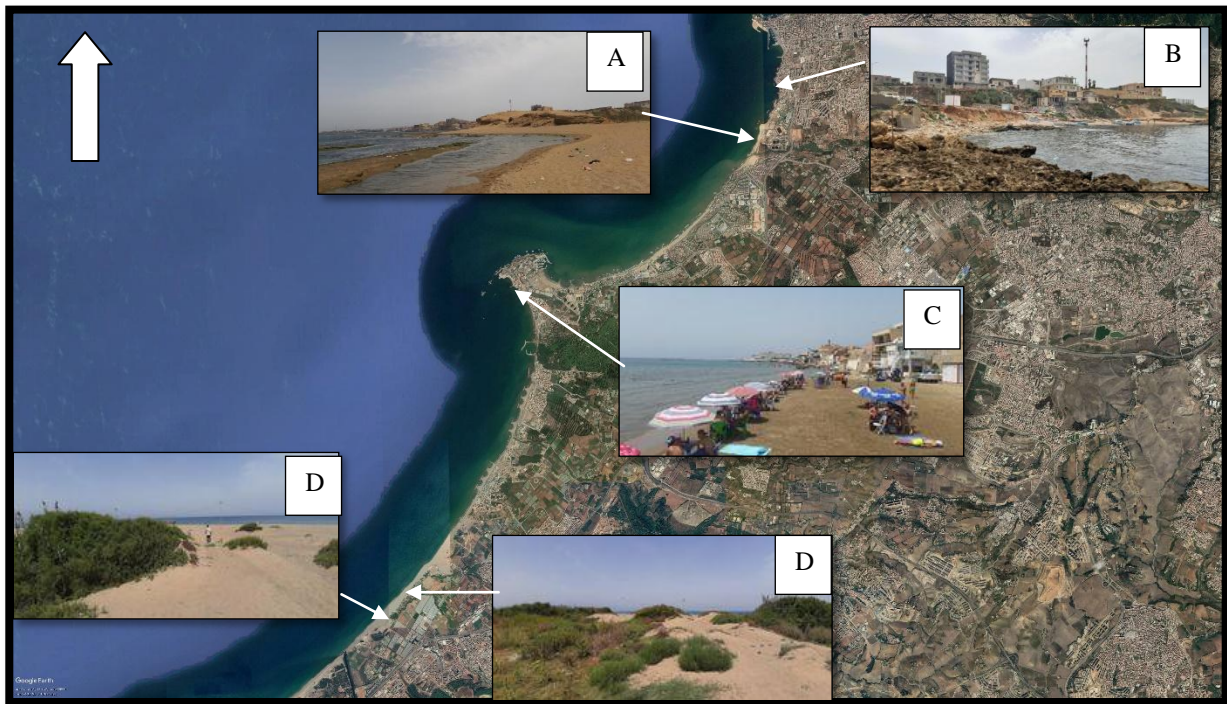


Figure 25: Détails des prospections terrain sur la zone d'étude. A : Embouchure Oued Beni Messous, B : La plage Fontaine, C : Plage de Sidi Fredj Ouest, D : Plage de Zéralda.

Tableau 4: Fiche technique des plages de la zone d'étude

Plage	Commune	Superficie (m²)	Longueur (m)	Présence d'ouvrages de protection	Degré d'artificialisation	Nature lithologique	Présence des Oueds
Baie d'El Djamila							
Plage El Djamila	Ain Benian	8065.94	180	Oui	Fort	Sableuse	Non
El Bahdja	Ain Benian	45662.6	1200	Non	Moyen	Sableuse	Non
Les Dunes	Chéraga	46281.72	555	Non	Fort	Sableuse	Oui
Shératon	Staoueli	50286.93	670	Non	Fort	Sableuse	Non
Moretti	Staoueli	18882.73	995	Oui	Fort	Sableuse	Non
Sidi Fredj est	Staoueli	25556.05	408	Non	Fort	Sableuse	Non
Sidi Fredj Ouest	Staoueli		205	Non	Fort	Sableuse	Non
Baie de Bouismail							
CRF Staoueli	Staoueli	32605.64	916	Oui	Fort	Sableuse	Non
Palm Beach	Staoueli	28695.47	730	Oui	Moyen	Sableuse	Non
Complexe touristique (CTZ)	Zeralda	39640.91	1202	Oui	Fort	Sableuse	Non
Plage Familiale	Zeralda	45214.75	967	Non	Faible	Sableuse	Non
Kheloufi 2	Zeralda	85274.07	1444	Non	Faible	Sableuse	Oui
Kheloufi 1	Zeralda	24176.56	608	Non	Faible	Sableuse	Non

2.3 Étude Topo-bathymétrique

Les fonds marins constituent généralement le prolongement naturel des structures terrestres, il y a souvent donc une relation étroite entre la géomorphologie du littoral et la topographie générale des fonds. La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques, qui entraînent des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux (Nechenache et al., 2015). Les données topo-bathymétriques représentent une information primordiale pour la compréhension de phénomènes hydro-sédimentaires près du rivage (Nouri et Yahia Meddah, 2017).

2.3.1 Approche méthodologique

Les développements technologiques récents, notamment en imagerie, ont conduit à l'acquisition d'une grande quantité de données distribuées par divers organismes. Un nombre croissant de données de référence est disponible, permettant la mise en œuvre d'applications de recherche utilisant les potentialités d'analyse et de représentation des SIG (ex : ArcGIS). Pour les petits fonds marins côtiers, les Modèles Numériques de Profondeur (MNP) ou bien les modèles numériques de terrain (MNT) sont particulièrement appréciés des scientifiques, notamment pour leur aptitude à permettre le calcul de surfaces ou de volumes, à fournir divers indices, tels que l'inclinaison et l'orientation des pentes, ainsi que pour leurs possibilités de visualisation des structures en trois dimensions. (Laassilia et Oussama, 2013).

2.3.1.1 Acquisition des données topo-bathymétriques

Les données utilisées dans ce traitement, provenant de différentes sources et à différentes résolutions spatiales, sont résumées dans le (Tableau 5):

Tableau 5: Caractéristiques des données utilisées dans l'étude

Données	Système de coordonnées	Source	Année	Résolution (m)	Moyens utilisés
Topographie (MNT)	WGS 1984 UTM Zone 31U	ANCC ¹	2017	[0,5-2,5]	DGPS ²
Bathymétrie (Raster)		Navionics ³	2021	[(-0,5)~(-30)]=0,5 [(-30)~(-52)]=1	ArcGIS 10.4.1
Trait de côte (fichier forme)		SAS-Planète	2019	0,5	Arc GIS 10.4.1

Les données de la bathymétrie utilisées dans ce travail sont obtenues à partir d'une digitalisation des cartes bathymétriques de la base de données de Navionics à l'aide du logiciel ArcGis. Cette dernière offre une précision de 0,5m/pas en allons de 0m jusqu'à -30m de profondeur, et 1m/pas de -30m jusqu'à -52m de profondeur, L'erreur altimétrique est de l'ordre centimétrique et est de 10m dans le positionnement (source : <https://www.navionics.com/fra/>).

2.3.1.2 Prétraitement des données

Après l'acquisition des données topo-bathymétriques, on est passé à leur traitement numérique à l'aide du logiciel de Systèmes d'Informations Géographiques ArcGIS 10.4.1.

La Figure 26 représente les étapes de traitement :

¹ [Agence Nationale des Changements Climatiques](#)

² Differential Global Positioning System en anglais

³ <https://www.navionics.com/fra/>

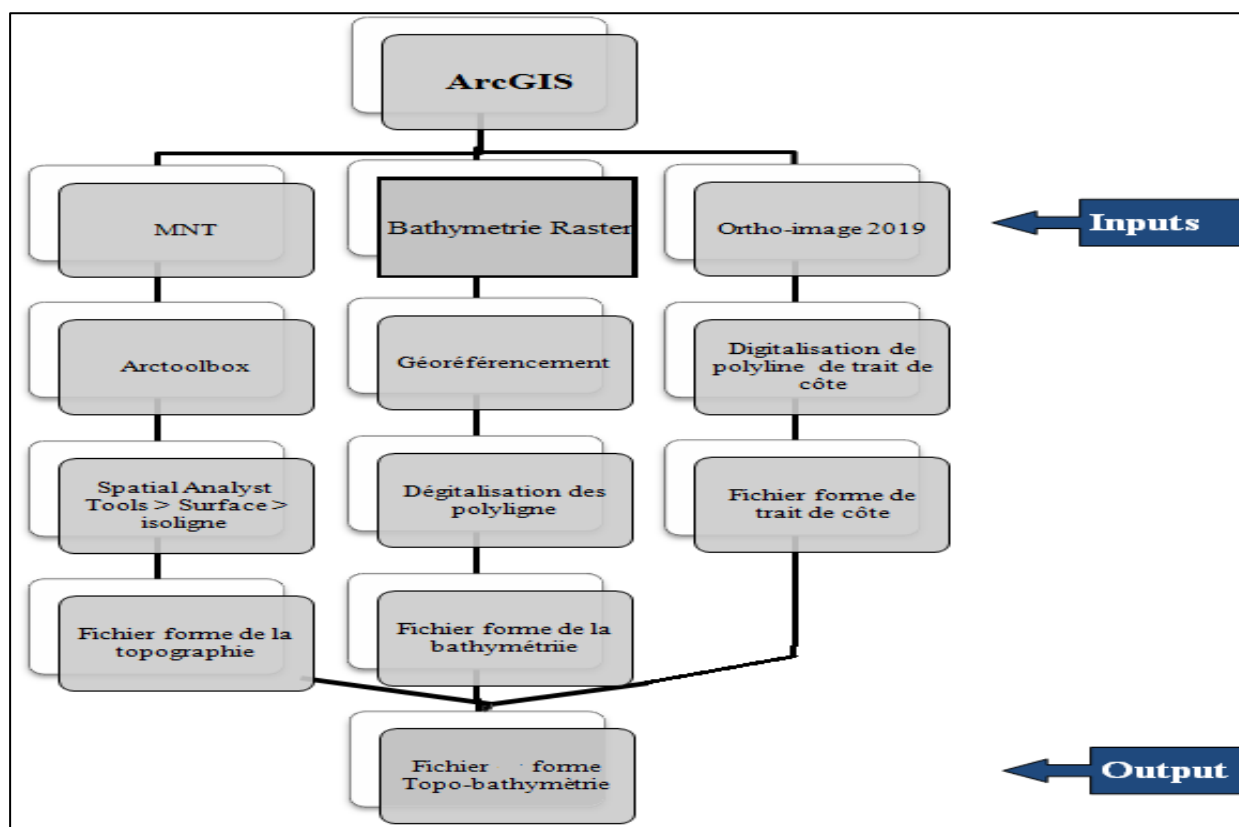


Figure 26: Etapes de réalisation d'un fichier forme de la Topo-bathymétrie

Le résultat de ce prétraitement est un fichier forme qui contient 23.485.567 points tridimensionnels (X, Y, Z).

2.3.1.3 La réalisation et exploitation d'un MNT

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) appelé aussi Digital Elevation Model (DEM) est une représentation numérique et mathématique de la hauteur ou profondeur d'un point quelconque de la surface terrestre d'une zone géographique dans un système référentiel bien défini (Chaïbi et al., 2014).

Ce MNT fournit des informations sur la forme du relief et sur sa position. Cependant, il s'agit d'un modèle qui ne prend pas en considération le sursol (végétation ou bâtiment). Si le sursol est pris en compte, alors on parle de Modèle Numérique de Surface (MNS). Notant que $MNS - MNT = MNE$ qui est le Modèle Numérique d'Élévation ou bien Digital Élévation Model (DEM).

Un MNT a plusieurs façons d'être représenté, soit sous format raster soit sous format vecteur. Le format raster est une représentation matricielle des données en 2D alors que le format vecteur représente les données sous forme de lignes, de polygones ou de triangles en 2D ou en 3D (Chanel, 2012).

Les données acquises sont disposées de manière irrégulière et ne permettent pas d'avoir une connaissance en tout point de la haute (ou profondeur) du terrain. Pour ce faire, il faut définir une méthode d'interpolation qui permettra de décrire ce paramètre de manière continue. Ces méthodes d'interpolation sont très variées, avec leurs avantages et leurs inconvénients (CHANEL, 2012).

La génération d'un MNT s'effectue directement sous SIG à l'aide des outils d'analyse 3D (interpolation raster) de l'extension Arctoolbox du logiciel Arcgis. Cette opération se fait en interpolant le fichier de points de référence qui contient des informations d'élévation topographique pour avoir un fichier raster (en 2D). Ce dernier représente une surface continue disposant de l'information sur le triplet de coordonnées XYZ sur l'ensemble de la zone d'étude à un intervalle régulier. Il existe différentes méthodes d'interpolation : l'inverse de la distance pondérée (IDW), le kriging, la méthode ANUDEM (topo vers raster), le voisin naturel, et la méthode Spline. La méthode d'interpolation la plus adaptée est choisie selon la nature des nuages de points à traiter et les outils disponibles (BOUNOUA et KACI, 2017).

La méthode d'interpolation choisie pour la suite du travail est celle d'ANUDEM (topo vers raster) qui donne une meilleure représentation de la réalité. Cette méthode utilise une technique d'interpolation spécialement conçue pour créer une surface qui représente au mieux une surface de drainage naturel et préserve à la fois les lignes de crête ainsi que les réseaux de cours d'eau (Manuel d'ArcGIS).

Les étapes de cette interpolation sont représentées sur la (Figure 27) suivant :

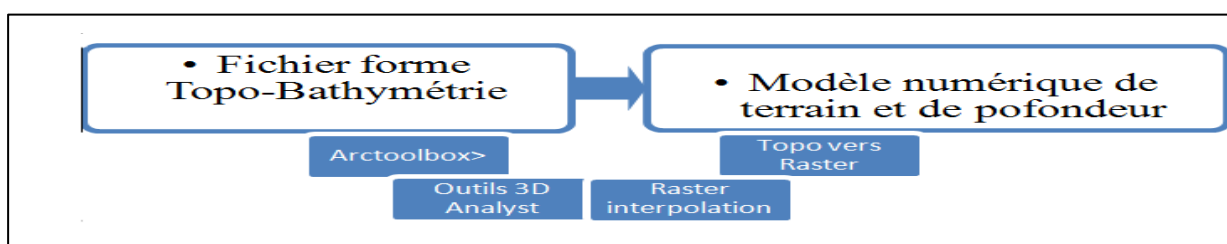


Figure 27: Procédure de l'interpolation ANUDEM (topo vers raster)

La qualité d'un MNT dépend directement de la source de données à partir de laquelle il est généré, de l'intervalle et le type du maillage utilisé (maillage régulier carré (raster), maillage triangulaire régulier, maillage triangulaire quelconque (TIN)), ainsi que du mécanisme d'interpolation (CHEREL 2010).

Le résultat de cette interpolation est un modèle numérique de terrain et de profondeur avec une résolution de 1,5m. Une représentation des résultats a été faite sous forme d'une carte de réseau triangulé irrégulier (TIN) et d'une carte des pentes. Pour ce faire, l'outil 3D Analyst a été utilisé selon les étapes détaillées dans la Figure 28.

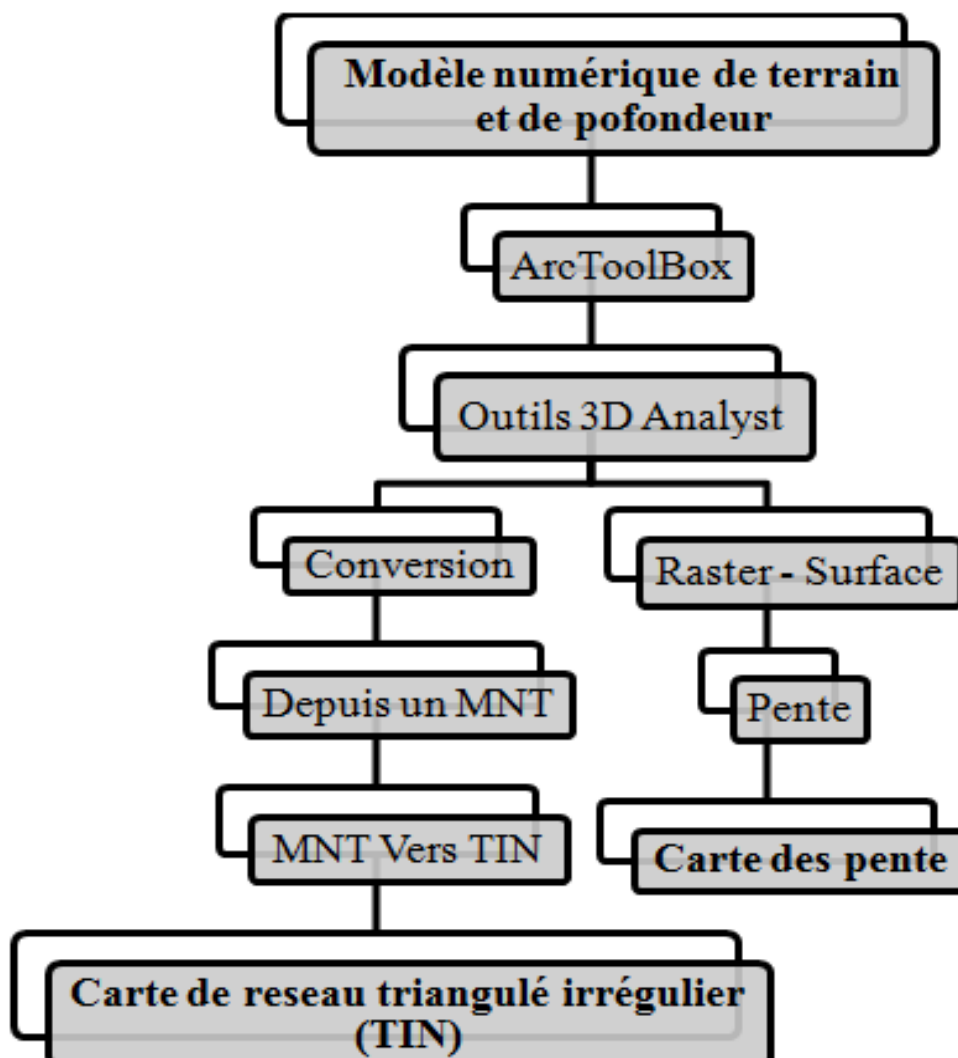


Figure 28: Etapes de représentation de l'MNT et de profondeur

2.3.2 Résultats et discussions

2.3.2.1 Représentation cartographiques

Les figures ci-dessus (Figure 29, et Figure 30 et Figure 31) représentent la morphologie terrestre et sous-marine de la zone ouest d'Alger avec une résolution de 1,5m.

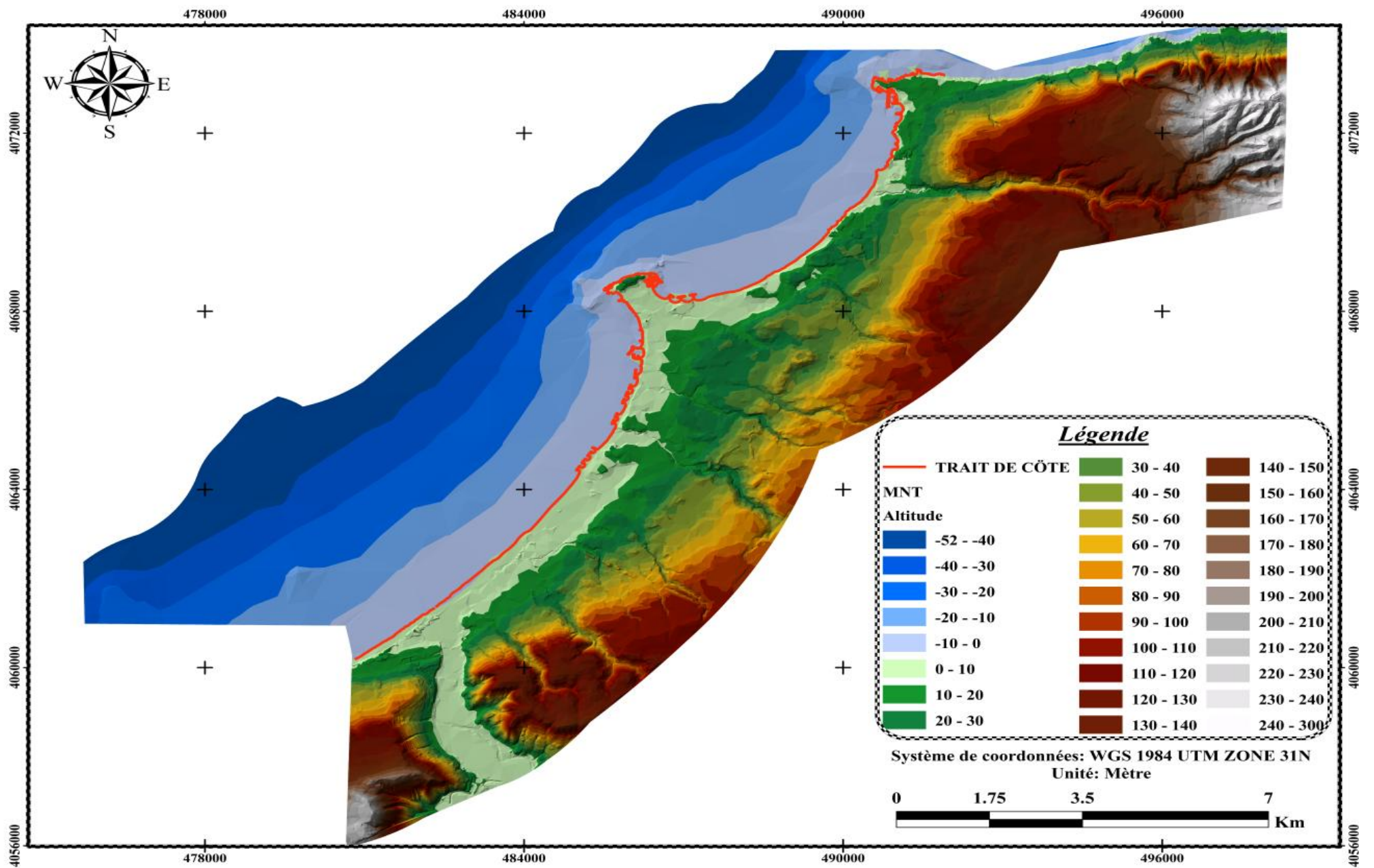


Figure 29: Carte du Réseau Triangulé Irrégulier (TIN) De La Zone Ouest d'Alger

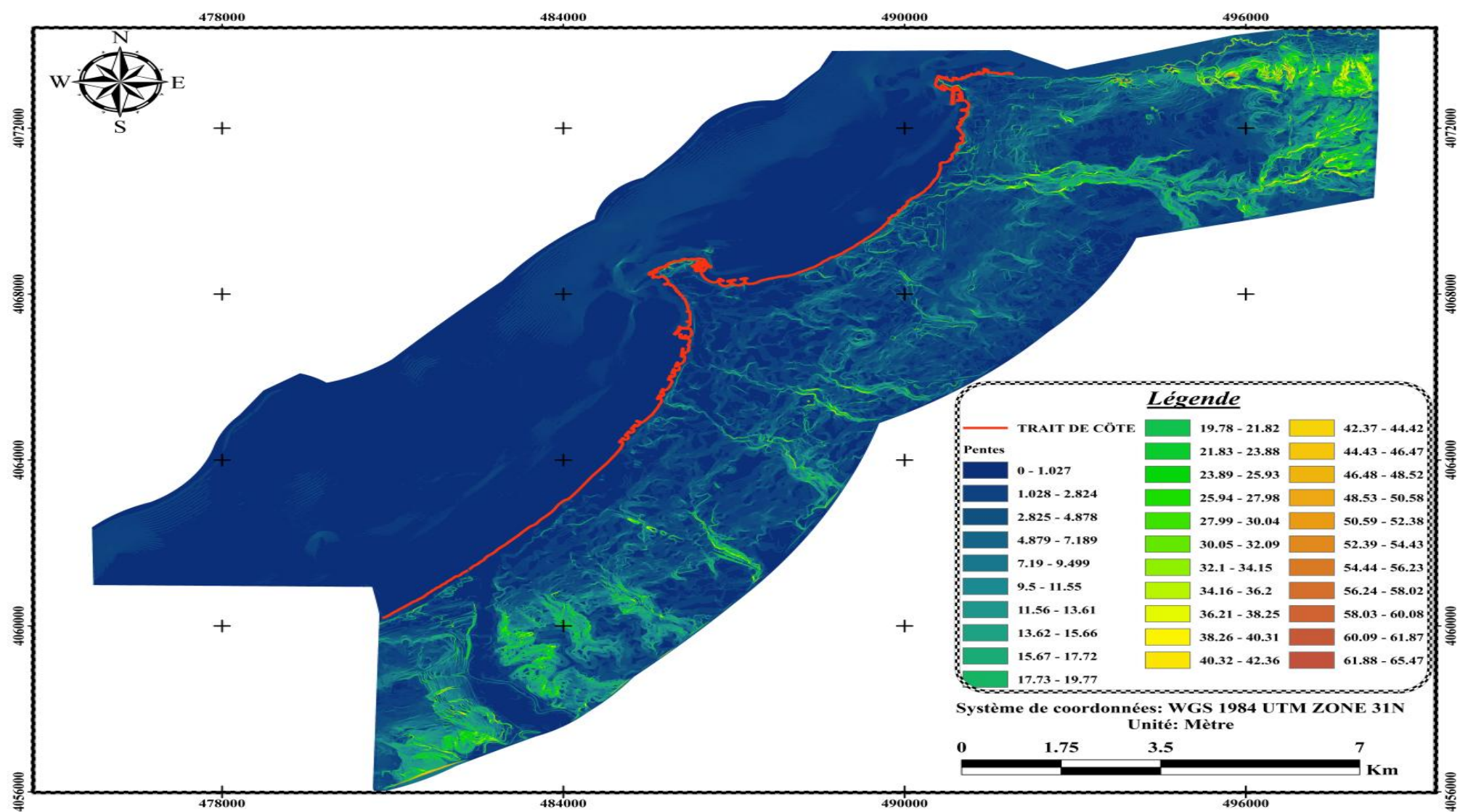


Figure 30: Carte Des Pentes De La Zone Ouest d'Alger

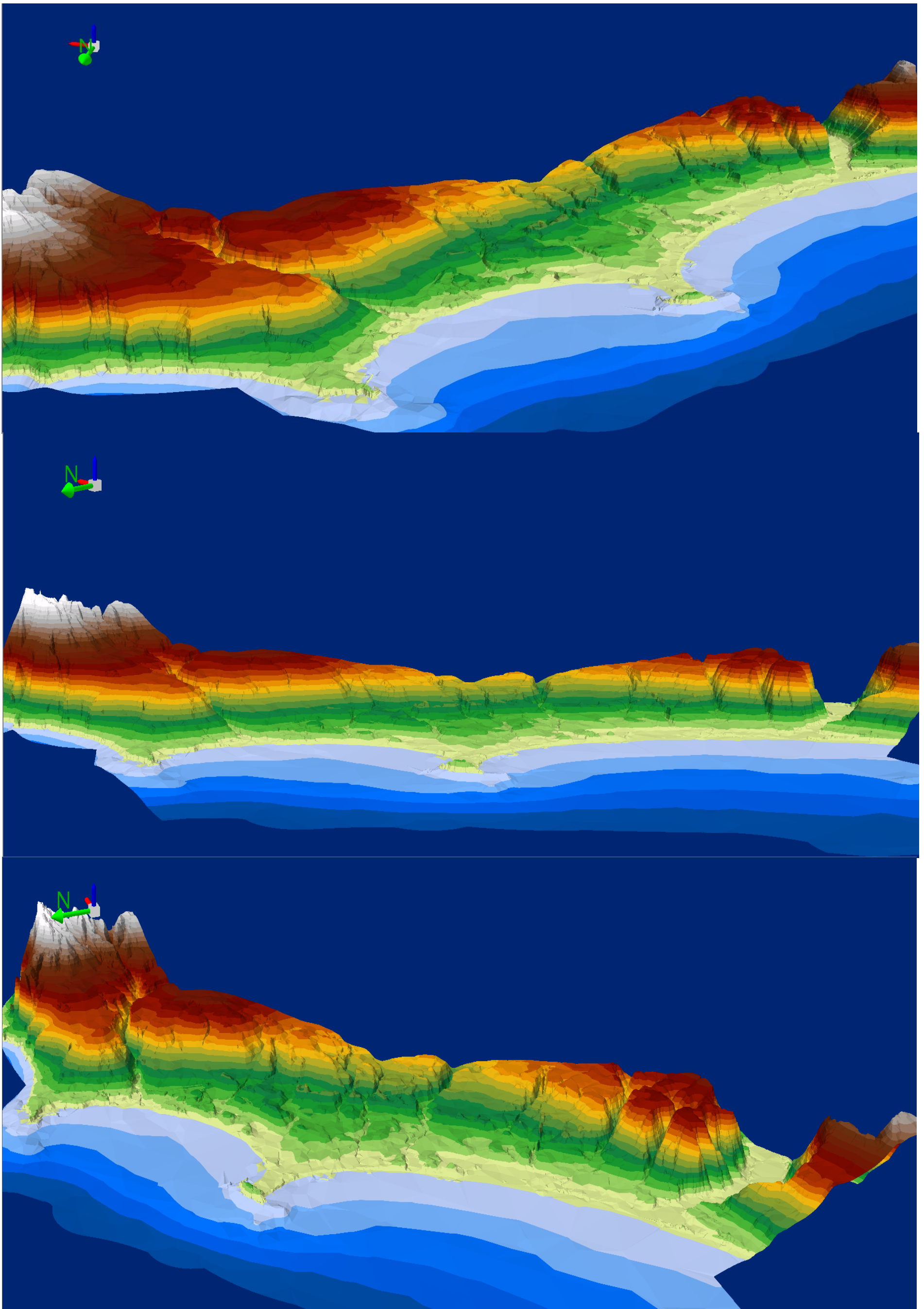


Figure 31 : Visualisation du réseau triangulé irrégulier (TIN) de la zone ouest d'Alger en trois dimension sur ArcScene 10.4.1

D'une manière générale, on constate que :

- Les variations d'altitude de notre zone d'étude se situent entre -52m de profondeur et 300m de hauteur.
- Les pentes du terrain sont comprises entre 0° et $65,469^\circ$.
- Une forte pente se manifeste dans la zone des hautes élévations par contre dans les faibles élévations, on remarque l'inverse.
- Les zones d'embouchures présentent une certaine stabilité de la pente qui tend d'une façon régulière à des équidistances égales entre les isobathes ; Ceci rendrait ces zones vulnérables aux menaces de submersion.
- Les côtes rocheuses et les presqu'îles ont une pente très importante, vu qu'au niveau de ces derniers, il y a présence de jetées de port et d'une partie du platier rocheux.
- Pour ce qui concerne les plages sableuses, notre zone d'étude présente des pentes assez faible [$1,028^\circ \sim 2,824^\circ$].

2.3.2.2 Analyse des profils bathymétriques

Afin de faciliter la lecture et la compréhension des résultats obtenus, nous avons établi 05 profils Types, représentatifs de la zone d'étude, répartis selon la Figure 33 et la Figure 34. Pour chaque profil, une courbe a été tracée suivant les étapes présentées dans l'organigramme ci-dessous :



Figure 32: Organigramme Des Etapes De Création Des Profils

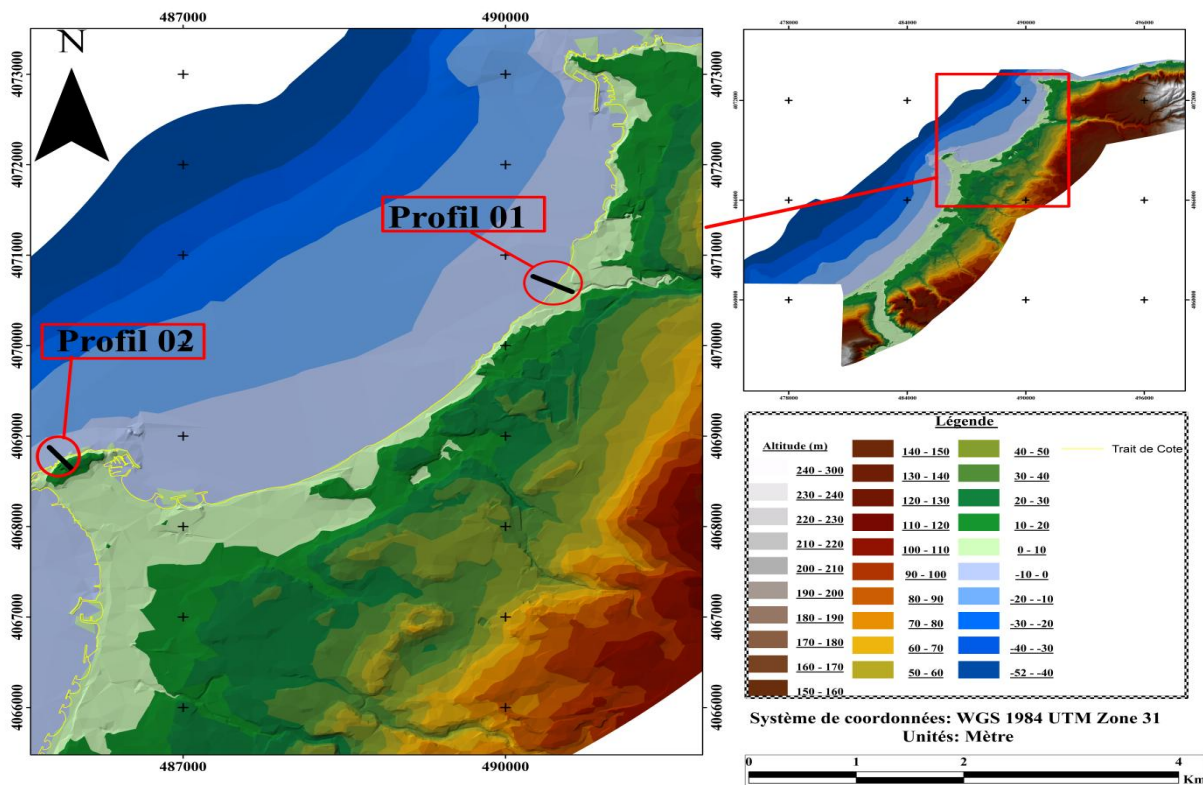


Figure 33: Localisation des profils 01 et 02

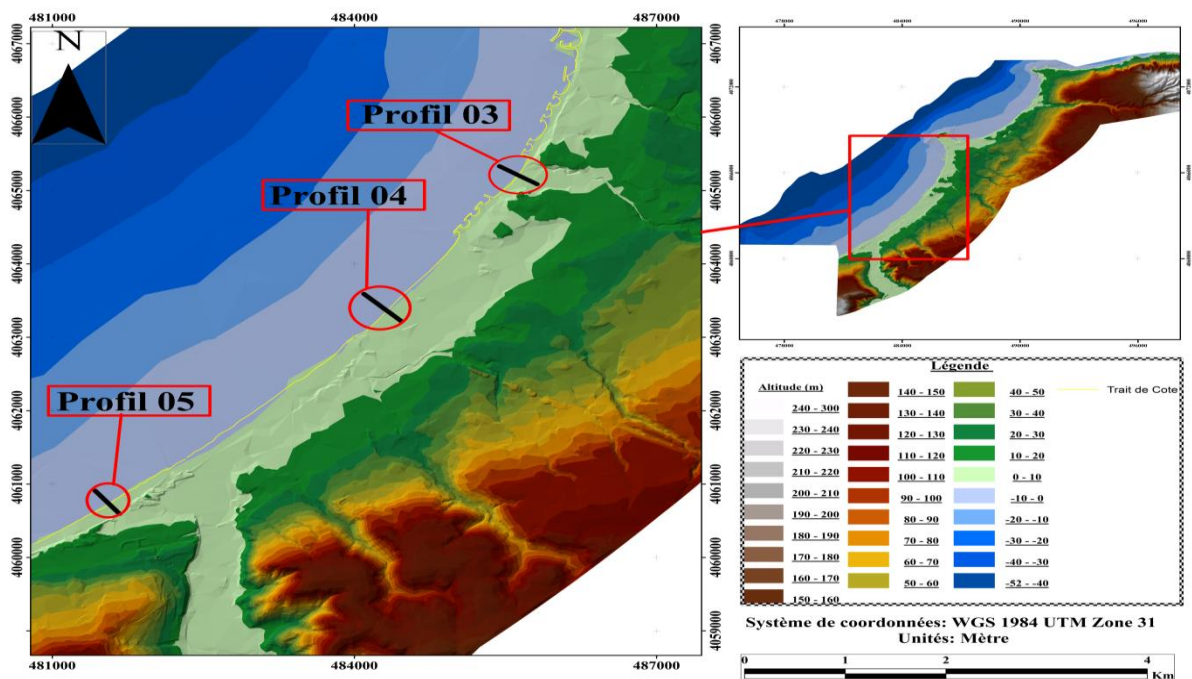


Figure 34: Localisation des profils 03 et 04 et 05

-Profil 01 :

A partir de la Figure 35 et des constats réalisés durant la sortie sur terrain (Figure 36), on constate que le fond de cette partie de l'embouchure de Oued Beni-Messous est presque régulier, caractérisé par une pente relativement faible, qui est divisée en deux pentes : la première (0m~2m) est de 3,33% ; la deuxième (-2m~-4m) est de 0,95%.

Cette partie de notre zone d'étude semble donc vulnérable.

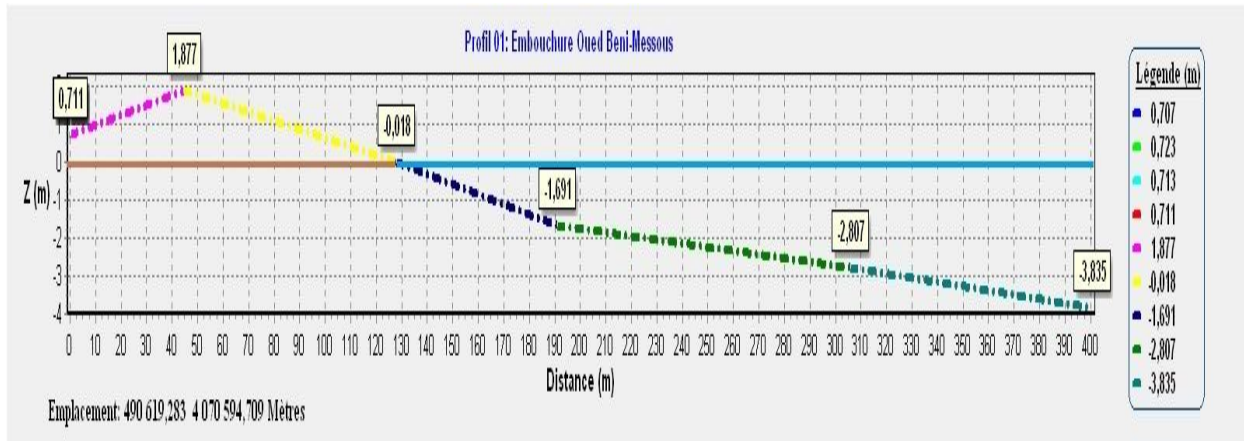


Figure 35: Profil De L'embouchure De Oued Beni-Messous



Figure 36: Oued Beni-Messous (Photo prise le 14/06/2021)

-Profil 02 :

D'après la Figure 37, on constate que le cap de Sidi-Fredj est caractérisé par une falaise ce qui implique une pente abrupte de 40% d'inclinaison (0m~1m), suivie par une pente douce de 3,85% qui est la plateforme d'abrasion, visible sur la Figure 38.

Il n'y aurait, de ce fait, une vulnérabilité minimum.

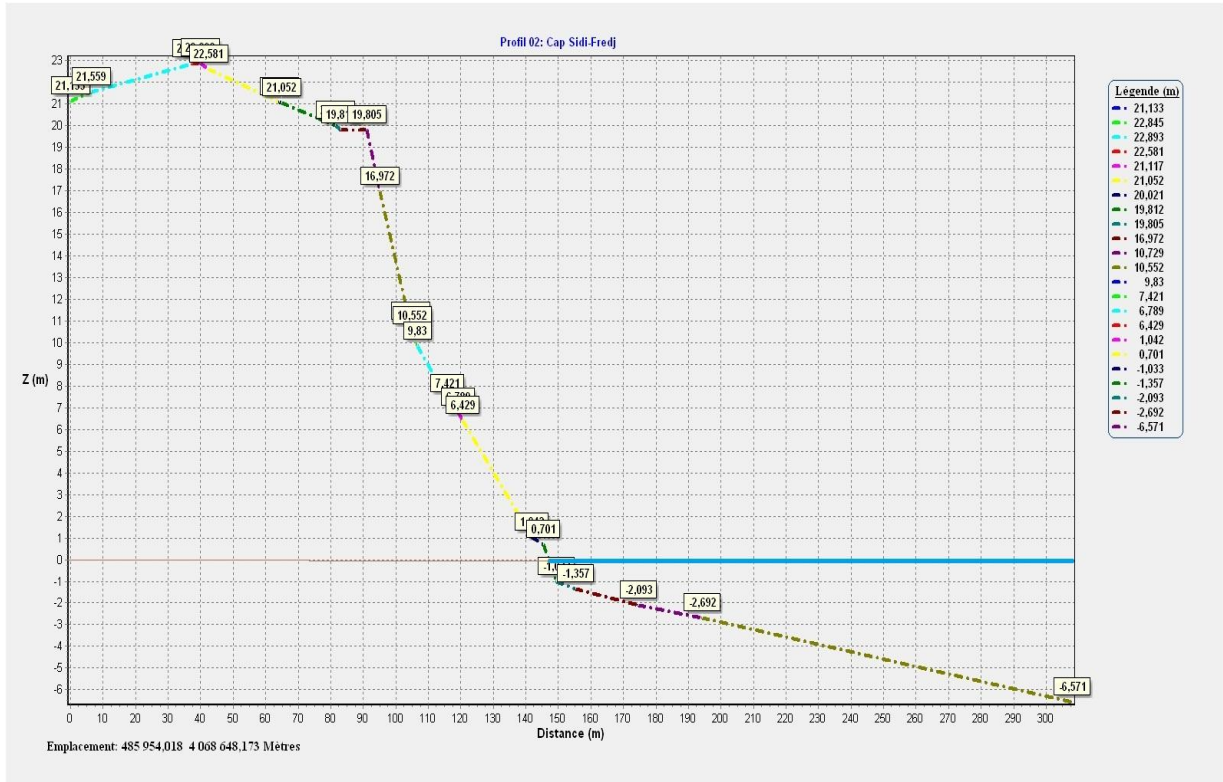


Figure 37: Profil De : Cap Sidi-Fredj



Figure 38: Cap Sidi-Fredj (Source : <https://www.pinterest.fr>)

-Profil 03 :

A partir de la Figure 39 et des inspections réalisés durant la sortie sur terrain Figure 40, on constate que le fond de cette partie de l'embouchure d'oued Aggar est caractérisé par une pente très faible, avec 0,5% de (0m~-1,458m).

Comme pour toutes les embouchures ; cette partie de notre zone d'étude est vulnérable.

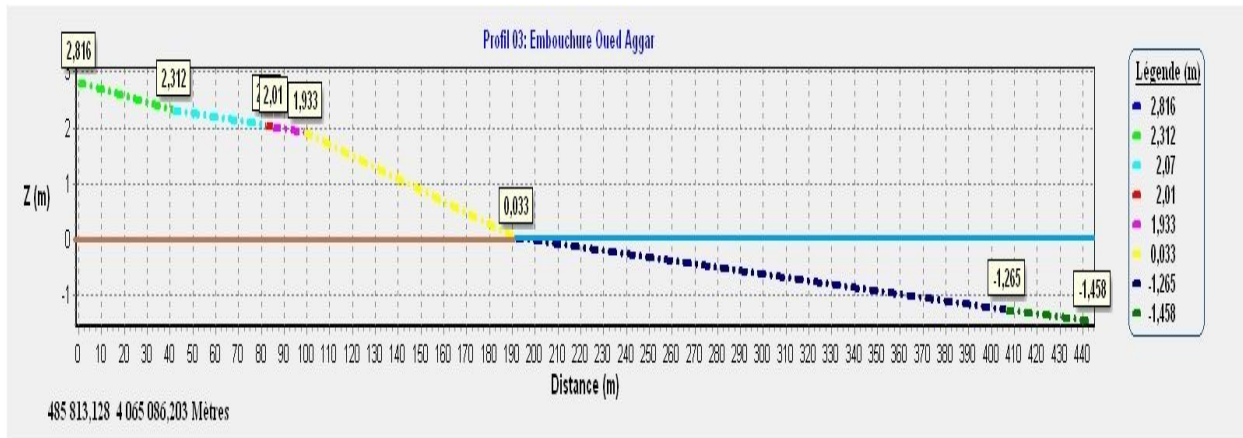


Figure 39: Profil de l'embouchure d'Oued Aggar



Figure 40: Embouchure Oued Aggar (Photos prise le 15/06/2021)

-Profil 04 :

A partir de la Figure 41 et la photo réel (Figure 42), on constate que le fond de cette partie de la plage FAMILLIALE ZERALDA est caractérisé par une pente assez douce, avec 2,83% de (0m~-8,518m).

On déduit que cette plage sableuse qui est caractérisé par des dunes assez importantes est vulnérable par rapport a la submersion marine.

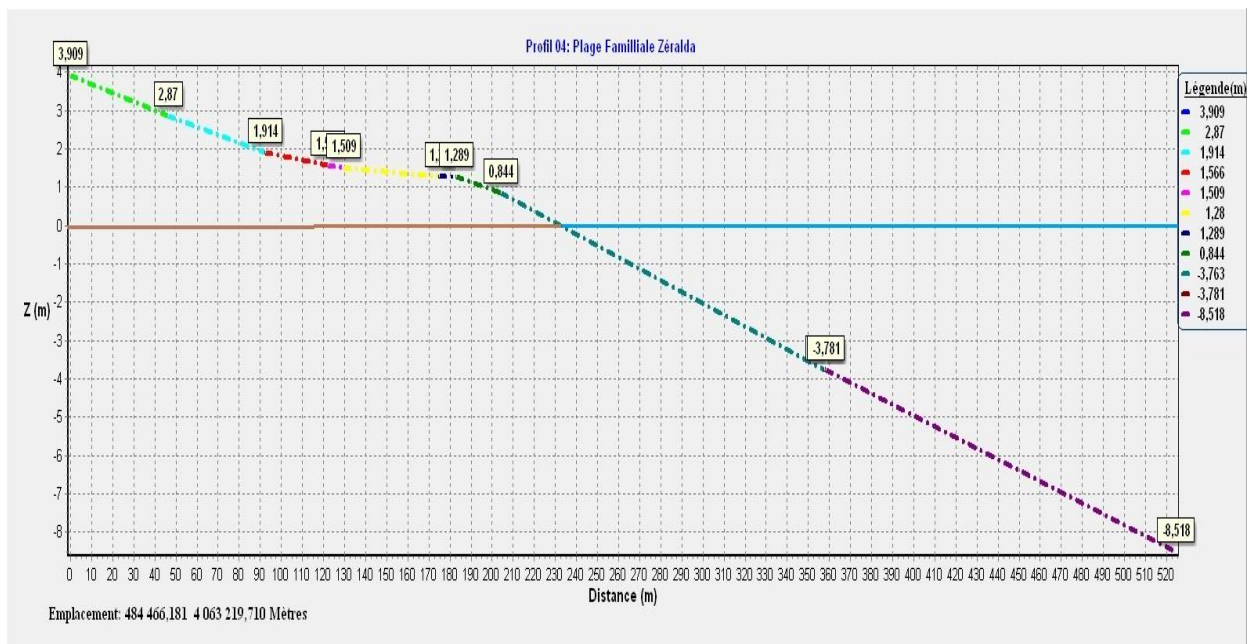


Figure 41: Profil plage FAMILIALE ZERALDA



Figure 42: Plage Familiale Zéralda (Photo prise le 14/06/2021)

-Profil 05 :

A partir de la Figure 43 et les photos prises lors de notre sortie sur terrain (Figure 44), on constate que le fond de cette partie de l'embouchure d'oued Mazafran est caractériser par une pente relativement faible, avec 1,77% de (0m~-4,024m).

cette partie aussi est vulnérable par rapport a la submersion.

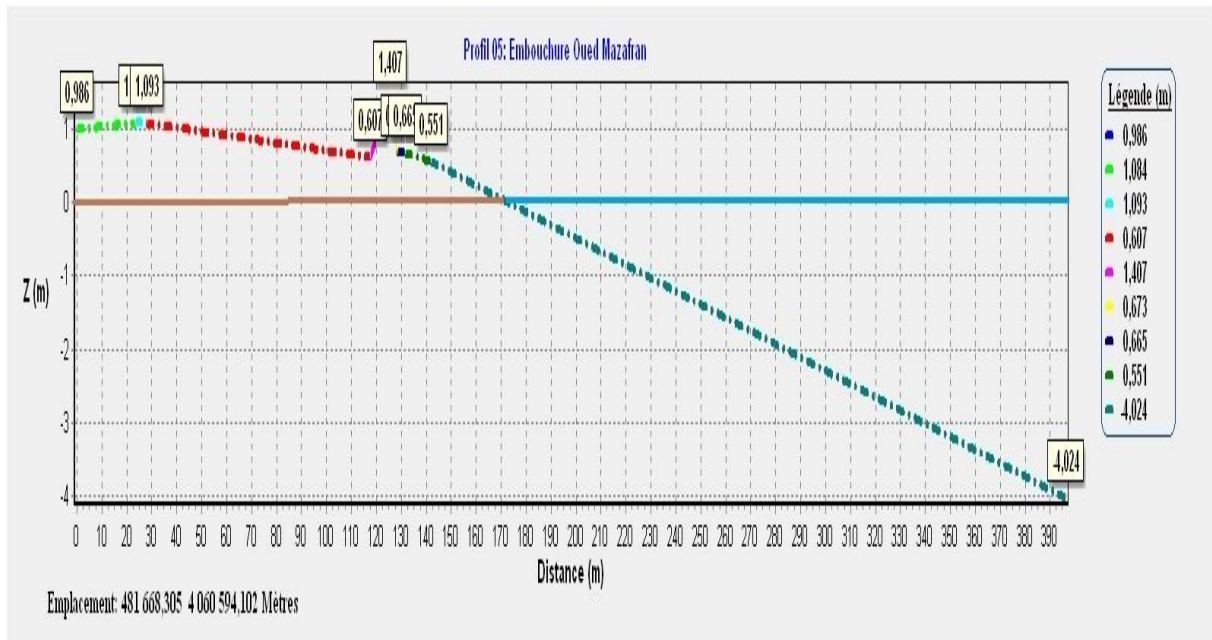


Figure 43: Profil de l'embouchure d'Oued Mazafran



Figure 44: Oued Mazafran (Photos prise le 15/06/2021)

2.4 Étude hydrodynamique et hydro-sédimentaire

Les zones littorales connaissent une érosion importante suite au déséquilibre du transport littoral découlant de facteurs naturels et anthropiques. Afin de comprendre le phénomène de la stabilité des côtes (particulièrement les régions sableuses), il est primordial d'étudier les facteurs qui animent la dynamique sédimentaire le long de ces côtes, notamment les courants générés par les vents, les vagues et les marées (CHRISTOPHE et NICOLAS, 2006), et comme étant une donnée de base pour cette étude hydro-sédimentaire, une carte bathymétrique demeure indispensable.

2.4.1 Sélection et choix du modèle

Le modèle numérique utilisée dans le cadre de cette étude est le MIKE 21 qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houles, Courants et transport sédimentaire).

-Le modèle de propagation de la houle (MIKE 21-SW) ;

-Le modèle d'hydrodynamique (MIKE 21-HD) ;

-Le modèle de transport sédimentaire (MIKE 21- ST) (OUZIDAD et MERROUCHE 2019).

L'étude hydro-sédimentaire nécessite dans un premier temps de recueillir un certain nombre de données disponibles sur le site d'étude, ces données sont :

-La bathymétrie ;

-La définition des directions des houles pénalisantes ;

-Le marnage et granulométrie.

2.4.1.1 **La bathymétrie :**

Les données bathymétriques représentent une information primordiale pour la compréhension des phénomènes hydro-sédimentaires près du rivage (NOURI et YAHIA MEDDAH, 2017). Une carte bathymétrique de 2021 (Figure 46) a été créée en utilisant un maillage triangulaire contenant 14910 nœuds (Figure 45).

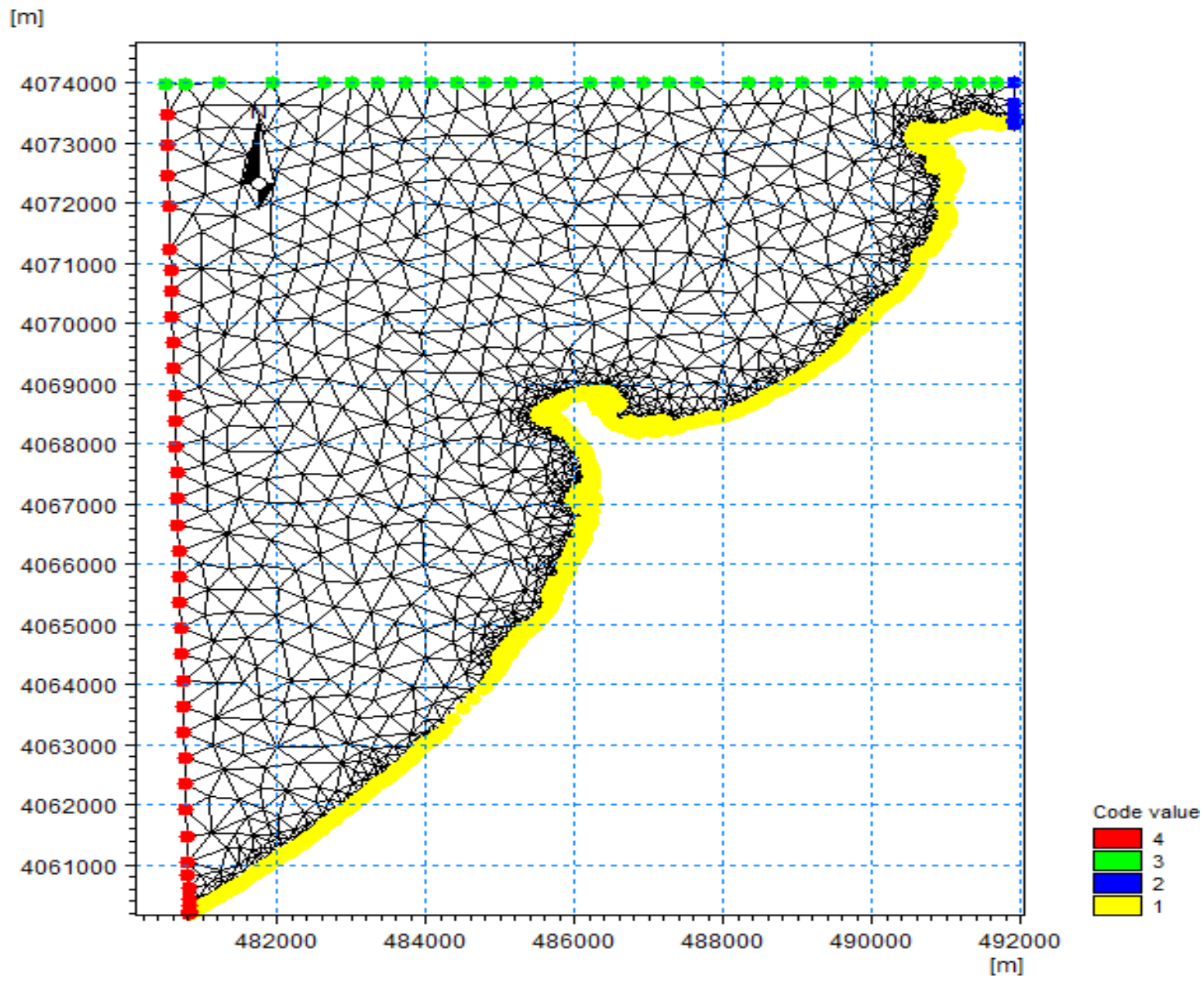


Figure 45: Emprise du modèle

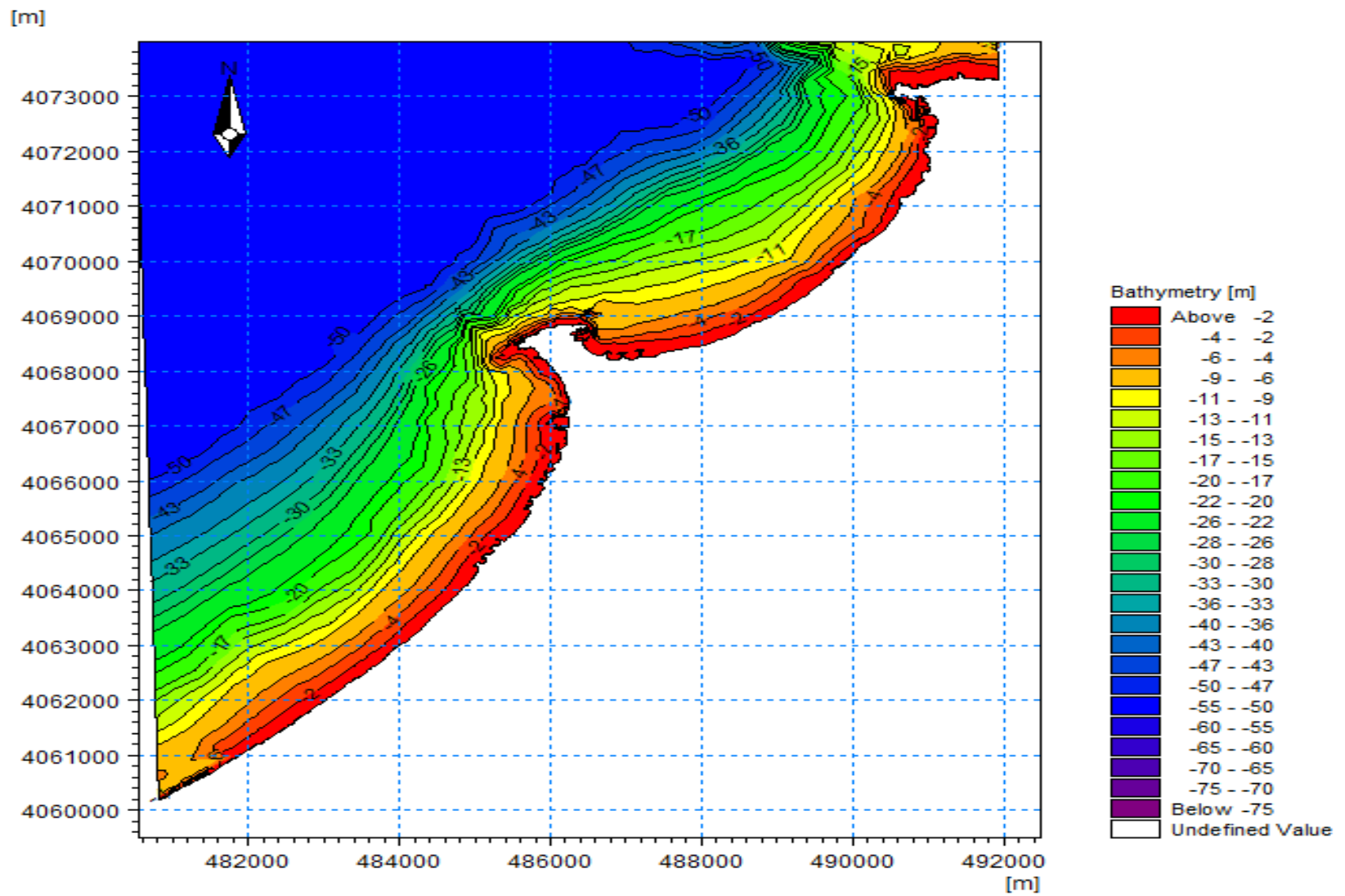


Figure 46: Carte bathymétrique 2021

2.4.1.2 Définition des directions des houles pénalisantes

Après le traitement statistique des enregistrements des houles au large sur une période de temps précise (Source: LEM, 2017) (Laboratoire des Etudes Maritime), on a pu modéliser le régime des houles au large. Le tracé de la rose des houles (Figure 47), permet d’observer une similitude de rose des houles annuelles, mais avec des fréquences d’apparition et des hauteurs significatives différentes qui varient par direction.

Tableau 6: conditions aux limites de la houle de la zone Ouest d’Alger

Tp (s)	N	NE	W	NW	E	SE	S	SW
6	1,00(m)	1,09(m)	1,19(m)	1,10(m)	1,06(m)	0,87(m)	0,93(m)	1,14(m)
8	2,67(m)	2,56(m)	2,67(m)	2,64(m)	2,53(m)	1,04(m)	1,12(m)	1,34(m)
10	4,92(m)	5,05(m)	5,54(m)	4,53(m)	6,52(m)	1,45(m)	1,56(m)	1,67(m)

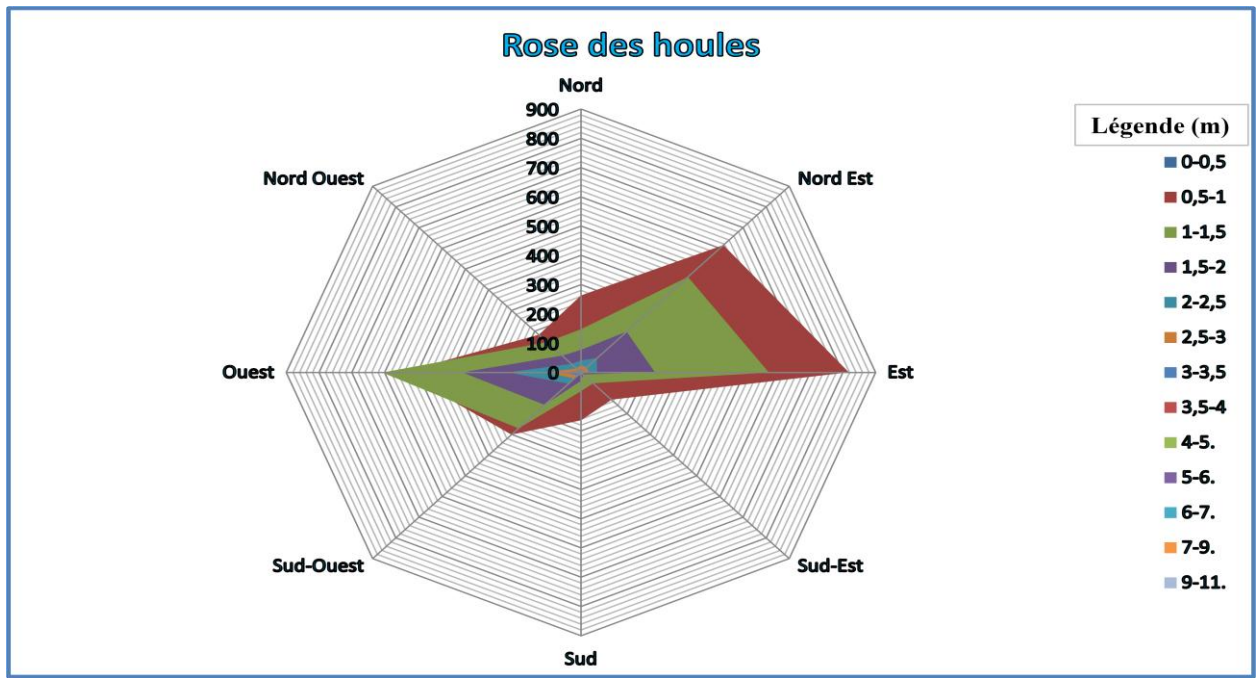


Figure 47: Rose des vagues (2017)

L’analyse des roses des houles (2017) (Figure 47) et du Tableau 6, nous permis de constater ce que :

- Le régime des houles est pratiquement semblable à celui des vents, ce qui nous permet de confirmer le constat que ce dernier est le moteur principal de ces houles.
- La dominance de deux secteurs ouest et nord-est.
- Les houles de secteur ouest dominant pendant la période hivernale et sont caractérisées par l’apparition des houles de tempêtes avec des hauteurs maximales qui dépassent les 5 m.

- Les houles de secteur nord-est dominant pendant la période estivale avec des houles plus calmes qui ne dépassent pas les 3 m.

- Les directions les plus pénalisantes pour notre zone sont : **Nord, Nord-Ouest, Ouest.**

2.4.1.3 Marnage et granulométrie

Le marnage n'a pas été pris en considération lors de la configuration des différents modules de simulation intégrés dans le système du Mike 21, du fait que le niveau des marées est insignifiant. Vu que la zone d'étude est caractérisée par une côte microtidale (PLANTON 2012), les valeurs de la surcote entretenues, sont prises comme une constante qui est égale à 0.34m (NGA⁴).

Les données granulométriques sont issues des analyses granulométriques faites par le LEM en 2019, le diamètre moyen est de 0,979mm.

2.4.2 Résultats et discussion

Les résultats des simulations numériques sont représentés ci-après sous forme de cartes obtenues par le logiciel Mike21 pour les directions pénalisantes de la zone d'étude.

Pour une meilleure compréhension des résultats, nous avons divisé la zone d'étude en trois (3) sous-zones.

⁴ Niveau Général Algérien

2.4.2.1 Le modèle d'hydrodynamique (MIKE 21-HD)

- Direction Nord

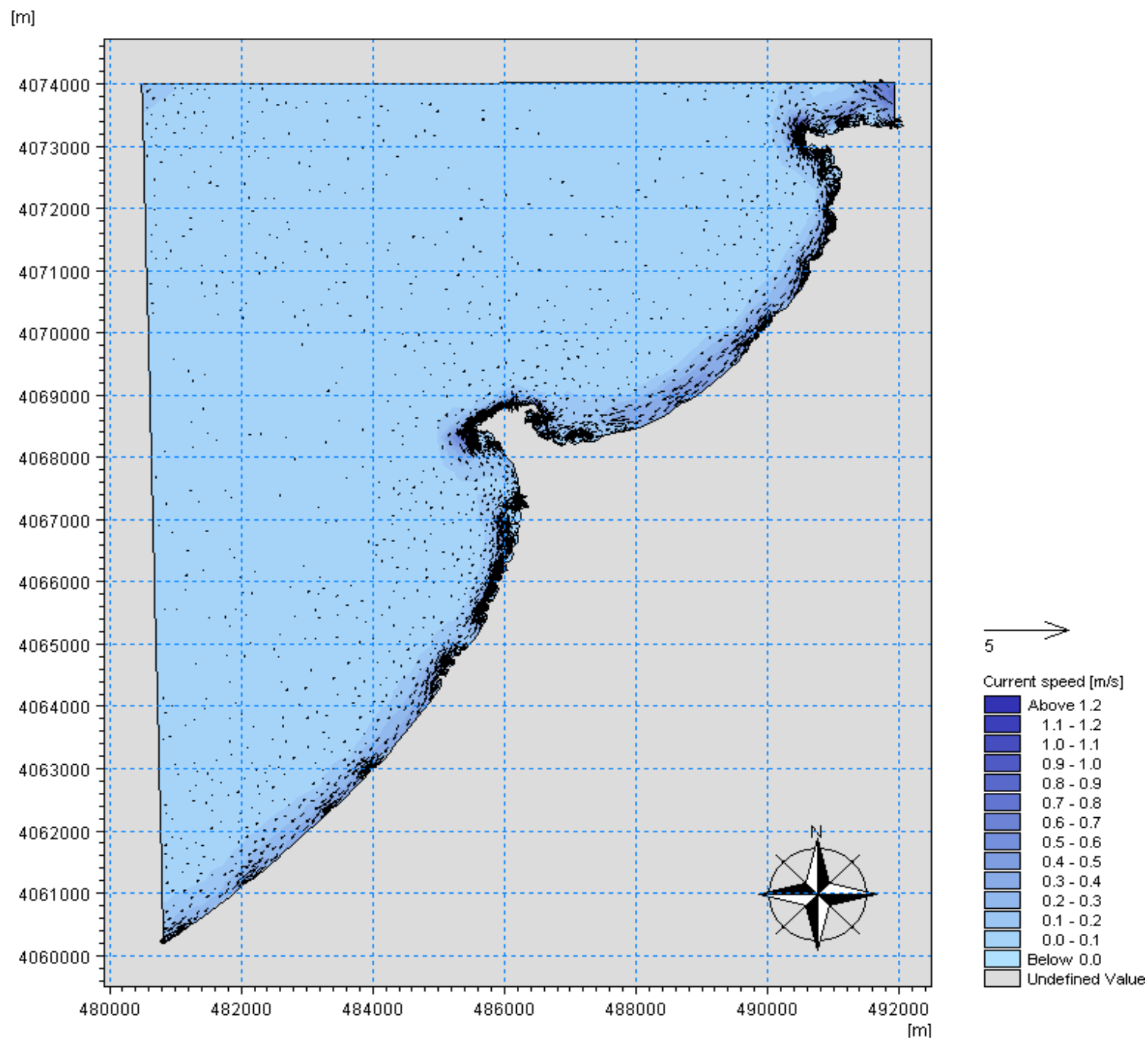


Figure 48: Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord.

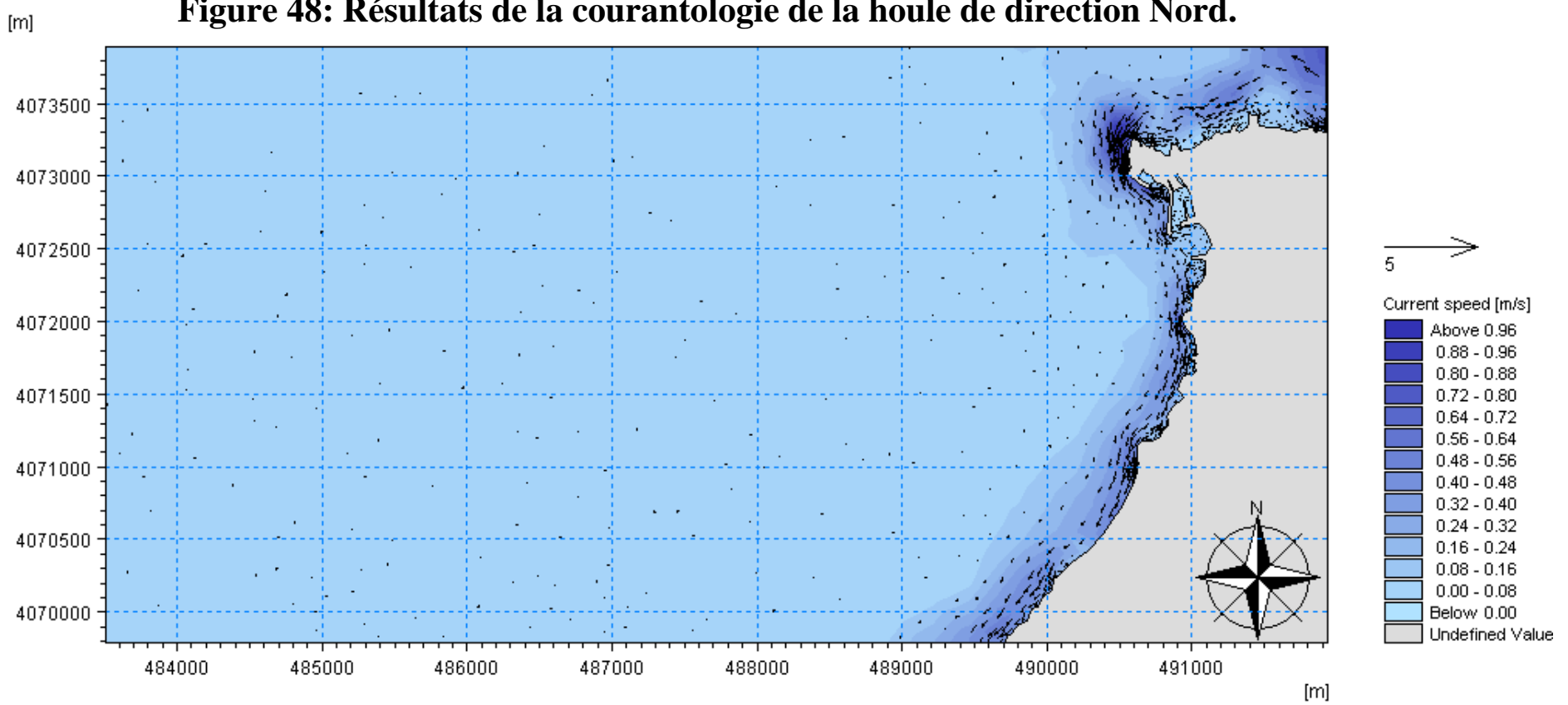


Figure 49: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 01

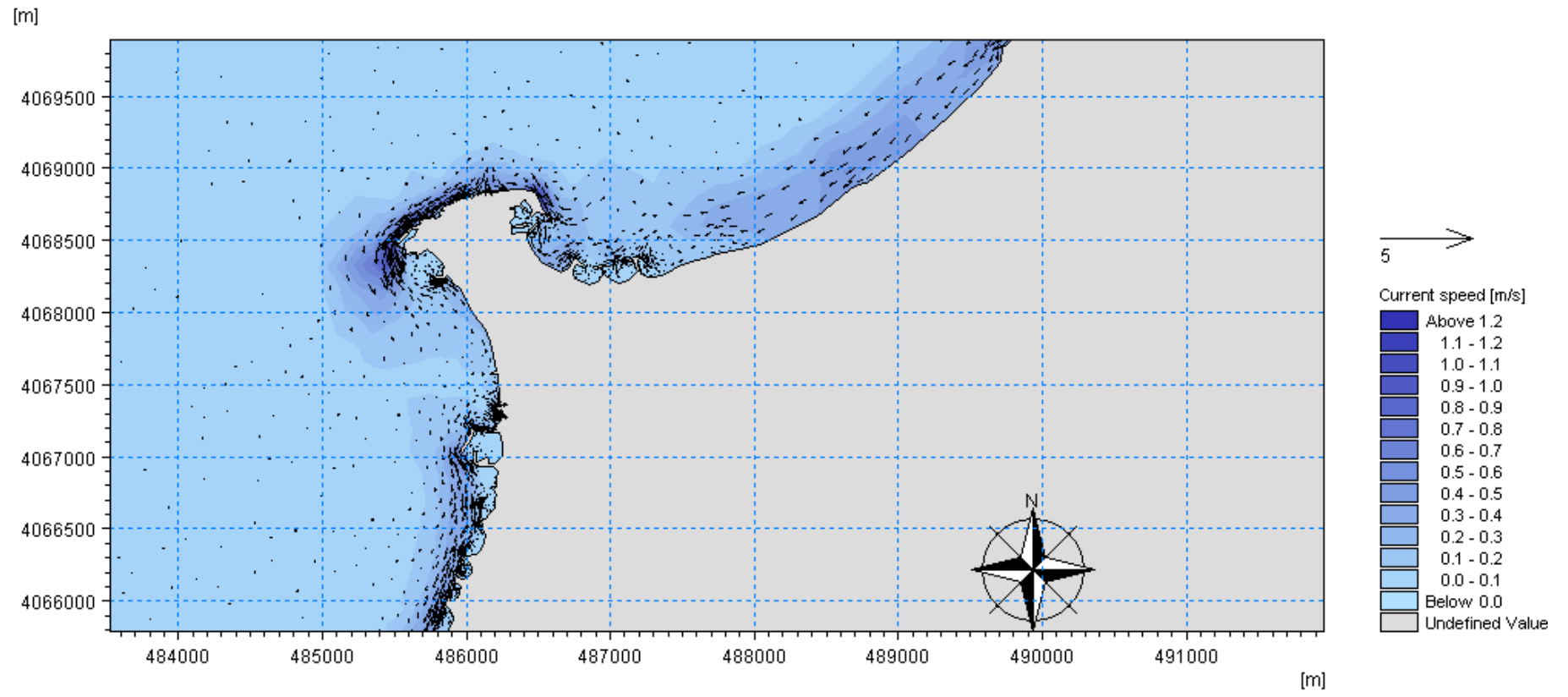


Figure 50: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 02.

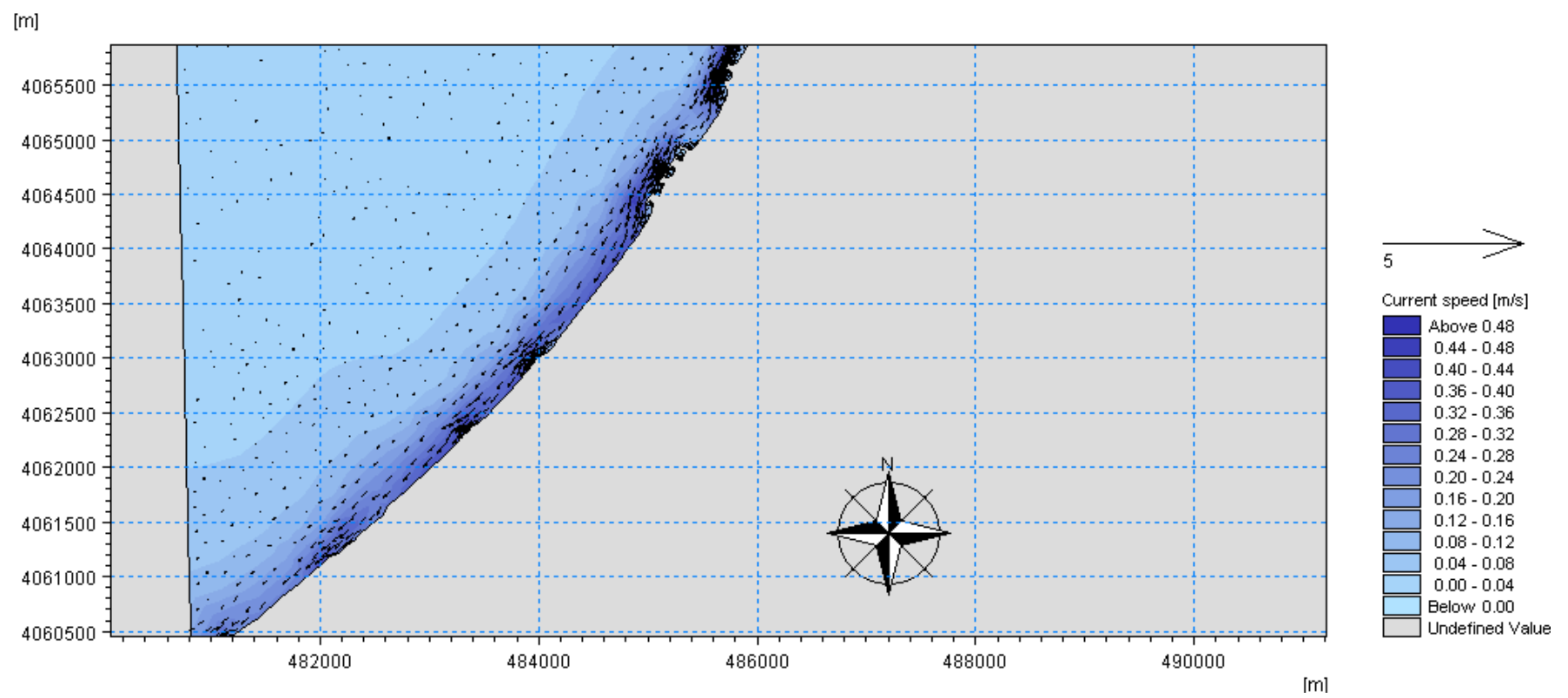


Figure 51: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord dans la sous-zone 03.

-Direction Ouest

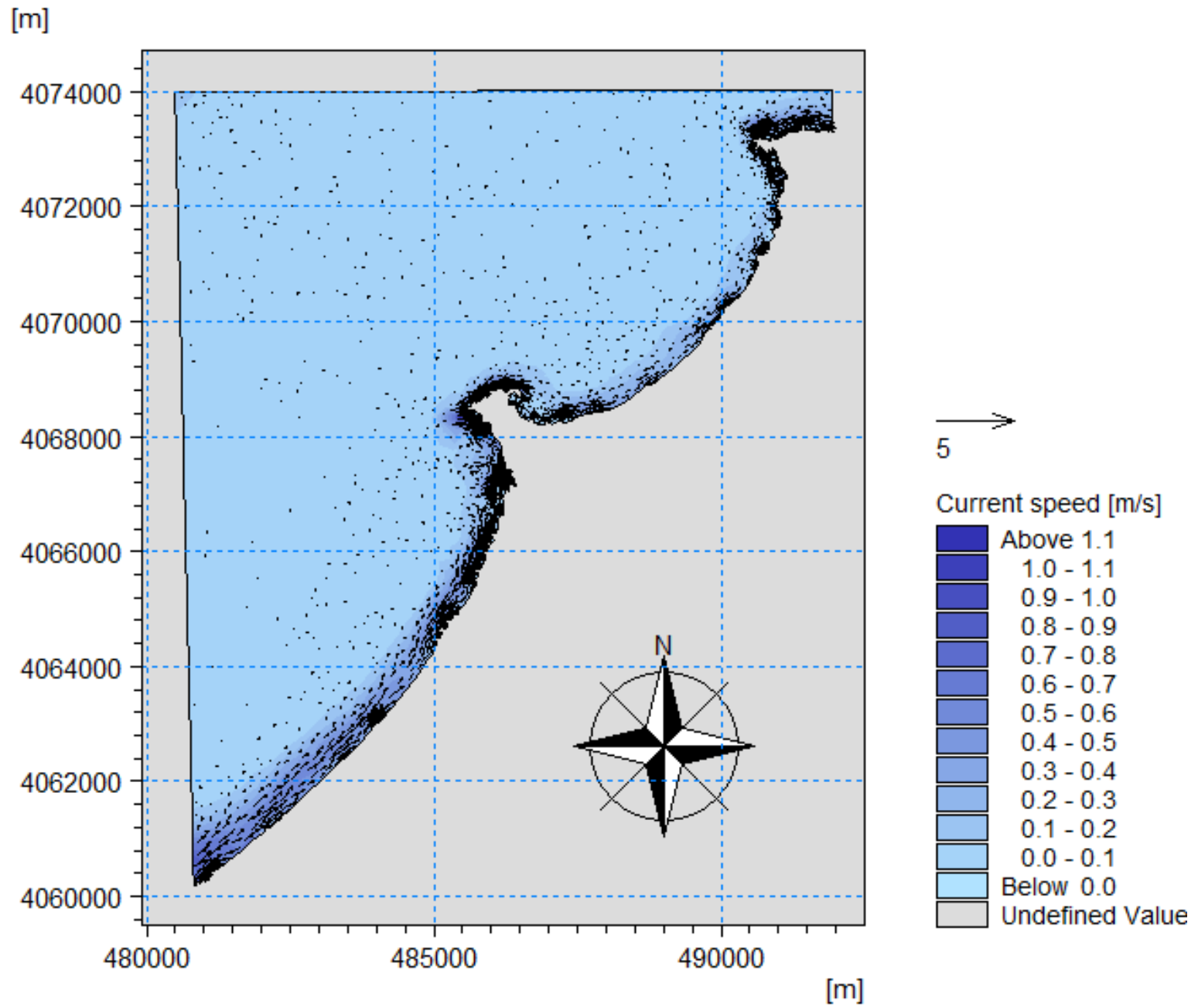


Figure 52: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la zone Ouest d’Alger

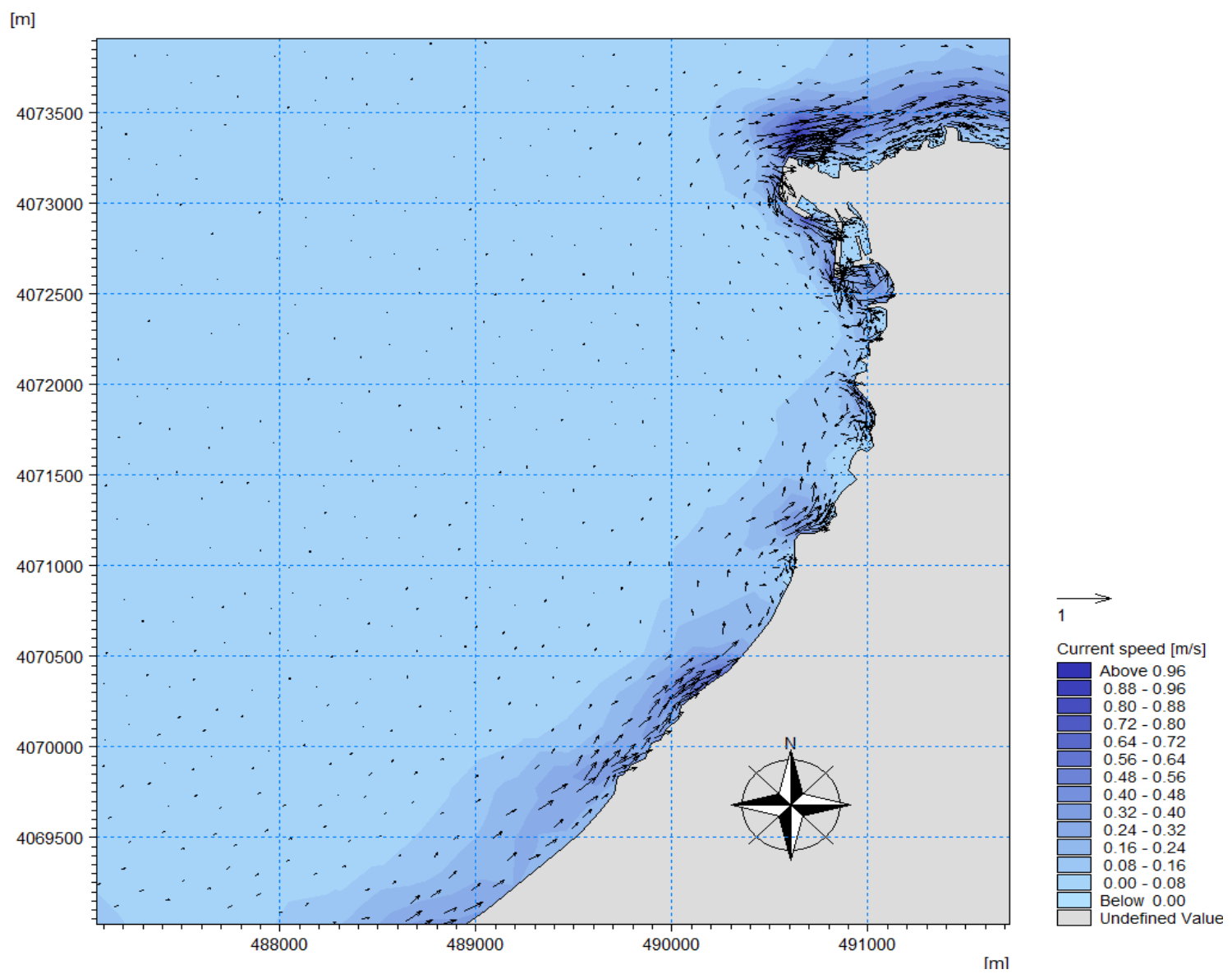


Figure 53: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 01.

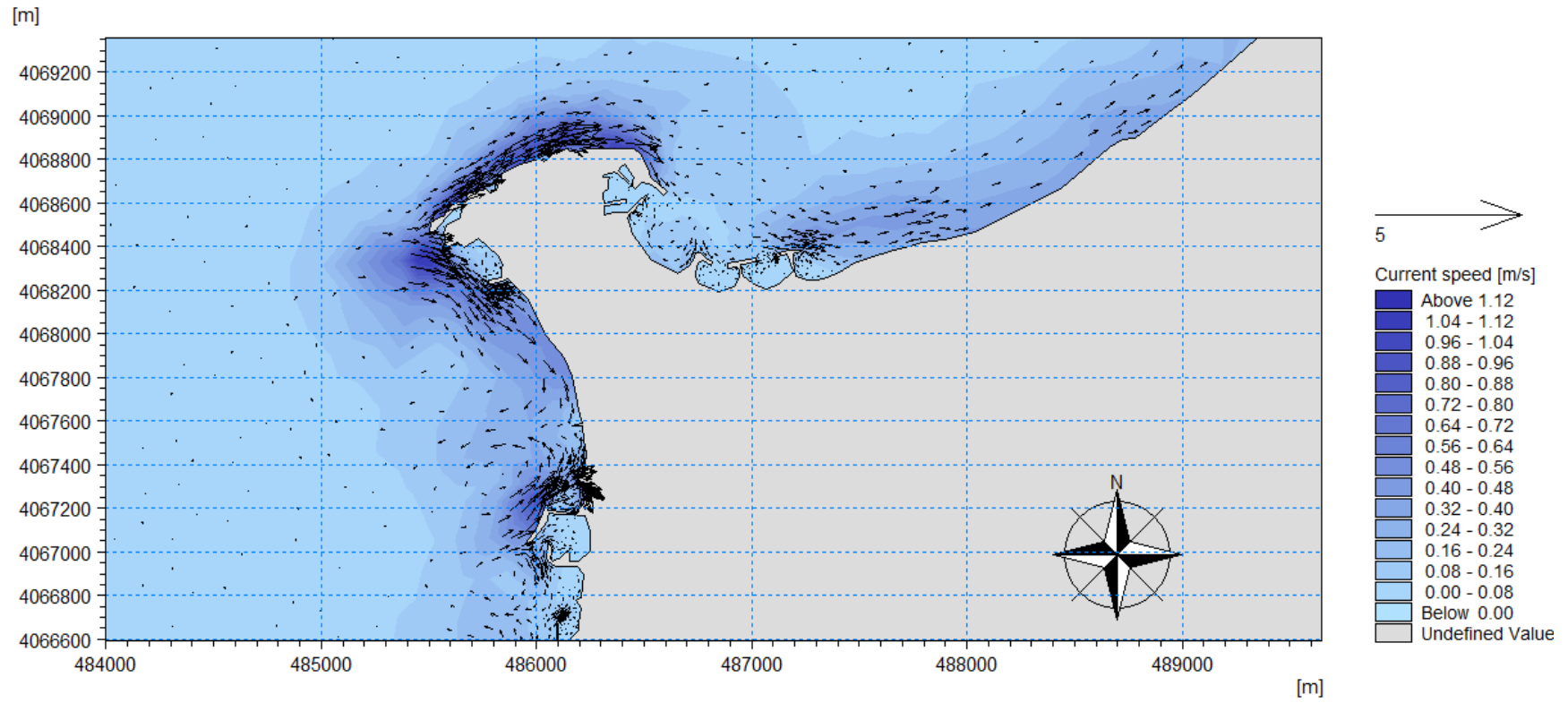


Figure 54: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 02.

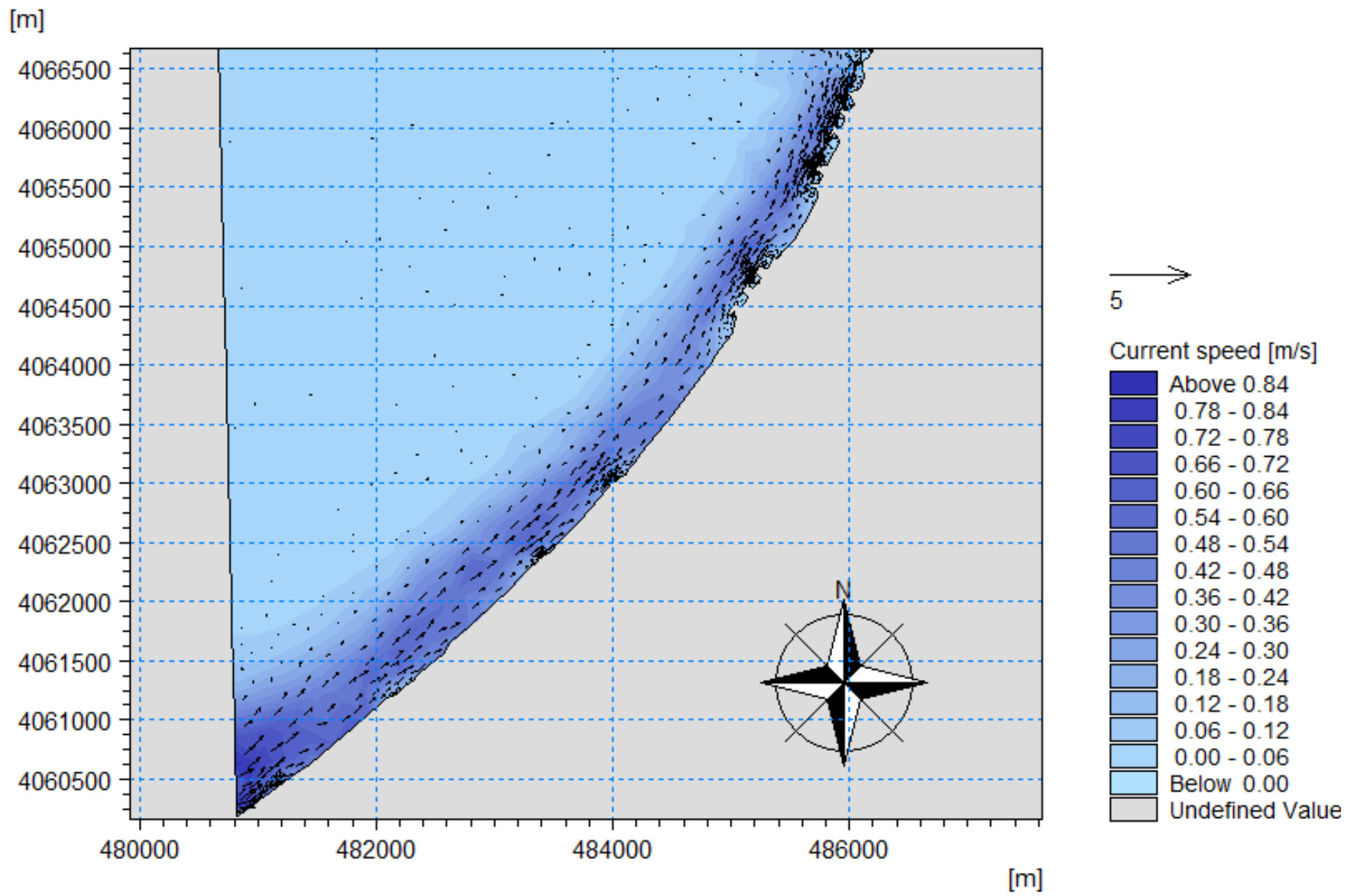


Figure 55: Résultats de la courantologie de la houle direction Ouest dans la sous-zone 03.

-Direction Nord-Ouest

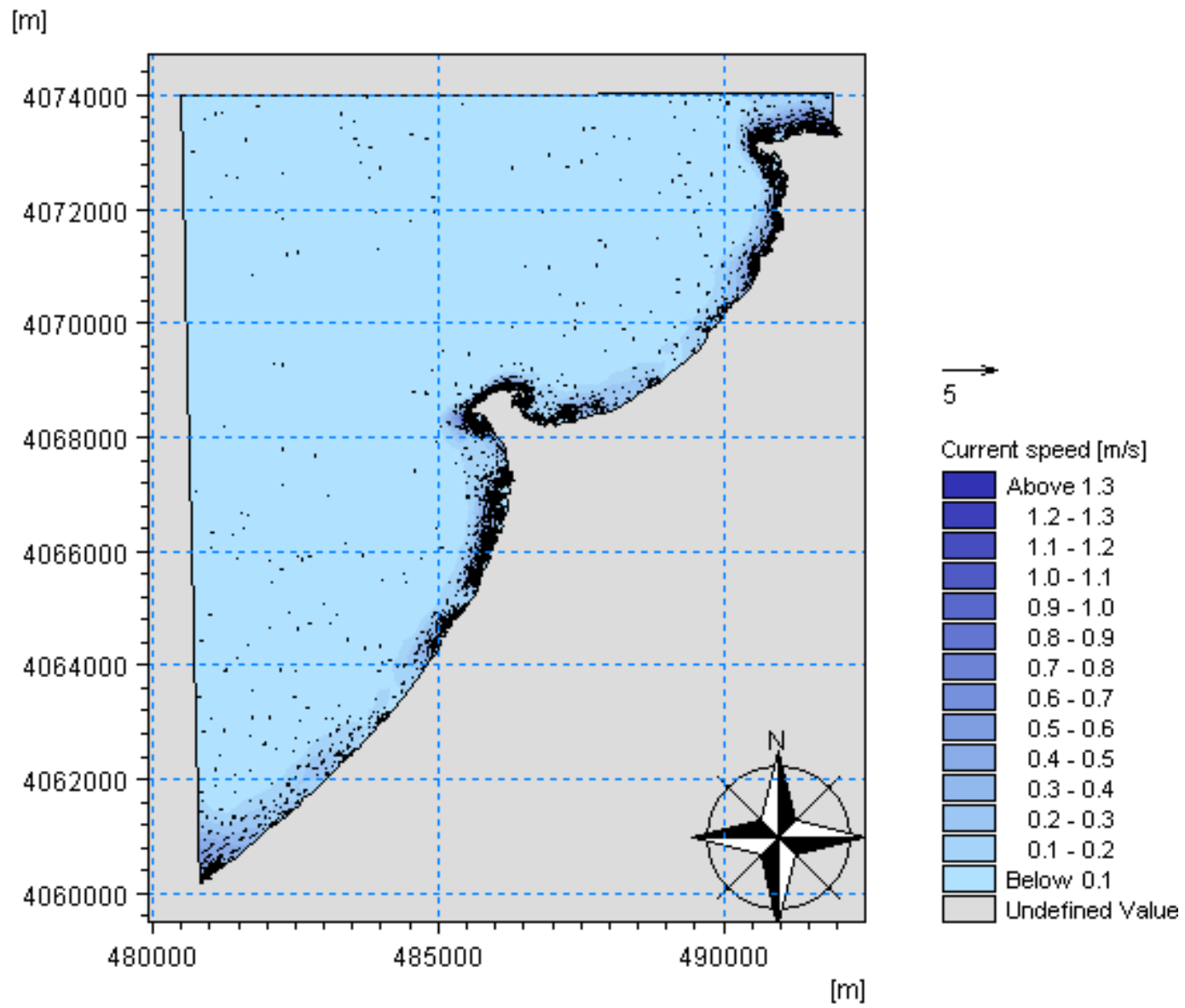


Figure 56: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la zone Ouest d'Alger

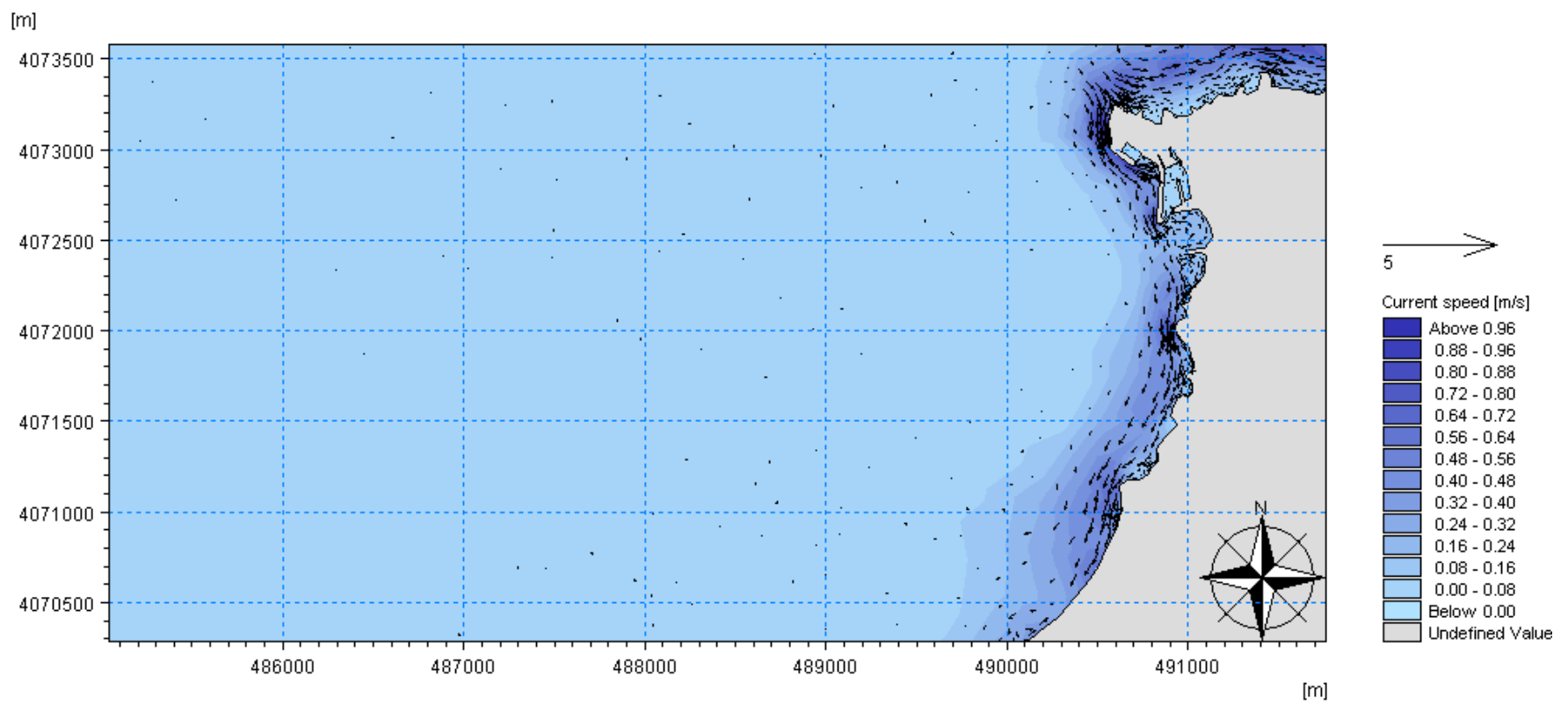


Figure 57: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 01

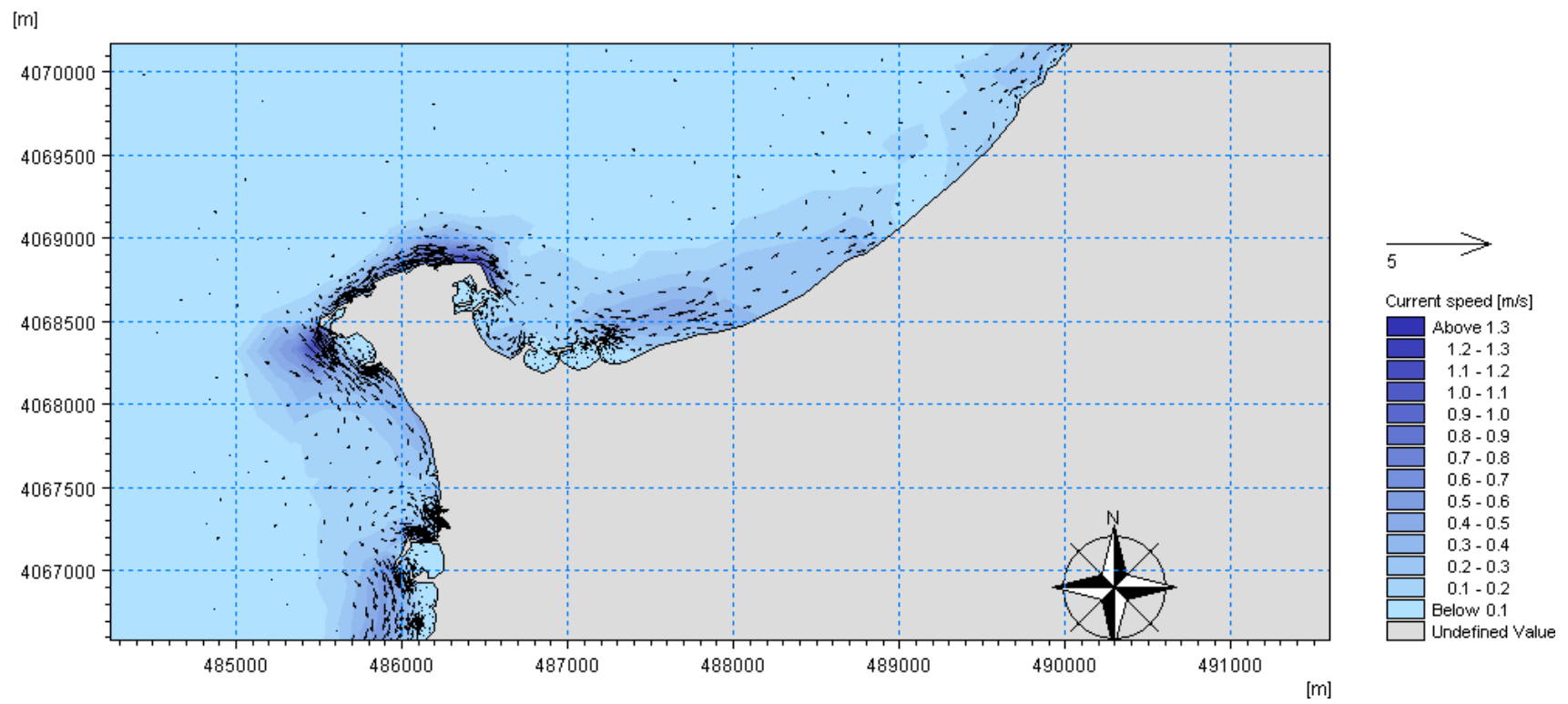


Figure 58: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 02.

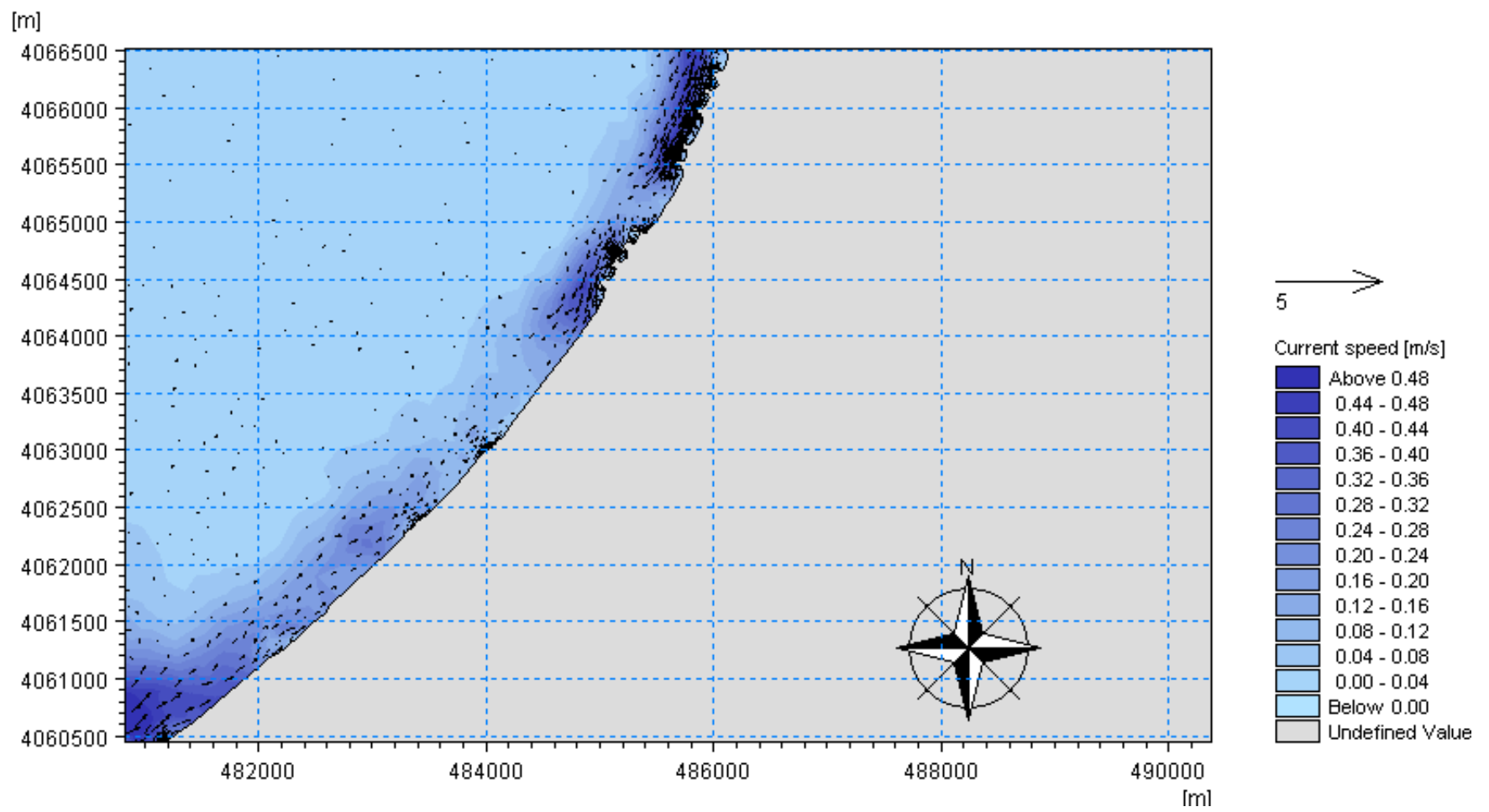


Figure 59: Résultats de la courantologie de la houle direction Nord-Ouest dans la sous-zone 03.

Commentaire :

Les constats réalisés à partir des figures ci-dessus sont résumés dans le Tableau 7. A Partir des résultats de l'étude de courantologie, on conclut que la direction Ouest est la plus Importante avec une vitesse qui atteint 1,12 m/S orientée du Sud-Ouest vers le Nord-Est, surtout dans la sous-zone 02.

En revanche, le courant de direction Nord-Ouest et Nord a une importance faible, avec une vitesse de 1m/S et une orientation Nord Est–Sud Ouest.

Tableau 7: Observations Du Courant De Chaque Houle Pour Les Trois Sous-Zones

Directions/Sous-Zones	Nord	Nord- Ouest	Ouest
1	-Direction Nord Est – Sud Ouest -Vitesse De Courant Entre : 0,08et 0,80m/S -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De La Madrague.	-Direction Nord Est – Sud Ouest. -Vitesse De Courant Entre : 0,08et 0,88m/S. -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De La Madrague.	-Direction Sud-Ouest – Nord Est. -Vitesse De Courant Entre : 0,08et 0,88m/S. -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De La Madrague.
2	-Direction Nord Est – Sud Ouest. -Vitesse De Courant Entre 0,1et 1m/S. -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De Sidi Fredj.	-Direction Nord Est – Sud Ouest. -Vitesse De Courant Entre 0,2et 1m/S. -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De Sidi Fredj.	-Direction Sud-Ouest – Nord Est. -Vitesse De Courant Entre 0,08et 1,12m/S. -Vitesse Max Au Niveau Du Cap De Sidi Fredj. -Présence D'une Circulation Tourbillonnaire
3	-Direction Nord Est – Sud Ouest -Vitesse Entre 0,24 Et 0,44m/S. -Vitesse Max Au Niveau Des Ouvrages De Protections d'Azur Plage Et De La Plage De Mazafran	-Direction Nord Est – Sud Ouest -Vitesse Entre 0,08 Et 0,48m/S. -Vitesse Max Au Niveau Des Ouvrages De Protections d'Azur Plage Et De La Plage De Mazafran Et Vers Le Sud Ouest.	-Direction Sud-Ouest – Nord Est. -Vitesse De Courant Entre 0,06et 0,72/S. -Vitesse Max Au Niveau Des Ouvrages De Protections d'Azur Plage Et De La Plage De Mazafran Et Vers Le Sud Ouest.

2.4.2.2 Le modèle de transport sédimentaire (MIKE 21- ST)

-Direction Nord

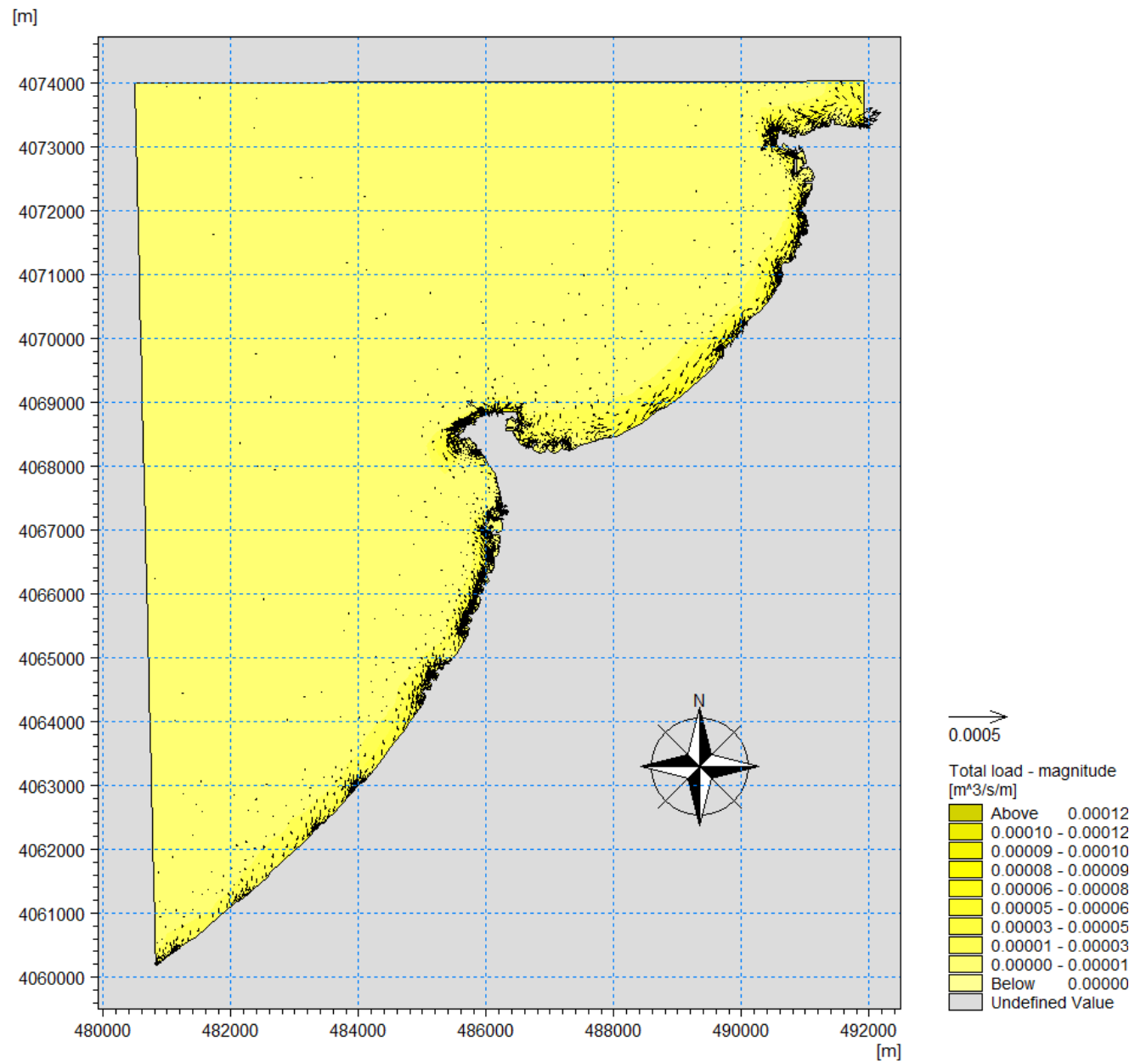


Figure 60: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Zone Ouest d'Alger.

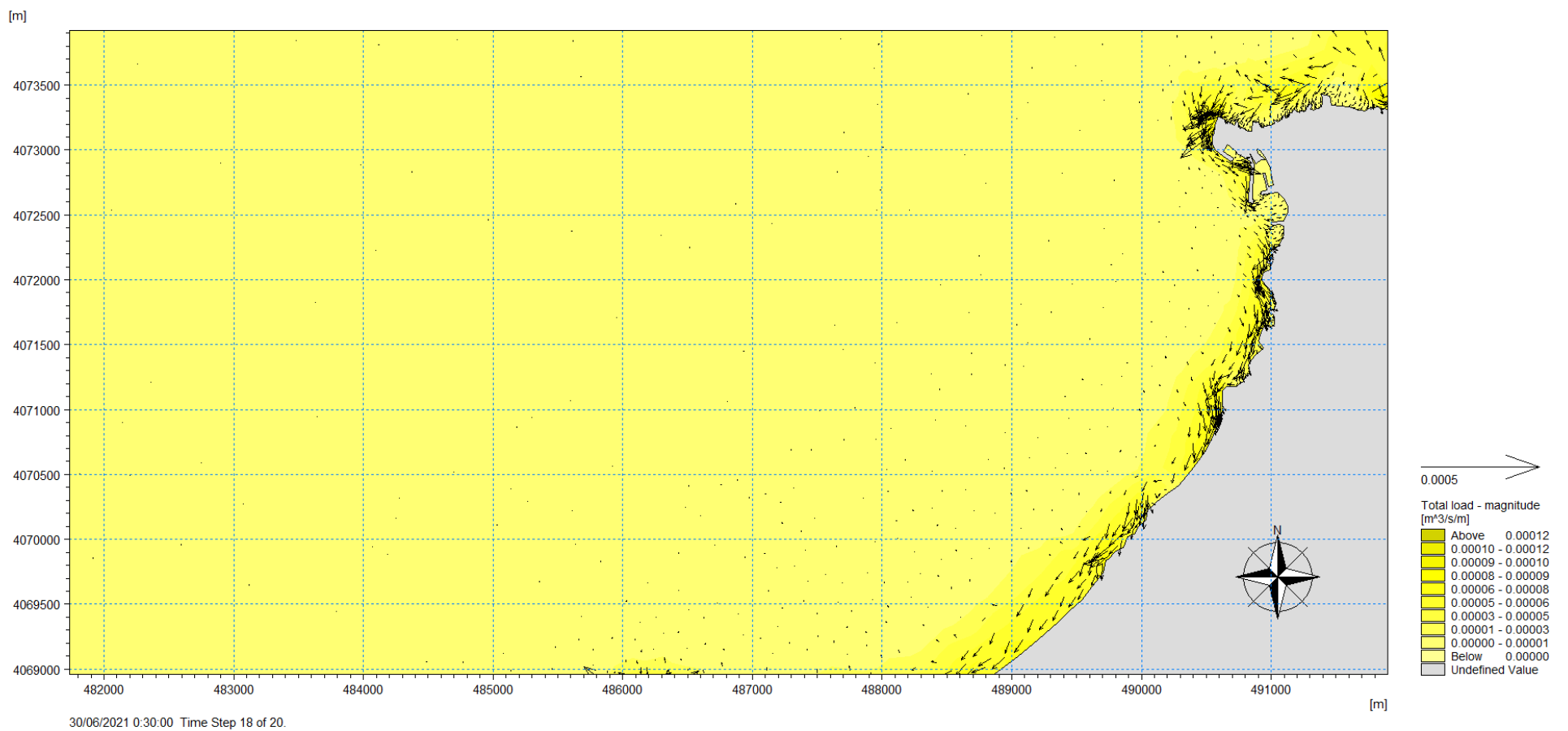


Figure 61: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 01

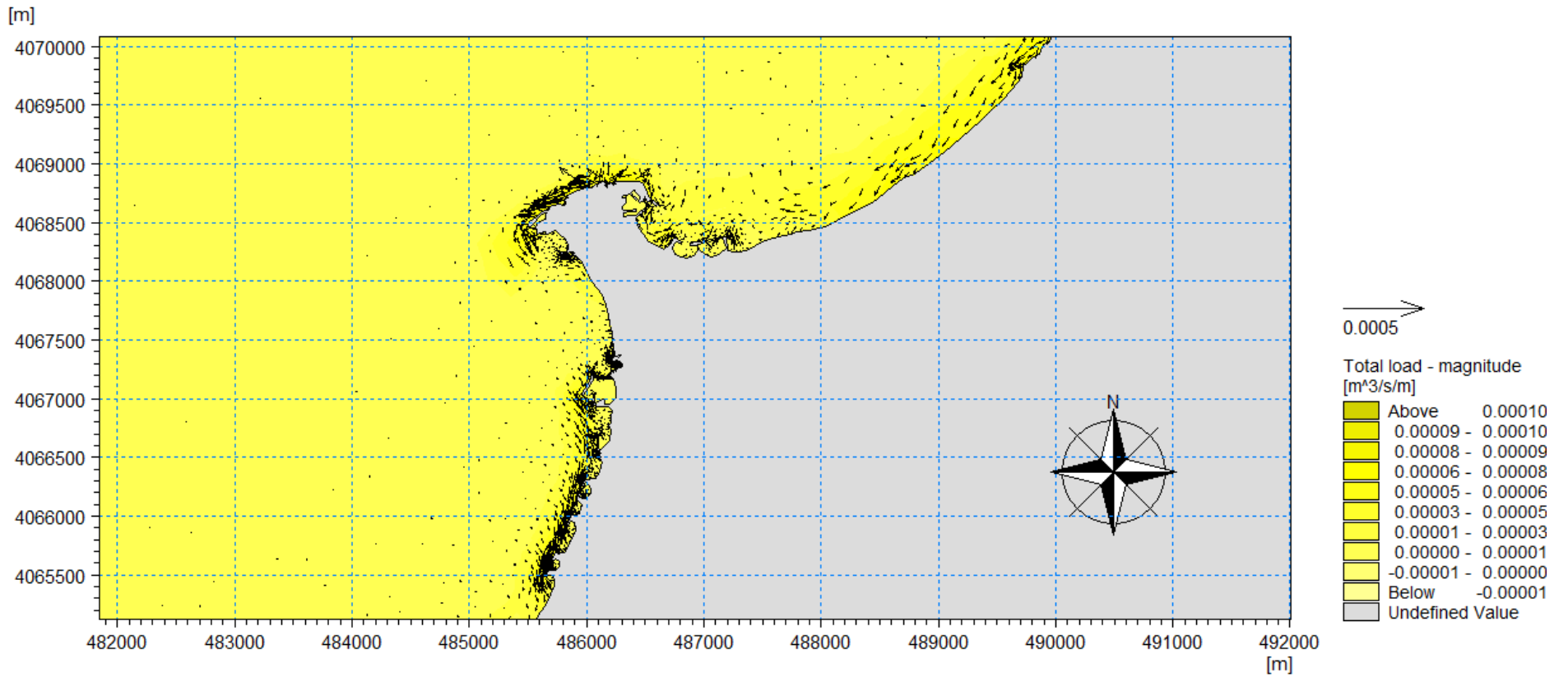


Figure 62: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 02

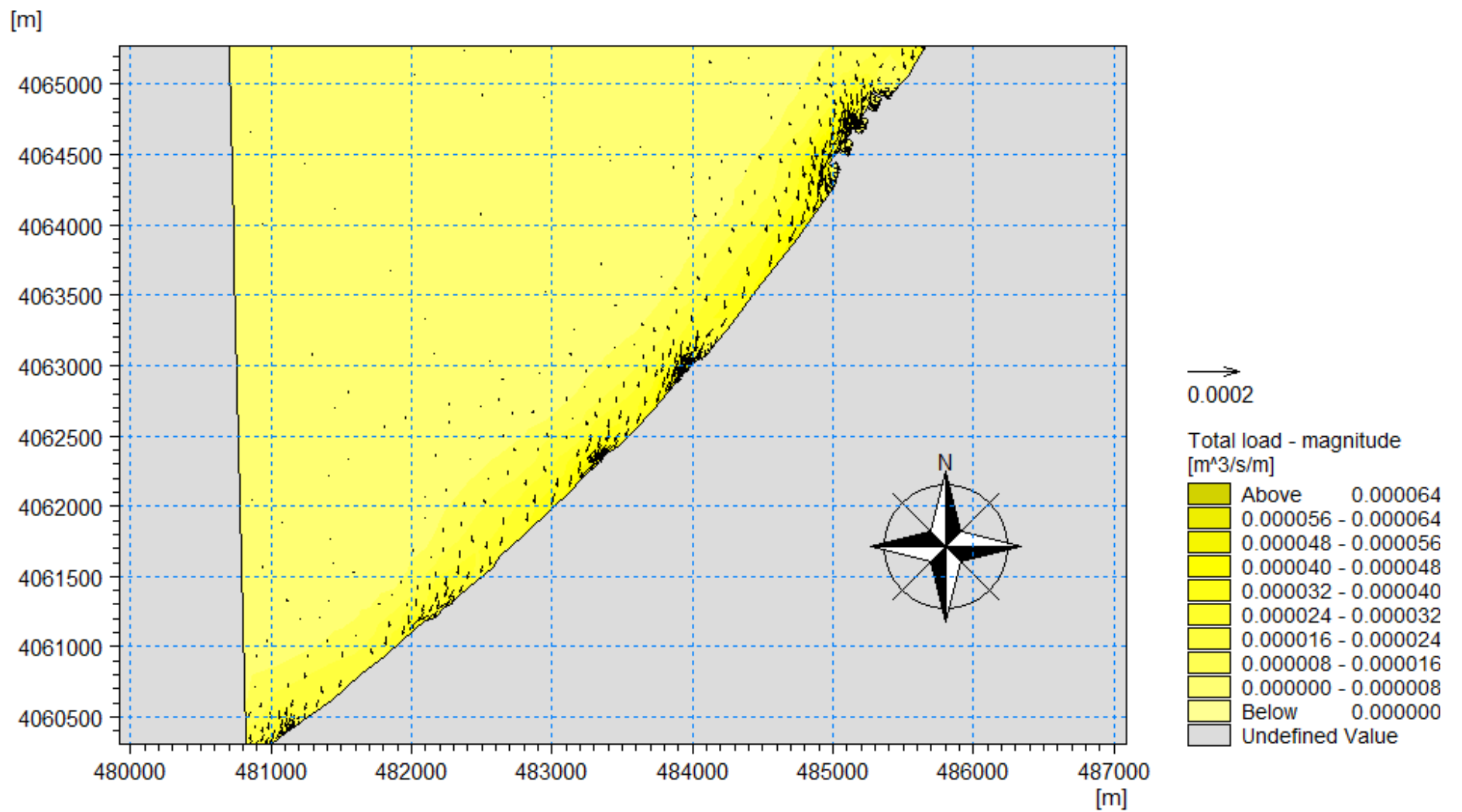


Figure 63: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 03

-Direction Nord-Ouest

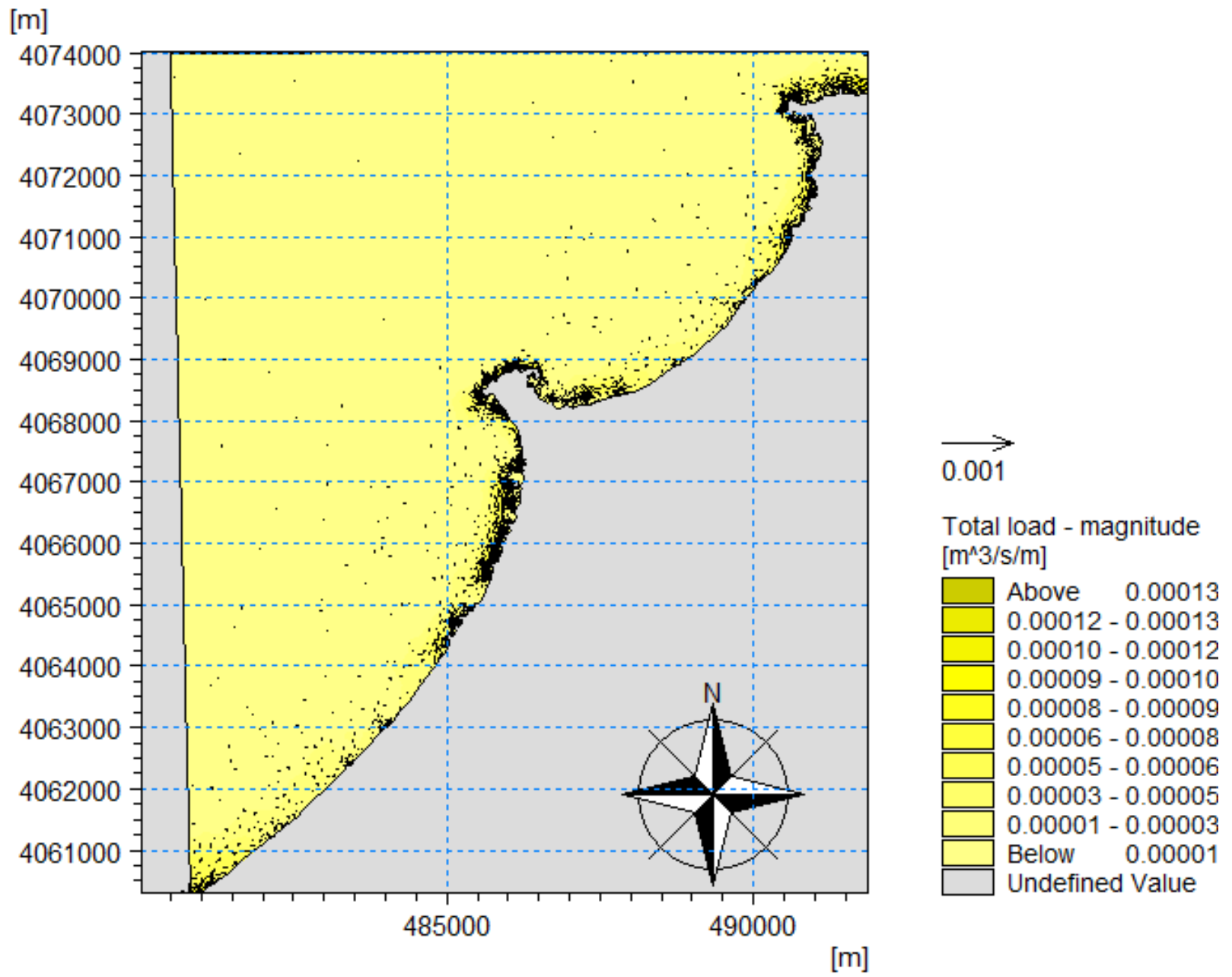


Figure 64: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger

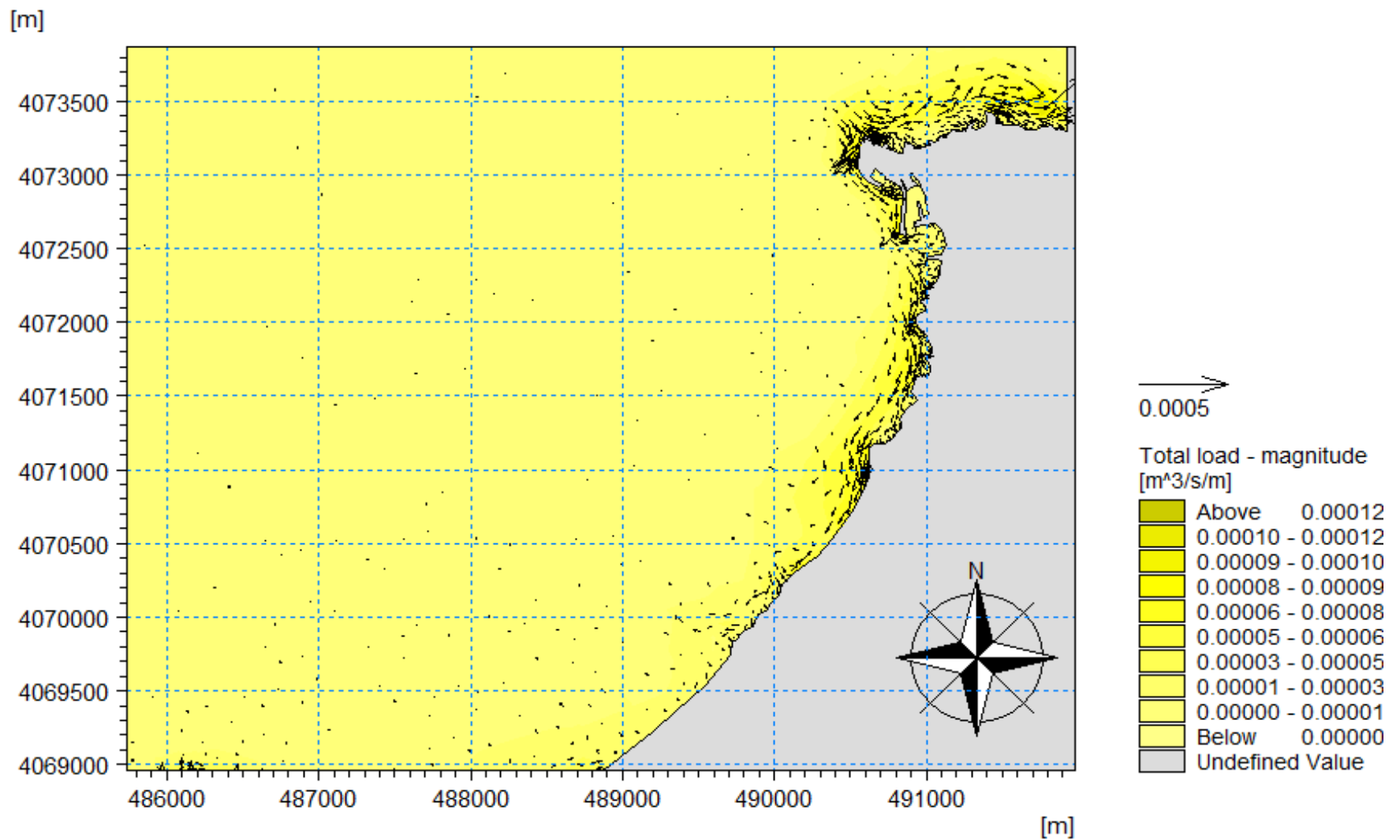


Figure 65: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 01

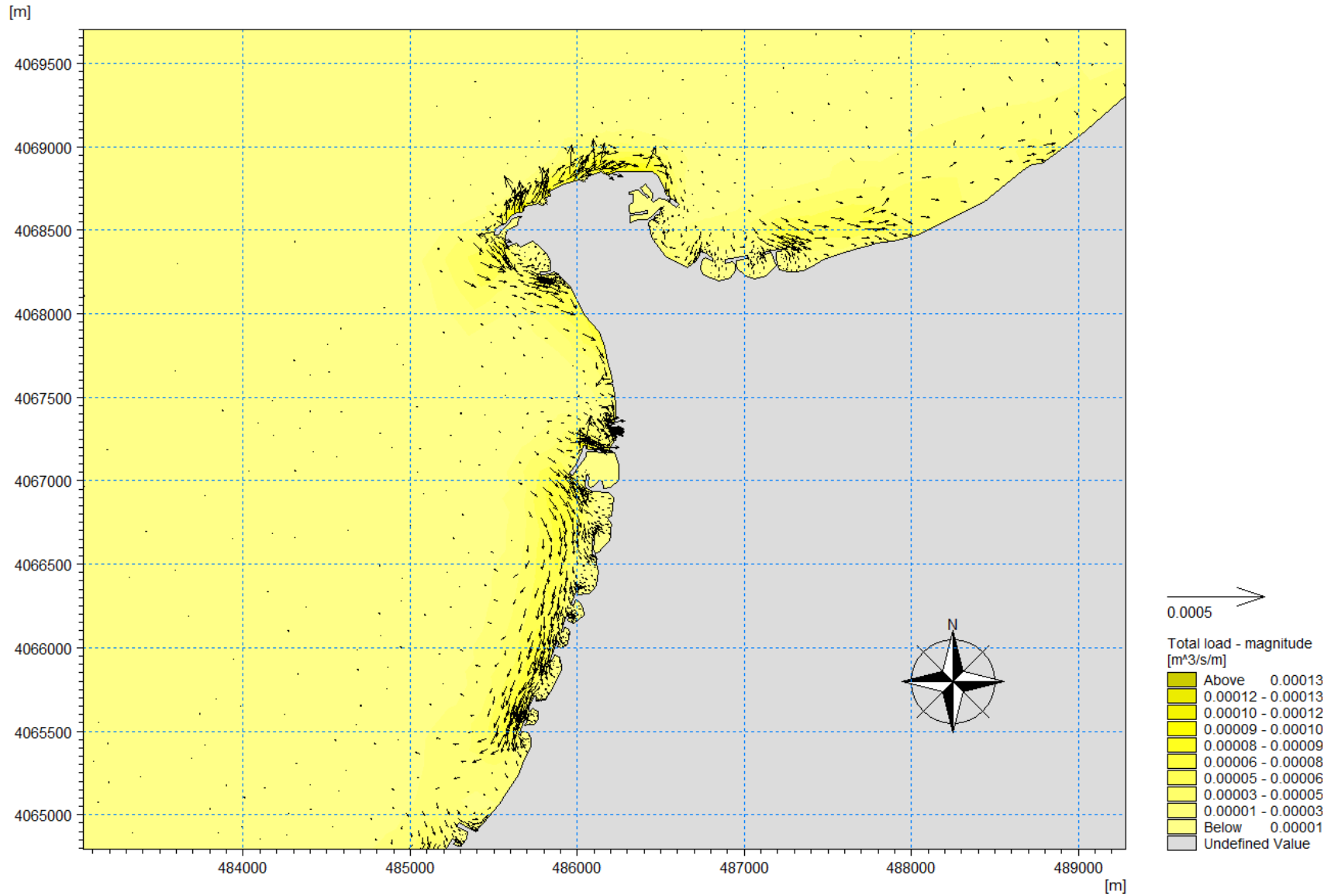


Figure 66: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 02

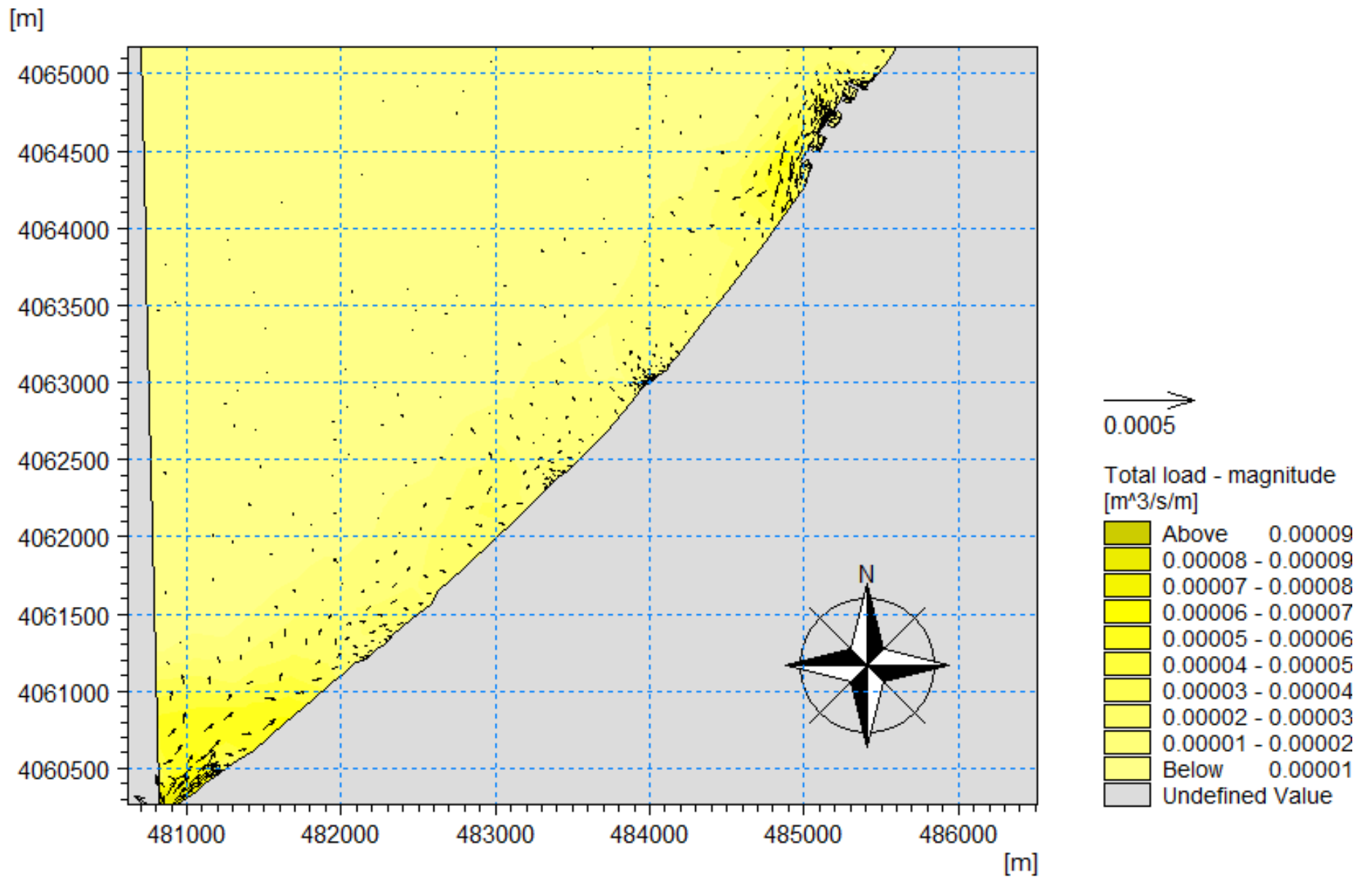


Figure 67: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Nord- Ouest Dans La Sous-Zone 03

-Direction Ouest

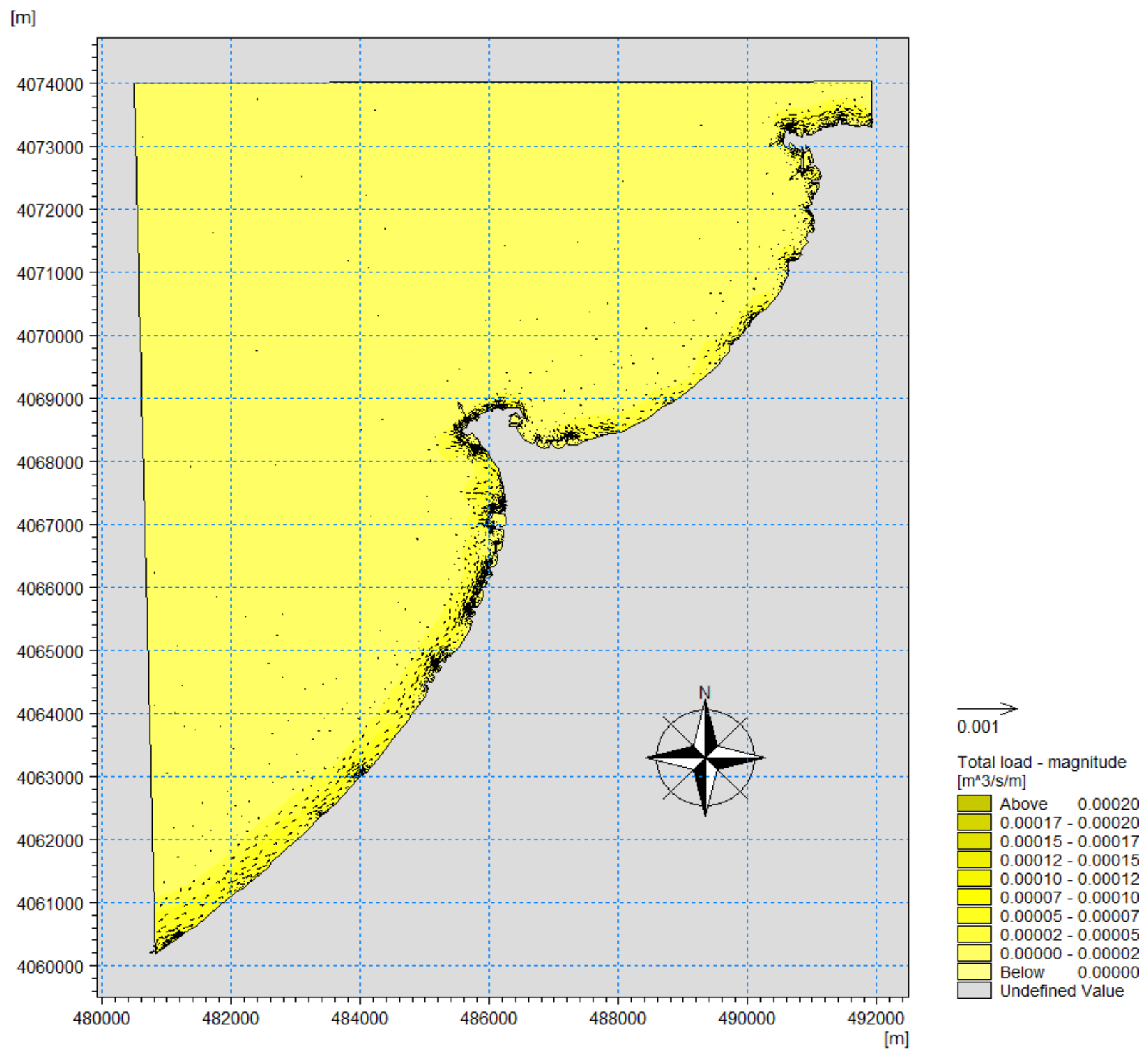


Figure 68: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger

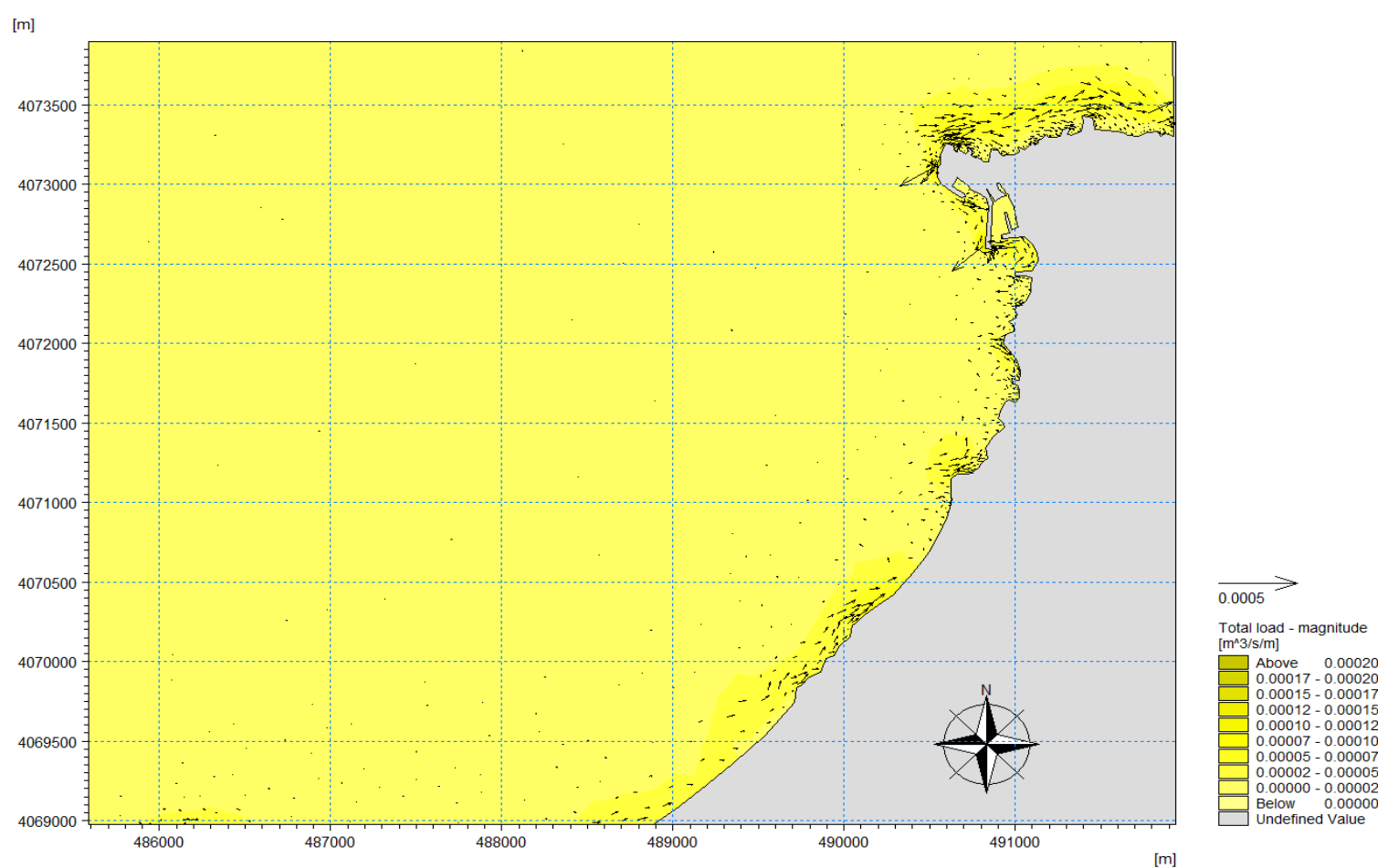


Figure 69: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 01

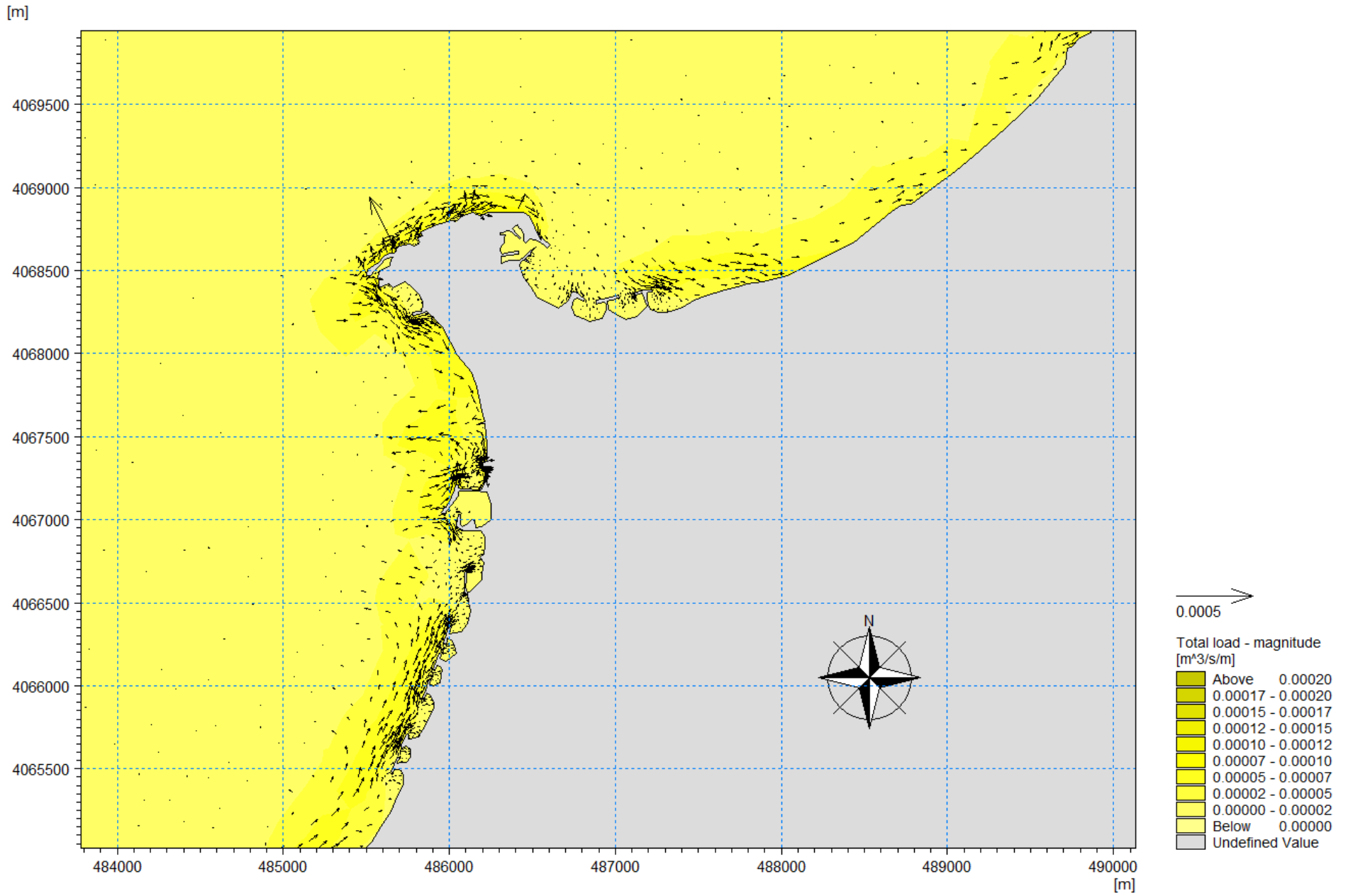


Figure 70: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 02

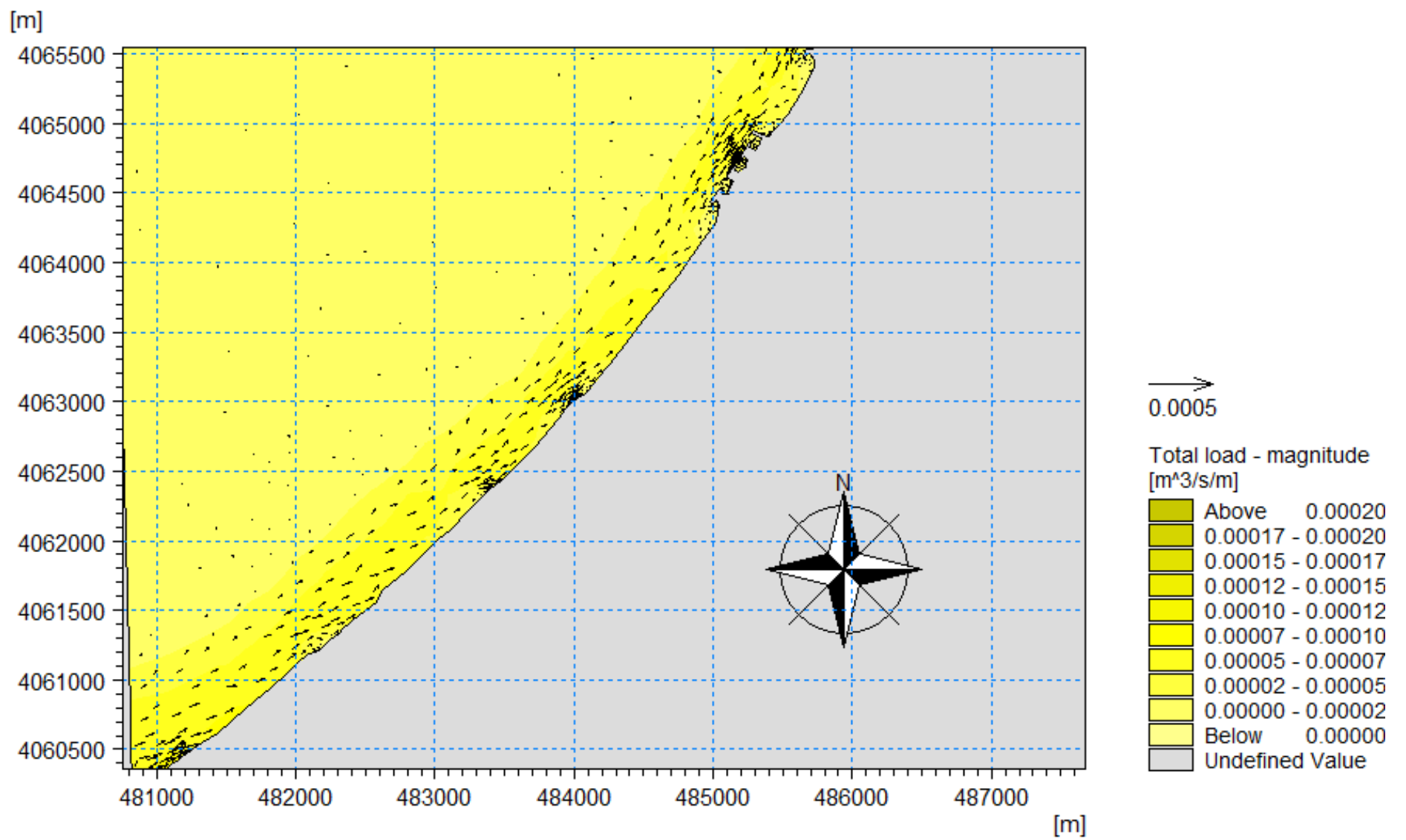


Figure 71: Résultats Du Transport Sédimentaire De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 03

Commentaires :

Les résultats de la simulation du transport sédimentaire sont résumés dans le Tableau 8. Ces résultats nous révèlent que la direction du transport sédimentaire est parallèle à la direction des courants. On peut voir que le dépôt le plus élevé est dû à la houle de la direction Nord et Nord-Ouest avec 2838,24 m³/an/m au niveau du cap de Sidi Fredj où il y'a aussi un transport sédimentaire vers le large. Pour la direction ouest, le dépôt est plutôt faible surtout au niveau des deux sous-zones 1 et 2.

Tableau 8: Observations Du Transport Sédimentaire De Chaque Houle Pour Les Trois Sous-Zones

Directions/Sous-Zones	Nord	Nord-Ouest	Ouest
1	-Direction ; nord-est, sud-ouest. -Taux de dépôt sédimentaire allant a 1892,16m ³ /an/m au niveau de la plage artificielle et vers le sud-ouest. -Présence d'une circulation tourbillonnante	-Direction ; nord-est, sud-ouest. -Taux de dépôt sédimentaire max : 1892,16 m ³ /an/m au niveau de la plage artificielle et vers le sud-ouest.	-Direction ; sud-ouest, nord-est. -Dépôt sédimentaire max : 315,36 m ³ /an/m au niveau de la plage artificielle et vers le sud-ouest.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC PHYSIQUE ET INTERACTION DE FACTEUR

2	<p>-Direction nord est-sud ouest</p> <p>-Dépôt sédimentaire plus élevé allant a 2522,88 m³/an/m au niveau des ouvrages de protections (epit en t et de la zone de protection au niveau de la plage des palmiers) a l'intérieur du port et au niveau du cap rocheux de sidi fredj</p>	<p>-Direction; nord est-sud ouest.</p> <p>- Dépôt sédimentaire max : 2838,24 m³/an/m au niveau des ouvrages de protections (epit en t et de la zone de protection au niveau de la plage des palmiers) a l'intérieur du port et au niveau du cap rocheux de sidi fredj.</p> <p>-Présence de sédiments transportés vers le large au niveau du cap rocheux de sidi fredj.</p>	<p>-Direction; -sud ouest – nord est.</p> <p>- Dépôt sédimentaire max : 315,36 m³/an/m ouvrages de protections (epit en t et de la zone de protection au niveau de la plage des palmiers) a l'intérieur du port et au niveau du cap rocheux de sidi fredj.</p> <p>-Présence de sédiments transportés vers le large au niveau du cap rocheux de sidi fredj.</p>
3	<p>-Direction nord est-sud-ouest</p> <p>- Dépôt sédimentaire max : 1009,152 m³/an/m. réparti sur toute la sous-zone.</p>	<p>-Direction ; nord est-sud-ouest.</p> <p>- Dépôt sédimentaire max : 2207,52 m³/an/m au niveau des ouvrages de protection et au sud-ouest.</p>	<p>-Direction ; -sud-ouest – nord est.</p> <p>- Dépôt sédimentaire max : 1576,8 m³/an/m. réparti sur toute la sous-zone.</p>

2.4.2.3 Le modèle de propagation de la houle (MIKE 21-SW)

-Direction Nord

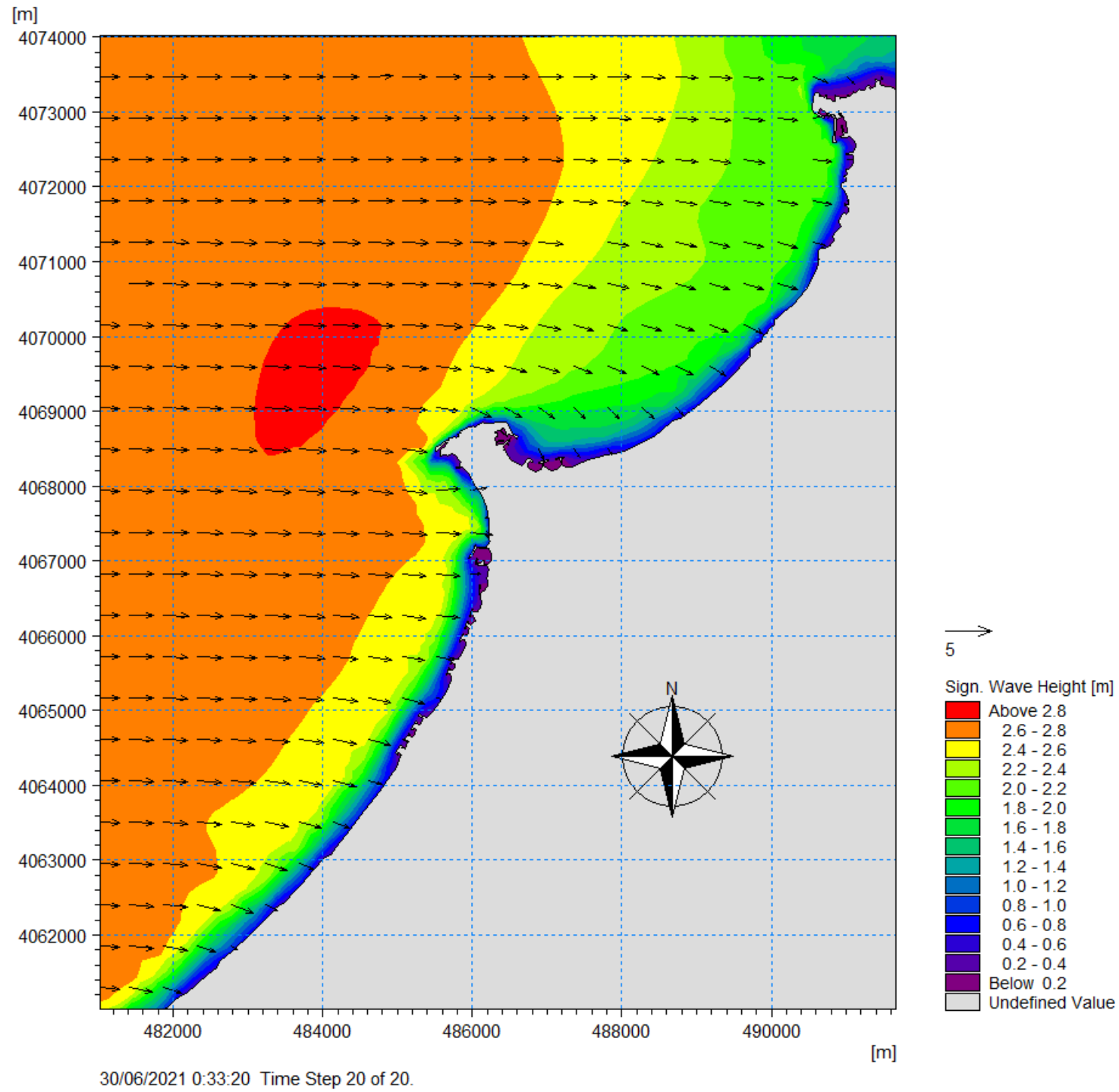


Figure 72: Résultats de la réfraction de la houle direction Nord dans la zone Ouest d’Alger

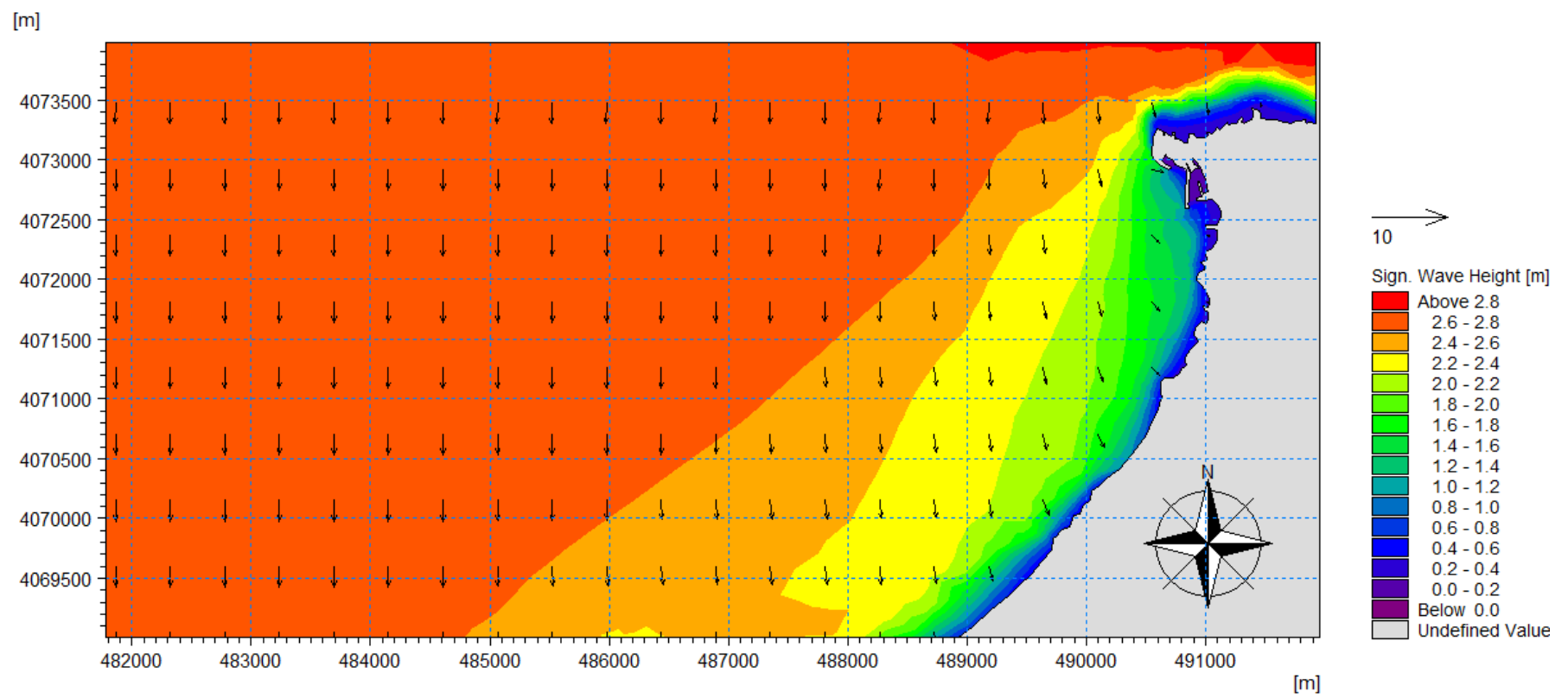


Figure 73: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 01

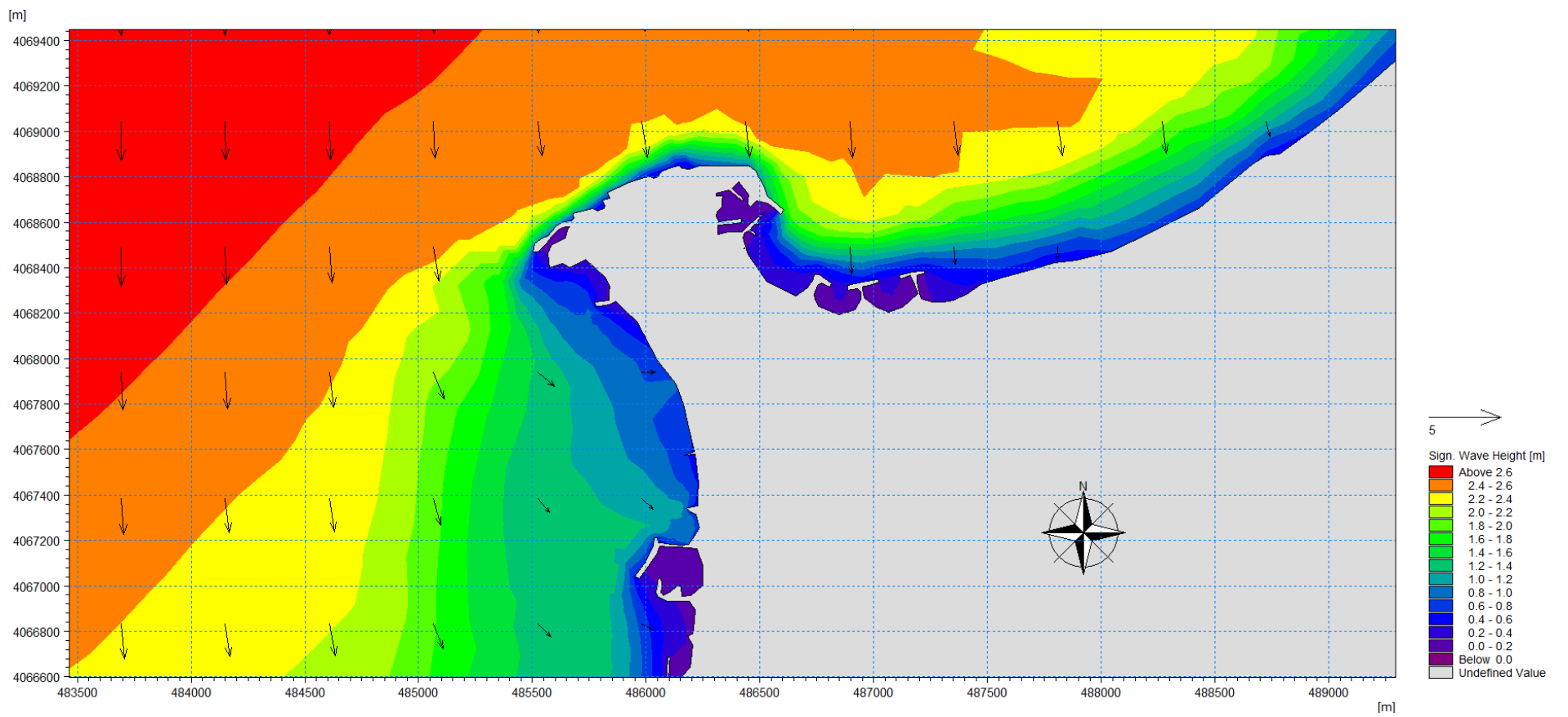


Figure 74: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 02

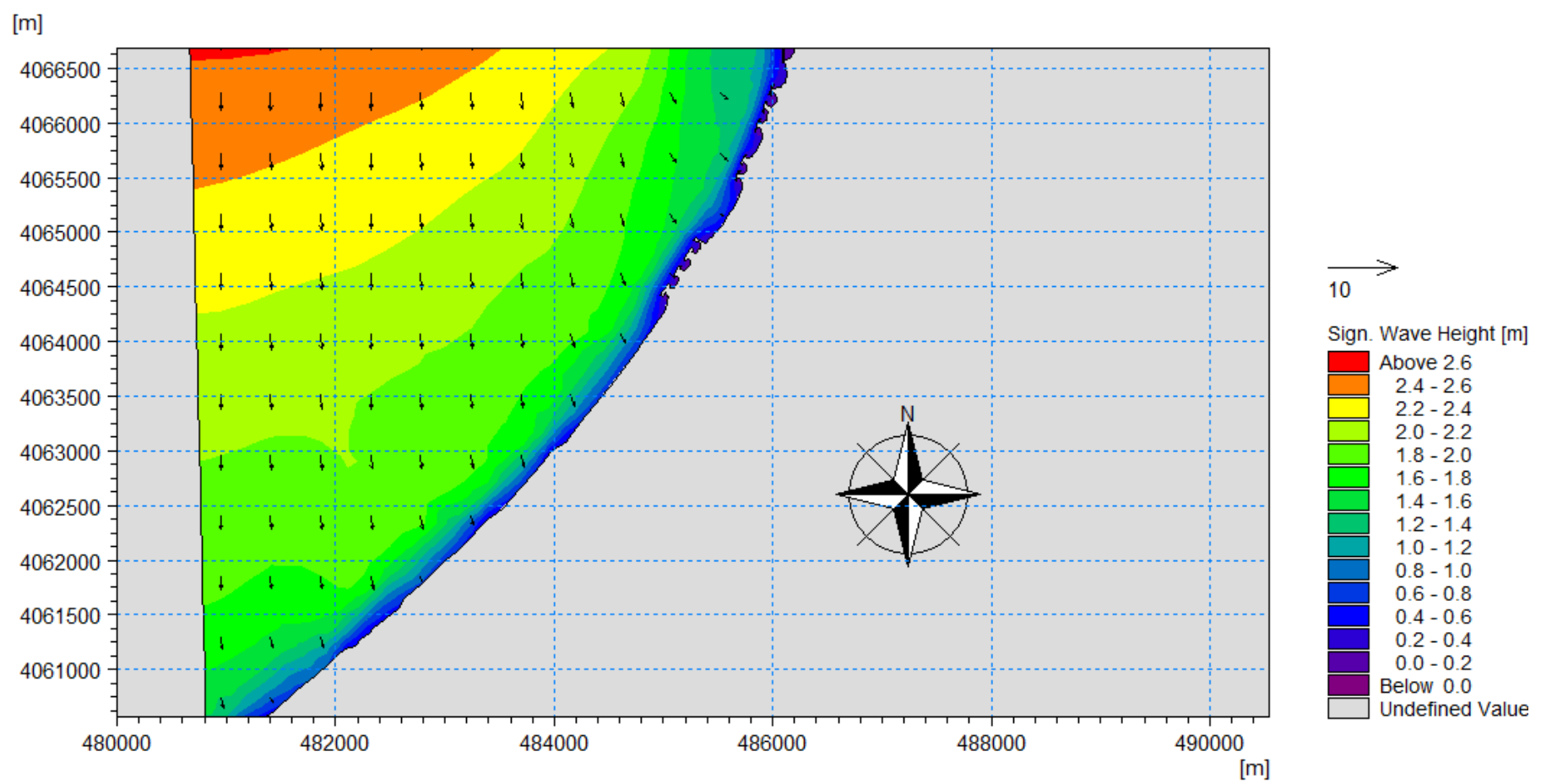


Figure 75: Résultats De La Réfraction De La Houle De La Houle Direction Nord Dans La Sous-Zone 03.

- Direction Nord-Ouest

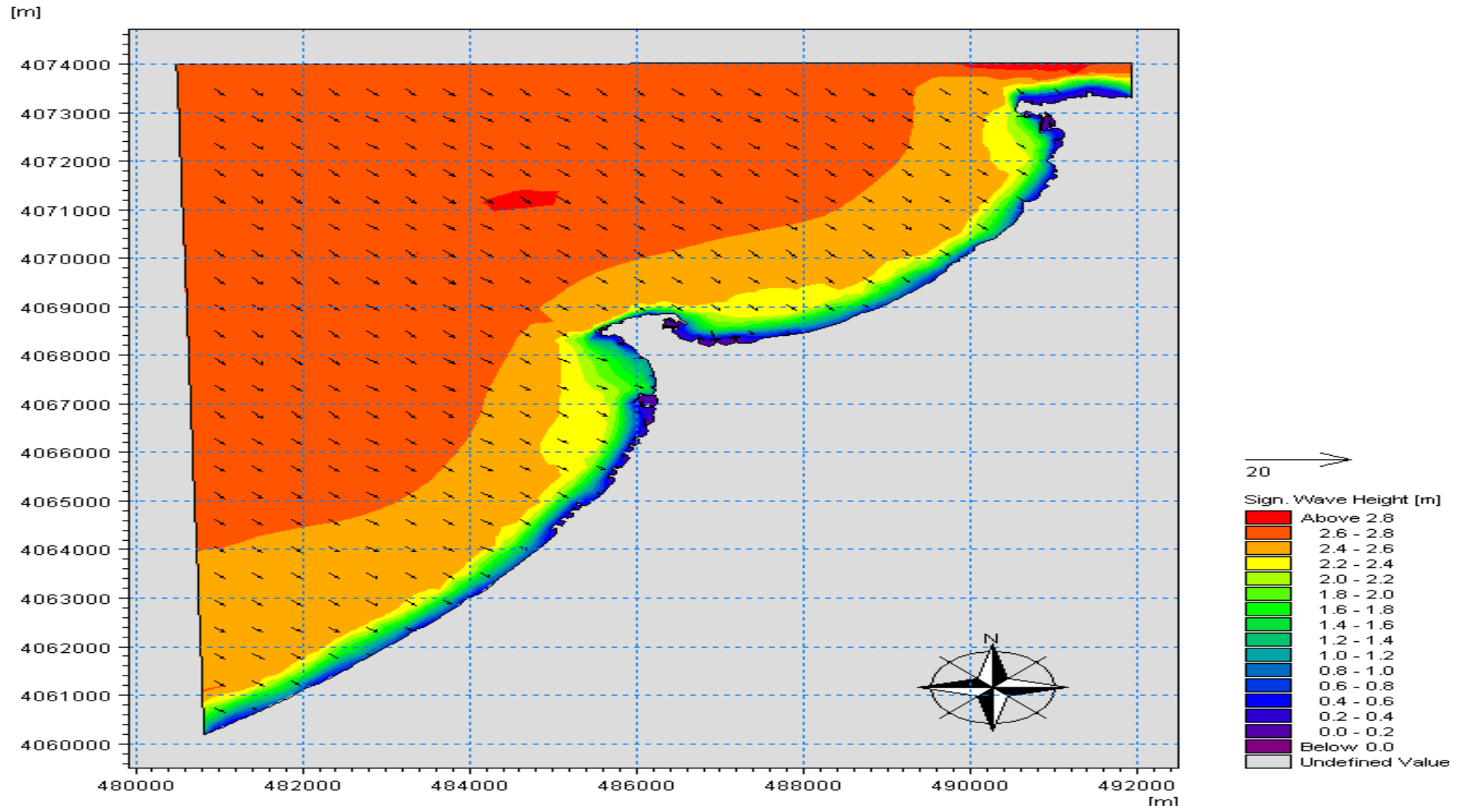


Figure 76: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger.

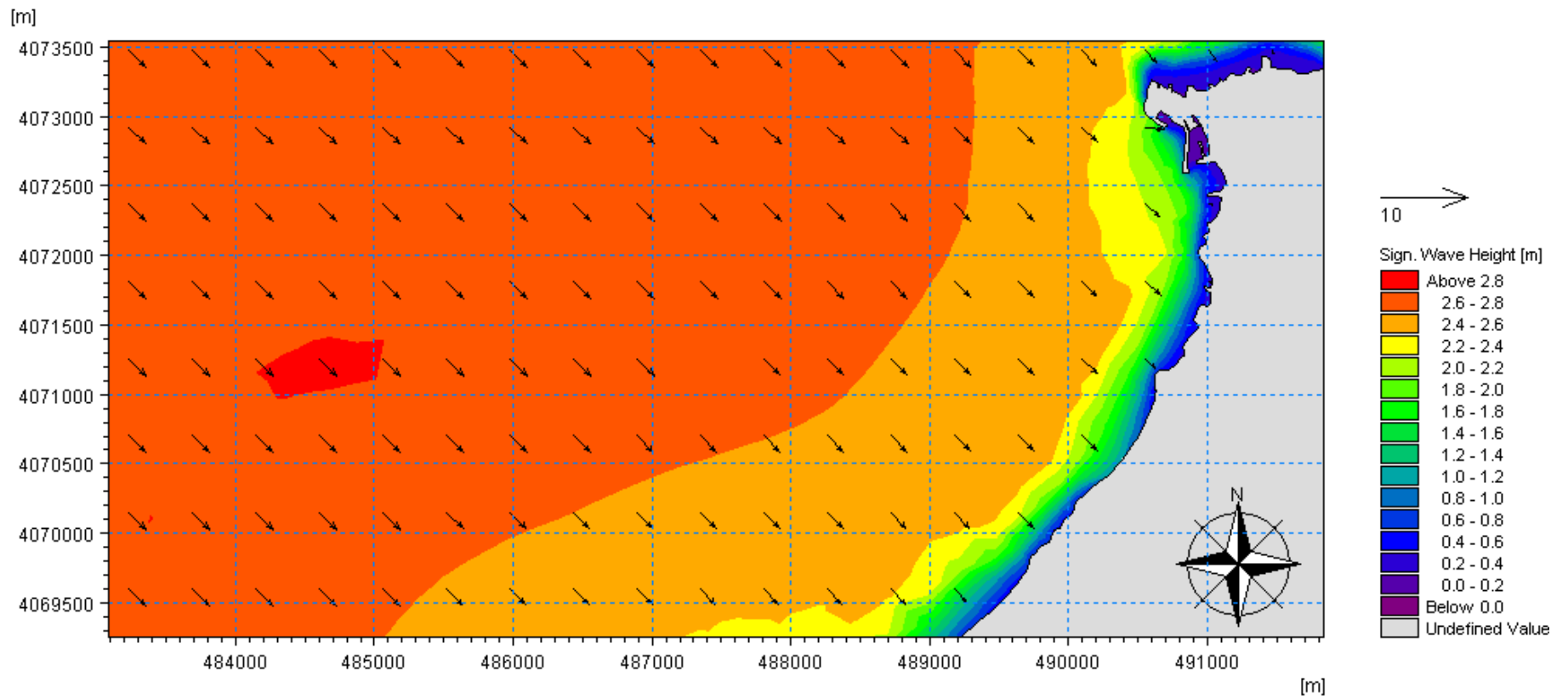


Figure 77: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Sous-Zone 01.

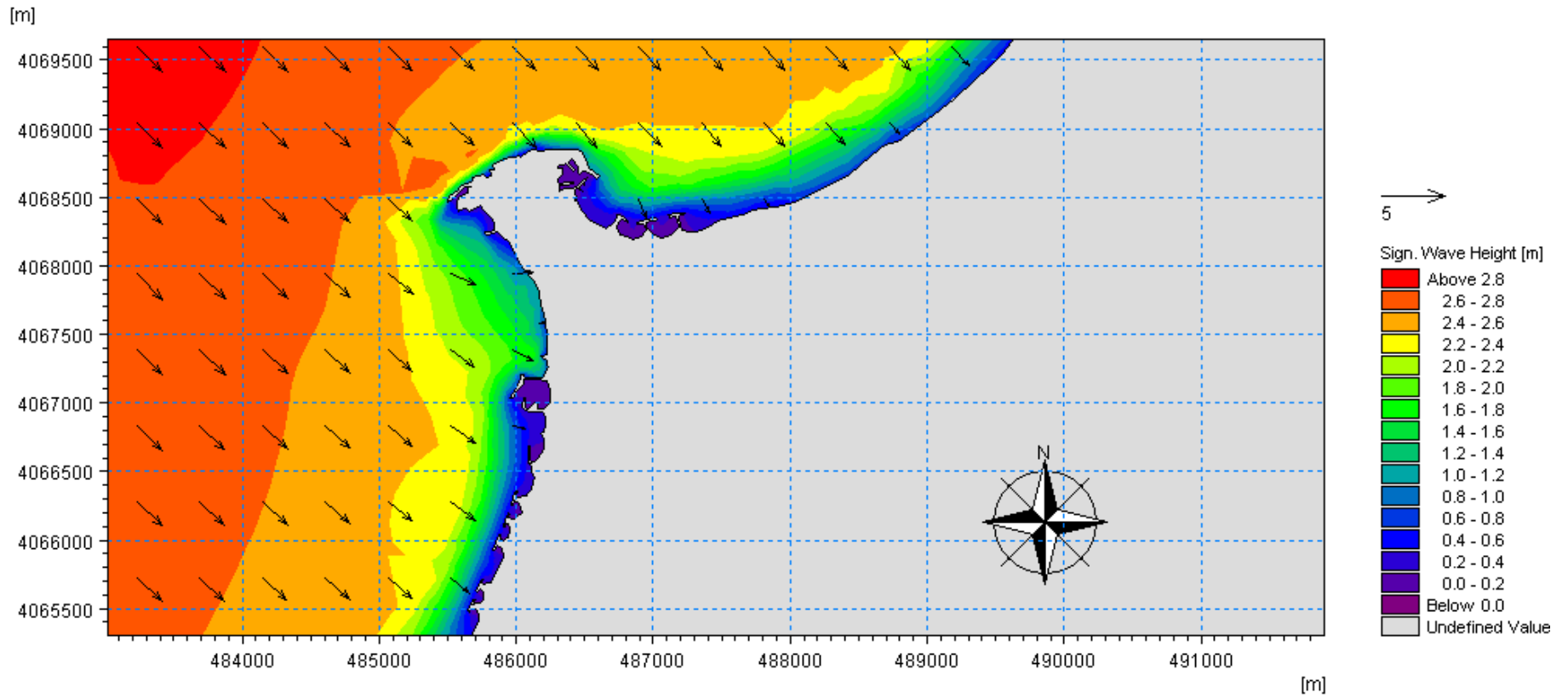


Figure 78: Résultats De La Réfraction De La Houle De La Houle 315N Dans La Sous-Zone 02.

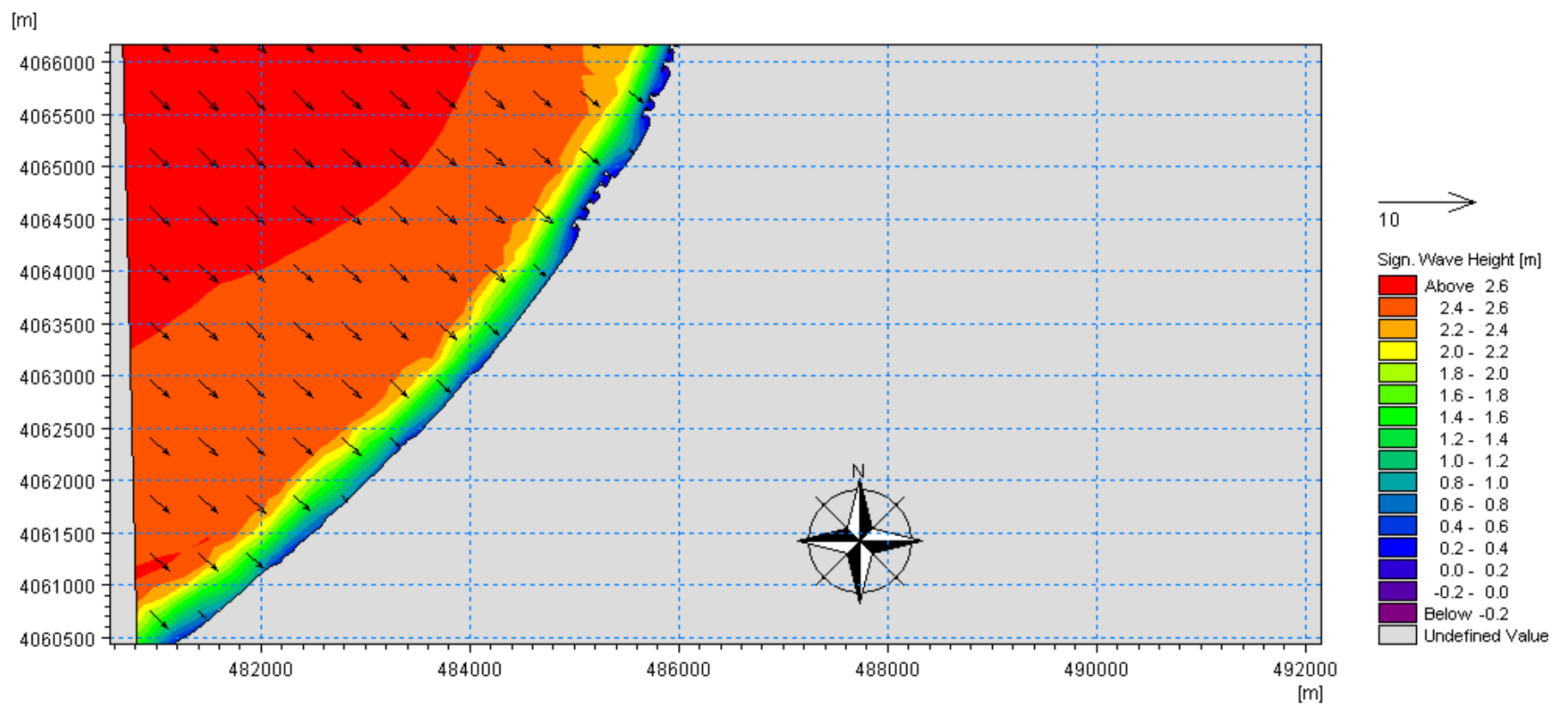


Figure 79: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Nord-Ouest Dans La Sous-Zone 03.

-Direction Ouest

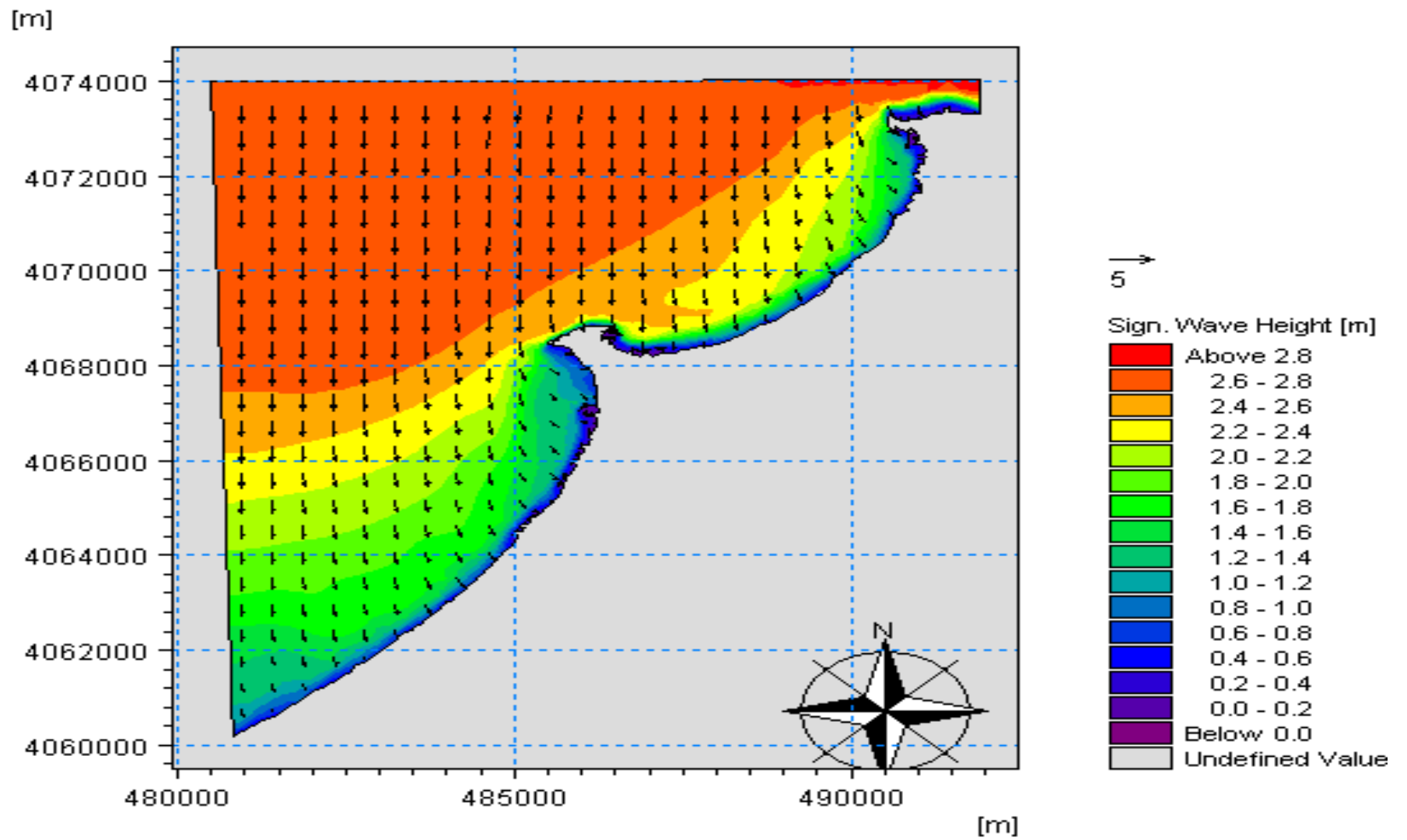


Figure 80: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Zone Ouest d'Alger.

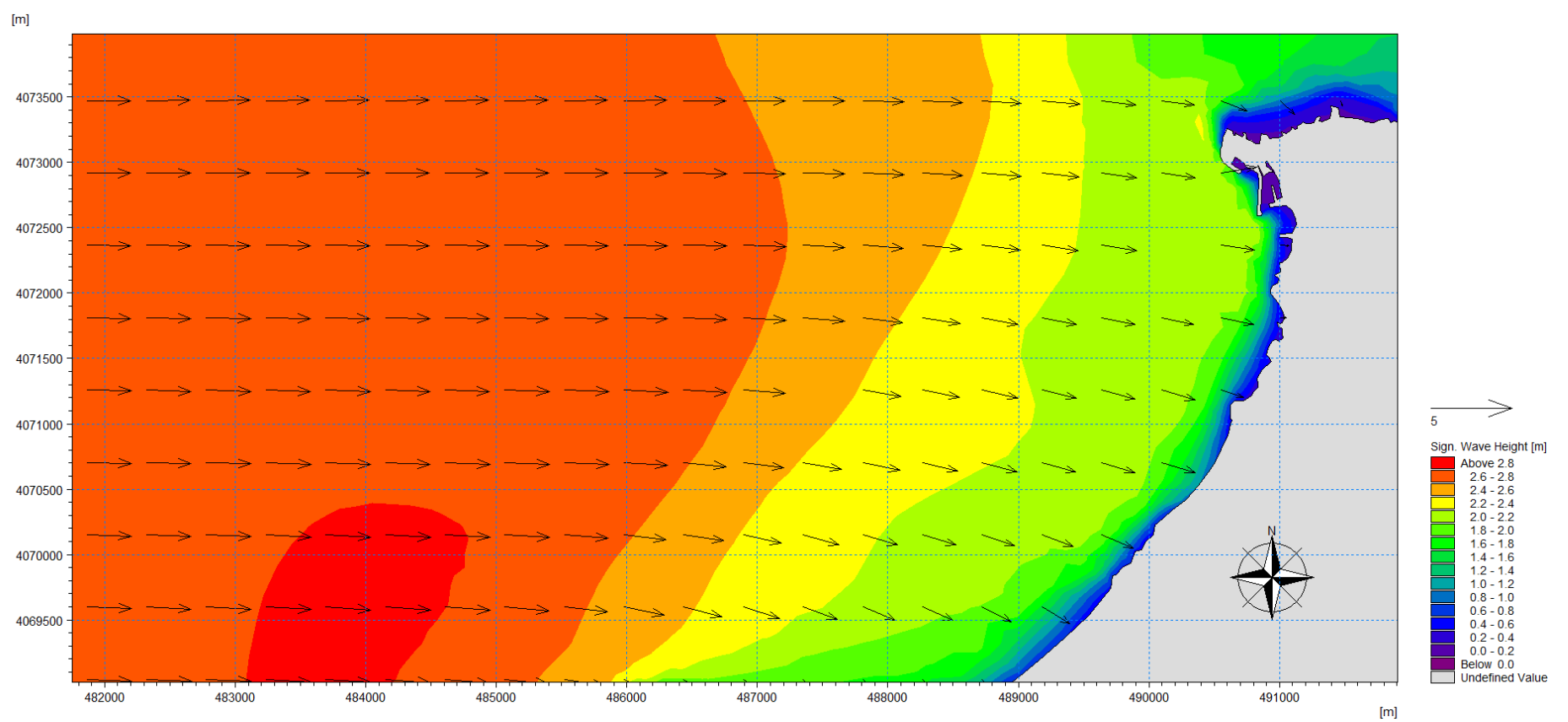


Figure 81: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 01.

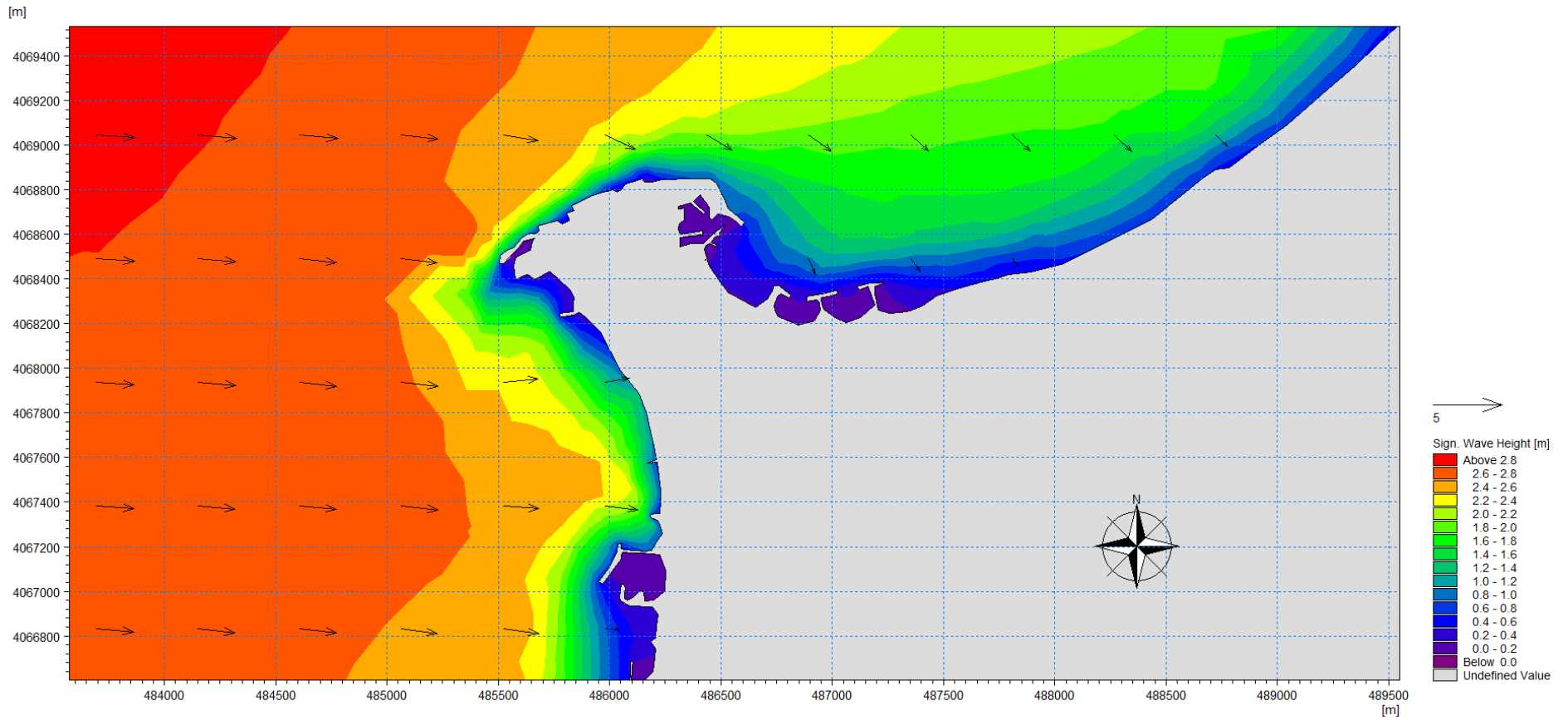


Figure 82: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 02.

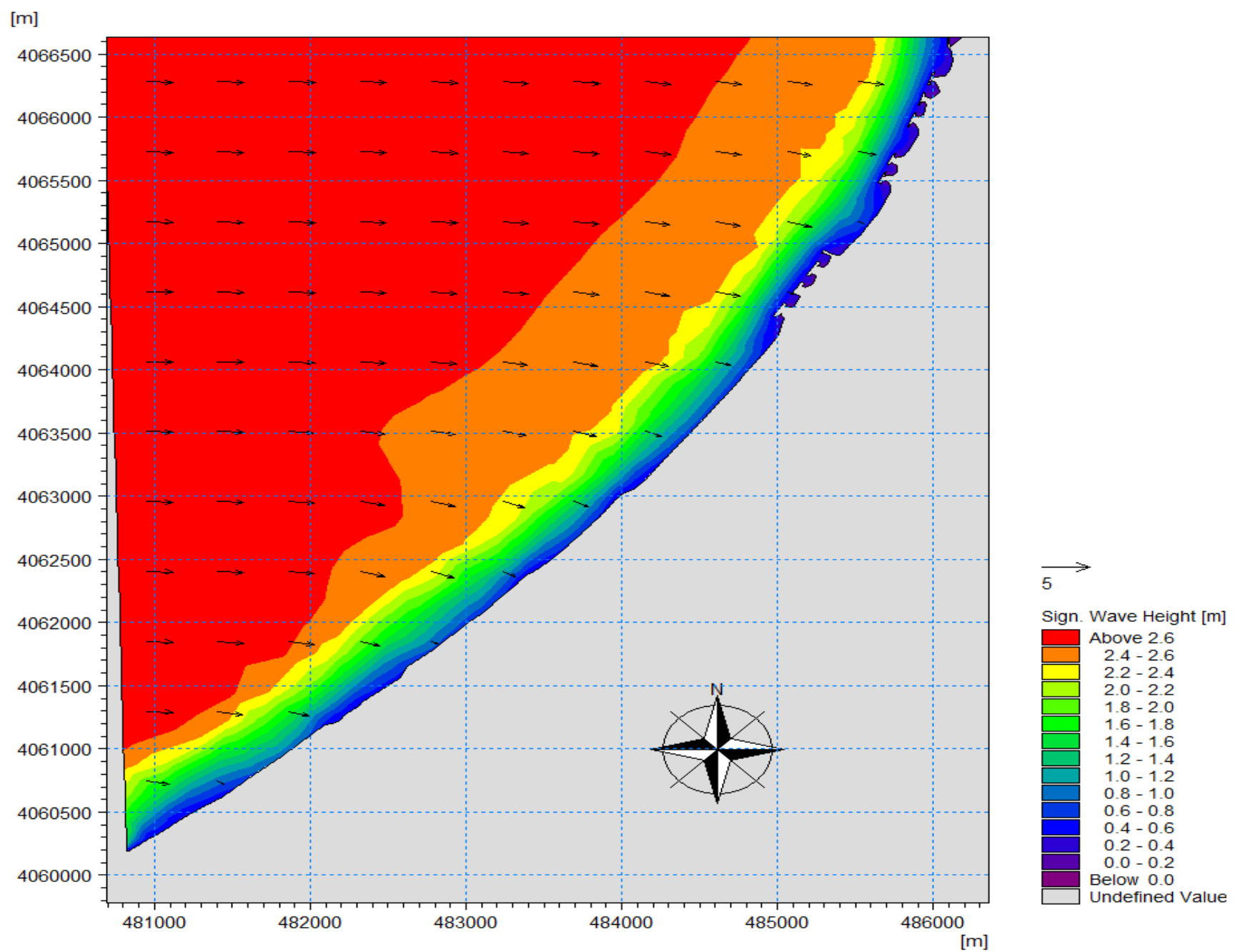


Figure 83: Résultats De La Réfraction De La Houle Direction Ouest Dans La Sous-Zone 03.

Commentaires

Les résultats de la simulation de la réfraction de la houle sont résumés dans le Tableau 9.

L'étude de la réfraction avec le mike21 montre que le site d'étude est exposé aux houles de direction nord, ouest, nord-ouest avec une hauteur de houle qui atteint 1m au niveau du cap de Sidi Fredj pour la direction de la houle ouest .

La direction de la houle après réfraction est la même pour les trois direction nord est.

Tableau 9: Observations de la réfraction de la houle des trois directions dominantes pour les trois sous-zones

Directions/Sous-Zones	Nord	Nord-Ouest	Ouest
1	-HS entre 0.2 et 0.6m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau du port de la Madrague	-HS entre 0.2 et 0.6m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau du port de la Madrague	-HS entre 0.2 et 0.6m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau du port de la Madrague
2	-HS entre 0.2 et 0.8m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau des ouvrages de protections, du port de Sidi Fredj et de la zone protégée de la plage des palmiers.	-HS entre 0.2 et 0.8m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au des ouvrages de protections, du port de Sidi Fredj et de la zone protégée de la plage des palmiers.	-HS entre 0.2 et 1m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au des ouvrages de protections, du port de Sidi Fredj et de la zone protégée de la plage des palmiers

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC PHYSIQUE ET INTERACTION DE FACTEUR

3	-HS entre 0.2 et 0.6m -direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau des ouvrages de protections d'azur plage et de la plage de Mazafran	-HS entre 0.2 et 0.4m -direction de la houle après la réfraction nord est	-HS entre 0.2 et 0.6m -Direction de la houle après la réfraction nord est -Hauteur min de la houle au niveau des ouvrages de protections d'azur plage et de la plage de Mazafran
---	--	--	--

2.5 Etude de l'évolution de la ligne du rivage

Cette étude est pour objectif d'étudier les dynamiques du trait de côte du littoral d'Ouest d'Alger (des plages sableuses) à une échelle spatiotemporelle, qui est une zone fragilisée par l'érosion côtière.

2.5.1 Acquisition des données

Les données utilisées dans cette étude, provenant de différentes sources et à différentes résolutions spatiales, sont résumées dans le (Tableau 10) suivant :

Tableau 10: Caractéristiques des données utilisées dans l'étude

Trait de cote	Source	Résolution	Moyen d'acquisition
1959	APPL	Métrique	Photographies aériennes Digitalisation sur ArcGIS
1980	APPL	Métrique	Photographies aériennes Digitalisation sur ArcGIS
1999	APPL	Métrique	Photographies aériennes Digitalisation sur ArcGIS
2017	Par Mr. OTMANI.	Centimétrique	DGPS
2019	SASPlanet	Métrique	Image satellitaire de SASPlanet Digitalisation sur ArcGIS

2.5.2 Approche méthodologique

Dans le cadre de cette étude, des traits de côte des années : 1959, 1980, 1999, 2017 et 2019 ont été utilisés, leur traitement a été réalisé à l'aide du logiciel Arc Gis 10.4.1 sous le système de projection WGS84 UTM zone 31N. Ce travail s'est déroulé suivant ces étapes (Figure 84).

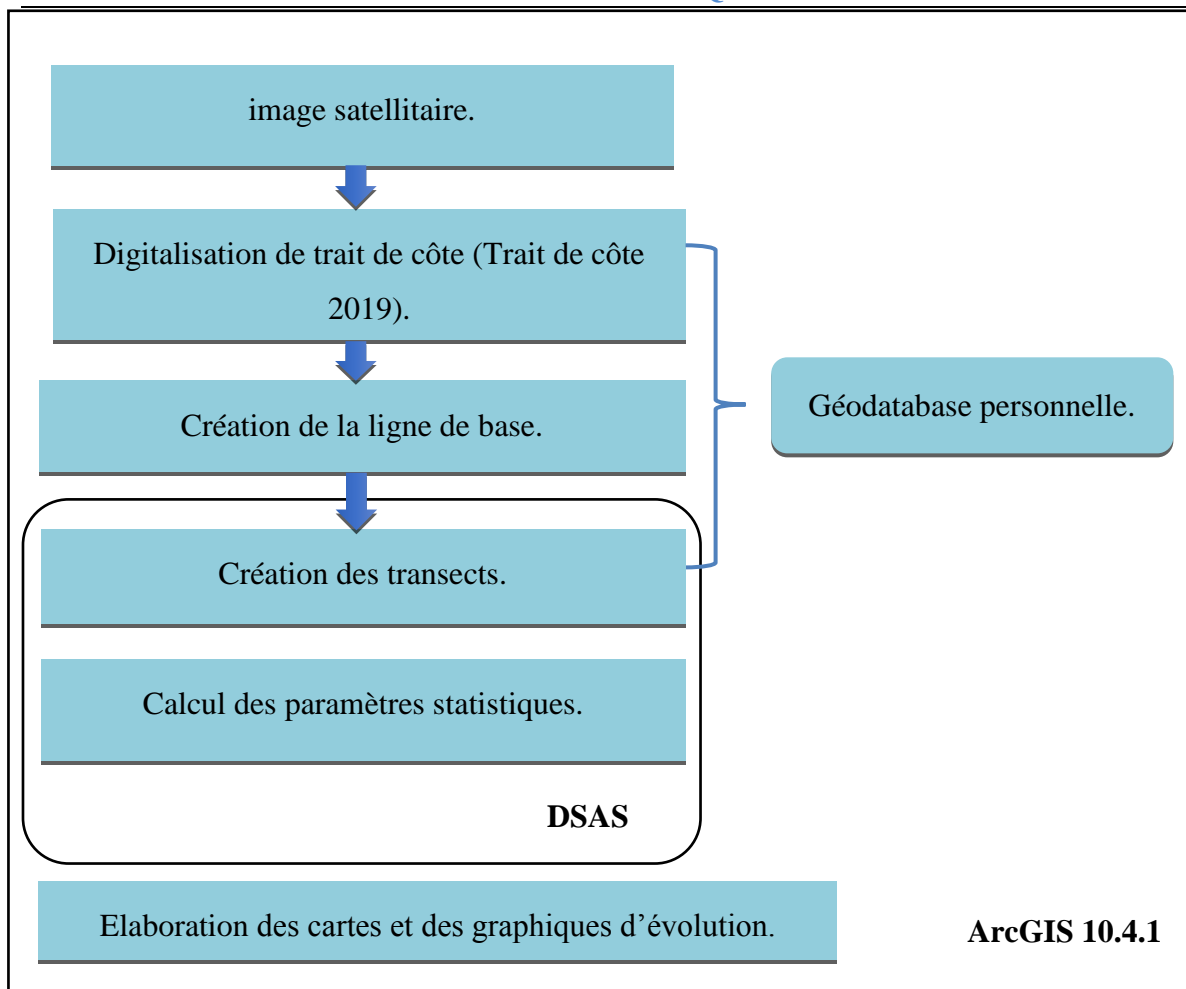


Figure 84 : Étapes de la méthodologie de suivi du trait de côte (OTMANI et al, 2019).

2.5.2.1 La boîte d’outil « DSAS »

Dans cette étude, nous allons utiliser ArcGis 10.4.1 et plus particulièrement le DSAS (Digital Shoreline Analysis System (Version 5)). Cet outil a pour avantage de donner une évolution graphique et statistique du trait de côte. Il fournit une méthode normalisée qui peut être répétée pour le calcul de l'évolution statistique tout en analysant le changement passé, présent et futur du littoral. L'utilisation de l'extension DSAS nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géo-data base personnelle dans ArcCatalog et la numérisation d'une ligne de base imaginaire à partir de laquelle DSAS crée des transects qui viendront couper les différents traits de côtes.

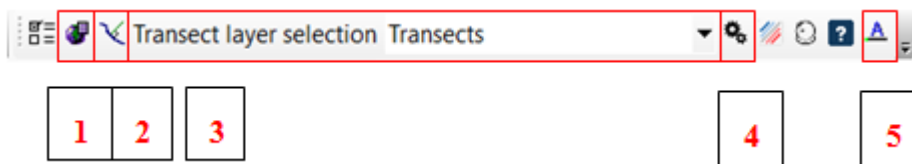


Figure 85 : Les principaux outils de la barre d’outils du DSAS.

La Figure 85 illustre les principaux outils de la barre d'outils du DSAS, qui se déclinent comme suit :

- Définir / Modifier les paramètres : sert à spécifier les noms des fichiers utilisés (vecteur traits de côte et ligne de base).
- Transects Cast : génère une nouvelle classe d'entités pour des transects en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.
- Le menu déroulant : répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- Calcul des statistiques : lance une boîte de dialogue avec une liste sélectionnable des statistiques à calculer.
- A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.

DSAS est une extension qui permet le calcul statistique des vitesses d'érosion et d'accrétion, des taux d'évolution ainsi que les distances des traits de côtes au cours de plusieurs années :

End Point Rate (EPR) : Est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent divisé par le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates.

Linear Regression Rate (LRR) : qui 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 littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée.

Net Shoreline Movement (NSM) : le mouvement du littoral net indique une distance et non un taux, Ce paramètre correspond à la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent (en mètre).

En sortie, l'extension DSAS fournit 2 fichiers, l'un contient les caractéristiques des points d'intersection « Transects intersect » et l'autre contient les statistiques d'évolution « Transects rate » (EPR, NSM et LRR).

Pour cette étude on a utilisé un espacement de 20m entre les transects pour obtenir 1118 transects le long de la zone d'étude.

2.5.3 Résultats et discussions

Les calculs statistiques de la variation de la ligne de rivage ont été effectués le long des 1118 transects, répartis le long des 25 Plages allant de la plage Méditerranée à l'Est jusqu'à celle de Kheloufi 1 à l'Ouest,

Dans cette étude, nous avons divisé la zone d'étude en deux 2 provinces sédimentaires (Figure 86) :

- Province sédimentaire 01 : Le long de la baie d'El Djamilia (Figure 87).
- Province sédimentaire 02 : du Cap de Sidi Fredj jusqu'à Oued Mazefran (Figure 88).



Figure 86: Carte des provinces sédimentaires de la zone d'étude

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC PHYSIQUE ET INTERACTION DE FACTEUR

Afin de mieux cerner la dynamique du trait de côte sur une période de 61 ans, des cartes d'aléa à l'érosion ont été réalisées sur cinq périodes : de 1959 à 1980, de 1980 à 1999, de 1999 à 2017, de 1990 à 2019 et de 1959 à 2019,

Sept (7) classes représentant le degré de progression ou de dégradation de la zone étudiée (Tableau 11) ont été cartographiées et un bilan surfacique a été calculé à partir de la création de polygones à l'aide d'ArcGIS entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent pour chaque période étudiée. Les surfaces de chaque polygone représentent la surface de la plage perdue dans le cas du recul du trait de côte (bilan négatif) ou la surface d'engraissement dans le cas d'avancement du trait de côte (bilan positif), la différence entre les deux bilans nous renseigne sur l'état de la zone sur la période d'étude.

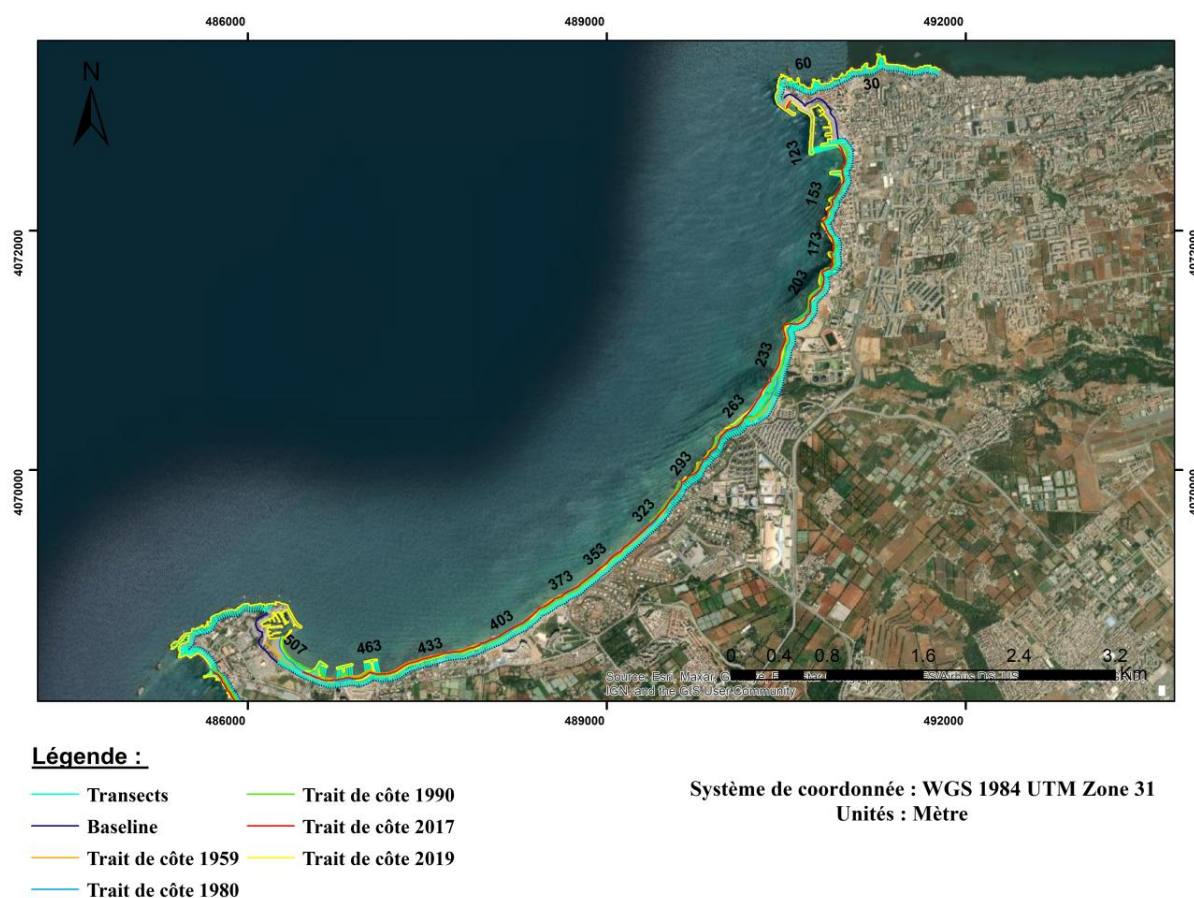
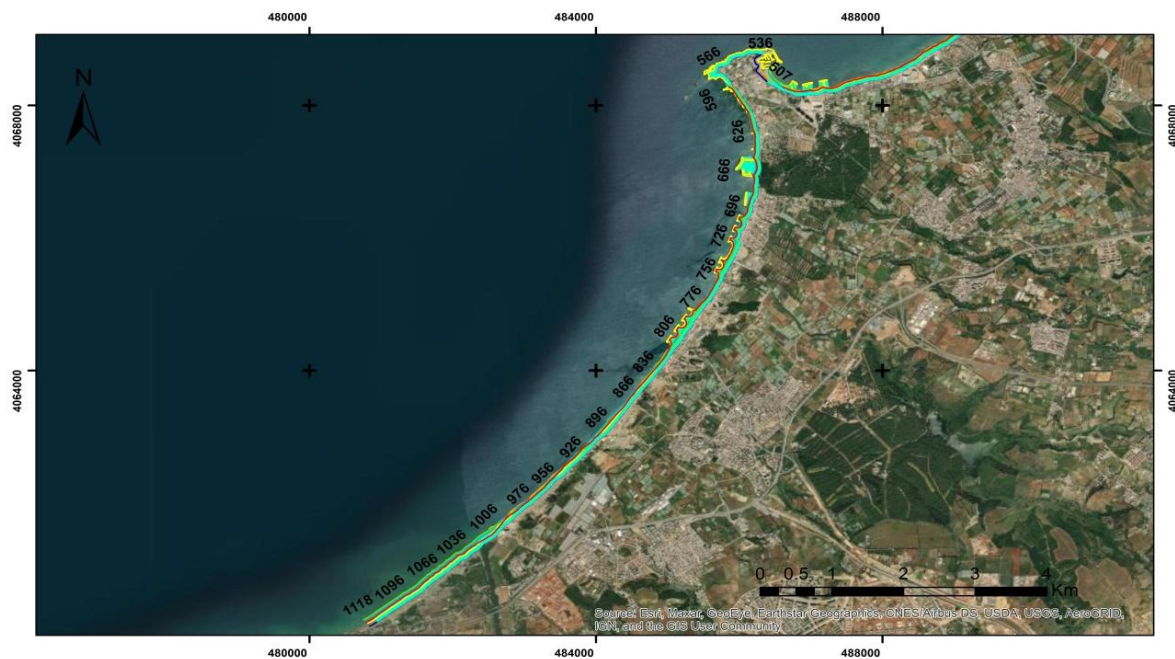


Figure 87: Carte des transects de la province sédimentaire 01 de la zone d'étude



Légende :

- Transects
- Trait de côte 1990
- Baseline
- Trait de côte 2017
- Trait de côte 1959
- Trait de côte 2019
- Trait de côte 1980

Système de coordonnées : WGS 1984 UTM Zone 31
Unités : Mètre

Figure 88 : Carte des transects de la province sédimentaire 02 de la zone d'étude.

Tableau 11: Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR

	Taux de changement de trait de côte (m/an)	Classification des traits de côte
1	> - 2	Erosion très élevée.
2	- 1 à - 2	Erosion élevée.
3	-1 à 0	Erosion modérée.
4	0	Stable.
5	0 à +1	Accrétion modérée.
6	+1 à + 2	Accrétion élevée.
7	> + 2	Accrétion très élevée.

2.5.3.1 PERIODE ALLANT DE 1959 A 2019

Pour quantifier les pertes et les gains en sédiments le long de la zone d'étude, les déplacements du trait de côte ont été exprimés en termes de surfaces.

Au cours de 61 dernières années allant de 1959 à 2019, les résultats de la variabilité spatio-temporelle du rivage montrent que les surfaces des plages perdues dominent celles gagnées par accrétion. Le budget sédimentaire global sur cette période est négatif.

Le bilan surfacique net montre que la zone a connu une perte en sédiment de l'ordre de -15221,12 m² avec une accrétion modérée de +0,06 m/an, soit une surface de +196752,62 m².

Cette étude a révélé que durant cette période, sur 50 % des transects correspondant à 34 km du linéaire côtier, la côte est en érosion, La zone en accrétion représente 31 %, soit 10,5 km du linéaire côtier (Figure 89).

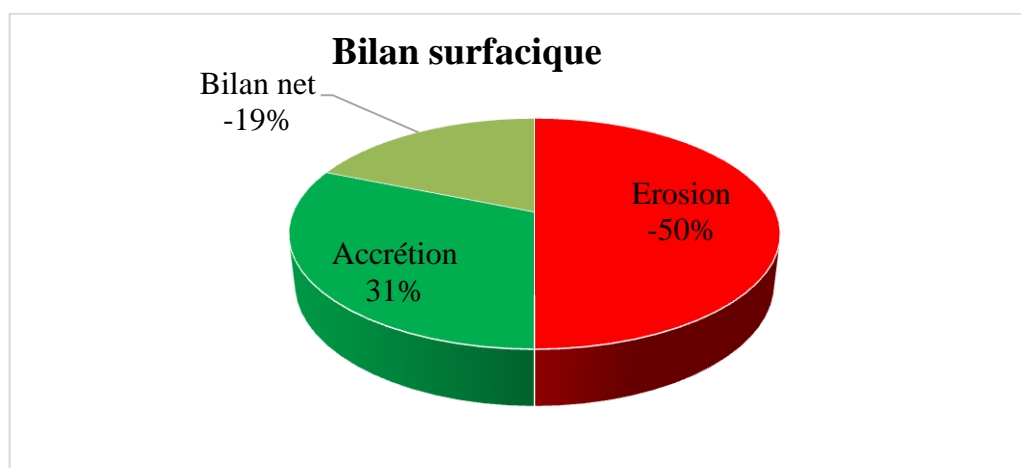


Figure 89 : Bilan surfacique de la zone d'étude entre 1959 et 2019.

L'engraissement a été marqué le long des plages : les Dunes, El Riadh, CRF Staouéli, Palm Beach, Azur plage et Complexe touristique Zeralda où le rivage s'est introduit jusqu'à 3,53m vers la terre, Cela est non seulement dû aux ouvrages de protection installés au niveau de ces plages mais aussi aux apports d'Oued Beni Mesouss. Tandis qu'une stabilité a été enregistrée au niveau des plages : Méditerranée, Jeunesse, Fontaine, Club des pins, plage d'Or, Sidi Fredj Est et Sidi Fredj Ouest.

Par ailleurs, le reste de la zone montre une érosion élevée à très élevée qui a atteint un EPR max de -1,27 m/an et un LRR max de -1,3 m/an au niveau de la plage Khaloufi 1, La conjugaison des facteurs naturels et anthropiques ont rendu ces secteurs plus fragiles et vulnérables (Figure 91 et Figure 92)

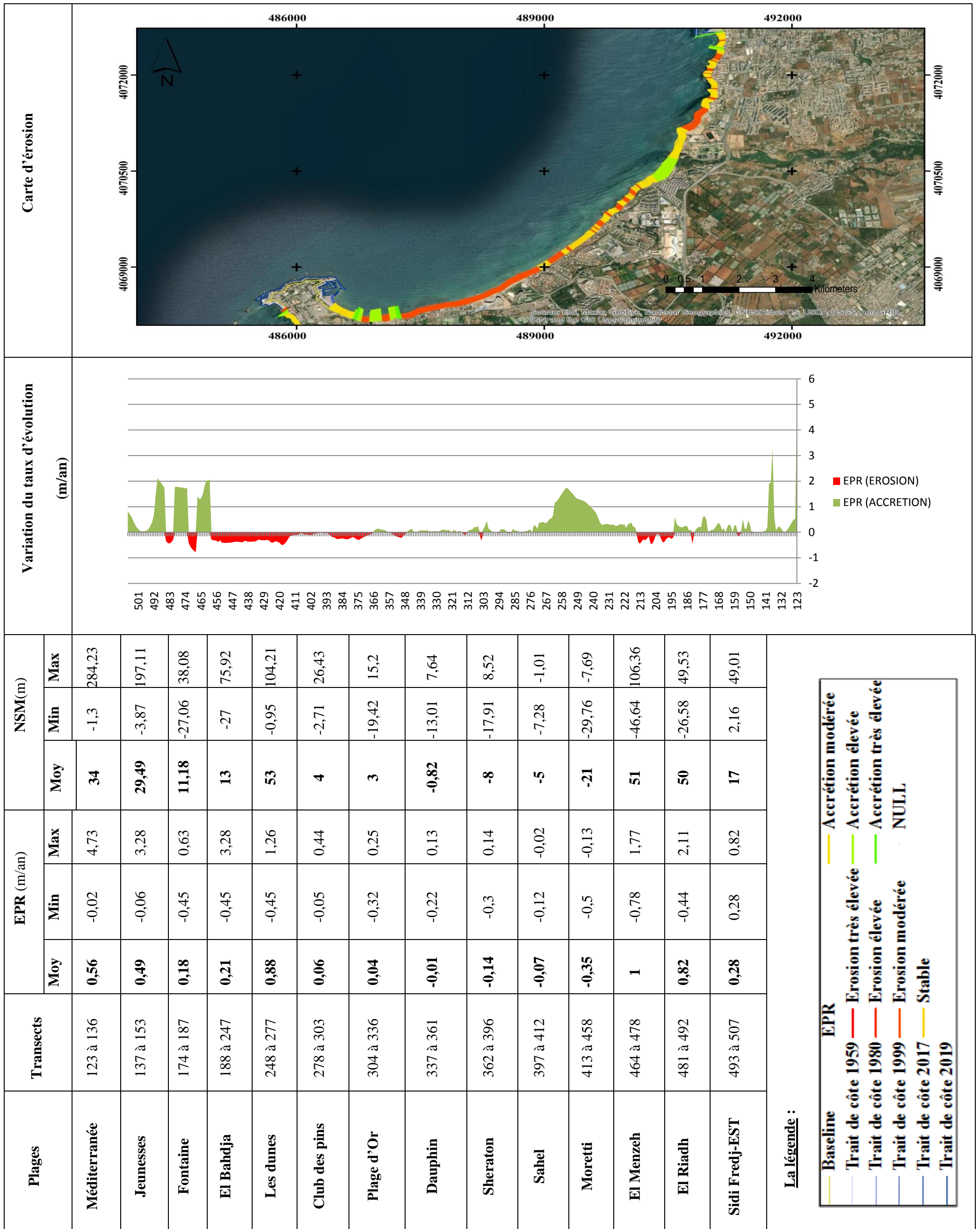


Figure 91 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 2019 de la province sédimentaire 01

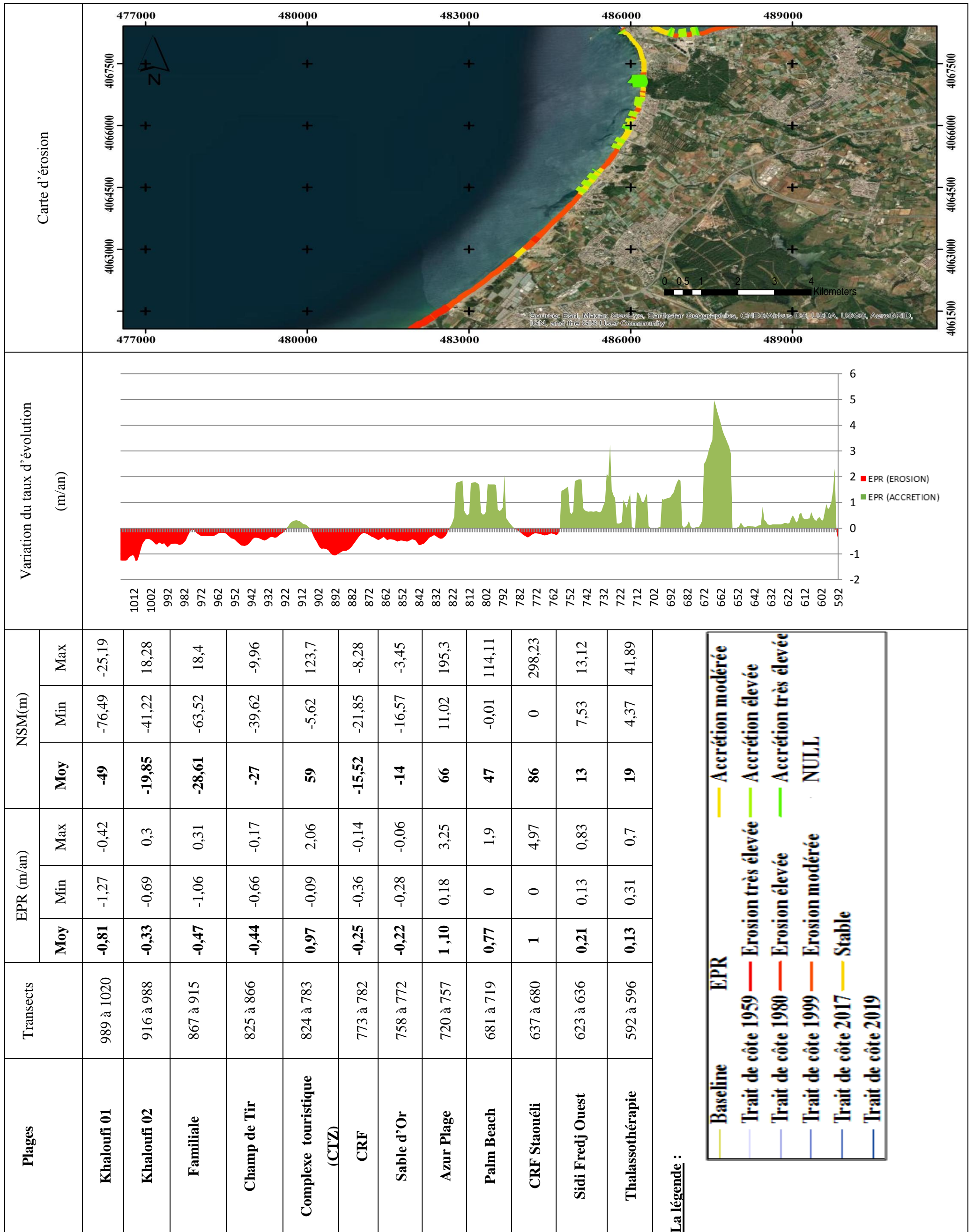


Figure 92 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 2019 de la province sédimentaire 02

2.5.3.2 PERIODE ALLANT DE 1959 A 1980

Au cours de cette période, le trait de côte affiche une position d'avancée tout au long de la zone d'étude avec un EPR moyen de +0,012 m/an et un NSM moyen de +0,26m,

Les plages de la baie d'El Djamila affichent une érosion élevée presque l'intégralité de son rivage, à l'exception de quelques endroits qui restent stables. Cette érosion a été marquée principalement au niveau des plages : Méditerranée, la Jeunesse, Fontaine et El Bahdja, cette dernière enregistre un EPR max de -1,24 m/an et un NSM moyen de -4,32 m au niveau du transect 204 (Figure 93).

En outre, les plages de la baie de Bouismail sont en pro- gradation avec un EPR de l'ordre de +0,13m/an et un NSM moyen de 2,86 m, à l'exception des alentours de l'embouchure d'Oued Mazafran dont la position est naturellement mobile où une érosion très élevée se manifeste avec un EPR max de -1,84 m/an au niveau de la plage de Kheloufi 2 (Figure 94).

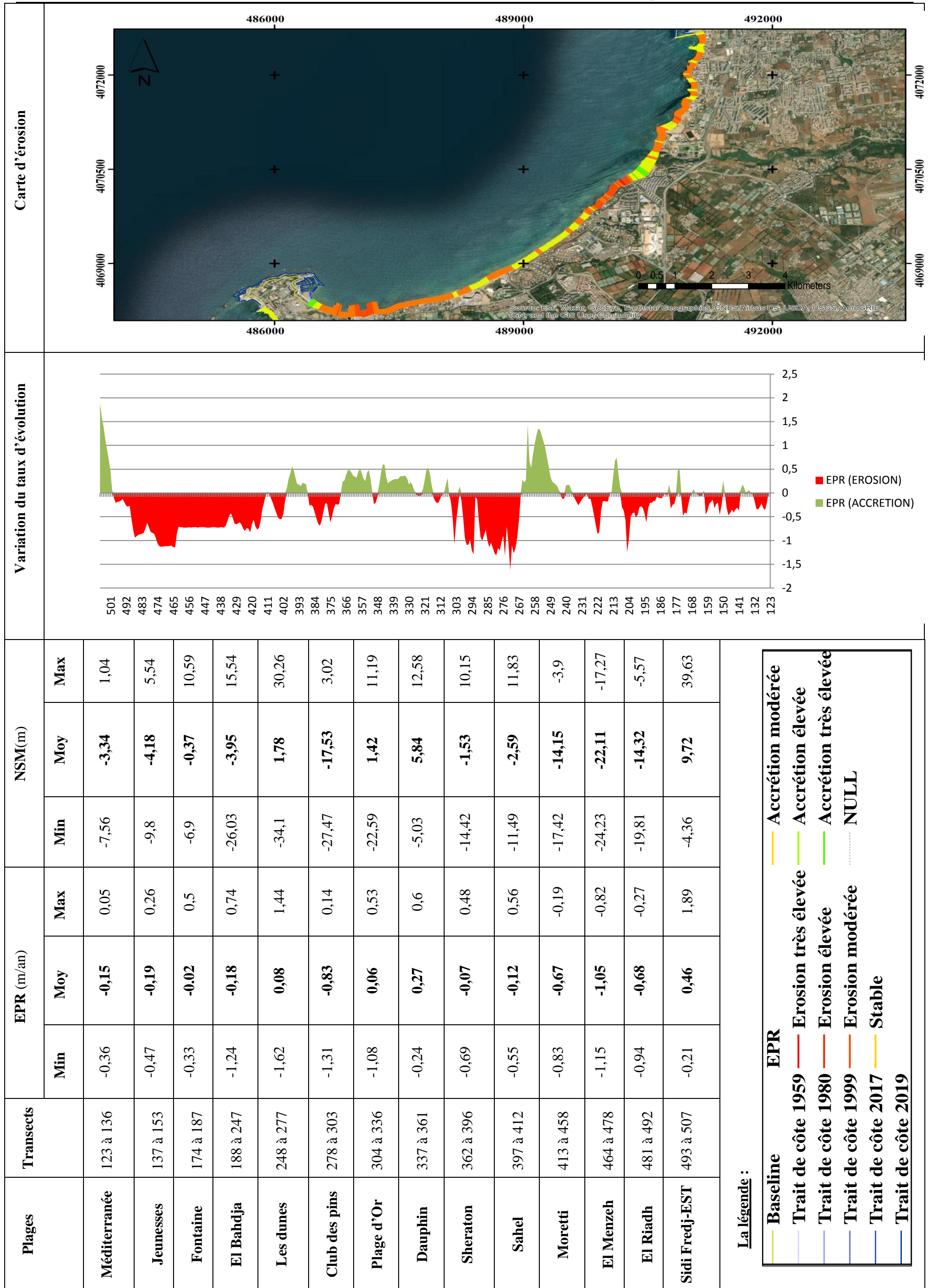


Figure 93 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 1980 de la province sédimentaire 01

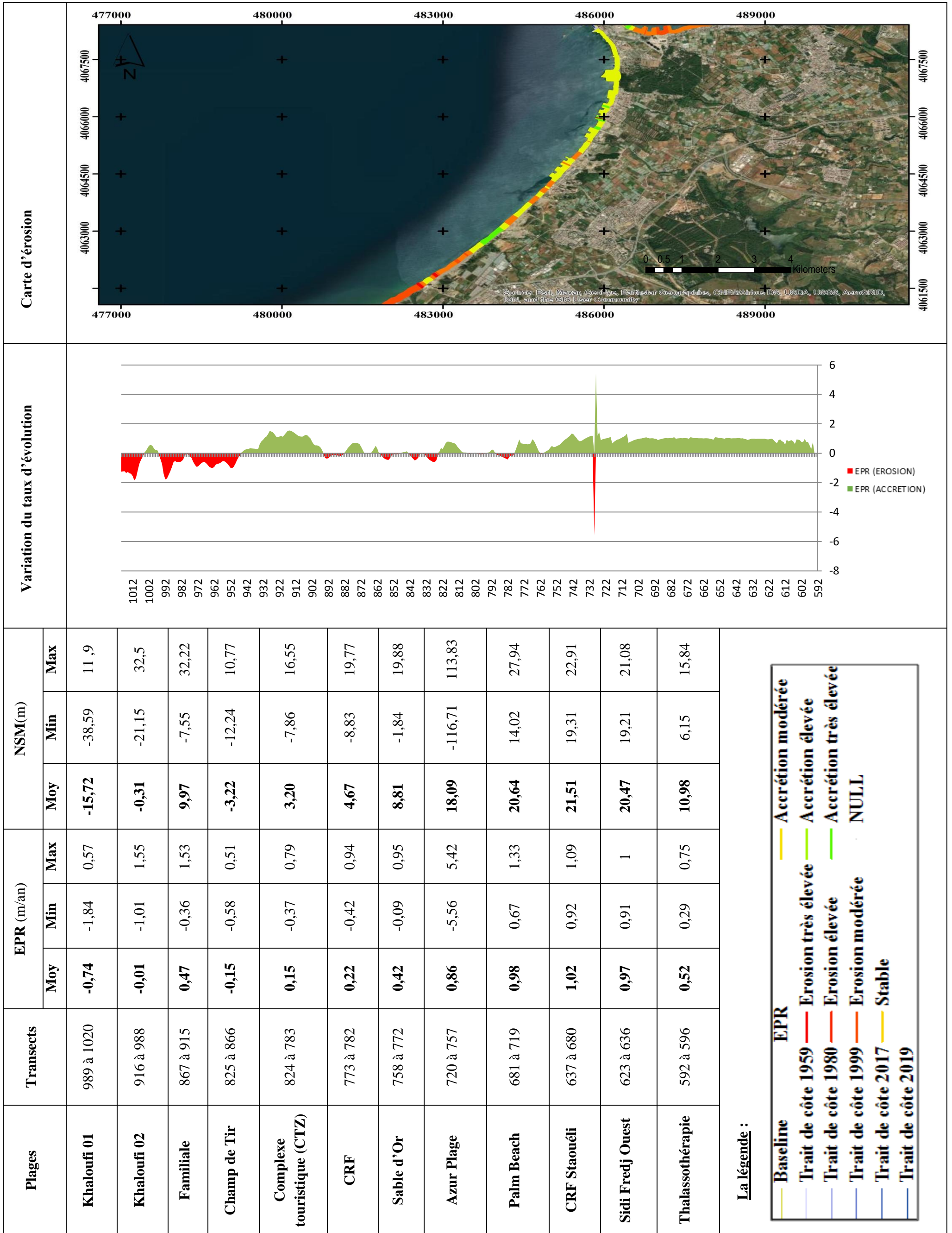


Figure 94 : Evolution du trait de côte entre 1959 et 1980 de la province sédimentaire 02

2.5.3.3 PERIODE ALLANT DE 1980 A 1999

Le trait de côte durant cette période est en constante évolution entre phase d'érosion et phase d'engraissement. La zone d'étude affiche en moyenne un taux d'évolution de $-0,05$ m/an, soit une distance de $-1,02$ m.

Les plages Dauphin, Sheraton, Sahel ainsi que les transects 339 jusqu'à 992 affichent une érosion élevée à très élevée le long de ces segments qui peut atteindre un EPR min de $-1,96$ m/an enregistré dans Azur plage.

Tandis que le reste du littoral de la zone d'étude présente une alternance de micro-secteurs stables et en accrétion entre les transects (123-339, 429-501 et 1000-1020) dont la vitesse d'avancée peut atteindre la valeur maximal de $107,37$ m au niveau du trasect 137 qui correspond à la plage de la jeunesse (Figure 96 et Figure 97).

L'érosion de ces secteurs est due d'une part, à la présence d'un obstacle (Cap de Sidi Fredj) qui empêche le transit littoral en créant une zone d'accrétion en amont (Plage Sidi Fredj Est, El Riadh, El Menzeh et Moretti) et une autre d'érosion en aval. D'autre part, l'érosion est due à l'occupation anarchique au niveau des anciennes dunes, à partir des années 80, s'ajoute à cela, la diminution de la quantité des sédiments arrachés et acheminés vers la côte le long du bassin versant.



Figure 95 : Occupation des anciennes dunes de la plage Fontaine (Prise le 14/06/2021).

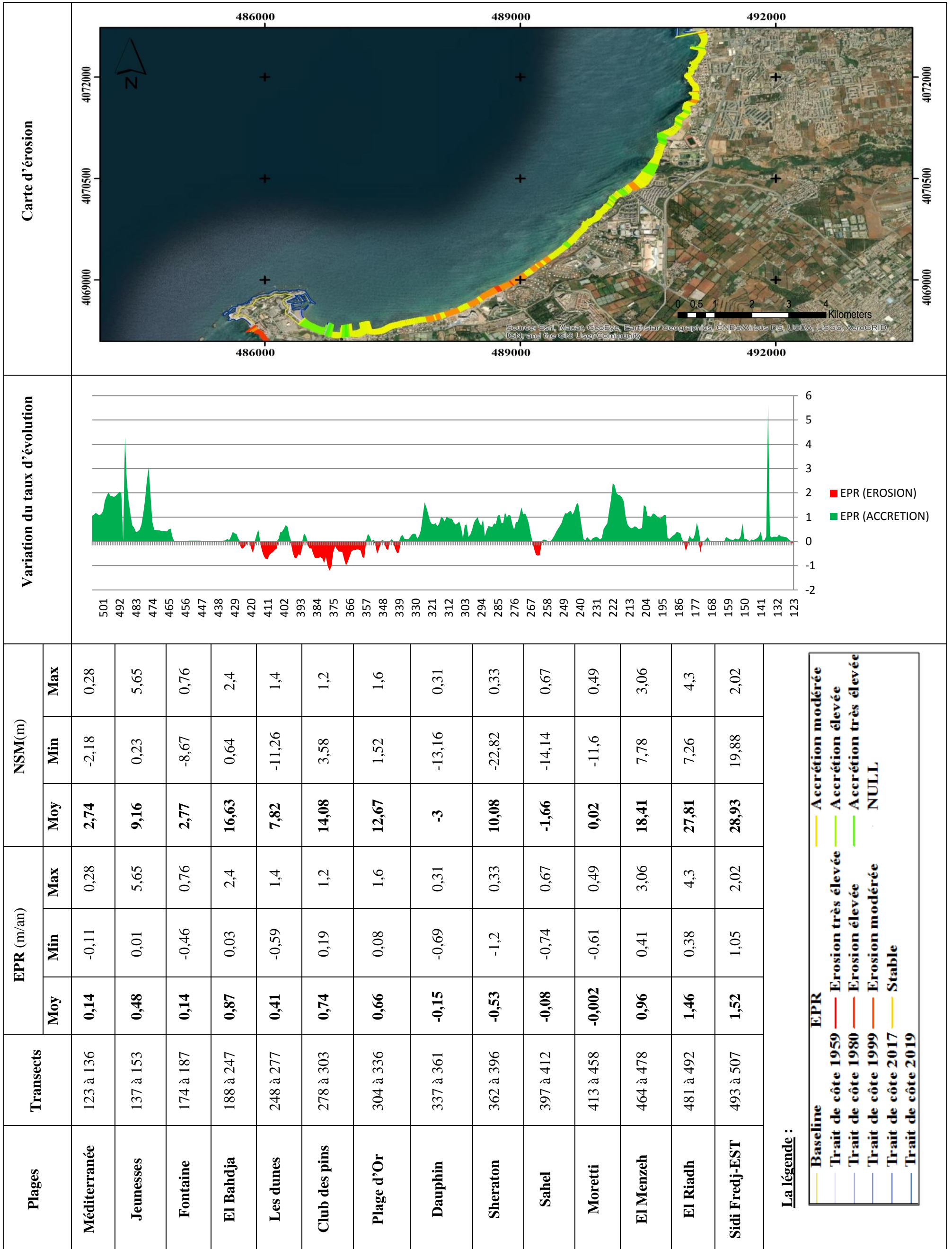


Figure 96 : Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la province sédimentaire 01

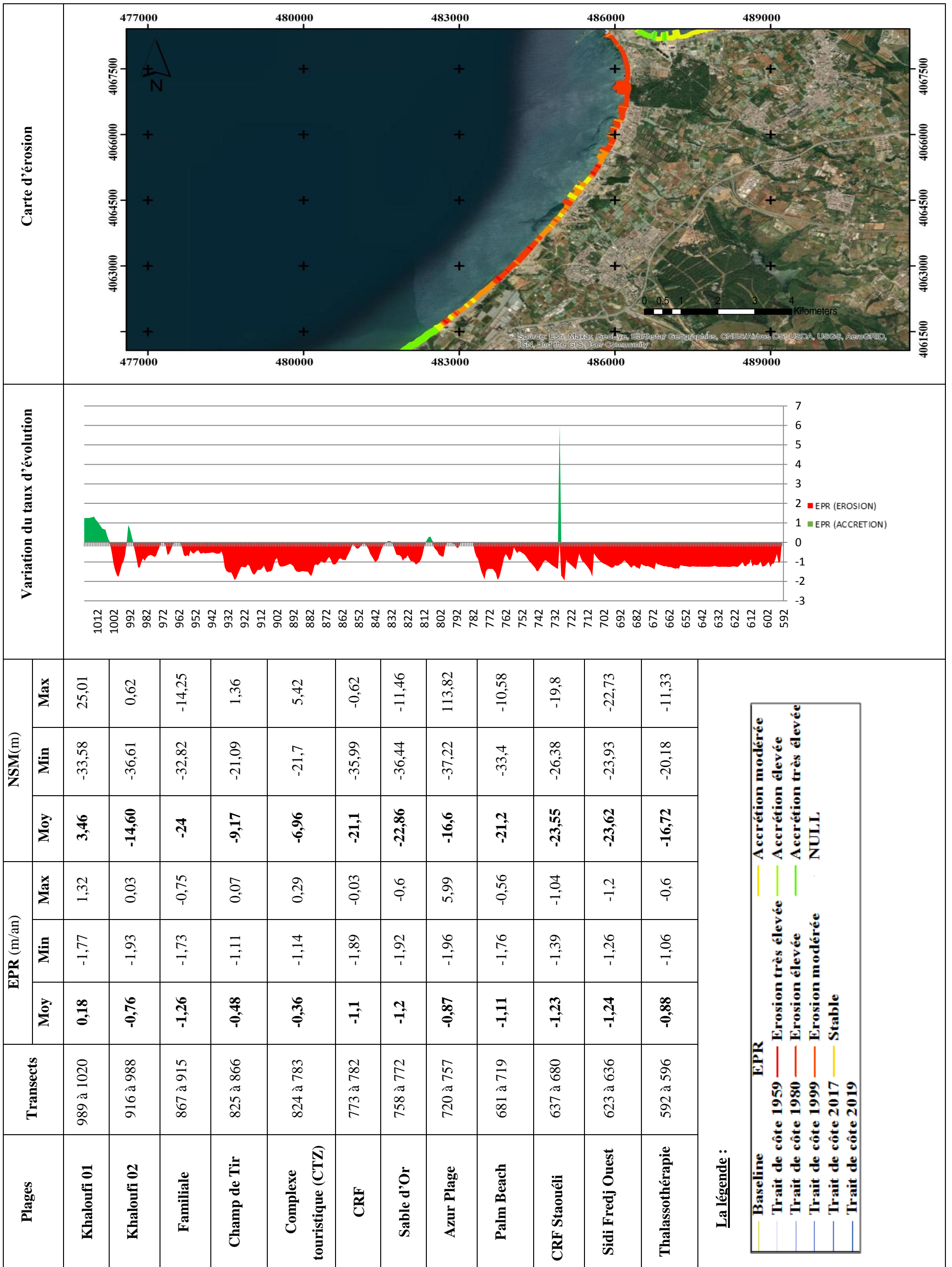


Figure 97 : Evolution du trait de côte entre 1980 et 1999 de la province sédimentaire 02.

2.5.3.4 PERIODE ALLANT DE 1999 A 2017

De 1999 à 2017, la période est caractérisée par une stabilité du trait de côte par rapport au période précédente. Les résultats de l'analyse statistique du changement du trait de côte affichent un EPR de 0,003 m/an sur la quasi-totalité du rivage de la zone d'étude.

L'état du rivage des transects (123-177, 216-267, 325-465, 594-830, 919-934) correspondant à des parcelles des plages de la baie d'El Djamilia et de Bousmail, montrent une accrétion considérable et une stabilité le long de ce segment littoral qui peut atteindre une moyenne d'EPR de 0,003 m/an et une distance de 0,06 m. Un maximum de pro gradation est enregistré au niveau d'Azur plage. Cela est expliqué par l'installation des ouvrages de protection qui font office d'obstacle au transit littoral régressant d'Est en Ouest (Figure 101 et Figure 102).



Figure 98 : Les ouvrages de protection de Palm beach & Azur plage (Photos prise le 15/06/2021)

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC PHYSIQUE ET INTERACTION DE FACTEUR

Le reste du rivage de la zone d'étude est marqué par une érosion élevée à très élevée. Cette dernière est expliquée non seulement par la circulation des courants venant du secteur Est à l'intérieur des ouvrages de Sidi Fredj tout en créant un vortex qui favorise le départ des sédiments vers le large, mais aussi par les courants forts engendrés par les houles de direction Nord qui redistribuent les sédiments tout en allant vers l'Ouest.



Figure 99 : Les ouvrages de protection de Sidi Fredj Ouest (prise le 15/06/2021)

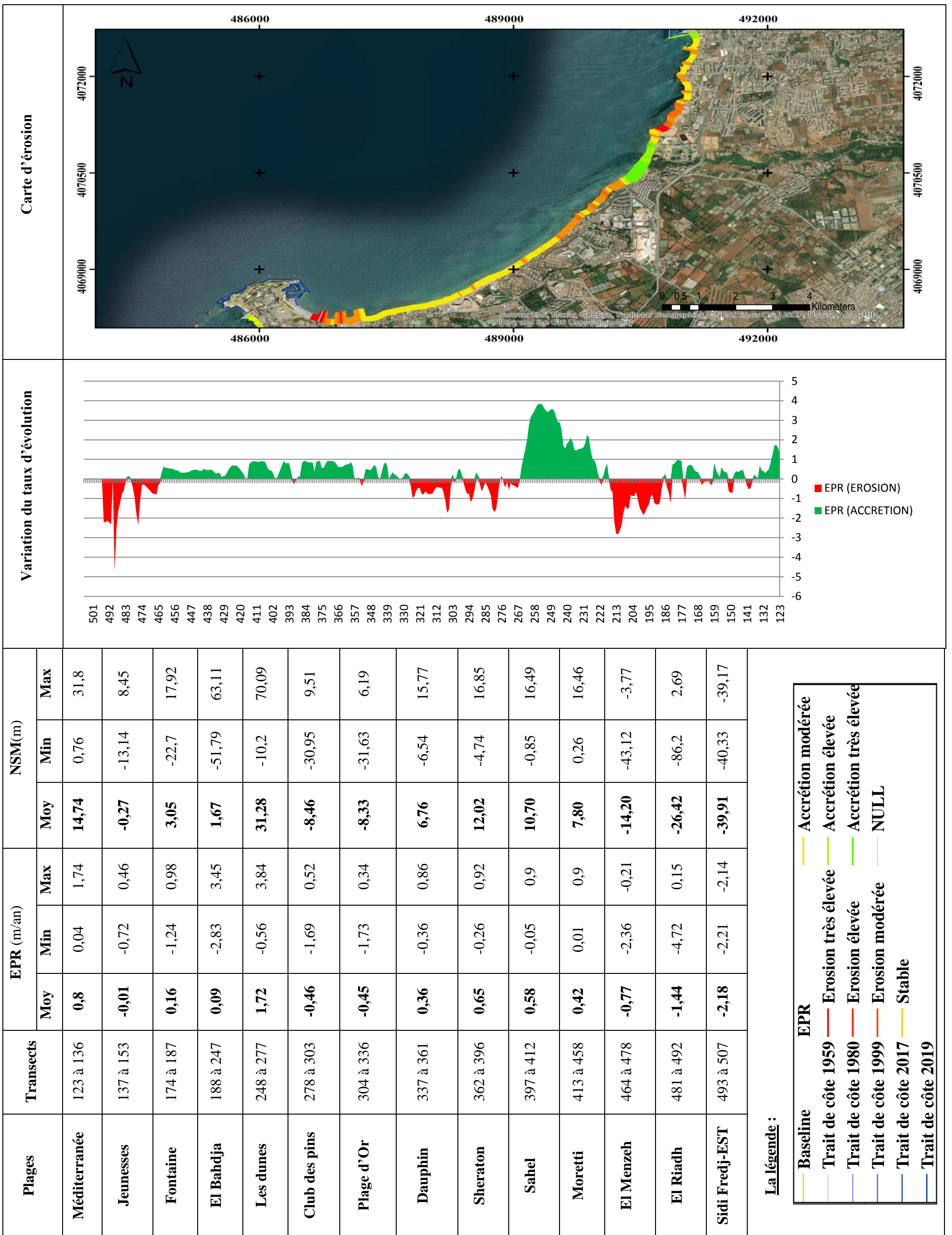


Figure 101 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2017 de la province sédimentaire 01

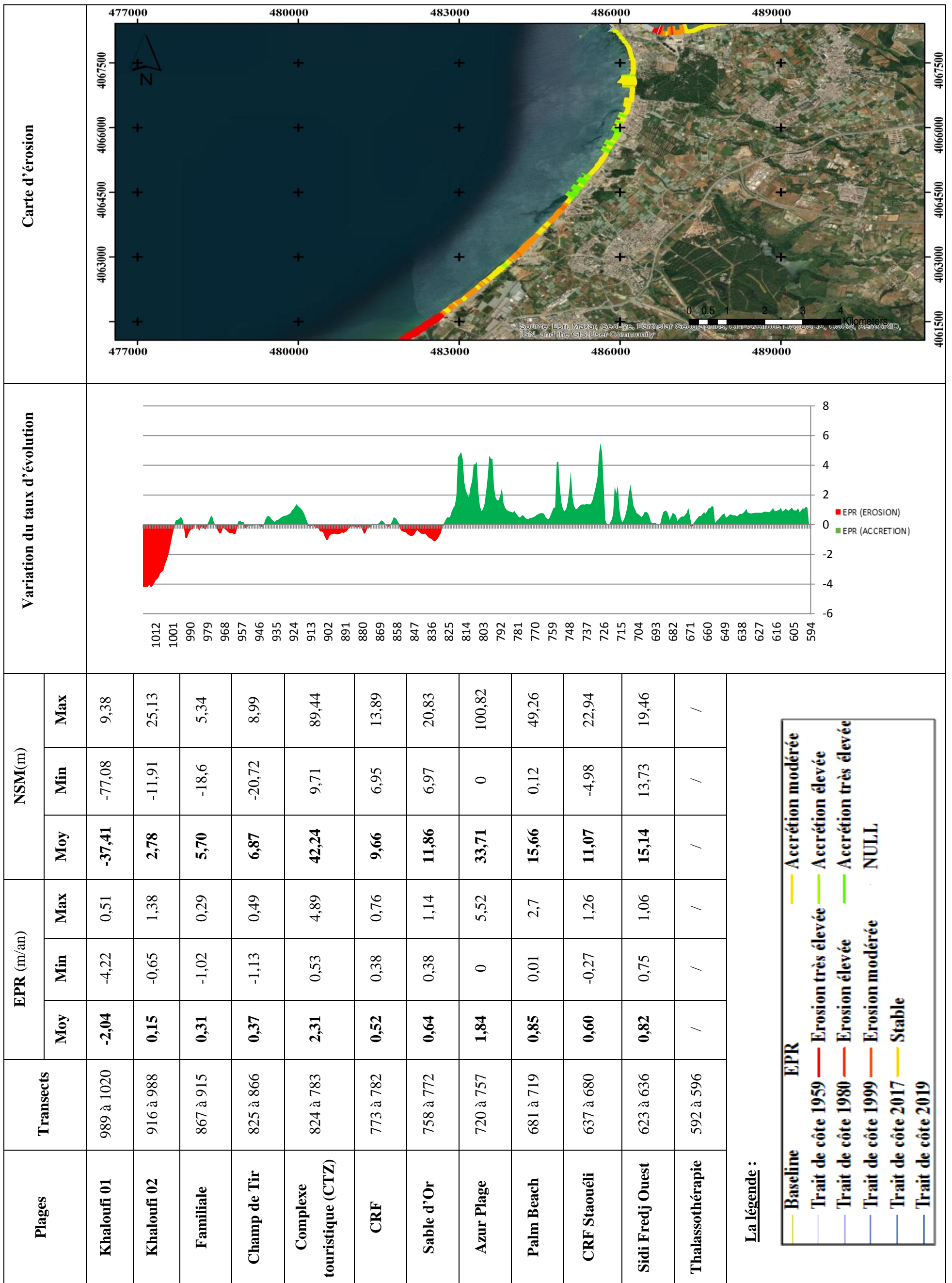


Figure 102: Evolution du trait de côte entre 1999 et 2017 de la province sédimentaire 02

2.5.3.5 PERIODE ALLANT DE 1999 A 2019

Toutes interventions humaines excessives dans la zone côtière entraînent une accentuation de la fragilité de cette dernière. La dégradation des dunes par les activités de pâturage anarchique, la surfréquentation touristique durant l'été et les activités de carrossages en dehors de la période estivale mènent à un état d'érosion important qui a été enregistré atteignant parfois les 73,7 m avec un taux de recul estimé à -1,81 m/an au niveau de la plage Khaloufi 1.

Ces valeurs d'érosion très importantes pour la côte dunaire sont dues à la fois à des interventions anthropiques tel que : l'extension des tissus urbains par la construction d'infrastructures au bord de la mer tout en dégradant le système dunaire, l'extraction massive des sédiments du lit d'Oued Beni Messous en favorisant le départ des sédiments de la plage El Bahdja et en alimentant par la suite les secteurs adjacents avec un taux de recul maximal de -2,28m/an (Figure 103 et Figure 104).

Par ailleurs, une accrétion remarquable a été affichée au niveau des plages protégées par les ouvrages de protection atteignant une moyenne d'EPR de 0,36 m/an, avec un maximum enregistré au niveau de la plage CRF Staouéli.

Ceci peut être expliqué d'une part par le rechargement des plages par le sable et d'autre part par la présence d'Oued Beni Messous au niveau de la baie d'El Djamila, et Mazafran dans la baie de Bousmail, qui irriguent la zone de part et d'autre charriant les sédiments vers les plages.

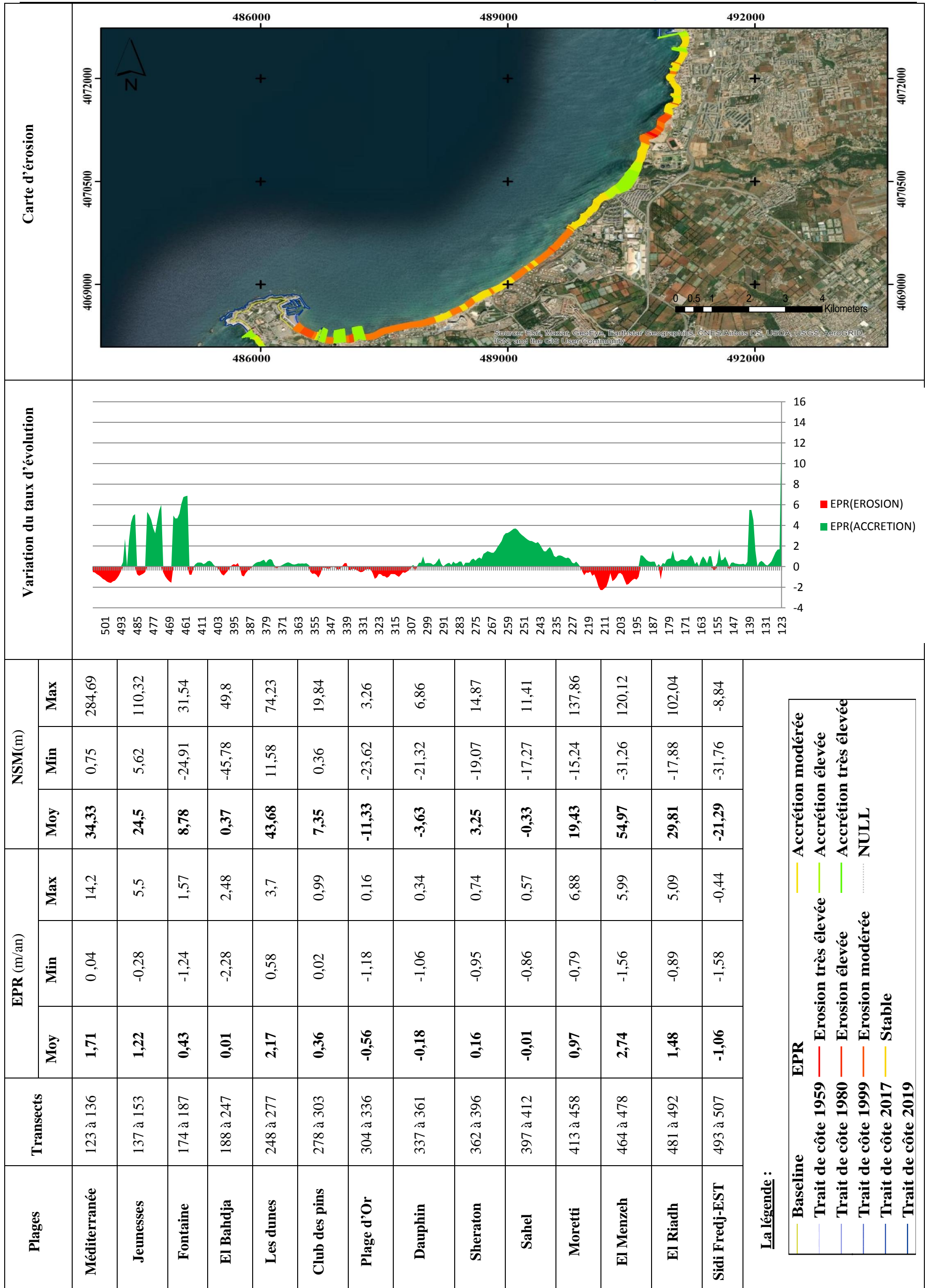


Figure 103 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2019 de la province sédimentaire 01.

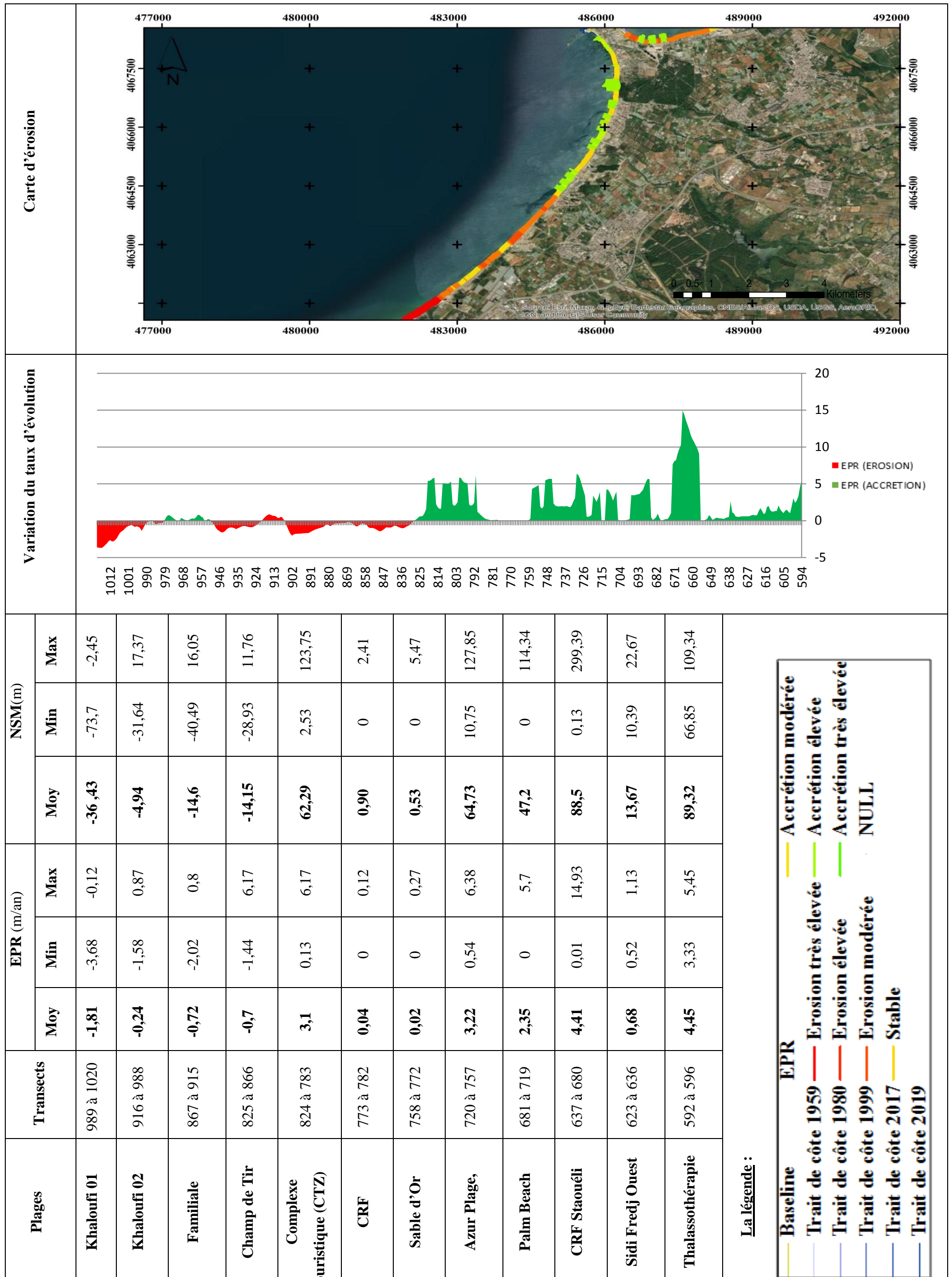


Figure 104 : Evolution du trait de côte entre 1999 et 2019 de la province sédimentaire 02.

Chapitre III :
SCENARIOS DE SUBMESION ET
IMPACT SUR LA ZONE COTIERE

Cette étude, réalisée sur le littoral Ouest d'Alger, vise à évaluer l'impact de l'élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique sur les submersions marines susceptibles d'affecter les zones urbanisées en contexte micro-tidal, notamment à proximité des cours d'eaux.

La faible topographie de la zone d'étude 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 de phénomène de submersions marines et donc l'érosion côtière.

3.1 Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine

Dans le cadre de cette étude prospective, la caractérisation et la cartographie des terres qui sont à risque de submersion dans la côte de la zone d'étude sont basées sur des scénarios d'élévation du niveau de la mer, modélisées à l'aide du logiciel « ArcGis 10.4.1 ». Le but de prévenir les submersions d'ici trois échéances temporelles considérées à savoir 2041, 2071 et 2121.

Les périodes de retour des événements (20, 50 et 100 ans) ont été déterminées par analyse multi-variée et calcul de probabilités conjointes des paramètres de forçages. L'élévation du niveau de la mer a été fixée conformément aux recommandations utilisées pour l'établissement des Plans de Prévention des Risques littoraux (PPRL) (de +20 à +60 cm).

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

Cette méthode est basée sur les étapes schématisées sur la (Figure 105) :

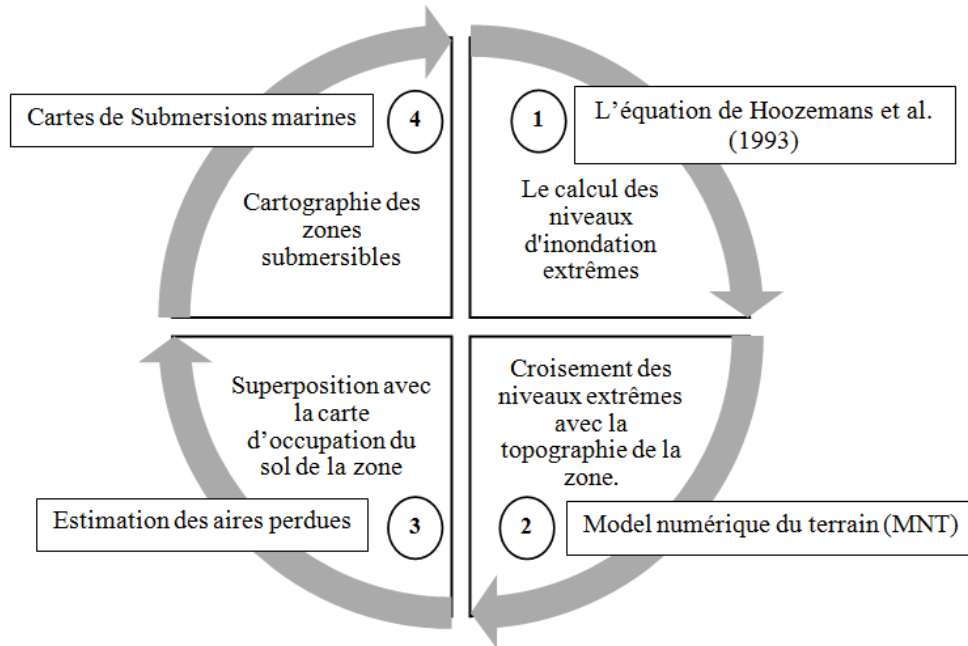


Figure 105: La démarche adoptée pour la cartographie des zones à risque de Submersion marine

A ce niveau, le calcul des scénarios d'élévation du niveau marin est fait par l'équation de HOOZMAN et al, (1993); sachant que les données concernant les surcotes et décotes, les enregistrements marégraphiques et de tempêtes au large de la zone d'étude sont absentes.

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

Où :

D_{ft} : Différence des niveaux extrême d'inondation ;

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

S_t : Elévation relative du niveau de la mer ;

W_f : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

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

✓ **Calcul de la hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations**

Le traitement des enregistrements du LEM (Laboratoire des Etudes Maritimes)(

Tableau 12) nous a permis de faire une classification des fréquences d'apparition annuelles des classes des hauteurs significatives par direction (Tableau 13) afin d'identifier la direction et l'amplitude des houles responsables des inondations côtière

Tableau 12: La distribution des nombre d'apparition des classes des hauteurs significatives par direction

Période (s)	classes	Hs (m)	Nord (m)	Nord- est (m)	Ouest (m)	Nord- ouest (m)	Est (m)	Sud- est (m)	Sud (m)	Sud- ouest (m)	Total
6	0	ind	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0 à 0,5	179	236	255	97	353	79	103	141	767
	1	0,5 à 1	263	615	546	182	818	132	164	301	1606
	1.5	1 à 1,5	148	462	607	147	574	52	64	270	1364
	2	1,5 à 2	77	197	363	81	226	10	29	157	718
8	2.5	2 à 2,5	41	69	224	41	49	3	6	55	375
	3	2,5 à 3	25	25	107	19	25	1	3	29	176
	3.5	3 à 3,5	14	8	53	7	6	1	0	15	82
	4	3,5 à 4	3	5	31	5	1	0	0	5	44
10	5	4 à 5	5	5	24	3	0	0	0	3	37
	6	5 à 6	3	5	5	0	0	0	0	2	13
	7	6 à 7	0	0	6	0	1	0	0	0	6
	9	7 à 9	0	0	3	0	0	0	0	0	3
	11	9 à 11	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	13.5	11 à 13,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 13: La distribution des fréquences d'apparition de classes des hauteurs significatives par direction

Période (s)	classes	Hs (m)	Nord (m)	Nord- est (m)	Ouest (m)	Nord- ouest (m)	Est (m)	Sud-est (m)	Sud (m)	Sud- ouest (m)
6	0	ind	0		0	0	0			
	0,5	0 à 0,5	2,02	2,66	2,87	1,09	3,98	0,89	1,16	1,59
	1	0,5 à 1	2,97	6,93	6,16	2,05	9,22	1,49	1,85	3,39
	1,5	1 à 1,5	1,67	5,21	6,84	1,66	6,47	0,59	0,72	3,04
	2	1,5 à 2	0,87	2,22	4,09	0,91	2,55	0,11	0,33	1,77
8	2,5	2 à 2,5	0,46	0,78	2,53	0,46	0,55	0,03	0,07	0,62
	3	2,5 à 3	0,28	0,28	1,21	0,21	0,28	0,01	0,03	0,33
	3,5	3 à 3,5	0,16	0,09	0,60	0,08	0,07	0,01	0,00	0,17
	4	3,5 à 4	0,03	0,06	0,35	0,06	0,01	0,00	0,00	0,06
10	5	4 à 5	0,06	0,06	0,27	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
	6	5 à 6	0,03	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	7	6 à 7	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	9	7 à 9	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	11	9 à 11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	13,5	11 à 13,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les résultats de ce traitement ont été utilisés par la suite dans le calcul des niveaux extrêmes d'inondation.

Etude des houles extrêmes au large

La définition de la distribution des probabilités d'événements de grande ampleur et d'événements extrêmes est utile dans le calcul des niveaux d'inondation. La détermination du climat d'agitation à long terme a pour but d'associer une hauteur de la houle à une période de retour donnée (habituellement 30 à 100 ans)→ (CIRIA, et al. 2009).

Par définition, la houle de période de retour R est la houle dont l'amplitude $H(R)$ est atteinte et dépassée en moyenne pendant une durée cumulée de 24 h au cours d'une durée totale égale à R années. Sa probabilité d'occurrence s'exprime par :

$$P = \frac{24}{365 * 24 * R} = \frac{1}{365 * R}$$

R : Nombre d'année ($R = 1$: Houle annale, $R = 2$: Houle biennale, $R = 5$: houle quinquennale, $R = 10$: Houle décennale, $R = 20$: Houle vingtennale, $R = 50$: Houle cinquantennale, $R = 100$: Houle centennale, ...).

Si on considère que l'état de la mer change 3 fois par 24 heures, l'équation de la probabilité d'occurrence devient :

$$P = \frac{24}{3 * 365 * 24 * R} = \frac{1}{3 * 365 * R}$$

Une fois la période de retour fixée, la hauteur correspondante peut être déterminée par extrapolation de la courbe hauteur-probabilité dont on suppose qu'elle évolue selon la loi de LARRAS, qui suppose que les valeurs des creux extrêmes peuvent être approchées par l'équation:

$$H = B - A \log P$$

Où

- A : Pente
- B : Intersection de la droite de régression avec l'axe y .
- H : Hauteur de la houle R -annale (m).
- P : Probabilité d'occurrence de la houle R -annuelle.

La démarche adoptée consiste à déterminer la pente A et l'intersection B à partir de la droite de régression tracée en fonction des Hauteurs significatives (Hs) de l'enregistrement disponible et des fréquences cumulées correspondantes (-log(F)) (Figure 106, Figure 107 et Figure 108).

Ces deux valeurs (A et B) seront appliquées dans la loi de LARRAS, 1979 pour déterminer les H extrêmes (R-annuelles) en fonction des probabilités d'occurrence (R-annuelles) correspondantes.

Tableau 14: les H extrêmes en fonction des probabilités d'occurrence

période de retour(m)	probabilités associées	N (Hs) (m)	NE (Hs) (m)	E (Hs) (m)	W (Hs) (m)	NW (Hs) (m)
Décennale	9,13242E-05	5,54	5,29	3,86	7,03	4,98
Vingtennale	4,56621E-05	6,17	5,82	4,20	7,70	5,56
Cinquantennale	1,82648E-05	7,01	6,51	4,64	8,60	6,32
Centennale	9,13242E-06	7,64	7,03	4,97	9,27	6,90

D'après le Tableau 14, les fortes agitations marines proviennent des secteurs W, N et NW avec des amplitudes qui oscillent entre 6.9 m et 9.27 m pour les houles centennales.

Les houles les plus faibles proviennent de l'Est avec une amplitude minimale centennale de 4.97 m.

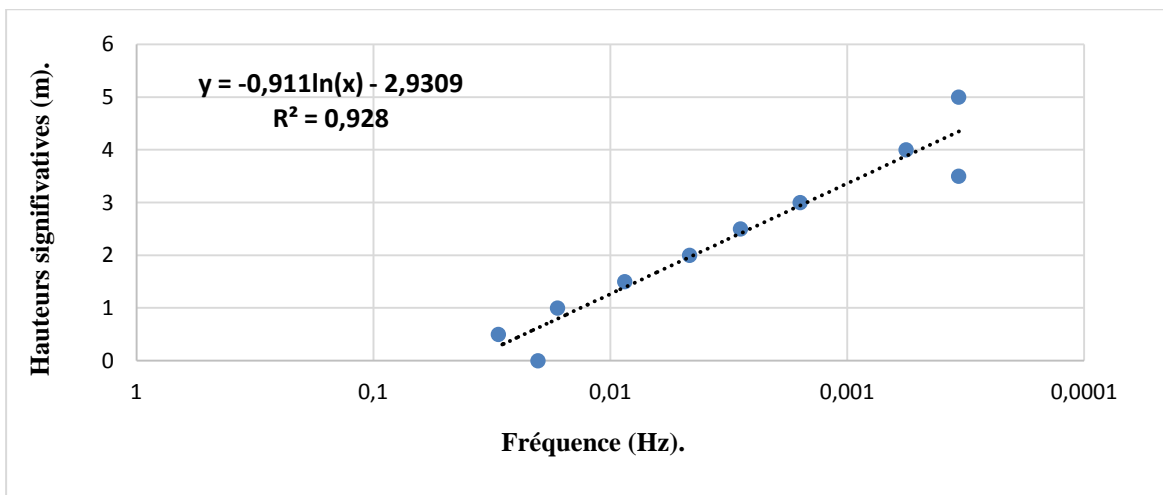


Figure 106: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Nord au large de la zone d'étude

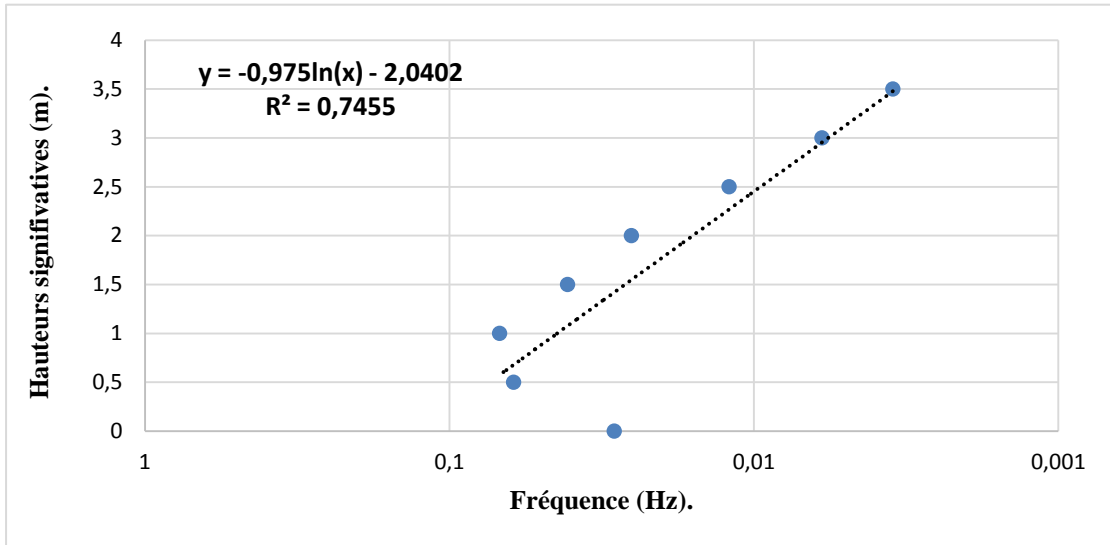


Figure 107: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Ouest au large de la zone d'étude.

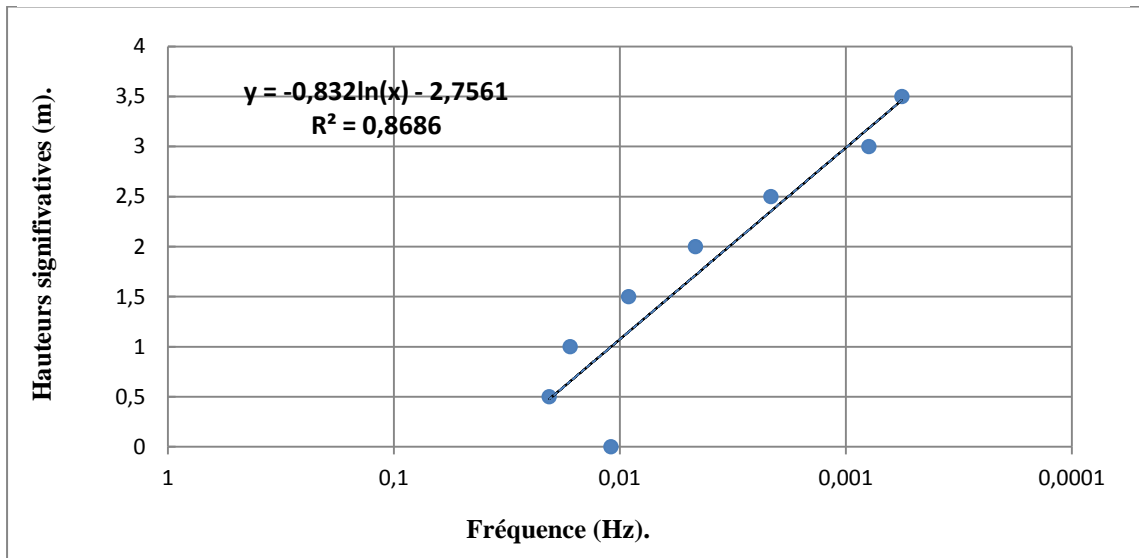


Figure 108: Corrélation entre Hs et la fréquence d'apparition des houles de direction Nord-Ouest au large de la zone d'étude

✓ Propagation des vagues jusqu'à la côte

Du fait de la transformation des vagues à l'approche de la côte, les caractéristiques des vagues (déterminées au large lors de l'analyse aux probabilités conjointes) ont été propagées jusqu'à la côte à l'aide d'un modèle spectral, avec une résolution suffisante pour percevoir les transformations qu'elles subissent à la côte : Le modèle spectral SW du Mike21.

D'après ce qu'on a eu comme résultats de l'étude des houles extrêmes au large, des simulations des houles les plus défavorables (W, NW et N) pour le secteur d'étude ont été lancées.

Les résultats de simulation de ces houles sont représentés dans les figures et le tableau suivant :

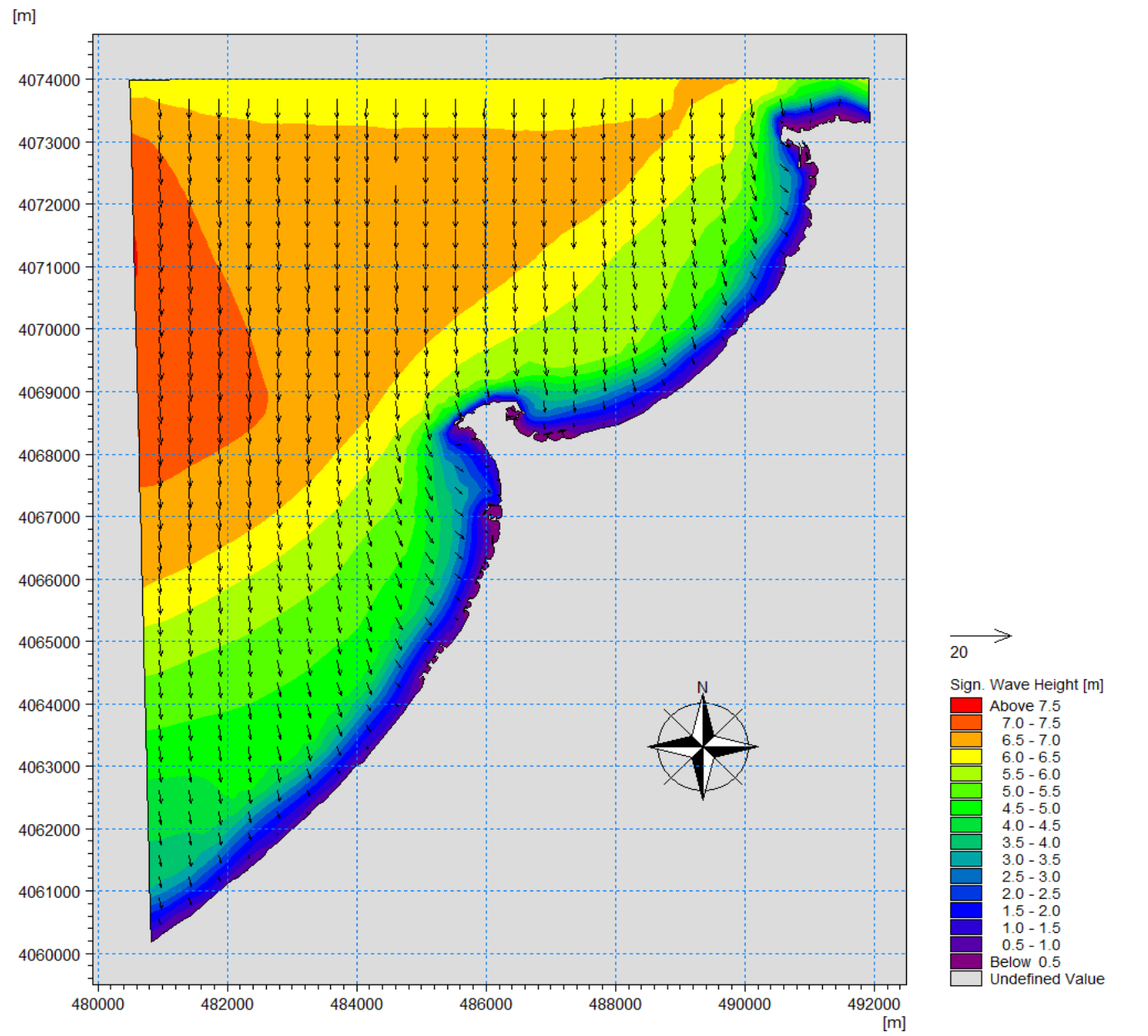


Figure 109: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Nord

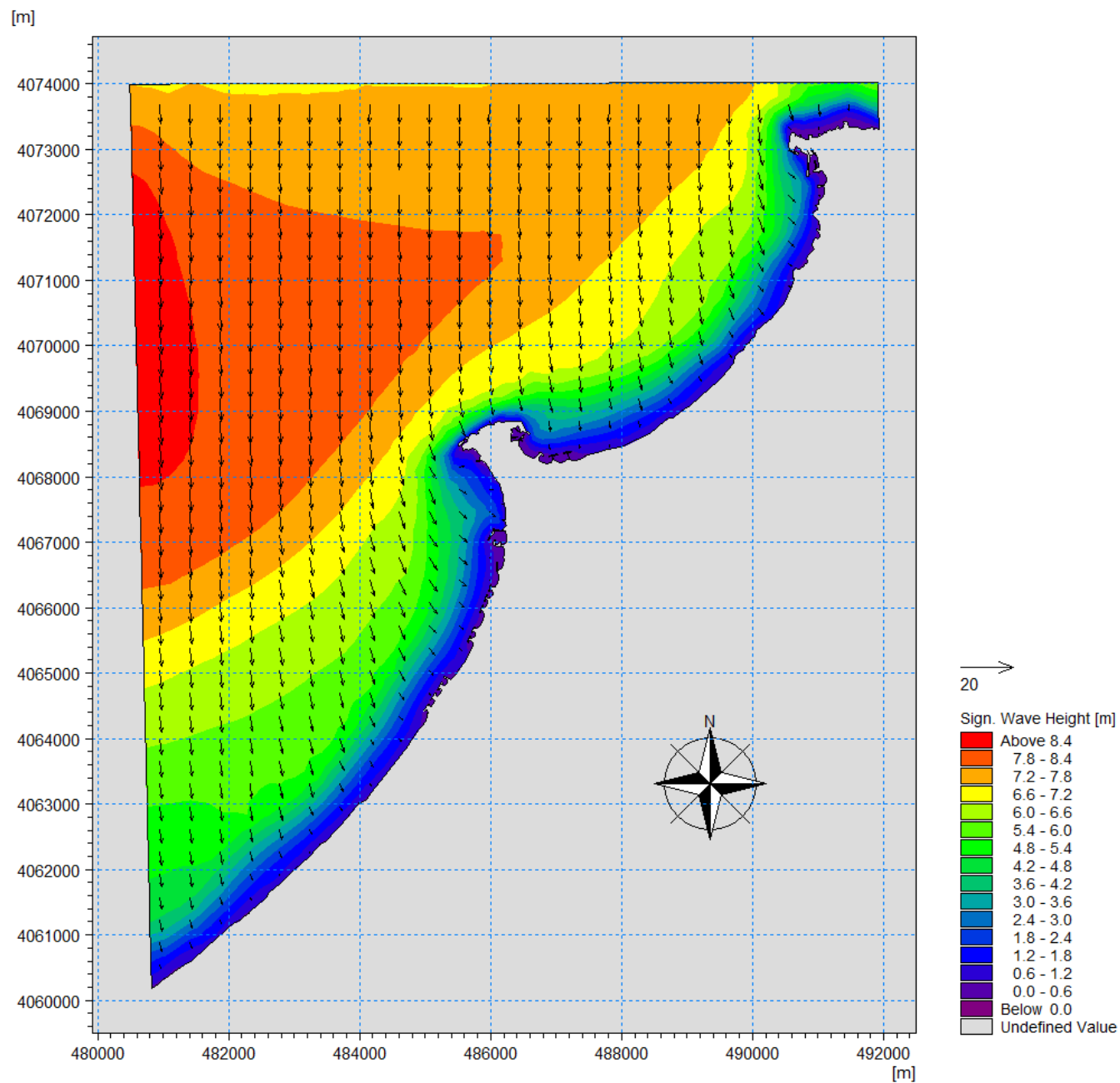


Figure 110: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Nord

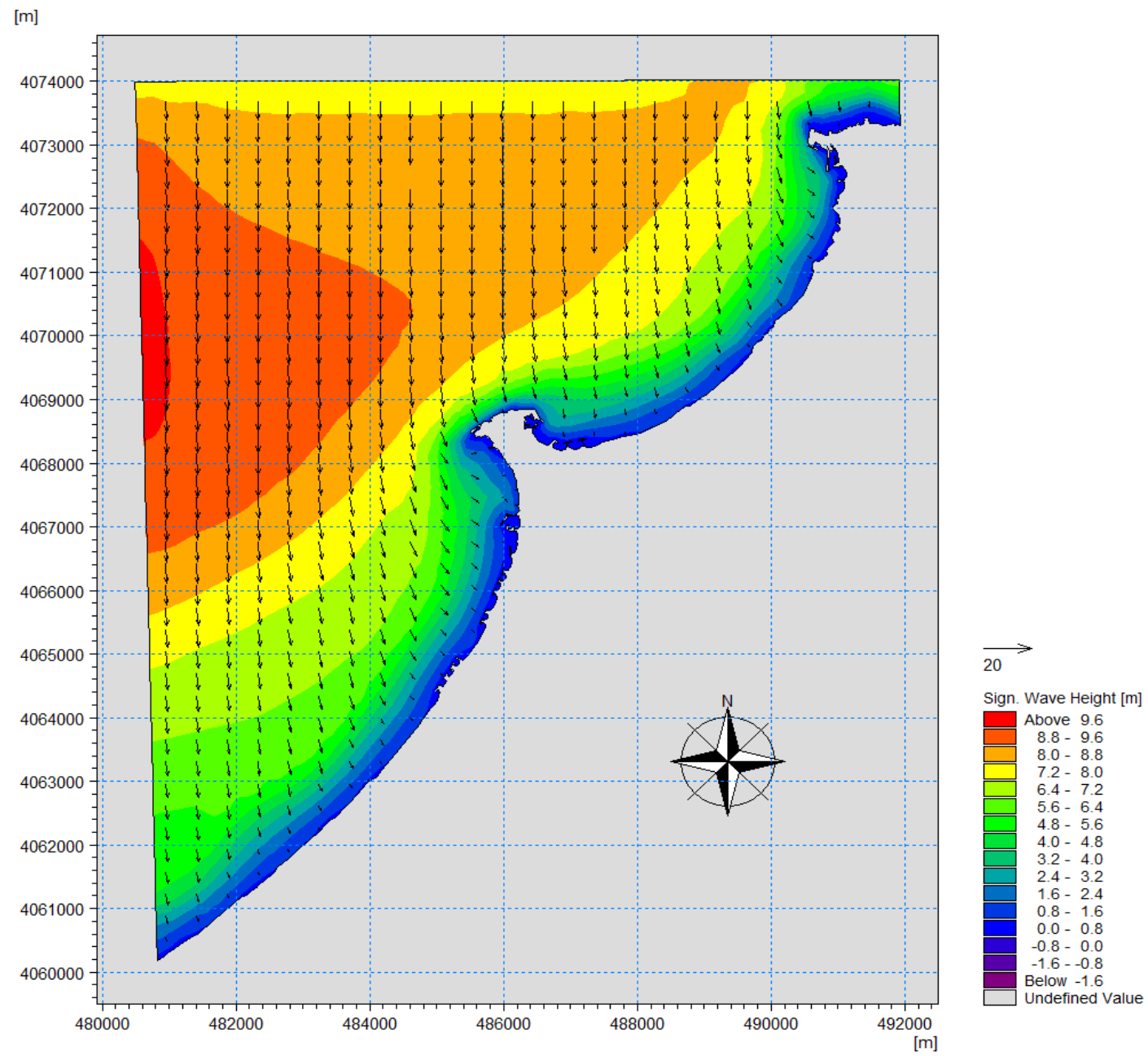


Figure 111: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Nord

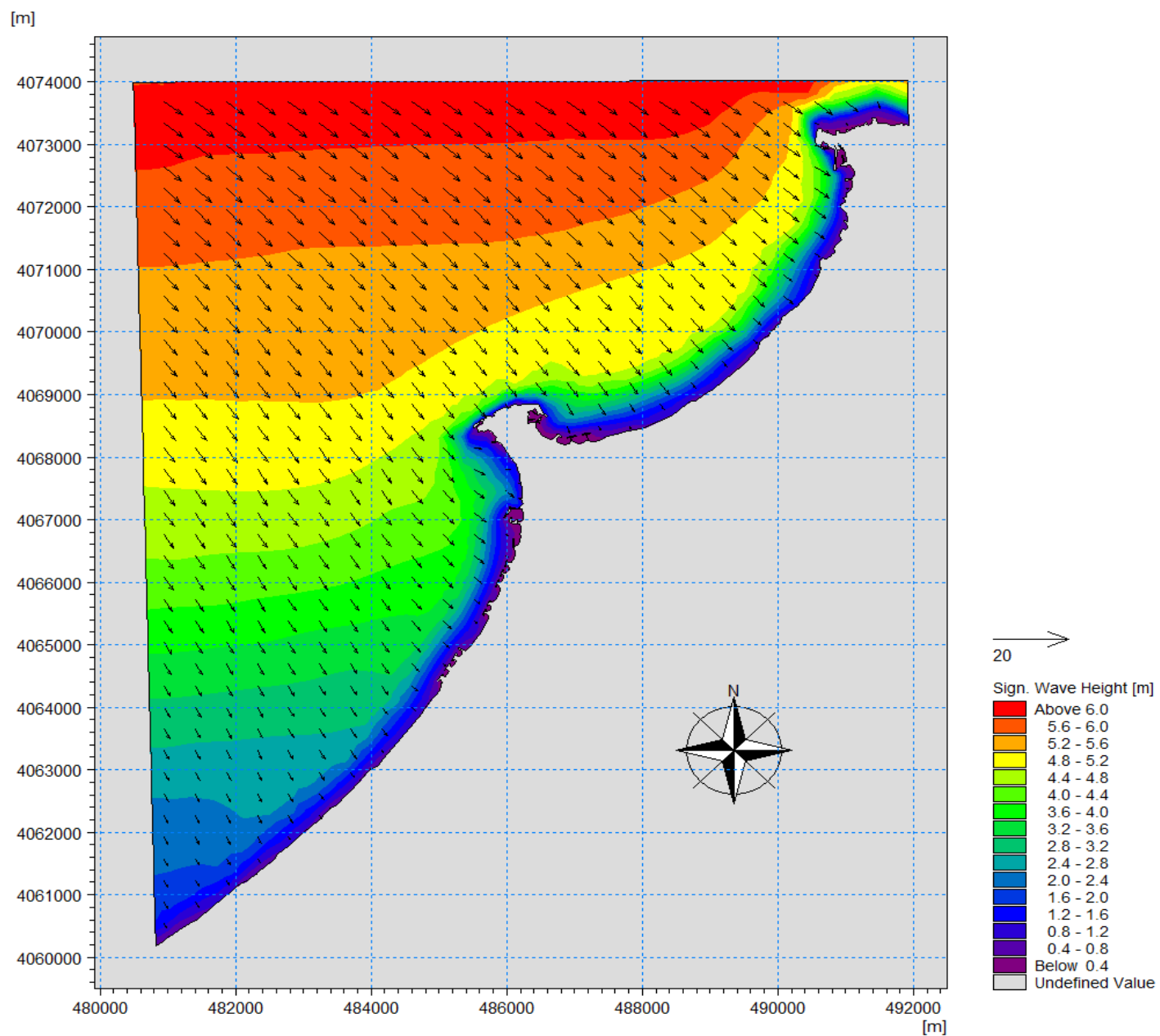


Figure 112: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Nord-Ouest.

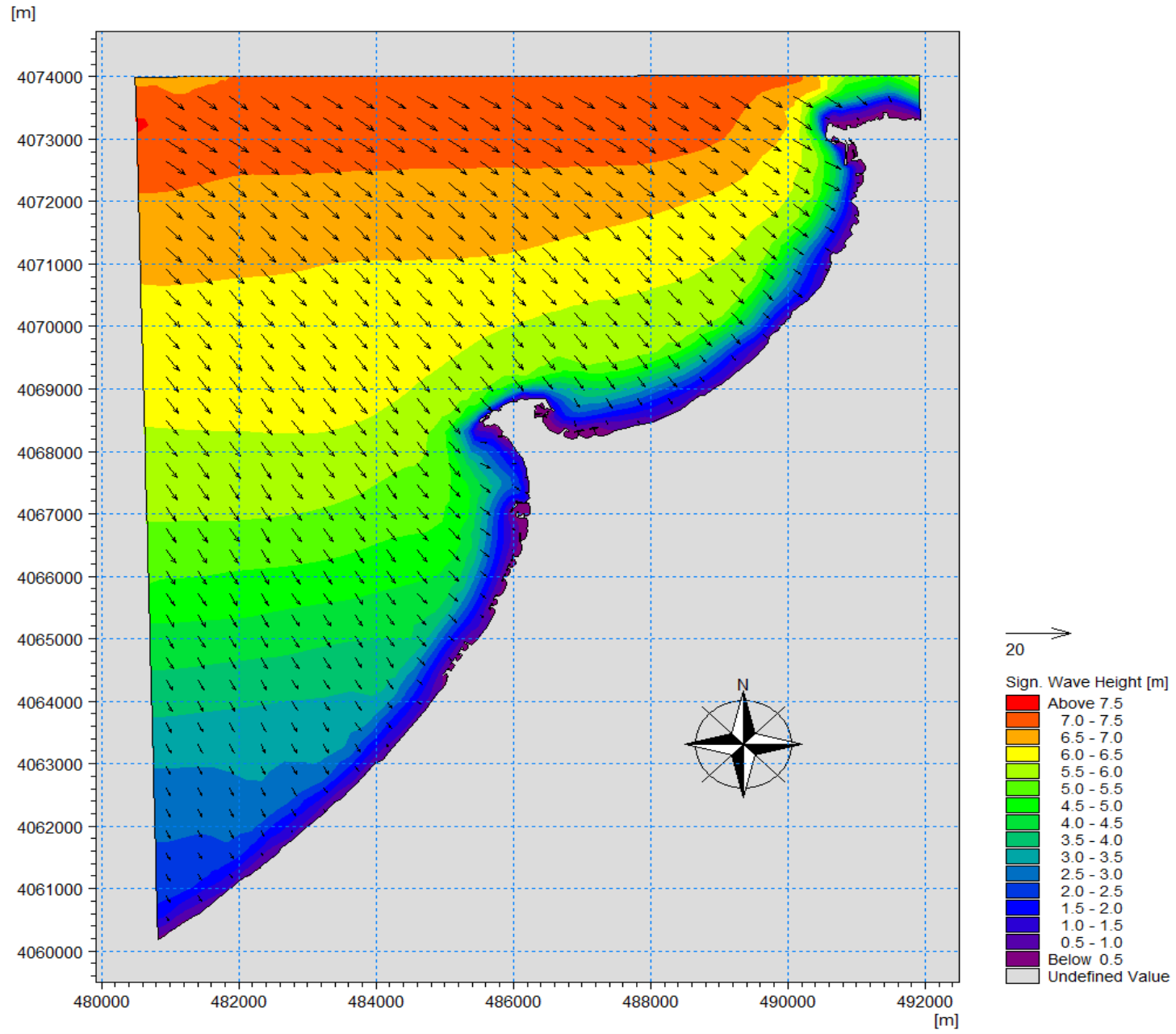


Figure 113: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Nord-Ouest.

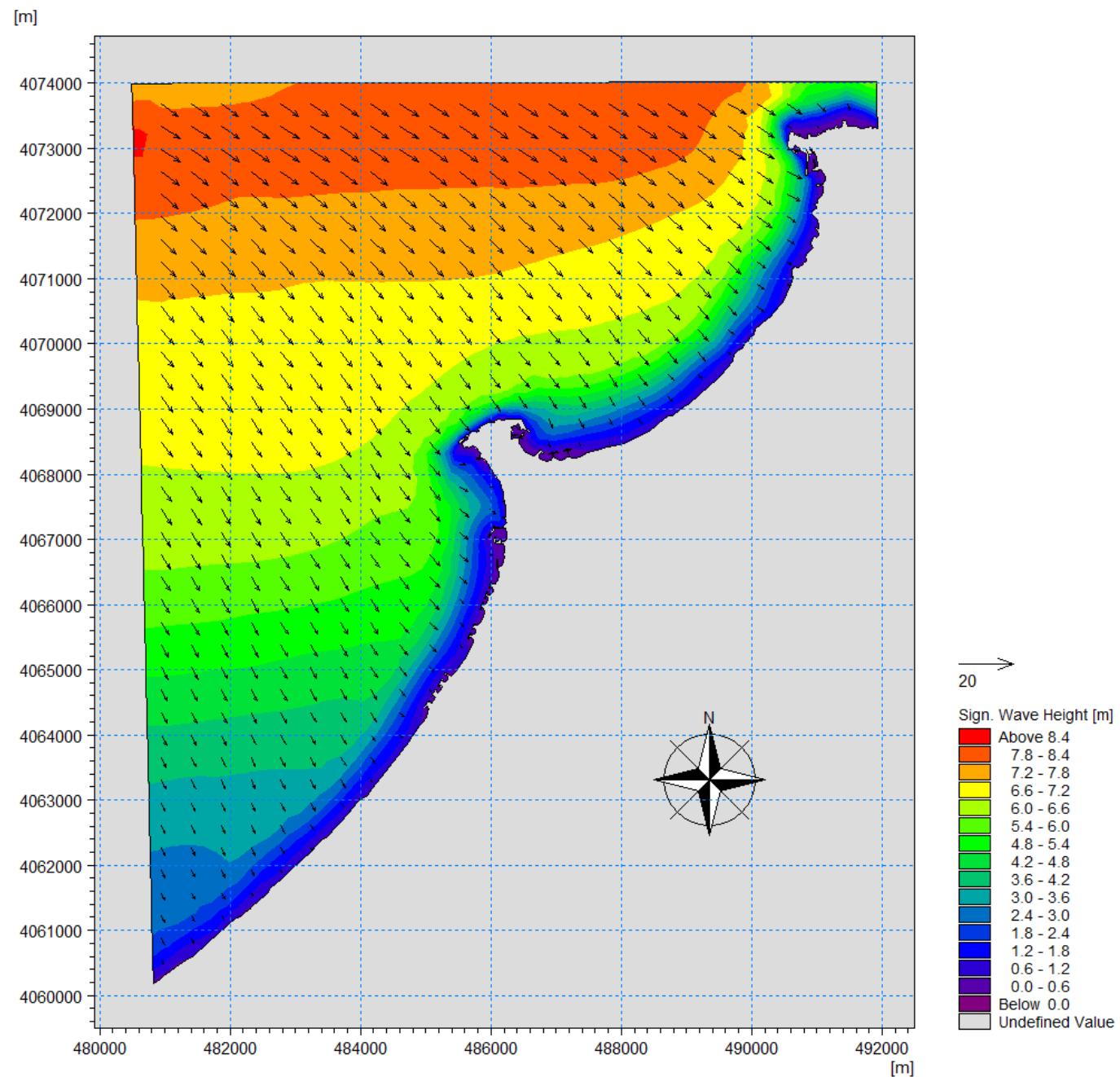


Figure 114: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Nord-Ouest.

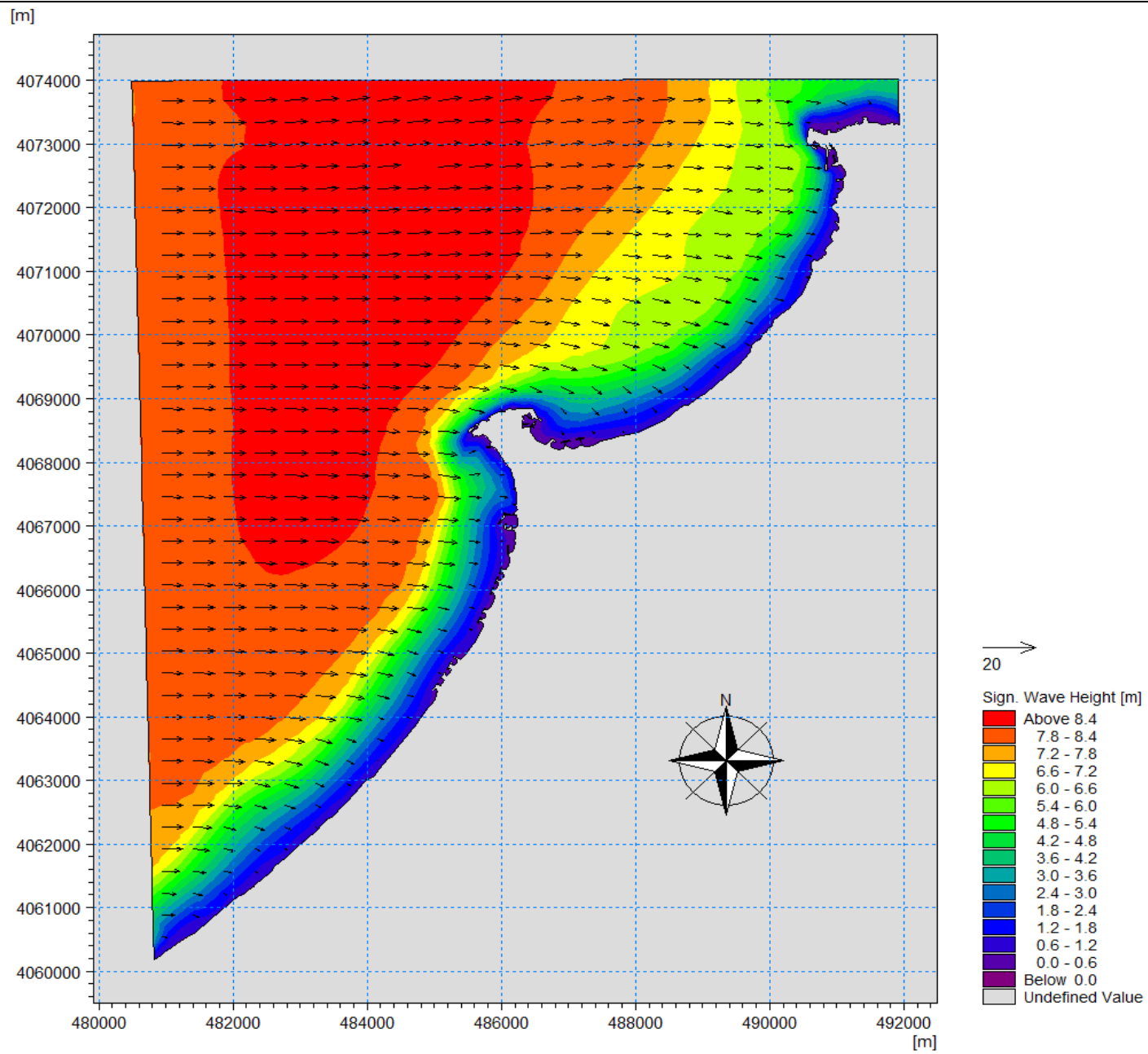


Figure 115: Simulation des houles extrêmes Vingtennales du secteur Ouest.

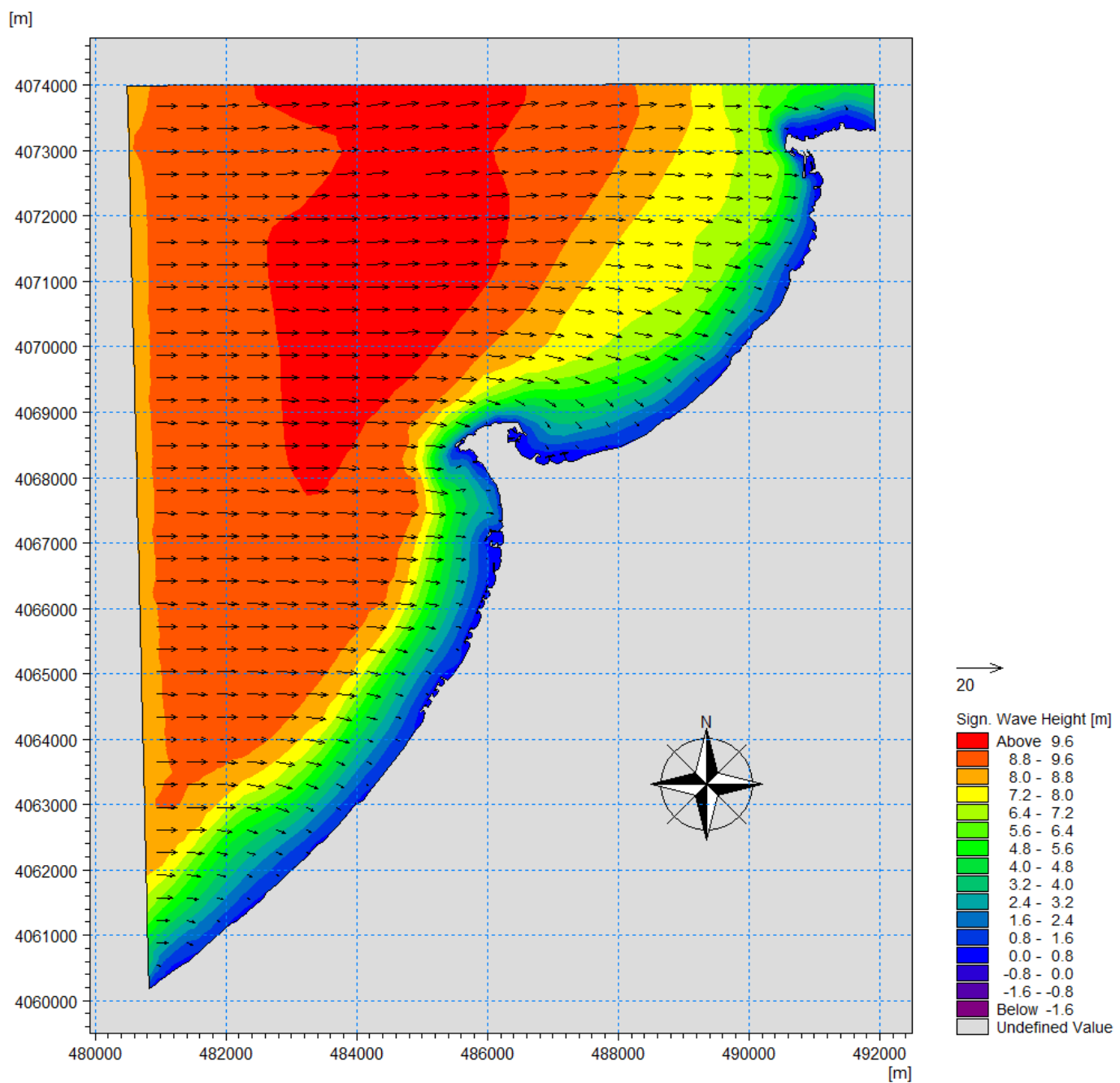


Figure 116: Simulation des houles extrêmes Cinquantennales du secteur Ouest.

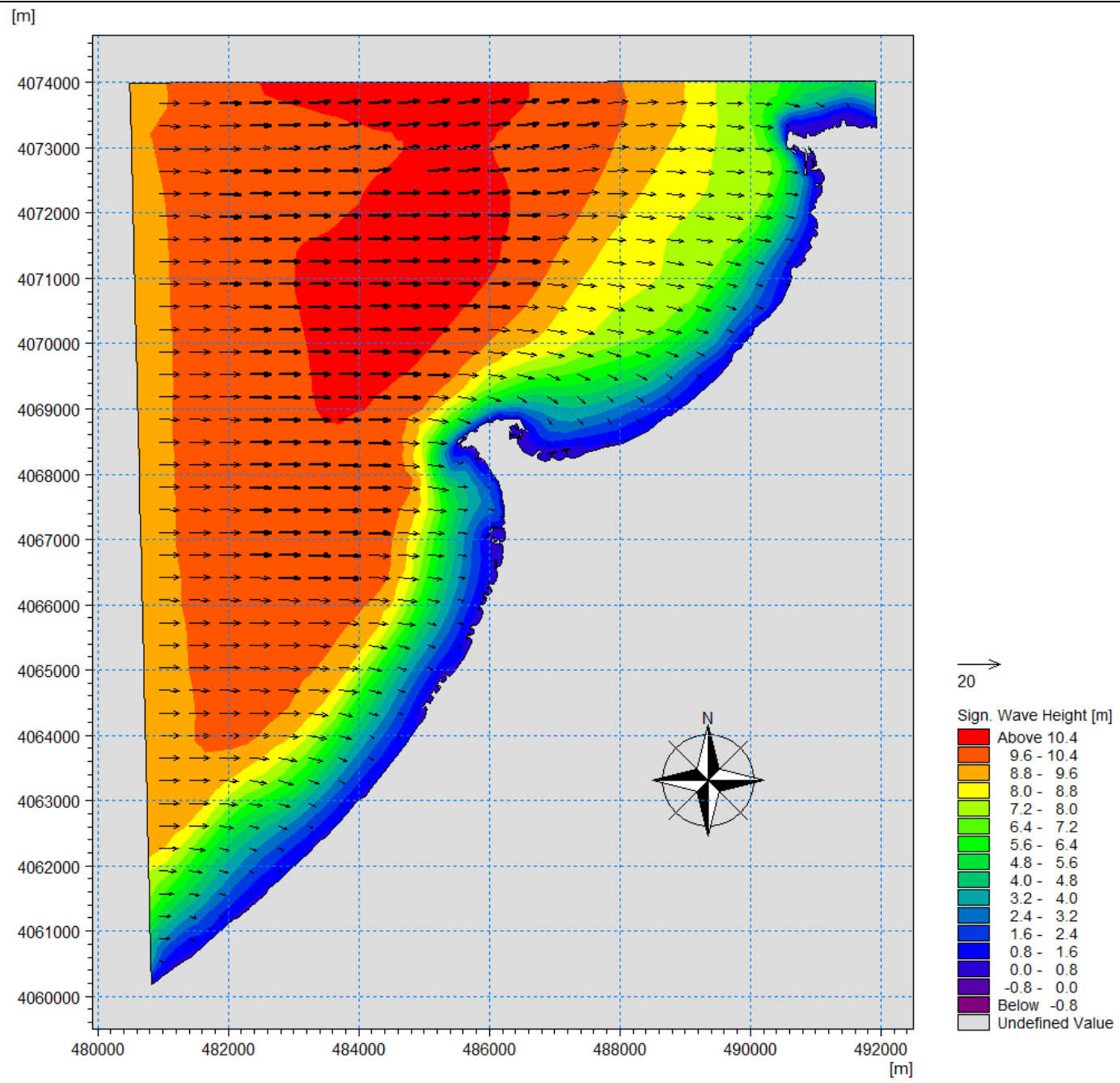


Figure 117: Simulation des houles extrêmes Centennales du secteur Ouest.

Tableau 15: Moyennes des houles extrêmes au niveau de la zone de déferlement

Période de retour (R)	N (Hs) (m)	NW (Hs) (m)	W (Hs) (m)
Vingtennales	4.56	4	5.22
Cinquantennales	4.9	4.45	5.25
Centennales	5	4.6	5.26

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.

3.2 Valorisation des terres perdues par la submersion marine

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 et al, 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. Pour estimer les superficies des terres qui seront inondées par les niveaux extrêmes de l'élévation de niveau de la mer, les côtes de ces niveaux ont été confrontées au model numérique du terrain (MNT). 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 à une carte d'occupation du sol.

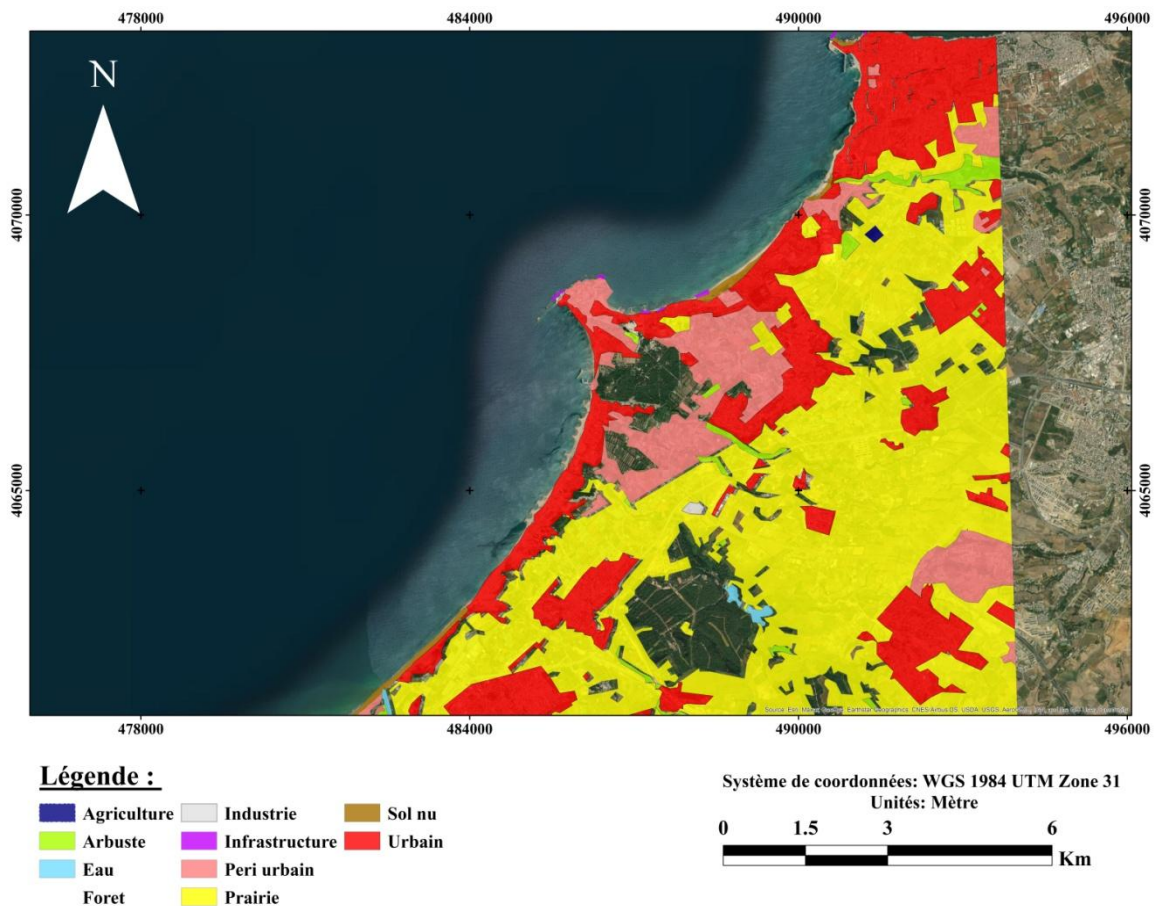


Figure 118: Carte d'occupation de sol de la zone d'étude.

3.3 Résultats et discussion

Depuis 61 ans, le littoral de la zone Ouest d’Alger connaît une forte érosion surtout au niveau de ses plages sableuses, Les facteurs des risques d’inondation (une topographie basse, un climat de vagues de forte énergie, une hausse des niveaux moyens de la mer et une augmentation de la fréquence de tempêtes violentes) favoriseraient l’extension des zones submergées.

Pour l’évaluation des terres à risque d’inondation nous sommes basés sur le model numérique du terrain MNT, Plusieurs traitements ont été réalisés, ce qui nous a permis d’établir des cartes pour l’aléa de submersion marine à différents niveaux extrêmes d’inondation.

Tableau 16: Niveaux d’inondation extrême.

Période de retour (R)	Direction	MHW (m)	St (m)	Wf (m)	Pf (m)	Dft
Vingtennales	N	0,34	0,0028	4,56	0,63	5,5328
	NW	0,34	0,0028	4	0,63	4,9728
	W	0,34	0,0028	5,22	0,63	6,1928
Cinquantennales	N	0,34	0,0028	4,9	0,63	5,8728
	NW	0,34	0,0028	4,45	0,63	5,4228
	W	0,34	0,0028	5,25	0,63	6,2228
Centennales	N	0,34	0,0028	5	0,63	5,9728
	NW	0,34	0,0028	4,6	0,63	5,5728
	W	0,34	0,0028	5,26	0,63	6,2328

3.3.1 Submersion a une période de retour veingtenale

D’après La Figure 119, Figure 120, Figure 121, Tableau 17, pour une période de retour de 20ans, les inondations de direction Ouest sont les plus menaçantes pour la zone d’étude en occupant une surface totale de presque 7.15 Km², tout en touchant les sols nus 0.41 Km², les forets 0,27 Km², les infrastructures 0.03 Km², les arbustes 0,15Km², l’eau 0,17Km², les prairies 2,59Km², les péris urbain 0,6km²et les zones urbanisées 2,17 Km².

Pour les directions Nord et Nord-Ouest, les inondations sont moins importantes par rapport à la direction Ouest, tel qu'elles occupent des surfaces entre 6,39 Km² et 5,58 Km², respectivement.

Par ailleurs, les inondations marines au niveau de la Baie de Bouismail sont plus importantes par rapport à celles de la baie d'El Djamila. Cela est expliqué par la morphologie de la zone ou le cap de Sidi Fredj.

L'envahissement des eaux marines vers l'arrière-pays est accentué non seulement par Oued Beni Messous et Mazfran de l'Est vers l'Ouest mais aussi par la faible topographie de la zone.

3.3.2 Submersion avec une période de retour cinquantennale

Les cartes de submersion de la période de retour de 50ans (Figure 122 Figure 123 Figure 124) et le Tableau 17 montrent que 7,18Km² des terres seront perdues par les inondations de direction Ouest. Tandis que 6,78Km² et 6,24Km² sont perdues pour la direction Nord et Nord-Ouest, respectivement.

L'aspect morphologique, topographique et hydrographique contribue efficacement à l'accentuation des écoulements des eaux marines vers l'arrière-pays atteignant un dizaine de kilomètres vers l'arrière-pays tout en menaçant tous les types d'occupation.

Les prairies et les terres urbanisées sont les composantes les plus touchées par les inondations marines des trois directions avec une surface de plus de 5km.

3.3.3 Submersion a une période centennale

la Figure 125, Figure 126, Figure 127et le Tableau 17 montrent que les houles d'occurrence centennale sont plus fréquentes dans la direction Ouest ce qui provoque des inondations spectaculaires au niveau de la baie d'el Djamila et surtout la baie de Bouismail. Cette tendance est expliquée par l'aspect morphologique et plus exactement par le cap de Sidi Fredj, au niveau duquel dont les estimations des terres perdues pour cette direction dépassent les 7,19km².

En outre, 6,9km² et 6,44Km² sont perdus pour la direction Nord et Nord-Ouest, respectivement.

Les terres urbanisées sont fortement touchées par ces inondations avec des surfaces totales pour toutes les directions de 6,9 Km². Tandis que le reste occupe 12,1Km². Cela est essentiellement dû à la faible topographie qui caractérise la zone et les cours d'eaux de Beni Messous et Oued Mazafran qu'irriguent la zone de part et d'autre.

CHAPITRE III : SCENARIOS DE SUBMERSION ET IMPACT SUR LA ZONE COTIERE

Les surfaces inondées de cette période sont plus importantes que celles des périodes vingtennales et cinquantennales. Cela est essentiellement dû à la variation des hauteurs significatives des houles extrêmes.

Secteur Ouest:

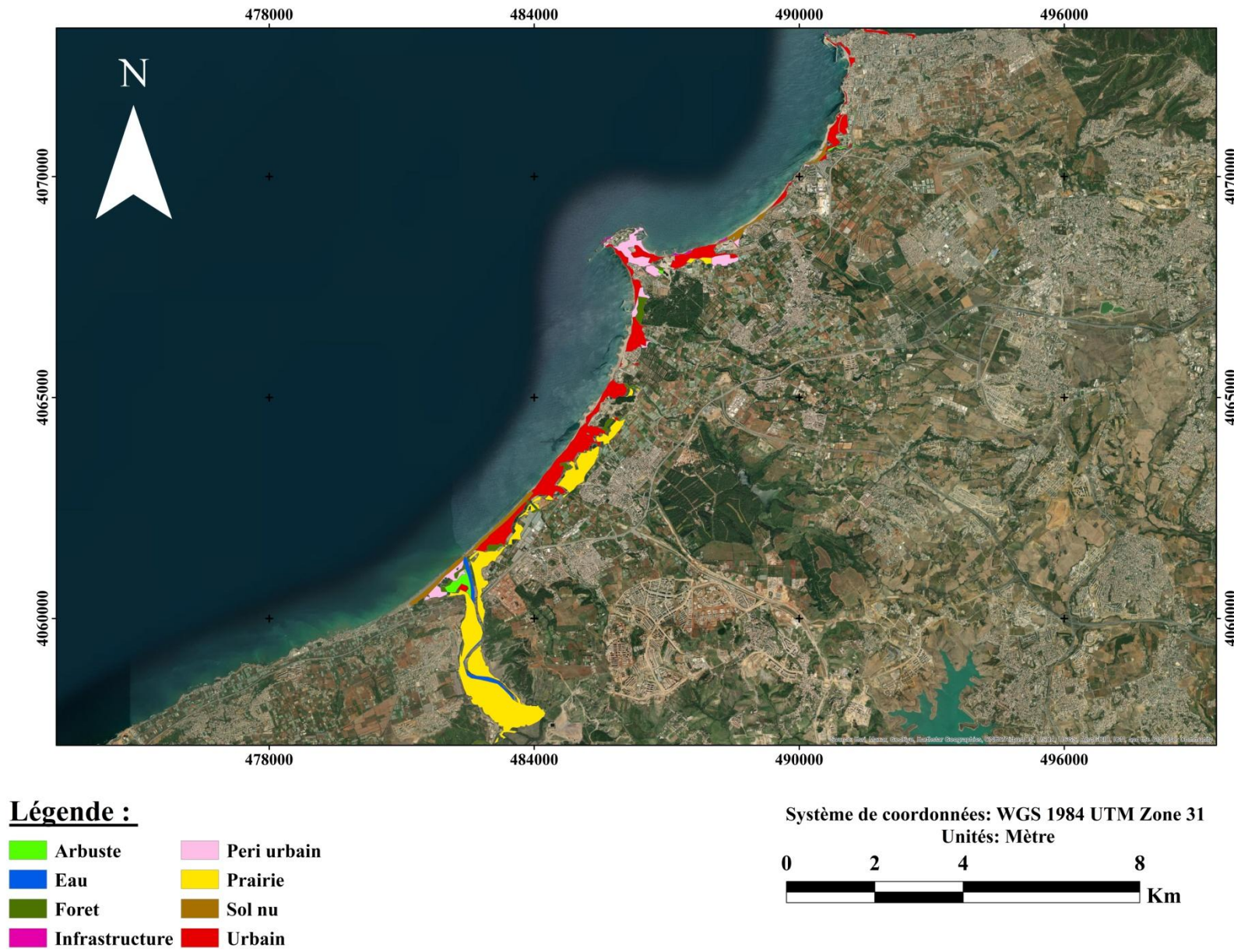


Figure 119: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger

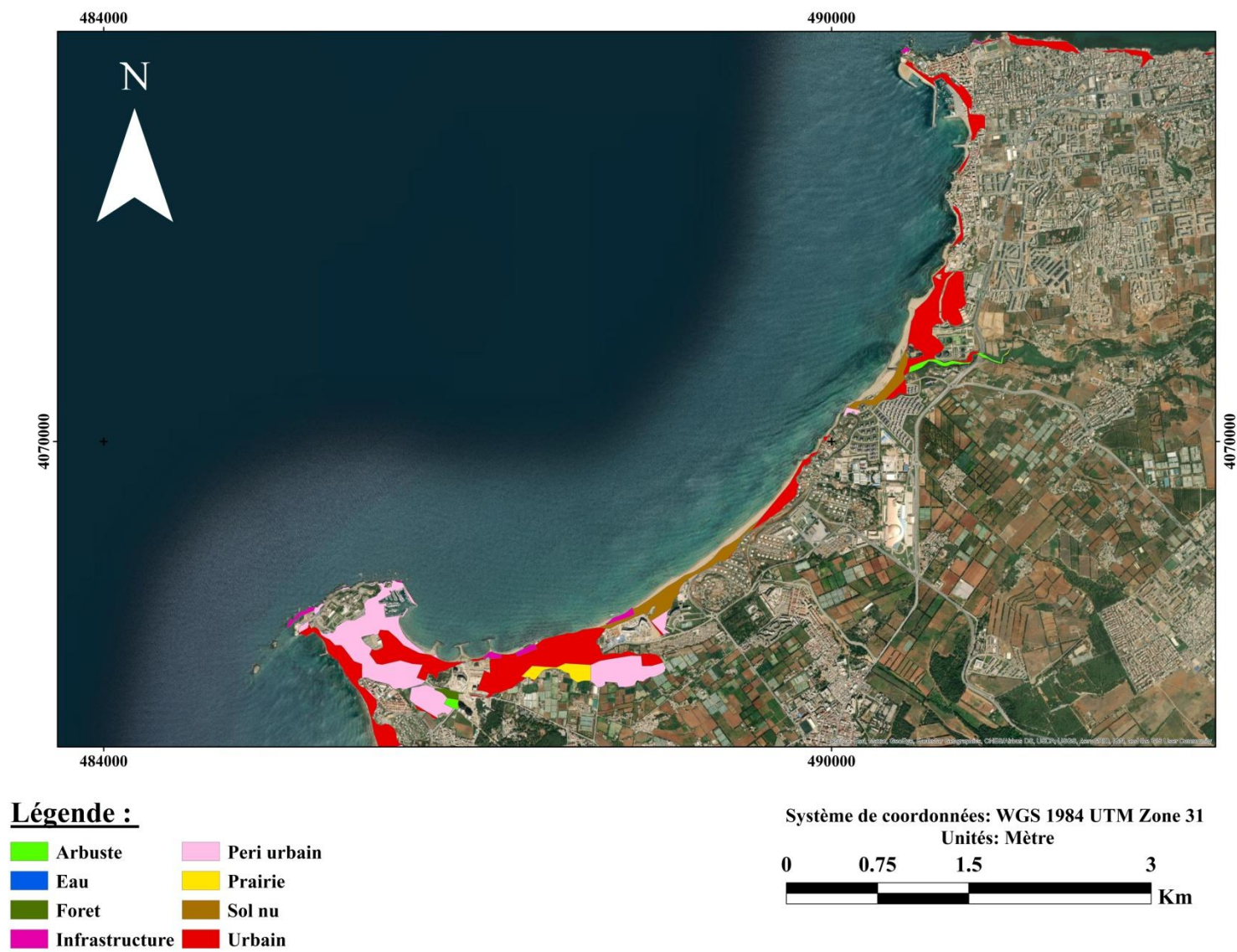


Figure 120: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie El Djamilia

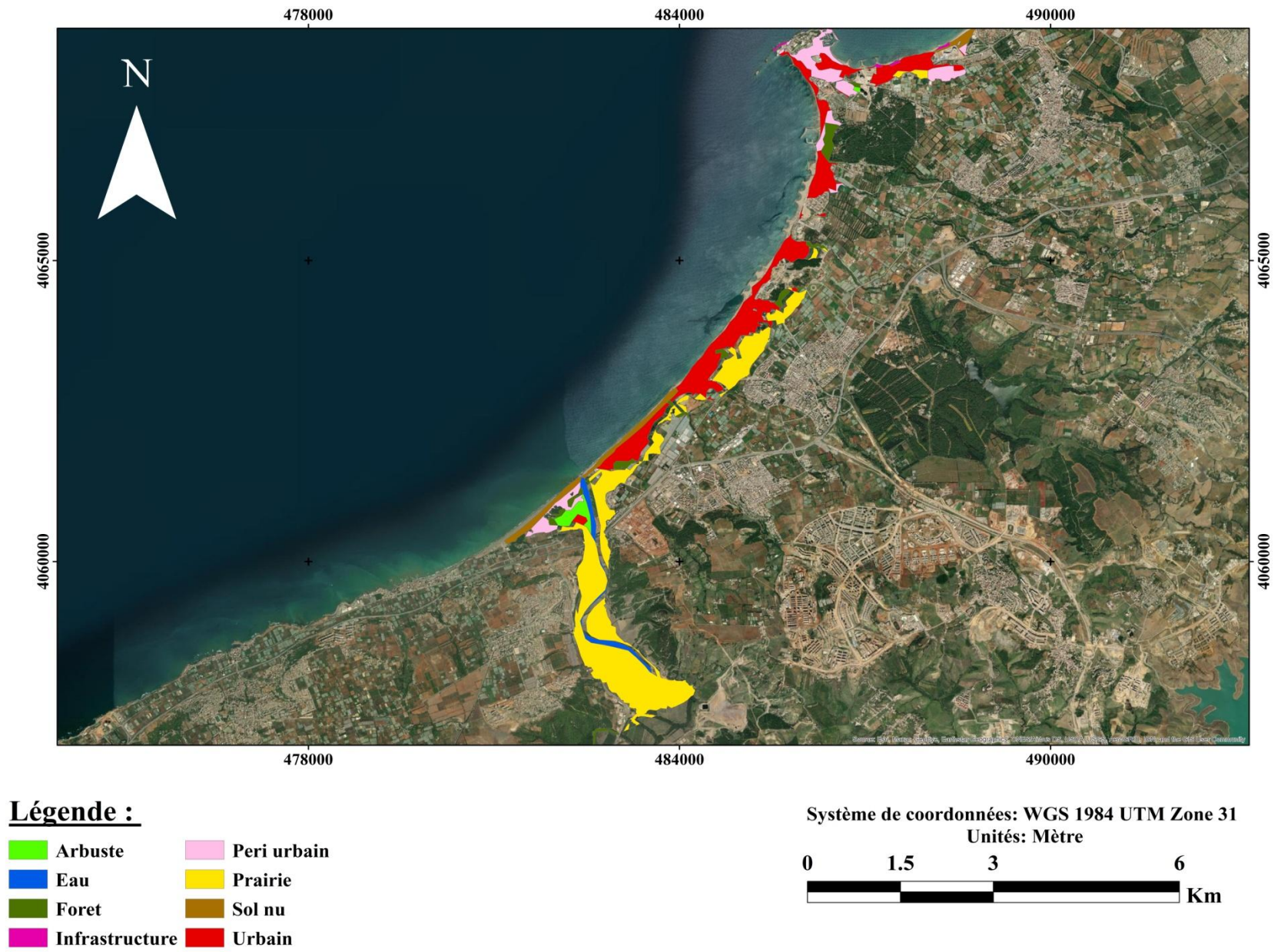


Figure 121: d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

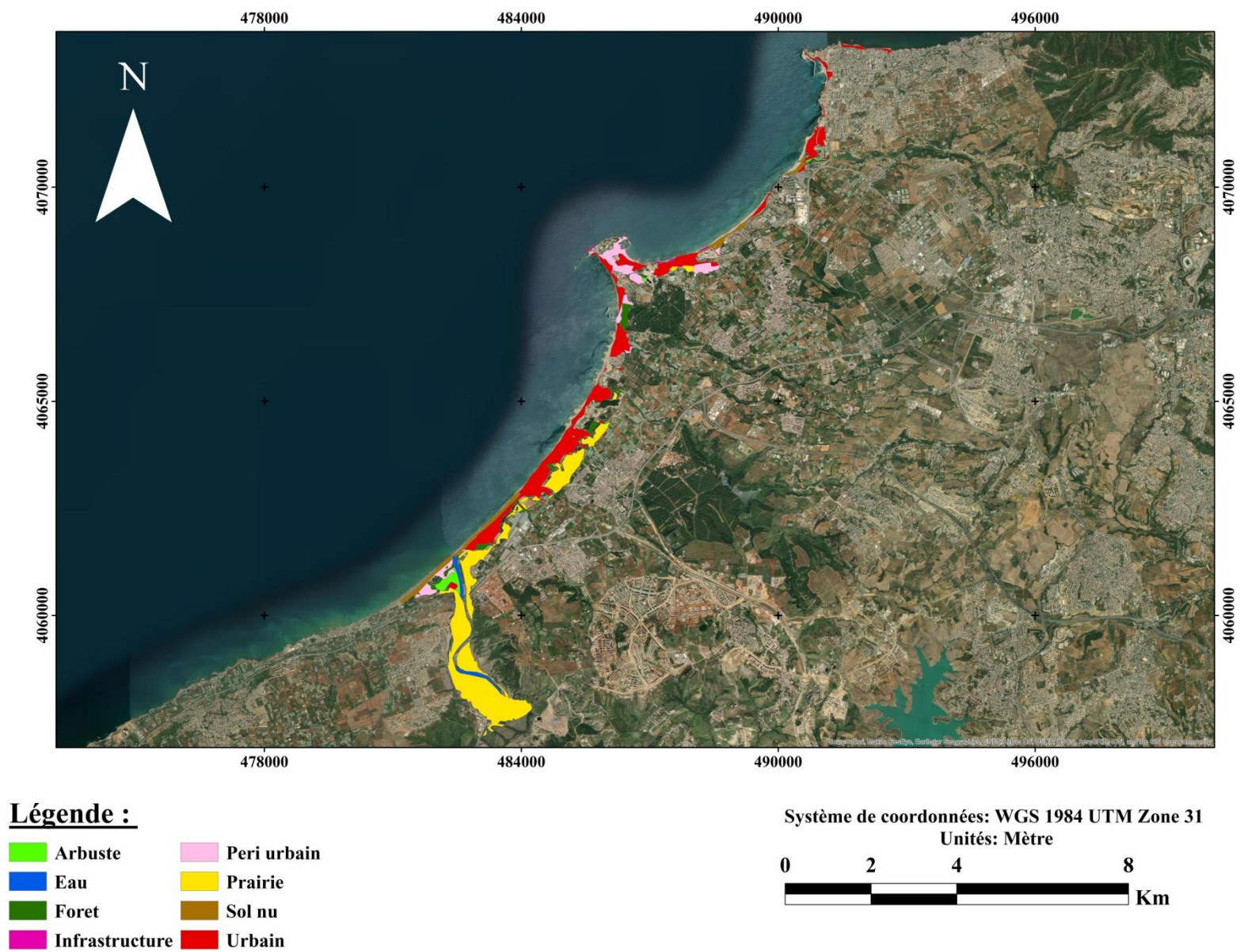


Figure 122 : Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes` de la zone Ouest d'Alger.

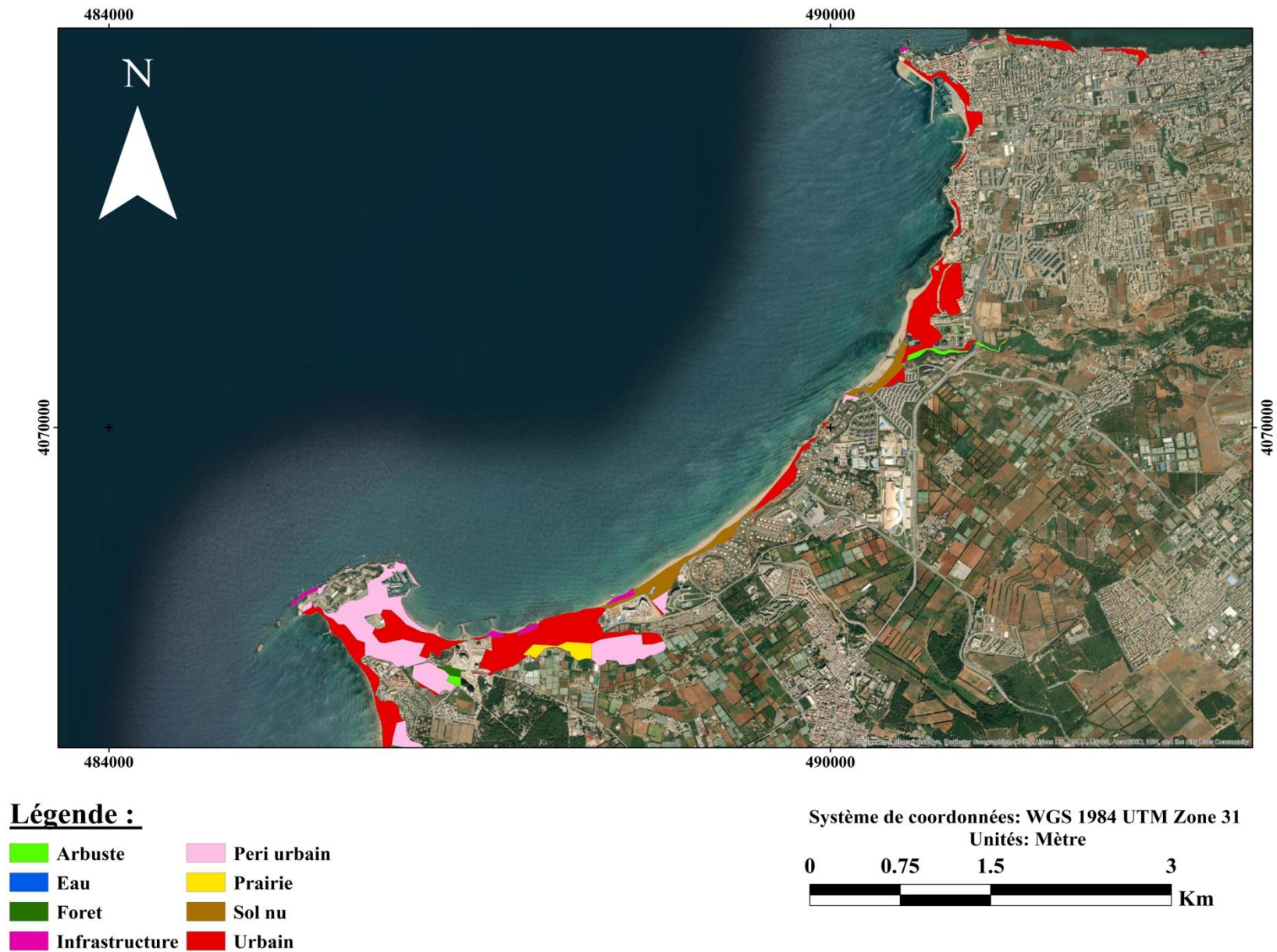


Figure 123: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales ` de la baie El Djamilia.

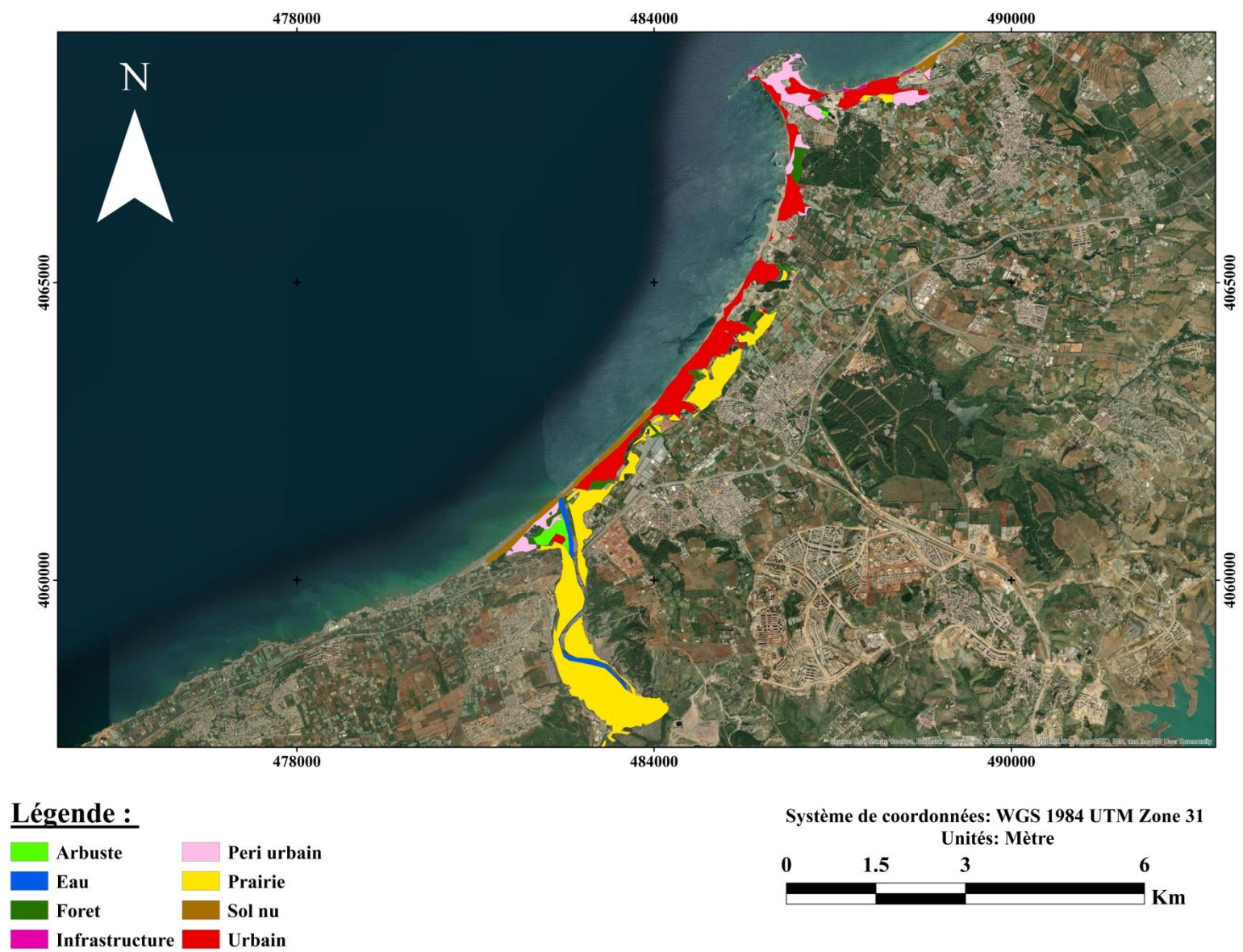


Figure 124: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

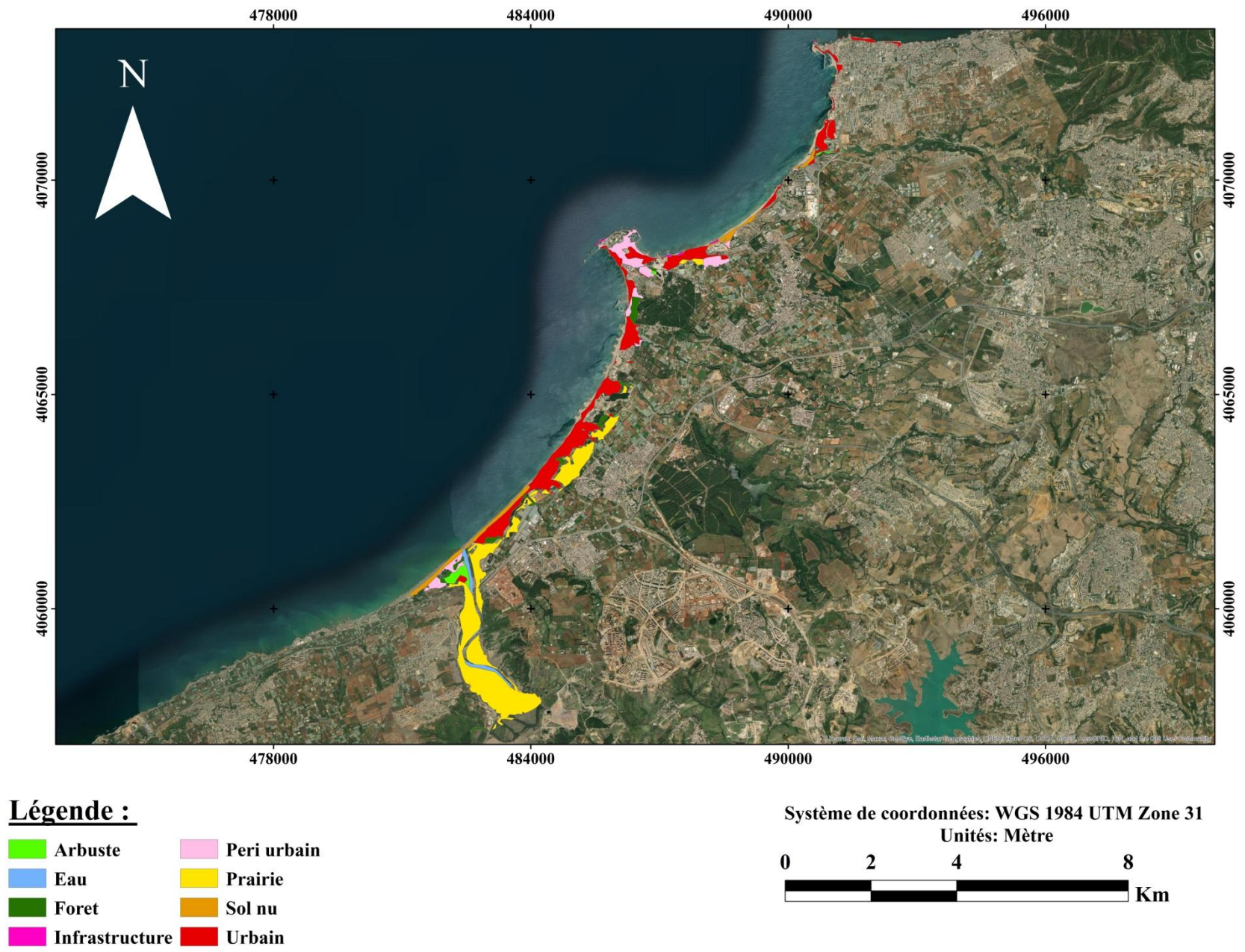


Figure 125: Carte d'occupation de sol submergé ` période de retour centennale de la zone Ouest d'Alger.

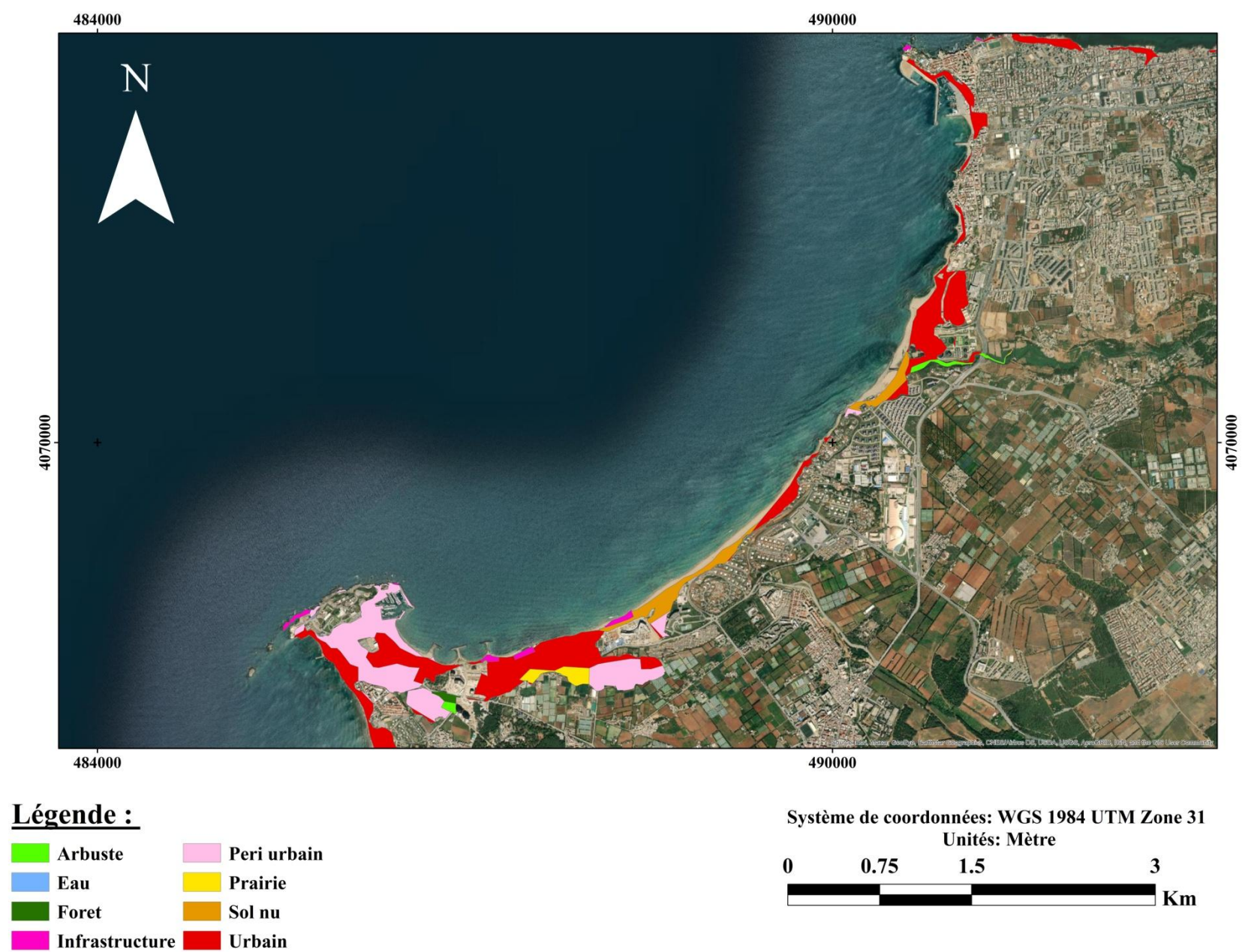


Figure 126: Carte d'occupation de sol submergé ` période de retour centennale ` de la baie El Djamilia.

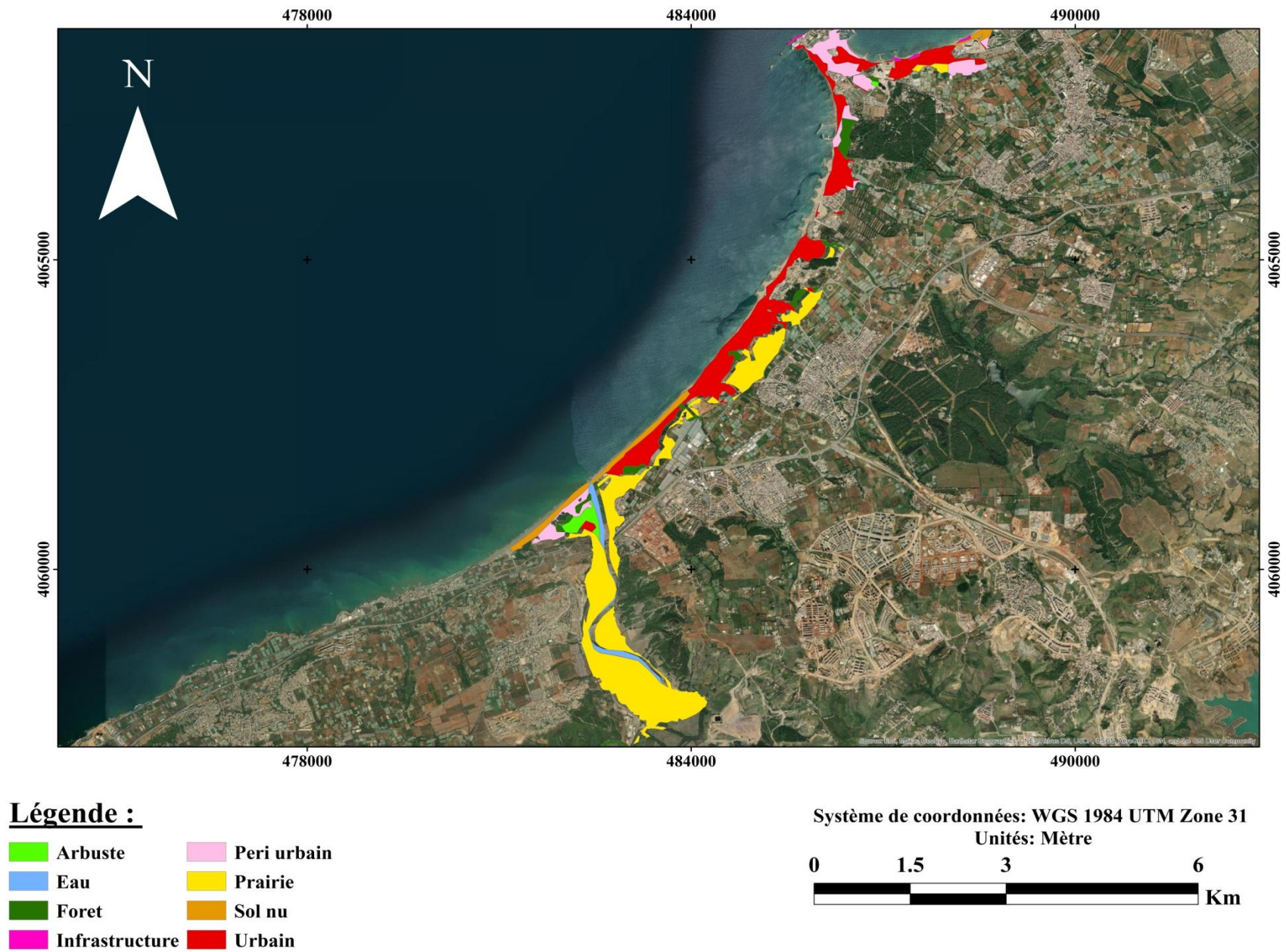


Figure 127: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

Secteur Nord:

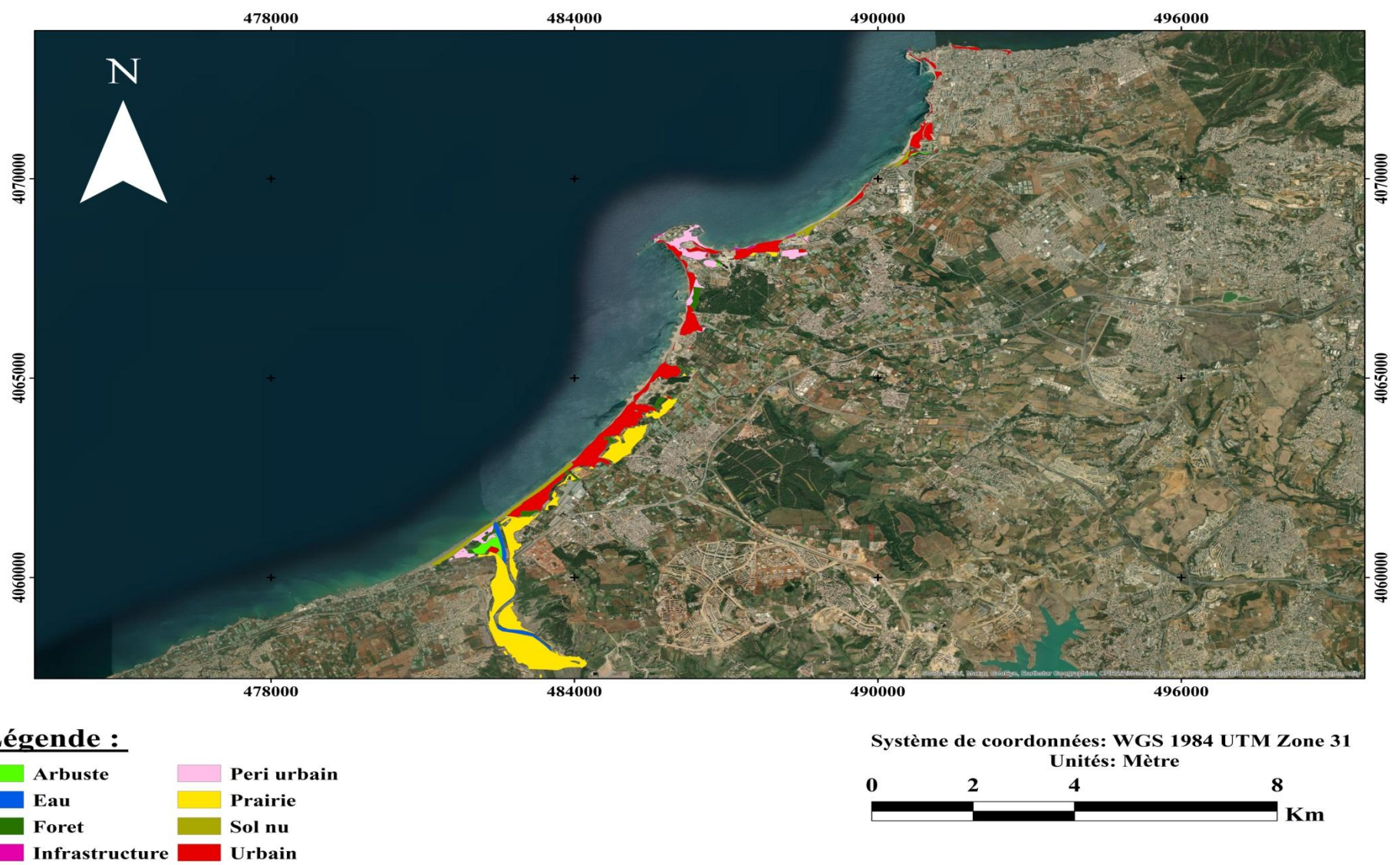
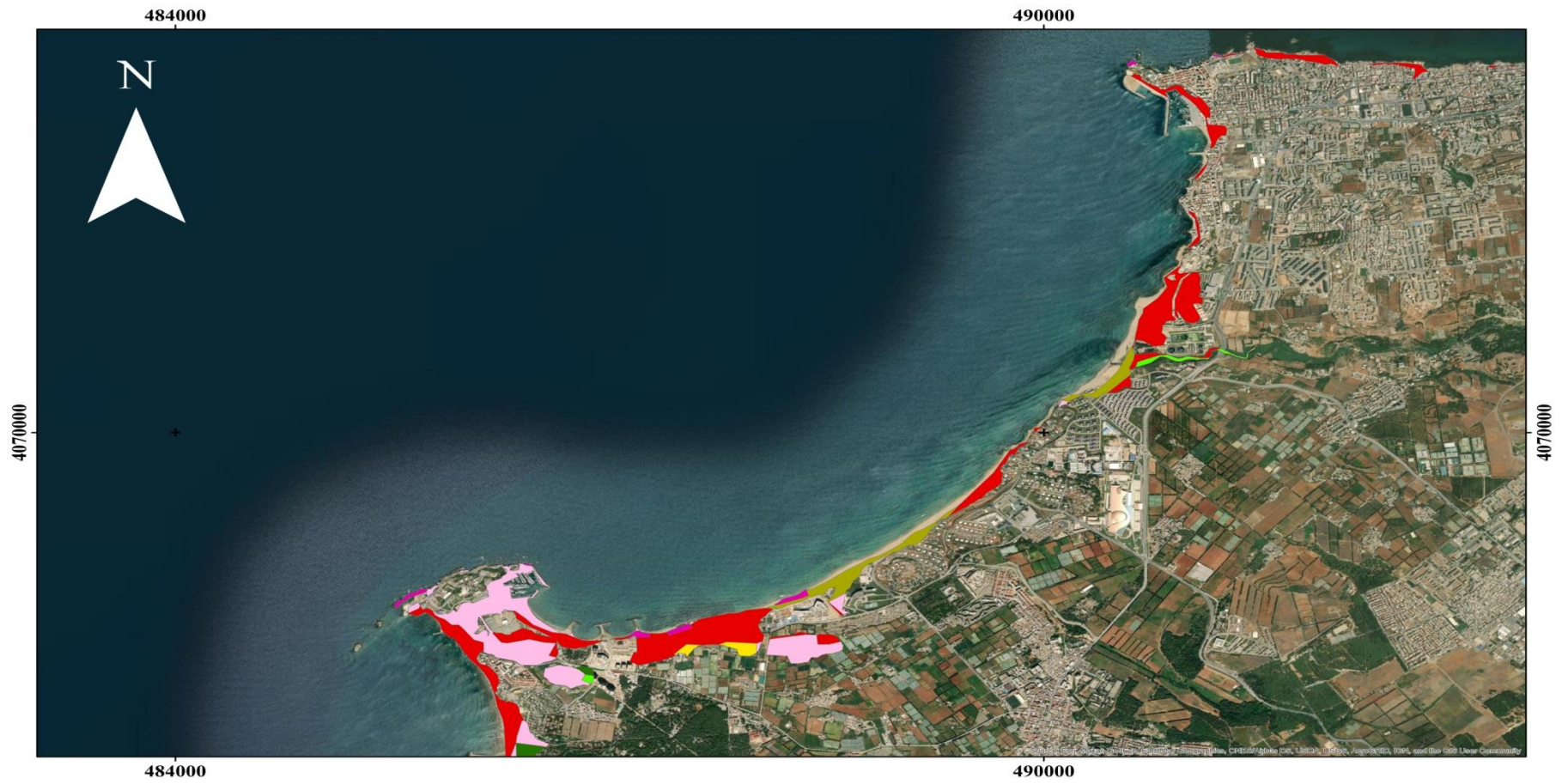


Figure 128: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger



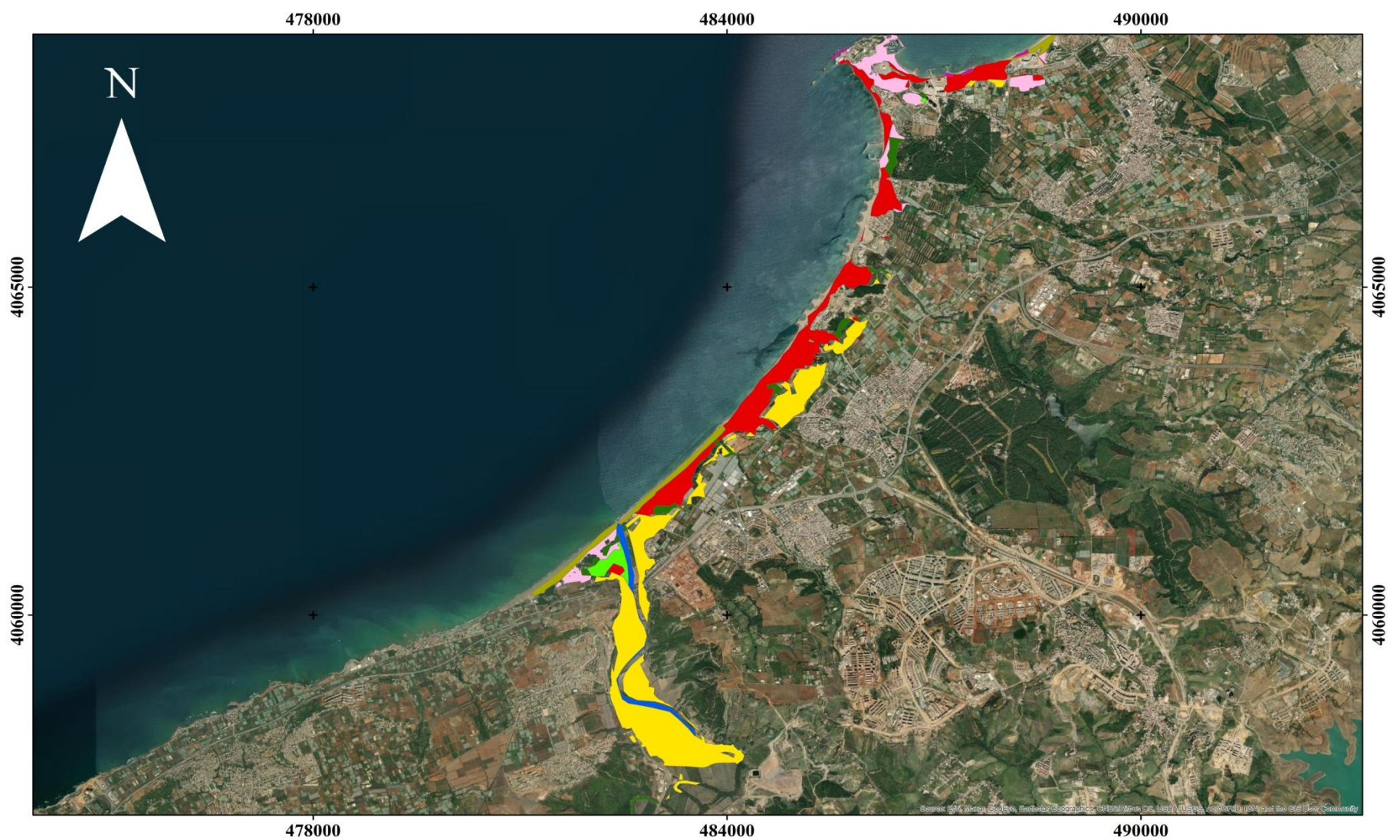
Légende :

- Arbuste
- Eau
- Forêt
- Infrastructure
- Peri urbain
- Prairie
- Sol nu
- Urbain

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31
Unités: Mètre



Figure 129: Carte d'occupation de sol submergé ` période de retour vingtennale ` de la baie El Djamilia



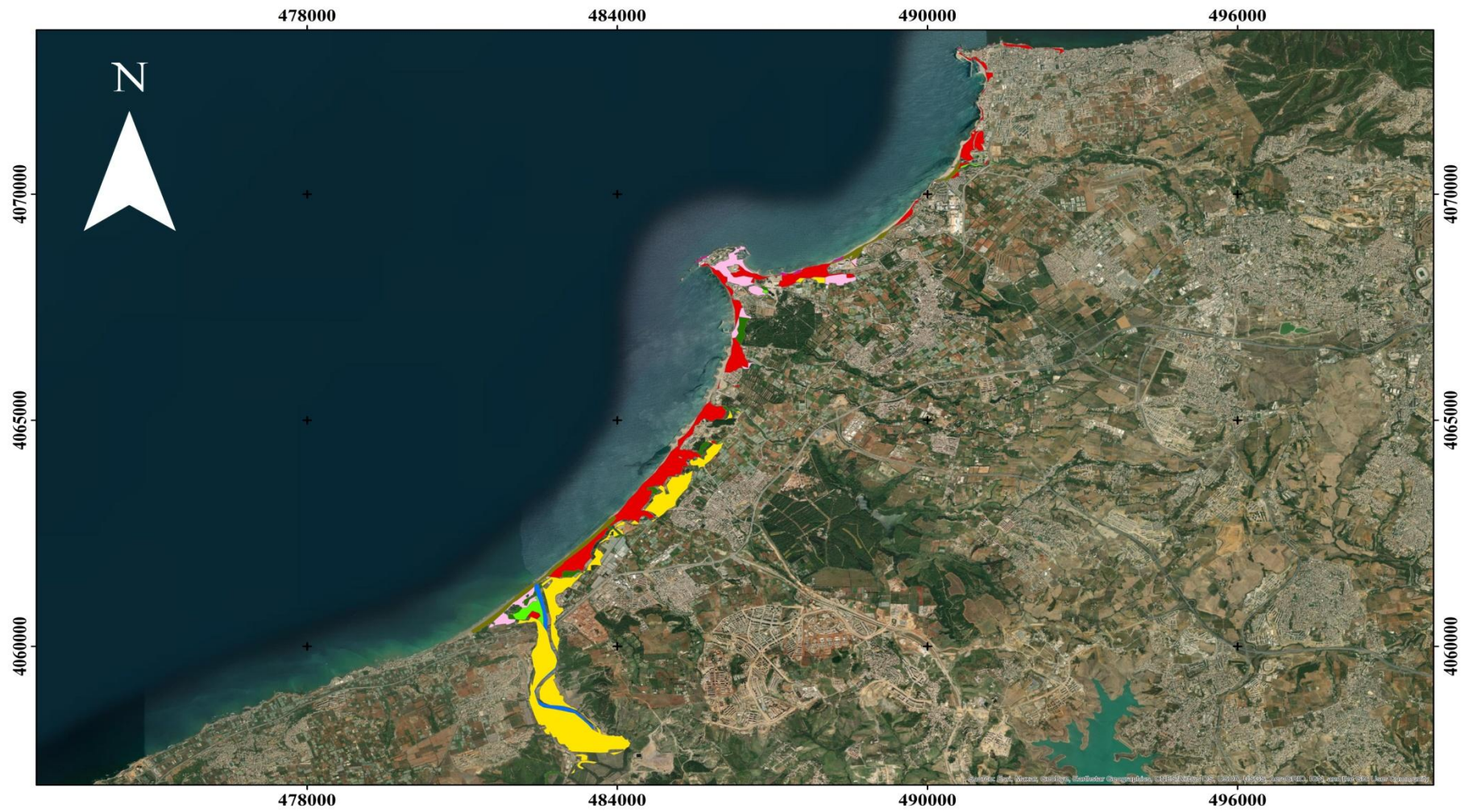
Légende :

- Arbuste
- Eau
- Forêt
- Infrastructure
- Peri urbain
- Prairie
- Sol nu
- Urbain

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31
Unités: Mètre



Figure 130: Carte d'occupation de sol submergé ` période de retour vingtennale ` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).



Légende :

- | | |
|---|---|
| ■ Arbuste | ■ Peri urbain |
| ■ Eau | ■ Prairie |
| ■ Forêt | ■ Sol nu |
| ■ Infrastructure | ■ Urbain |

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31
Unités: Mètre

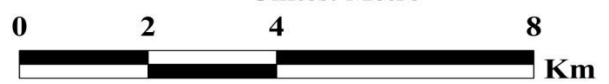
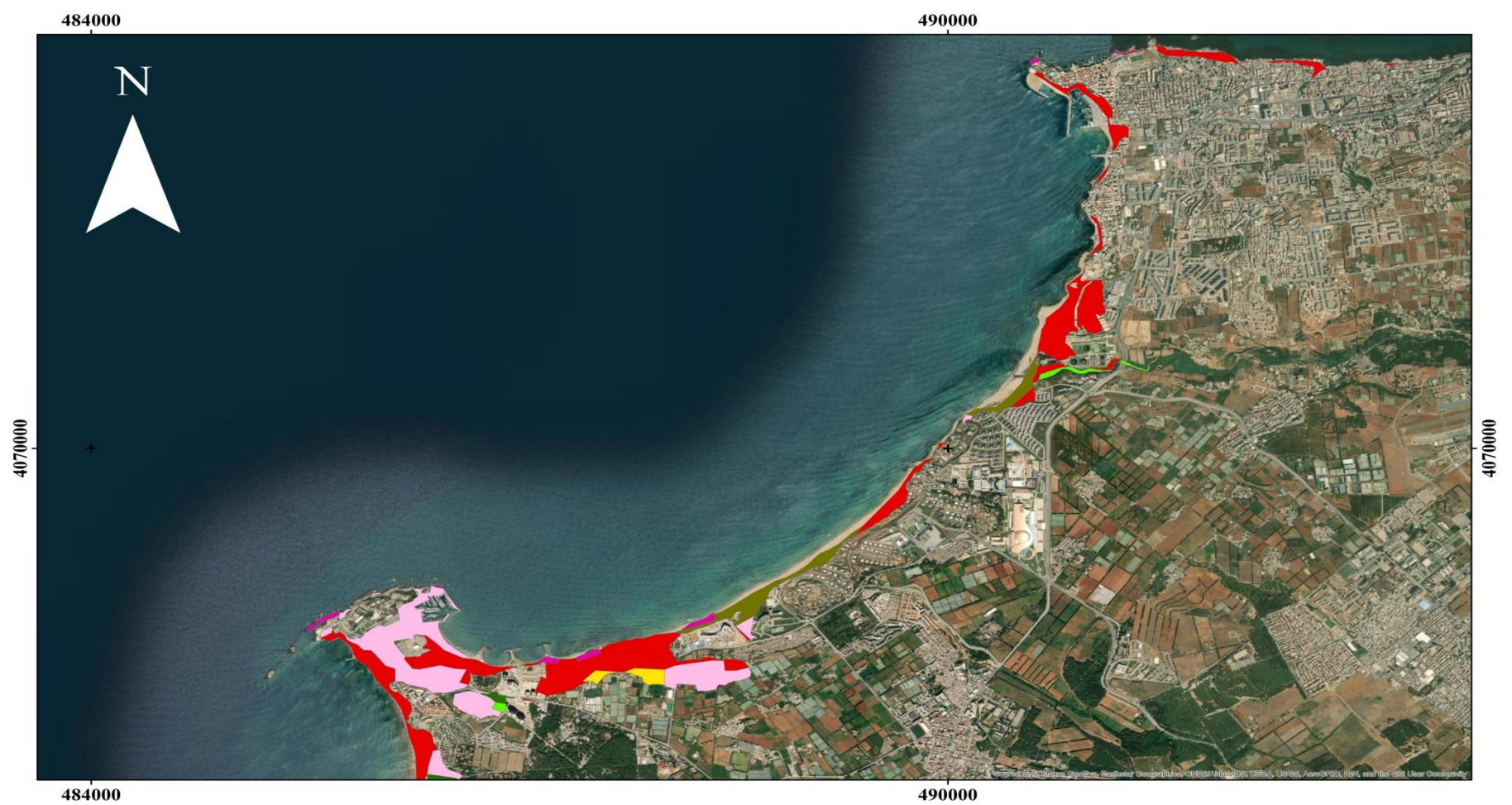


Figure 131: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales` de la zone Ouest d'Alger



Légende :

- | | |
|---|---|
| ■ Arbuste | ■ Peri urbain |
| ■ Eau | ■ Prairie |
| ■ Forêt | ■ Sol nu |
| ■ Infrastructure | ■ Urbain |

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31
Unités: Mètre

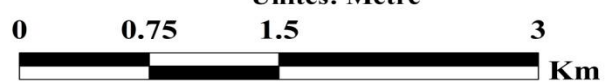


Figure 132: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales` de la baie El Djamilia.

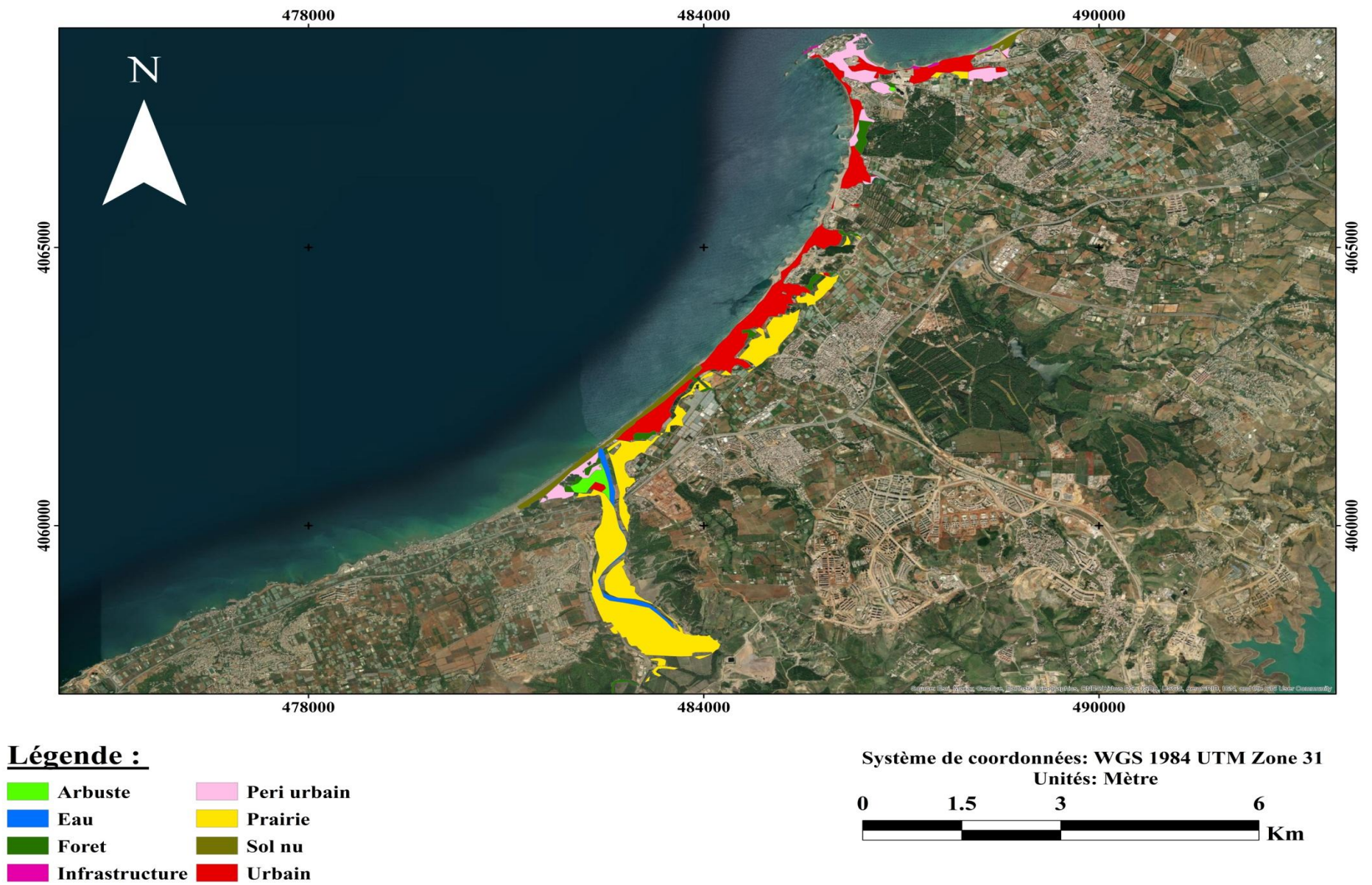


Figure 133: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

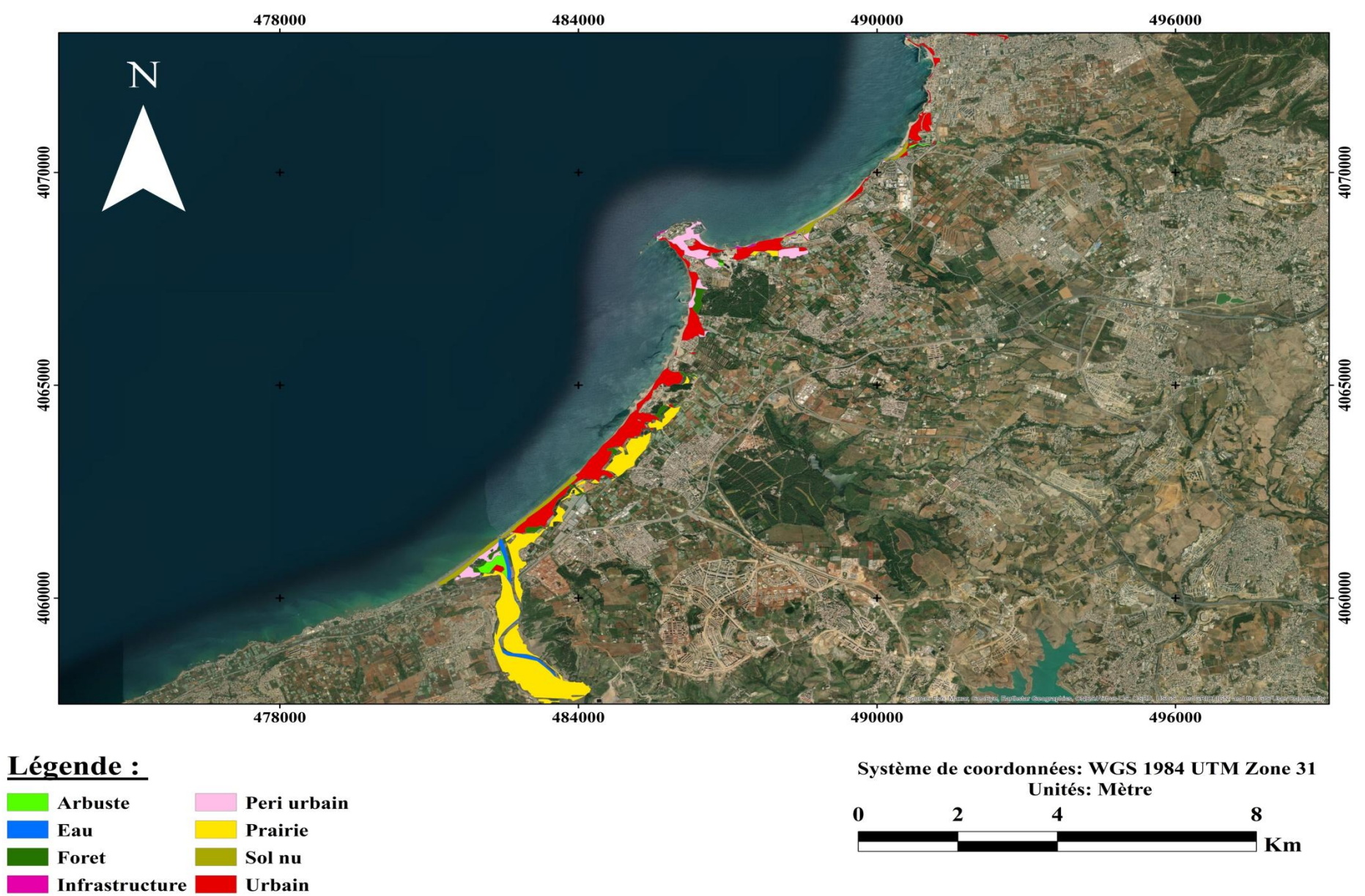


Figure 134: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale ` de la zone Ouest d'Alger

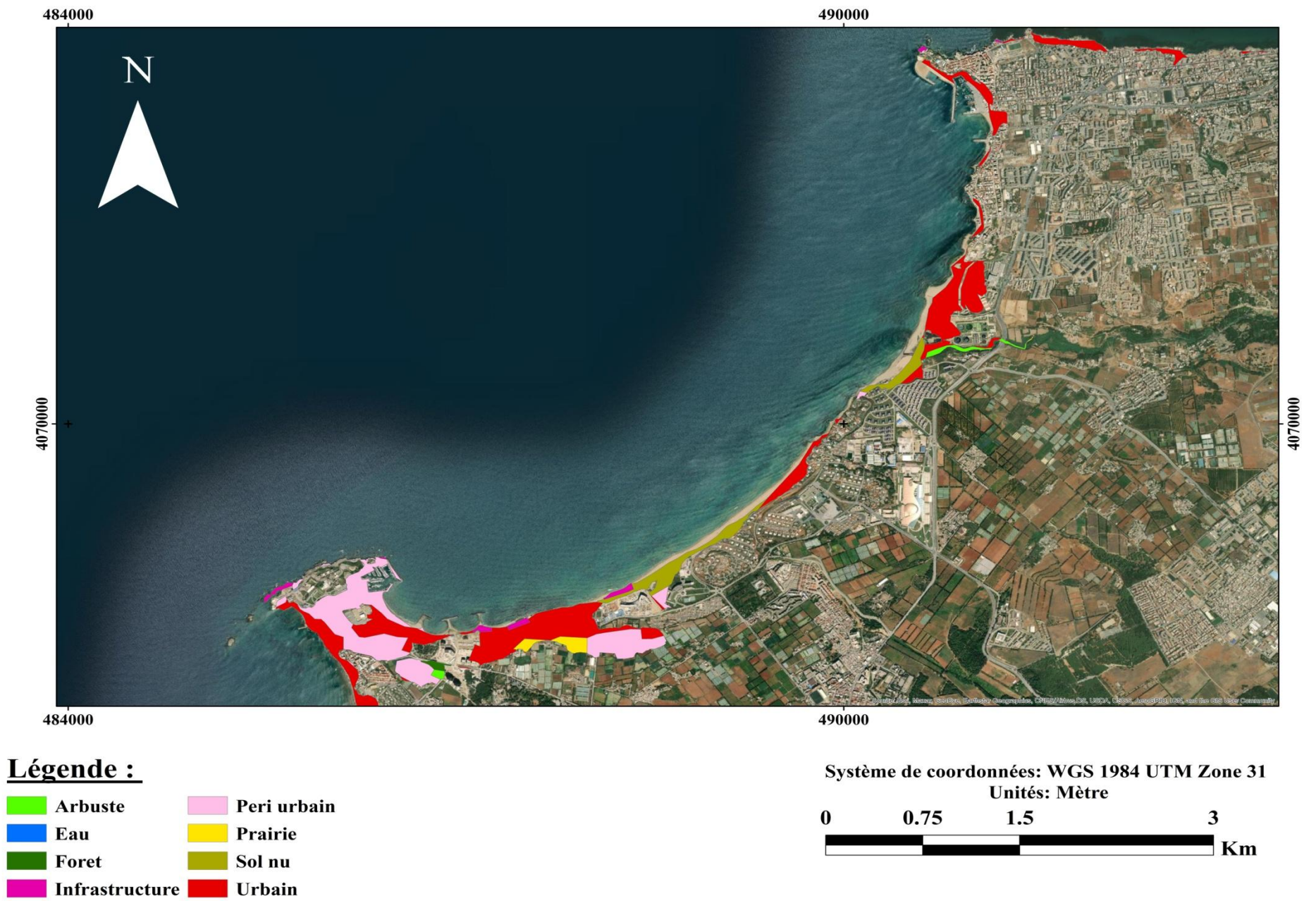


Figure 135: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie El Djamilia.

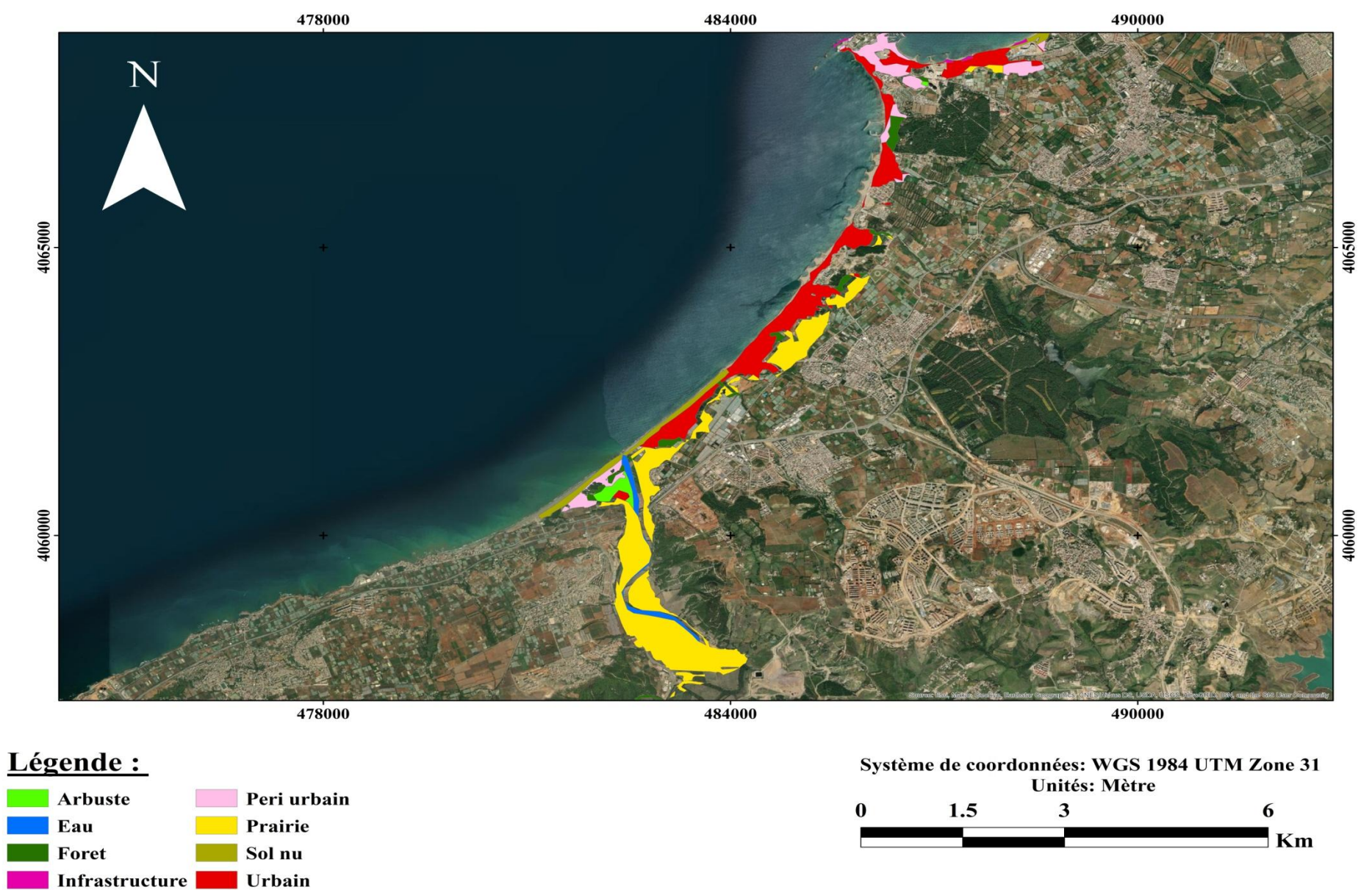


Figure 136: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

Secteur Nord-Ouest:

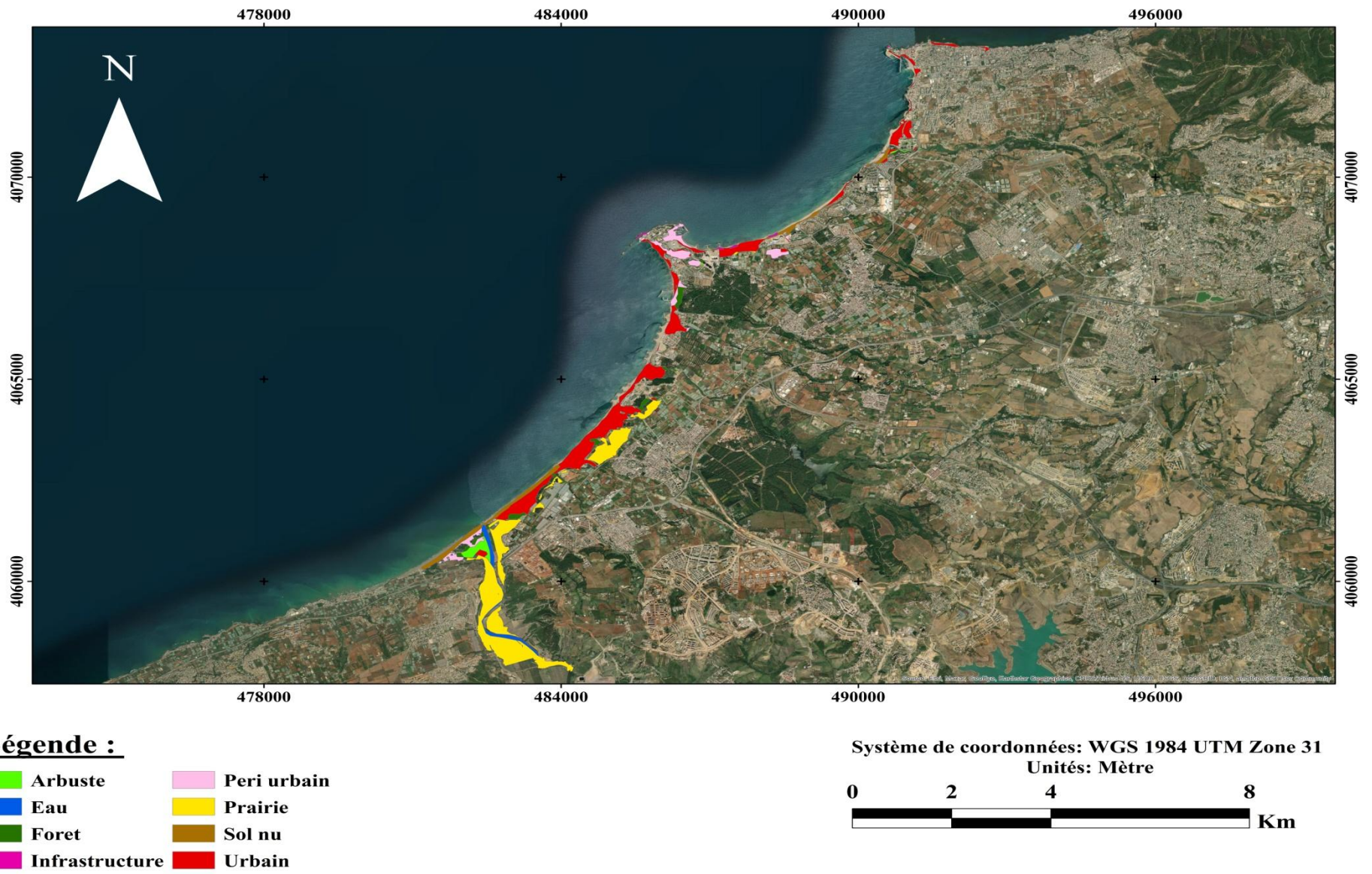


Figure 137: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale ` de la zone Ouest d'Alger

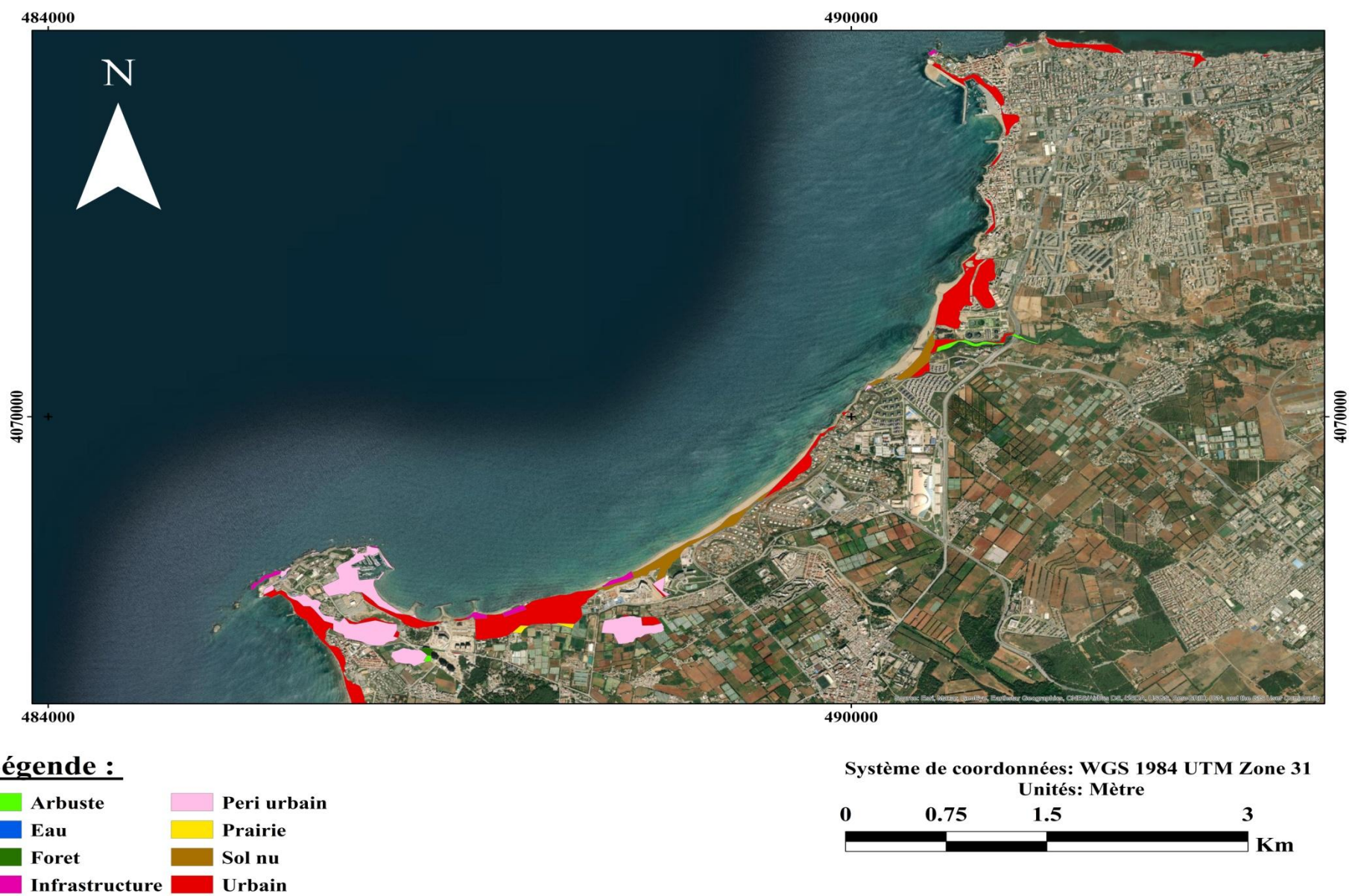


Figure 138: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale de la baie El Djamilia

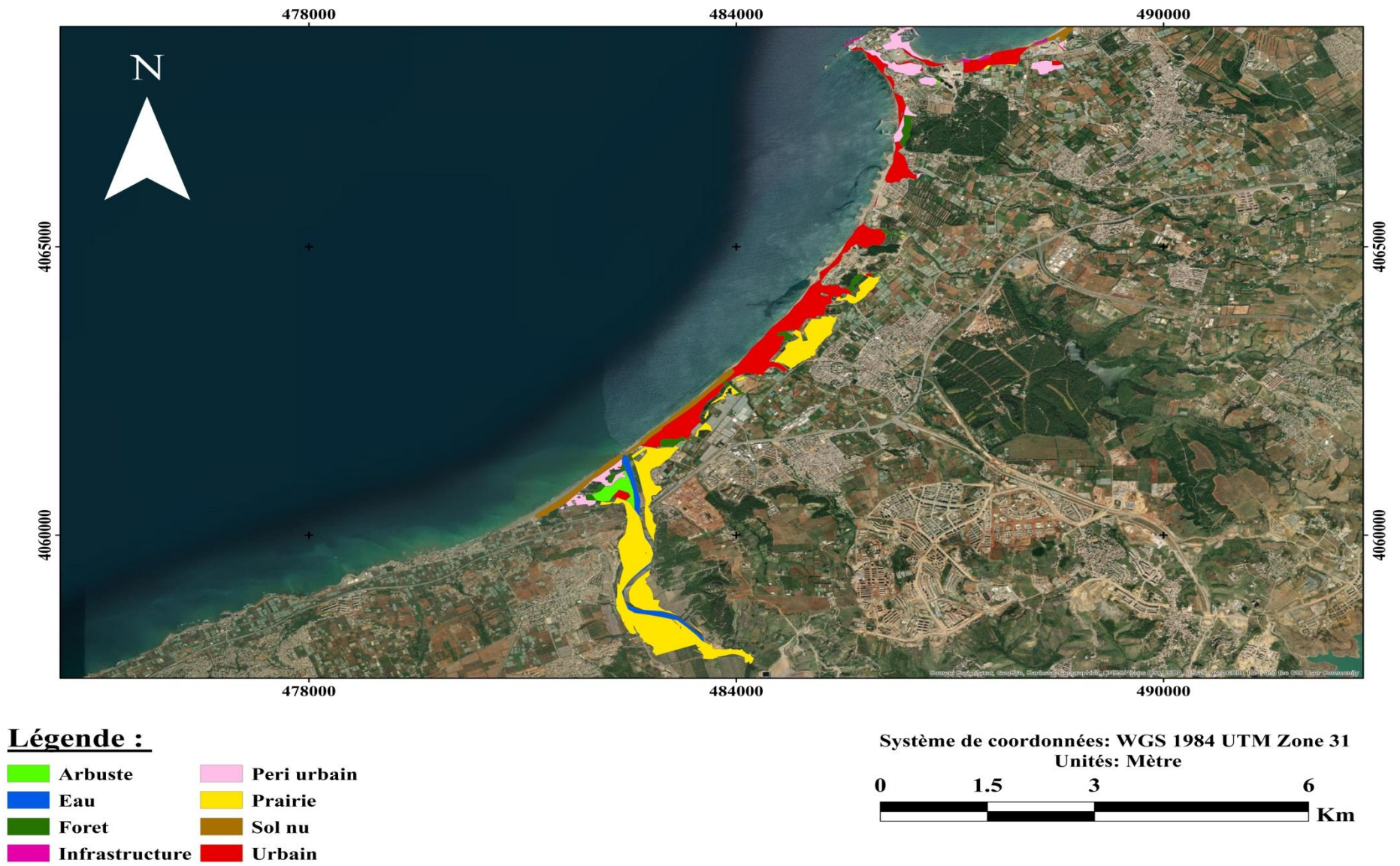


Figure 139: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour vingtennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

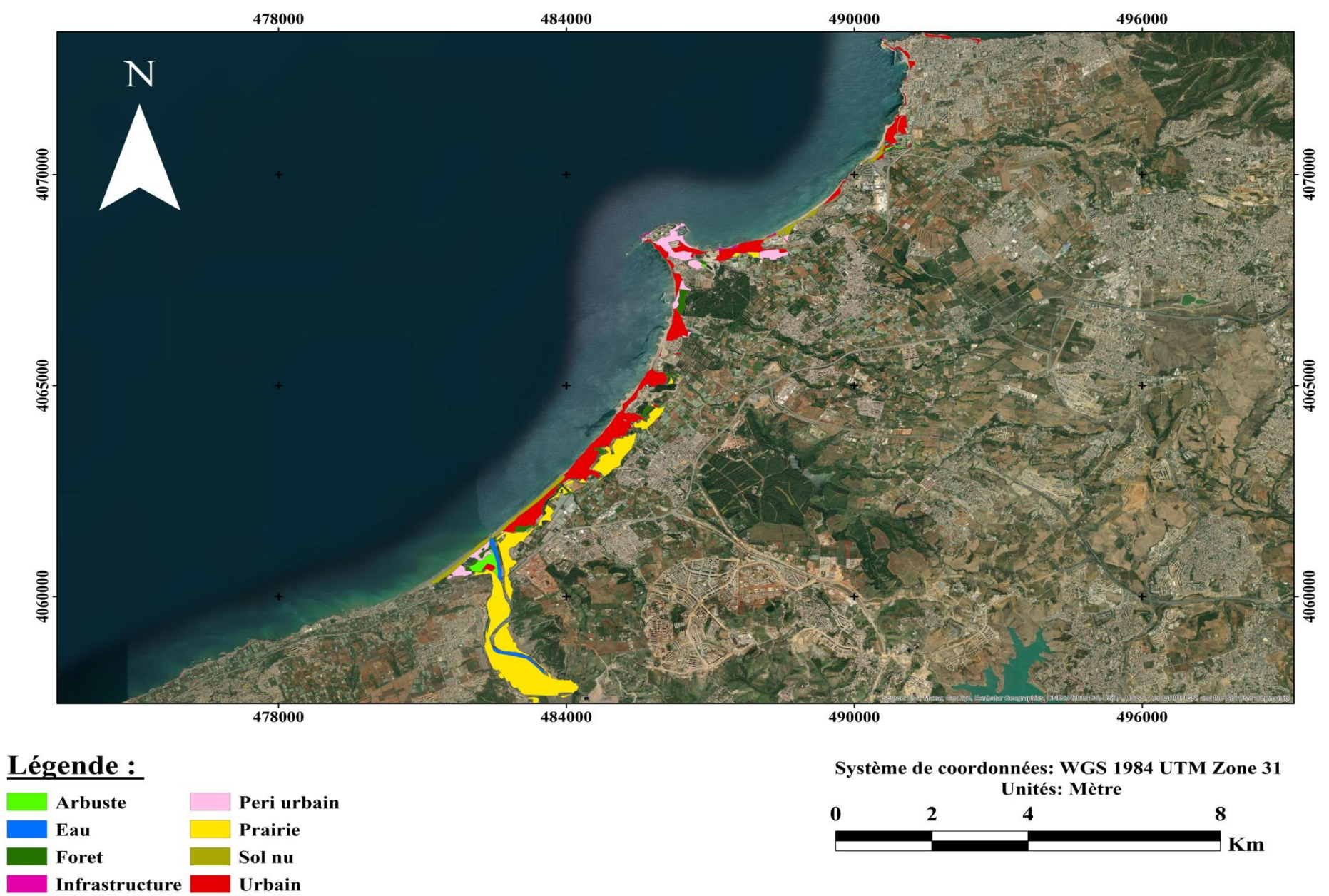


Figure 140: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquanteennes` de la zone Ouest d'Alger

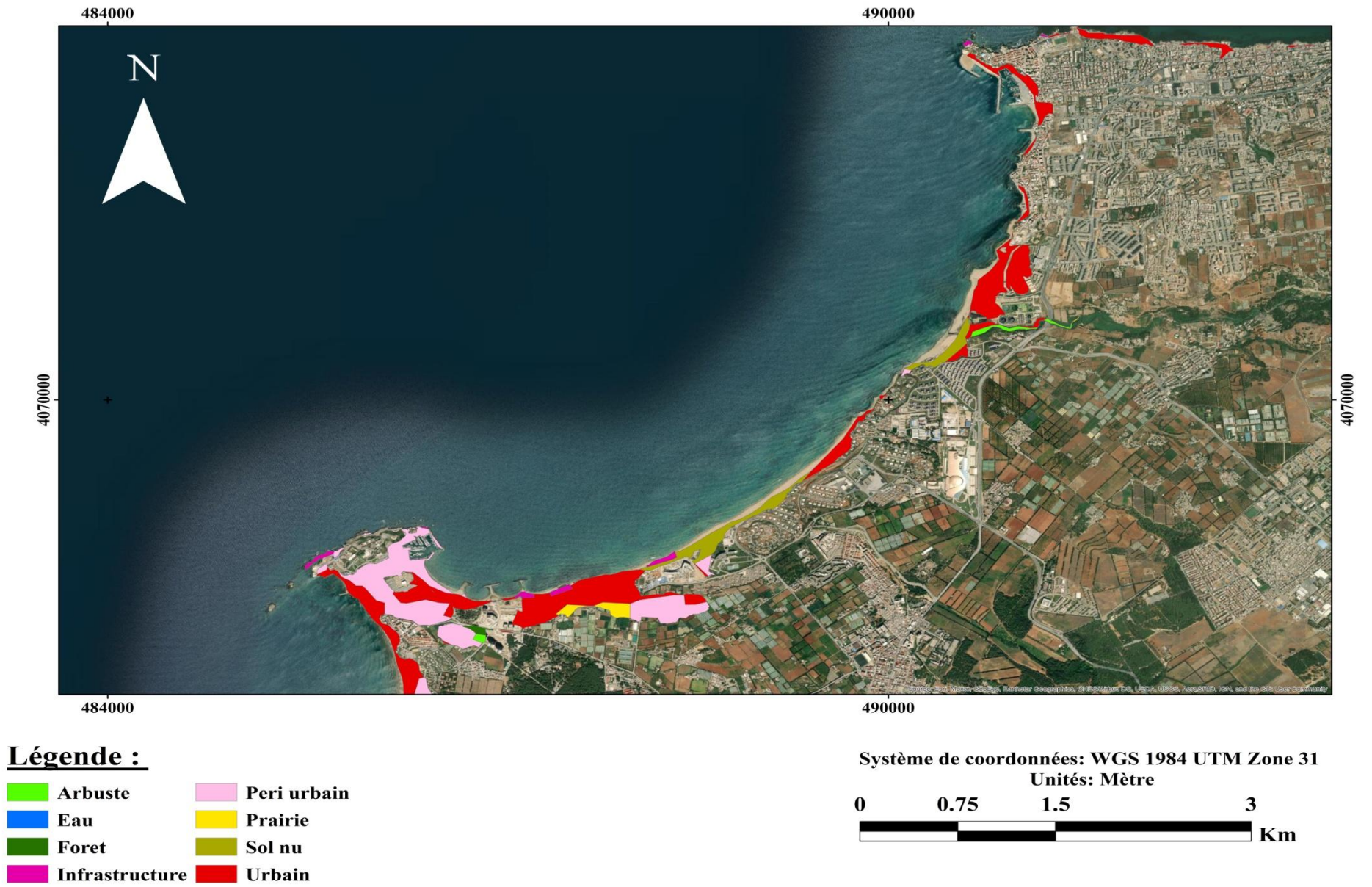


Figure 141: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales` de la baie El Djamila

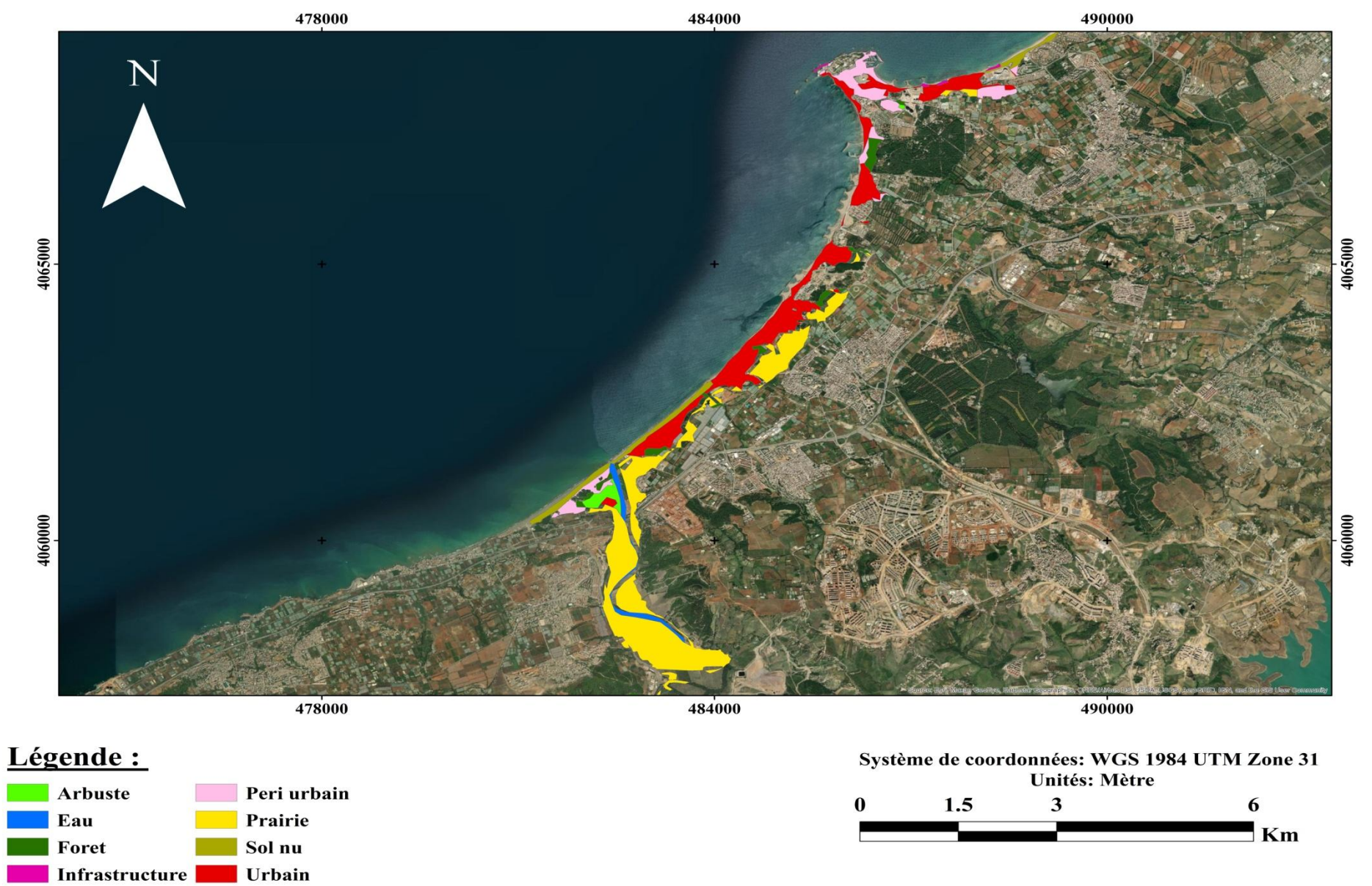


Figure 142: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour cinquantennales` de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

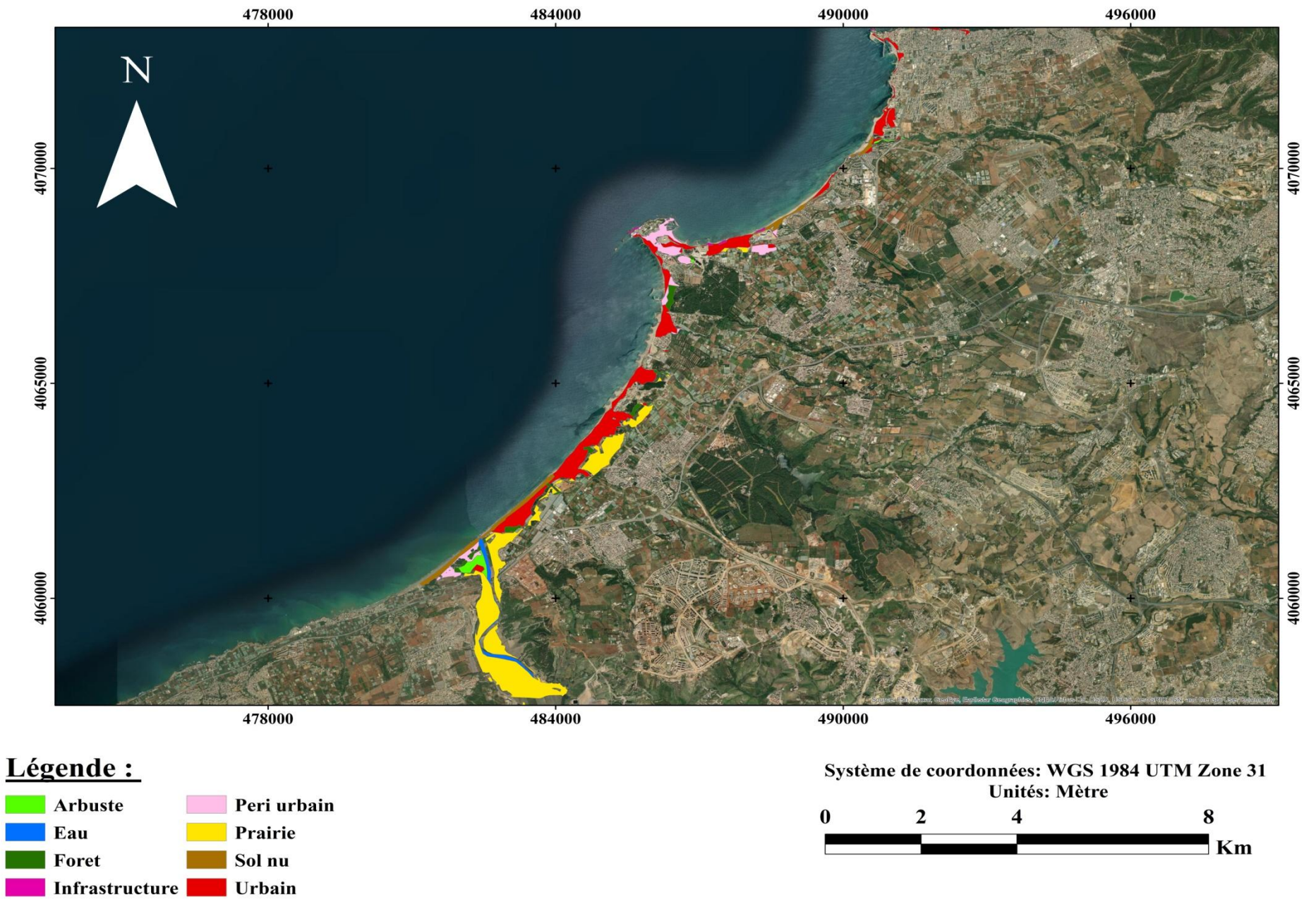


Figure 143: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale` de la zone Ouest d'Alger

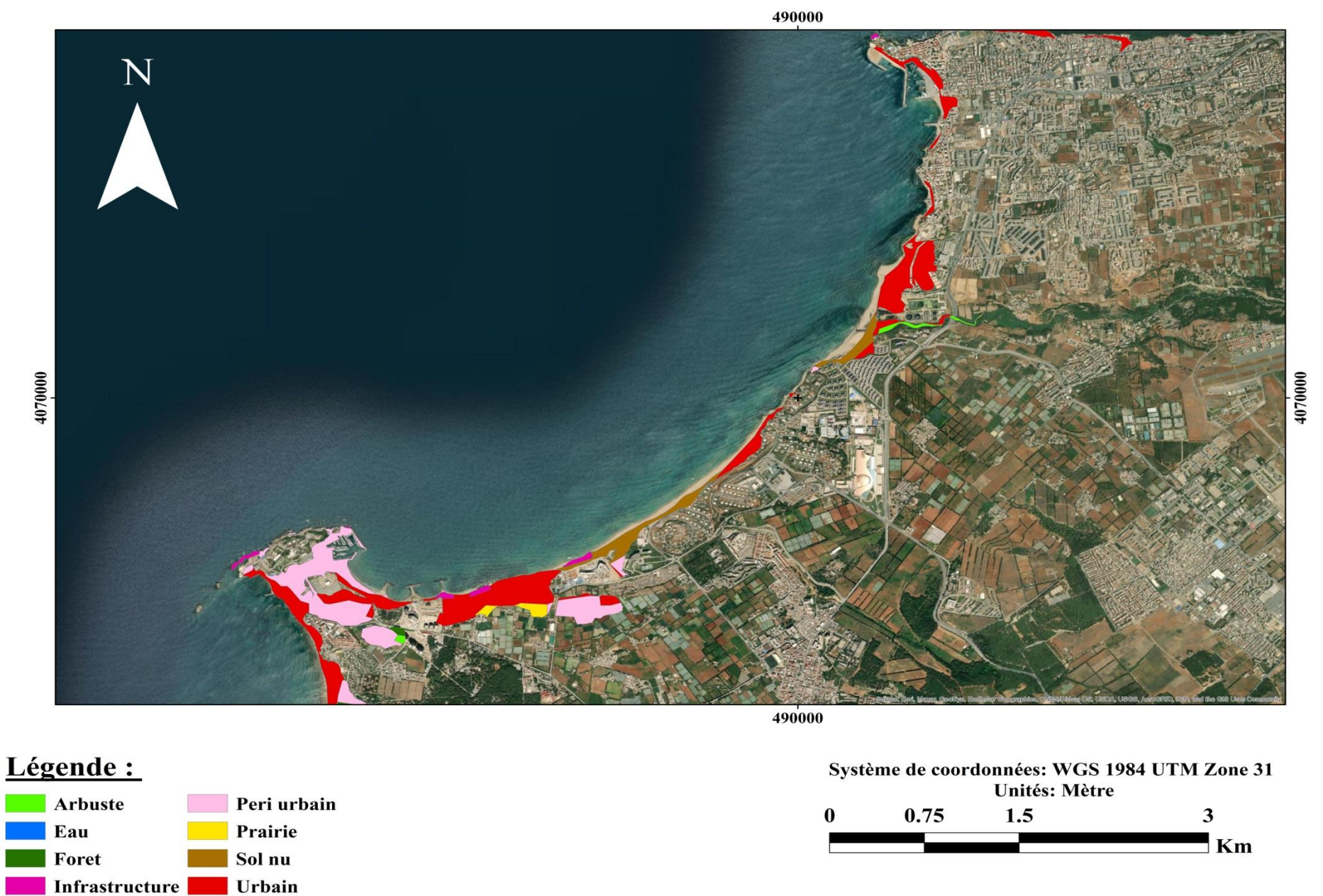
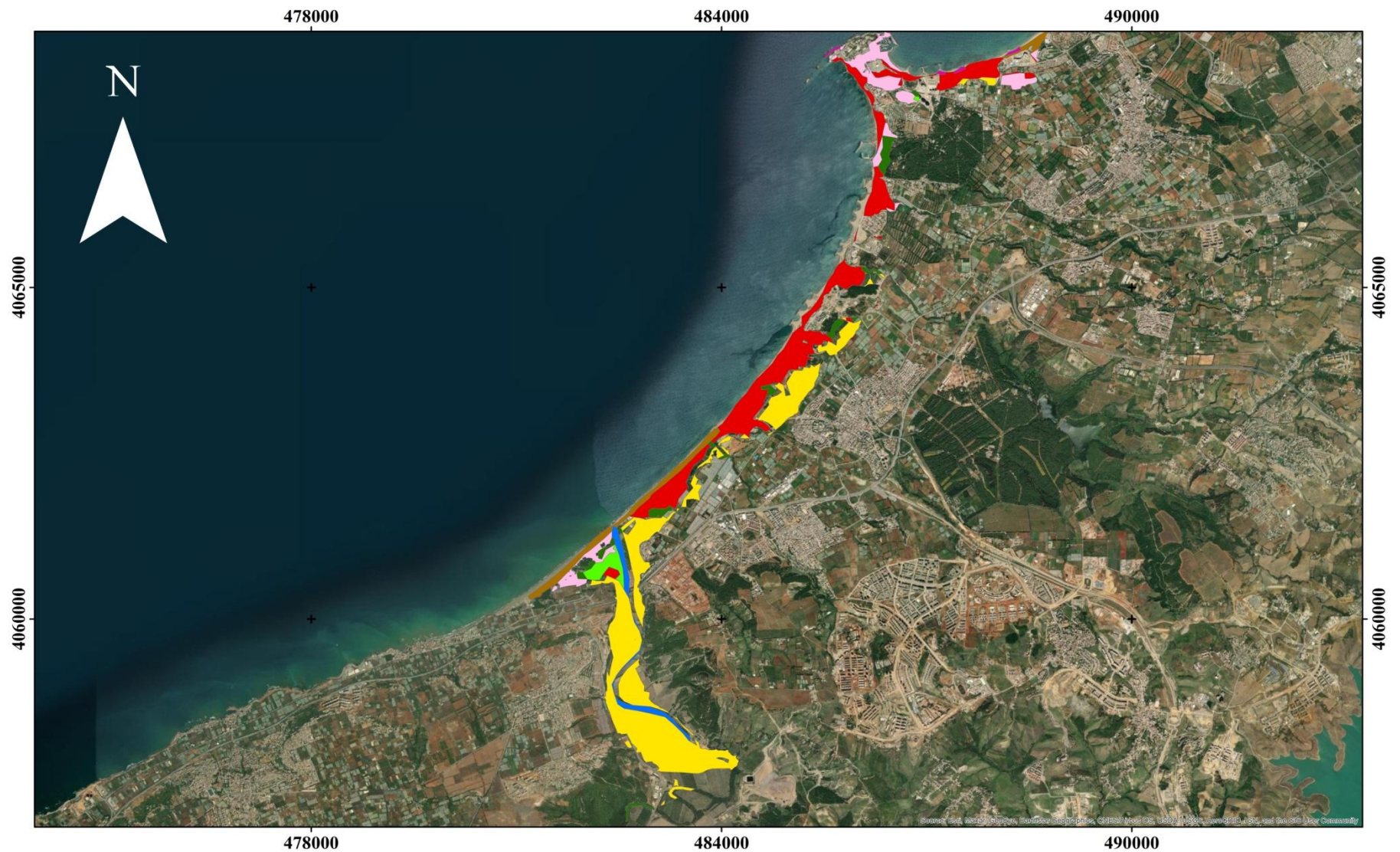


Figure 144: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale` de la baie El Djamilia



Légende :

- | | |
|---|---|
| ■ Arbuste | ■ Peri urbain |
| ■ Eau | ■ Prairie |
| ■ Forêt | ■ Sol nu |
| ■ Infrastructure | ■ Urbain |

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31
Unités: Mètre



Figure 145: Carte d'occupation de sol submergé `période de retour centennale de la baie de Bouismail (partie Algéroise).

Tableau 17: Résultats de la valorisation des terres perdues

Types d'occupation du sol.	Niveau d'inondation. (R = 20ans).			Niveau d'inondation. (R = 50ans).			Niveau d'inondation. (R = 100ans).		
	Superficie (km ²).			Superficie (km ²).			Superficie (km ²).		
	Nord.	Ouest.	Nord- Ouest	Nord.	Ouest.	Nord- Ouest.	Nord.	Ouest.	Nord-Ouest.
Sol nu.	0,4077082	0,4250531	0,390931	0,416756	0,425837	0,4047043	0,41953	0,426052	0,4088468
Forets.	0,2662077	0,3125093	0,2354312	0,288236	0,31499	0,259321	0,295329	0,315797	0,2688824
Infrastructure	0,0331434	0,0333609	0,0330381	0,033246	0,033357	0,0331622	0,033297	0,033361	0,0331557
Arbuste.	0,1553095	0,1597922	0,1516141	0,157423	0,160244	0,1545999	0,157995	0,160279	0,1555538
Eau.	0,1774366	0,1774665	0,1769153	0,177466	0,177466	0,1774065	0,177466	0,177466	0,1774427
Prairie.	2,5901307	2,9577299	2,1105037	2,774661	2,969699	2,5025566	2,838449	2,973649	2,6109979
Peri urbain.	0,5978092	0,6959364	0,4919573	0,654928	0,699811	0,5774753	0,667333	0,701012	0,6058002
Urbain.	2,165305	2,3920391	1,9884186	2,274297	2,403176	2,1304707	2,308285	2,407267	2,1778833
Total	6,3930501	7,1538874	5,5788094	6,777014	7,18458	6,2396965	6,897684	7,194884	6,4385627

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail a été de fournir une information fiable et facilement accessible sur la tendance évolutive de la zone Ouest d'Alger et l'estimation des terres en risque par submersion marine à différents niveaux d'inondation en prenant compte de toutes les composantes internes et externes pouvant intervenir ou influencer de façon directe ou indirecte ce système côtier.

L'analyse diachronique de la cinématique du trait de côte, a montré que ce littoral a été fortement sollicité tout le long de la période d'étude, par les activités de développement notamment urbain et touristique; celles-ci ont interféré avec la dynamique hydro-sédimentaire du système côtier et causé une forte érosion des plages avec un taux de recul EPR Max de l'ordre de -1,27 m/an soit un NSM moyen de 3,56 m allant de 1959 à 2019, avec une perte de -15221,12 m² de sa surface d'évolution.

Deux causes probables ont joué un rôle important dans l'érosion généralisée le long de la côte étudiée : la cause d'ordre naturel est due aux effets répétés et cumulés des tempêtes, et les très faibles apports d'Oued Beni Messous et Oued Mazafran, tandis que la cause anthropique est liée essentiellement à la forte urbanisation observée le long de la côte, ainsi que la dégradation des systèmes dunaires.

Les constatations qui ont été faites lors de notre suivi de la dynamique de la ligne du rivage ont été confirmées par le model numérique effectué à l'aide de la suite logicielle MIKE-21 qui d'ailleurs nous a permis de modéliser les champs des courants, la propagation des vagues et du transport sédimentaire, en se basant sur trois directions principales de la houle, dont celle de l'ouest, qui est la plus défavorable selon les traitements statistiques réalisés. De ce fait, nous avons détaillé les paramètres de ce secteur afin d'avoir les tendances extrêmes ; ce qui a révélé que la direction Ouest la plus dominante présente un sens de transit Nord et Nord-ouest, et un débit sédimentaire très important de l'ordre de 2838,24 m³/ans/m.

Les risques de pertes de terres, naturelles et aménagées, par inondation seraient considérables en 2121, avec des intrusions marines qui peuvent atteindre une dizaine de kilomètres en arrière-pays en immergeant une superficie de 19,12 km² et 20,53 km² pour un niveau minimal (R = 20 ans) et maximal (R= 100 ans) d'inondation, respectivement. Ces impacts affecteront les éléments fondamentaux de la vie des populations côtières.

Références Bibliographique

- Alberola, Corina et al. 1995. « Tidal currents in the western mediterranean-sea ». *Oceanologica Acta* 18(2): 273-84.
- Auverlot, Dominique. 2015. « La tragédie du réchauffement climatique: du cinquième rapport du GIEC à la Conférence Paris-Climat 2015 ». In *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, FFE, 14-20.
- Bellomo, Doug, Mary Jean Pajak, et Jerry Sparks. 1999. « Coastal flood hazards and the national flood insurance program ». *Journal of Coastal Research*: 21-26.
- Benavente, Javier, Laura Del Río, Francisco Javier Gracia, et J. Antonio Martínez-del-Pozo. 2006. « Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain) ». *Continental Shelf Research* 26(9): 1061-76.
- Bougherara, H. 2011. « Caractérisation géologique et géotechnique de la partie occidentale de la baie d'Alger ». ENSMAL, Alger. Mémoire d'ingénieur.
- Bouhmadouche, Mohamed, et Yacine Hemdane. 2016. « Erosion of a sandy coast: continuous follow-up of the coastal groynes of protection in Boumerdes (Algeria) ». *Environmental Earth Sciences* 75(10): 866.
- Boukhediche, Walid. 2017. « Etude de faisabilité de rechargement artificiel des plages de la côte Ouest-algéroise ».
- Bounoua, et KACI. 2017. « Etude des écosystèmes dunaires algérois : étude comparative entre les deux ensembles dunaires du Mazafran et d'El Kadous. » Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement de littoral. ENSSMAL.
- Bouzeoura, Amine, et Bendeyefallah Houa. 2018. « Impacts des forçages météorologiques et anthropiques sur la dynamique morpho-sédimentaire du littoral Ouest algérois ». ENSSMAL.
- BRGM, LMT, et Mss-Mat Cachan. 2012. « Dynamiques concept ». CSTB, Une approche mécanique d'évaluation de la vulnérabilité sismique des maçonneries EVSIM, Rapport final.
- Castelle, Bruno. 2004. « Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle: application à la côte aquitaine ». PhD Thesis. Bordeaux 1.
- Chaibi, Mohamed et al. 2014. « Modélisation du transport éolien dans le système plage-dune de la baie d'El Haouzia (côte atlantique marocaine) ». *Physio-Géo (Volume 8)*: 101-19.
- Chanel, Camille. 2012. « Analyse de données LiDAR aéroportées et apport des méthodes topographiques pour les expérimentations géophysiques de tomographie dans le cadre du projet TOMUVOL sur le site expérimental du dôme volcanique du Puy de Dôme ». Mémoire d'ingénieur. École Supérieure des Géomètres et Topographes.
- Chapon, J., R. Tenaud, et P. Carbonnel. 1984. « Discussion de la Question III: Conception des ouvrages de protection ». *Journées de l'hydraulique* 18(6): 51-59.

Cherel, J. 2010. « Création d'un Modèle Numérique de Terrain raster à partir de courbes de niveau (vecteur) Visualisation en 2D ». http://www.univmontp3.fr/ateliermercator/wpcontent/uploads/2010/03/MNT_PELLEE_230310.pdf (26 juin 2021).

Chikhaoui, Mohamed, Ammar Nechnech, Dashnor Hoxha, et Kacem Moussa. 2015. « Contribution to the behavior study and collapse risk of underground cavities in highly saline geological formations ». In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 6*, Springer, 393-97.

Christophe, Morin, et Simon Nicolas. 2006. « Mitochondria: a target for neuroprotective interventions in cerebral ischemia-reperfusion ». *Current pharmaceutical design* 12(6): 739-57.

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

CORSE, SDAGE RHÔNE MÉDITERRANÉE. 2005. « Connaissance et gestion de l'érosion du littoral ».

Cowell, Peter J., et Bruno G. Thom. 1994. *Morphodynamics of coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Demouche, Rabiaa. 2017. « Processus mis en jeu dans l'évolution morpho-dynamique de la Baie de Zemmouri (Modélisation et observations hydrodynamiques et sédimentaires). » : 148.

Djouder, Fahem, et Makhoul Boutiba. 2017. « Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria ». *Arabian Journal of Geosciences* 10(14): 299.

Fletcher, C. H., B. M. Richmond, G. M. Barnes, et T. A. Schroeder. 1995. « Marine flooding on the coast of Kaua'i during Hurricane Iniki: hindcasting inundation components and delineating washover ». *Journal of Coastal Research*: 188-204.

Folland, C. Ka, T. R. Karl, et K. Ya Vinnikov. 1990. « Observed climate variations and change ». *Climate change: the IPCC scientific assessment* 195: 238.

GIEC, Pauvreté. 2001. « changements climatiques: Rapport sur Réduire la vulnérabilité des populations pauvres par l'adaptation aux changements climatiques ». Berlin Media Company, Allemagne.

Groupe Intergouvernemental, D. 2007a. 'Experts Sur L'Évolution Du Climat (GIEC)(2007).

Guilcher, André. 1954. *Morphologie littorale et sous-marine*. FeniXX.

Guilyardi, Eric et al. 2019. « Rapport spécial du GIEC" Réchauffement à 1, 5° C": Résumé à destination des enseignants ».

Helali, Faiza, et Asma Moussaoui. 2016. « Contribution à l'inventaire des coléoptères inféodés au chêne vert (*Quercus ilex*L.) au niveau de la chênaie de Bordj Zemoura (Wilaya de Bordj Bou Arreridj) ». Diplôme de Master. Université Mohamed El Bachir EL Ibrahim B.B.A.

<https://dspace.univ-bba.dz/bitstream/handle/123456789/85/M63.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
(26 juin 2021).

Hoozemans, F. M. J., M. Marchand, et H. A. Pennekamp. 1993. « Sea level rise: A global vulnerability assessment vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale ». H1588.

Hourcade, J.-C., et Jean Jouzel. 1996. « Changement climatique, du diagnostic aux enjeux économiques. Les leçons du deuxième rapport du GIEC ». *Revue de l'énergie* (482).

del Jesus, Manuel, Javier L. Lara, et Inigo J. Losada. 2012. « Three-dimensional interaction of waves and porous coastal structures: Part I: Numerical model formulation ». *Coastal Engineering* 64: 57-72.

Kermani, Saci et al. 2016. « Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast (East Algeria) ». *Ocean & coastal management* 132: 46-58.

Khoudir, Mezouar, Boukhemacha Mohamed Amine, Romeo Ciortan, et George Paduraru. 2009. « Coastal Dynamics and Coastline Management in Mamaia North-Navodari (Romania) ». « Ovidius » *University Annals Constantza. Series Civil Engineering* 1(11): 43.

Kumar, V. Sathish et al. 2008. « Assessment of storm surge disaster potential for the Andaman Islands ». *Journal of Coastal Research* (24): 171-77.

Laassilia, et Oussama. 2013. *Approche multidisciplinaire de suivi de la dynamique marine du littoral de Mohammédia. Marrakech: l'Université de Cadi Ayyad. Mémoire de fin de stage. Sciences et Techniques Eau et Environnement.*

Larid, M. 2011. « Cours d'aménagement du littoral I .2éd ». Dely Brahim, ENSSMAL.

Larras, Jean. 1979. *36 Physique de la houle et des lames*. Eyrolles.

Lemos, Clara et al. 2018. « Equilibrium modeling of the beach profile on a macrotidal embayed low tide terrace beach ». *Ocean Dynamics* 68(9): 1207-20.

Mallet, C., et C. Michot. 2012. *Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte*. BRGM/RP-60616-FR.

Messaoud Nacer, Nasreddine. 1987. « Hydrogéologie et pollution des eaux: exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie) ». PhD Thesis. Grenoble 1.

Mezouar. 2018. « Cours d'hydrodynamique ». Dely Brahim, ENSSMAL.

Nadir, Mohammed. 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 ». : 140.

Nouri, M, et R Yahia Meddah. 2017. « Combinaison des modèles numériques et des images satellites pour la détermination des courants côtiers ». *Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement du littoral*. ENSSMAL.

OMM. 2005. Le climat et la dégradation des sols. Genève: Organisation météorologique mondiale.

Ouzidad et Merrouche. 2019.

Paskoff, Roland. 2010. Les littoraux: impact des aménagements sur leur évolution. Armand Colin.

Paskoff, Roland, et Pol Troussset. 1992. « L'ancienne baie d'Utique: du témoignage des textes à celui des images satellitaires ». Mappemonde 1: 30-34.

Planton, P. 2012. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes méditerranéenne. Paris: Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. Rapport d'activité.

Ramade. 1984. « Note de lecture : Ramade, F., éléments d'écologie : écologie fondamentale- fdi:17467- Horizon ». <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:17467> (19 juin 2021).

Salem Cherif,Daghabdj. 2015. « ménagement et protection du rivage de Jijel ». ENSSMAL, Alger. Mémoire d'ingénieur.

Seffah, Djazia, et Amira TALAA. 2017. « EFFET DE L'URBANISATION SUR L'EVOLUTION DES COTES -CAS DE LA BAIE DE CHENOUA- ».

Sekkal, Rached. 1986. « Hydrologie de la nappe de la Mitidja (Algérie): étude hydrodynamique des champs captants de la ville d'Alger ». PhD Thesis. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.

Stépanian, Alexis. 2002. « Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres: Omaha beach (Normandie) ». PhD Thesis. Université de Caen.

Suanez, Serge. 2009. « La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation. Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne ». PhD Thesis. Université de Caen.

Suanez, Serge, Bernard Fichaut, et Lénaïg Sparfel. 2007. « Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne) ». Géomorphologie: relief, processus, environnement 13(4): 319-34.

Tabta, Nadjiba, et Manel TAKKA. 2013. « Influence des facteurs du milieu sur la production de figues de quelques zones de la région de Bejaïa ». <http://www.univ-bejaia.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/6739/Influence%20des%20facteurs%20du%20milieu%20sur%20la%20production%20de%20figues%20de%20quelques%20zones%20de%20la%20r%C3%A9gion%20de%20Beja%C3%AFa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (11 juillet 2021).

Viguiier, Jacques. 1982. Modèles en hydraulique maritime. Ed. Techniques Ingénieur.

Wright, Lynn D., et Andrew D. Short. 1984. « Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis ». Marine geology 56(1-4): 93-118.

Yelles-Chaouche, A. K. et al. 2001. « Chronologie de l'ouverture du bassin des Ksour (Atlas Saharien, Algérie) au début du Mésozoïque ». Bulletin de la Société géologique de France 172(3): 285-93.

Van Ypersele, Jean-Pascal, et Bruna Gaino. 2021. « Chapitre 3. Comment le GIEC gère-t-il les incertitudes scientifiques ? Chapitre 3. Comment le GIEC gère-t-il les incertitudes scientifiques ? ».

ANNEXES

Annexe 1 : ArcGIS

ArcGIS est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. Le logiciel Arc GIS 10.4 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

- ArcCatalog : Est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi que leur exploration.
- ArcMap : Est l'application fondamentale du logiciel Arc GIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.
- ArcToolbox : 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).

Annexe 2 : DGPS

La technique DGPS est une méthode destinée à améliorer la performance de positionnement ou de synchronisation du GPS en utilisant une ou plusieurs stations de référence à des emplacements connus, chacune équipée d'au moins un récepteur GPS (BOUKHEDICHE, 2017).

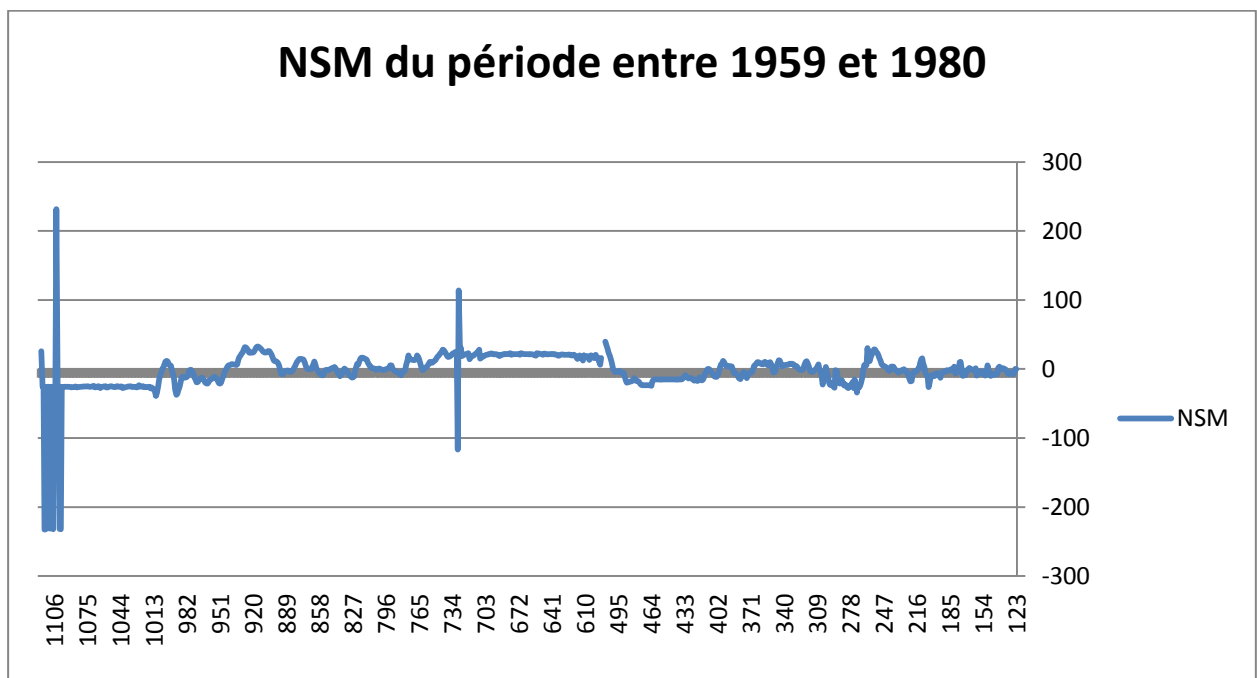
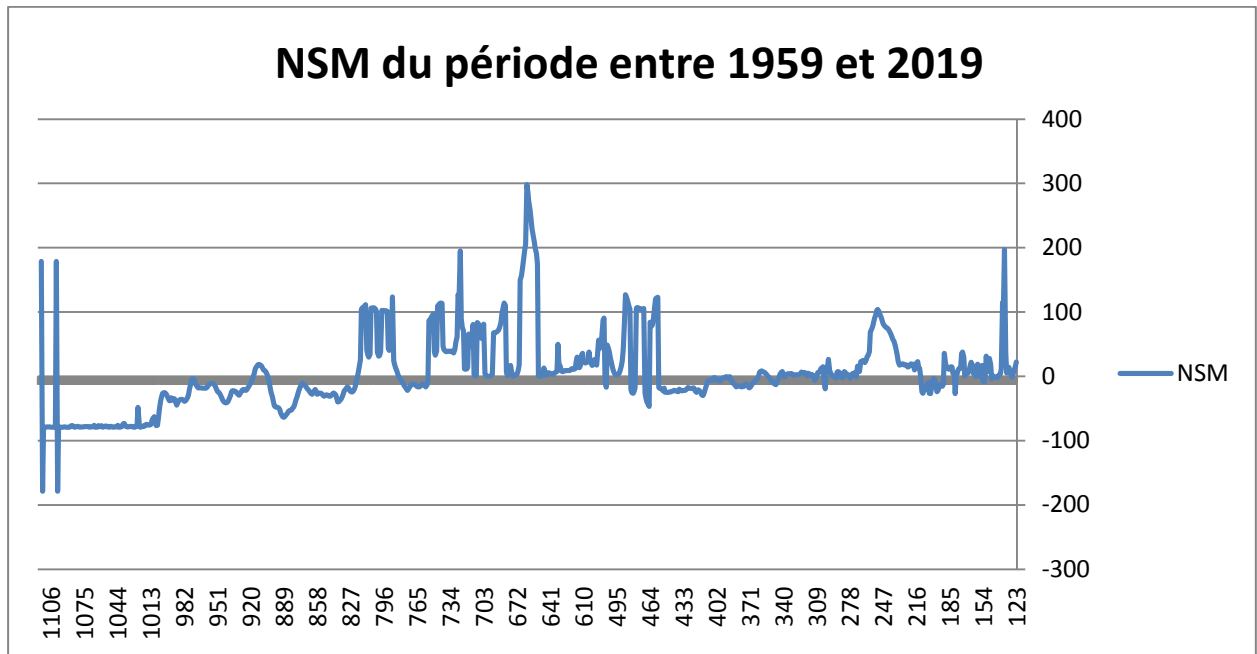
LES PRINCIPALES COMPOSANTES D'UN DGPS :

Le système complet d'un DGPS est constitué de :

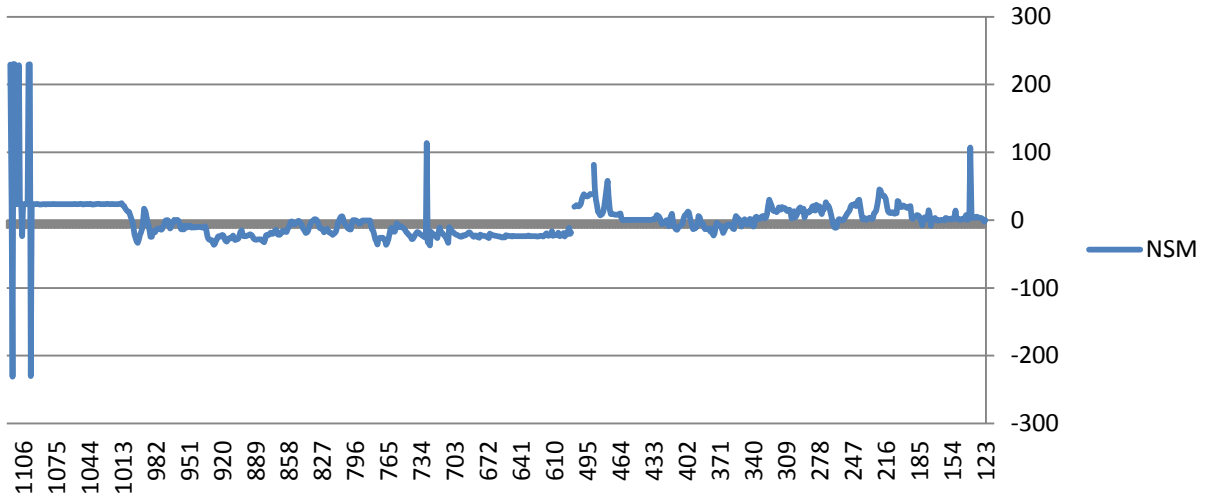
- Un récepteur fixe « la base » ;
- Un récepteur mobile « Rover » comprenant le contrôleur ou carnet de terrain. Et la possibilité d'avoir aussi un répéteur radio qui permet de relayer le signal radio de la station de base. Il est utilisé lorsque la distance entre la base et le mobile est supérieur à la portée radio de la base, soit environ 10km ;
- Un système radio reliant les deux récepteurs via Bluetooth.

Chaque levé génère un fichier de données dans la mémoire du GPS et/ou du carnet de terrain. Ces fichiers sont sauvegardés après les mesures (MALLET et MICHOT, 2012).

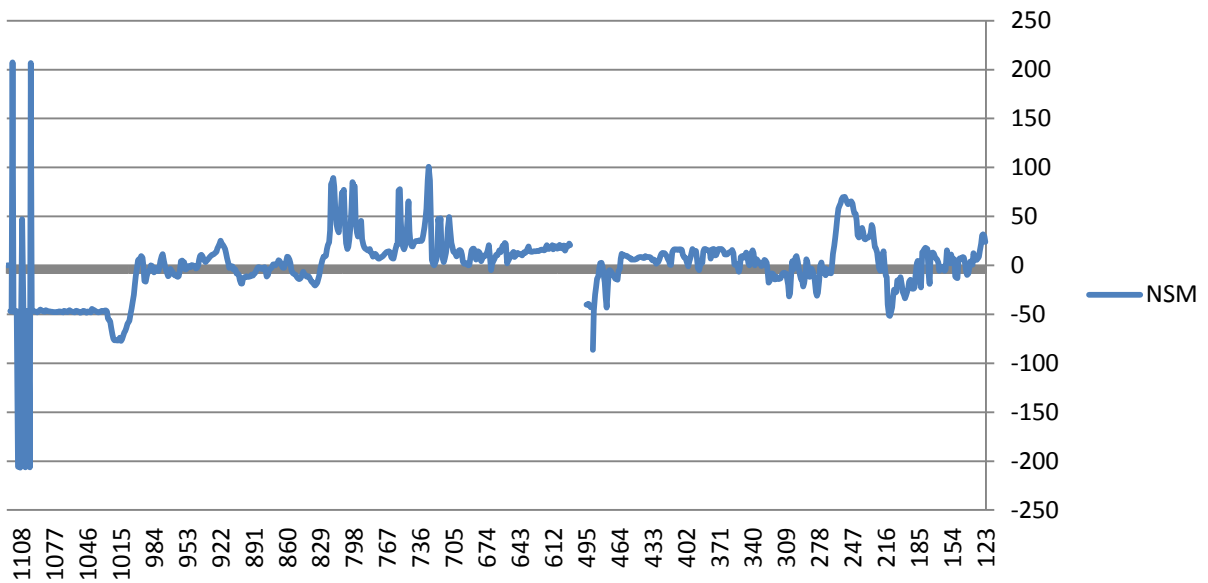
Annexe 3 : Evolution du trait de côte



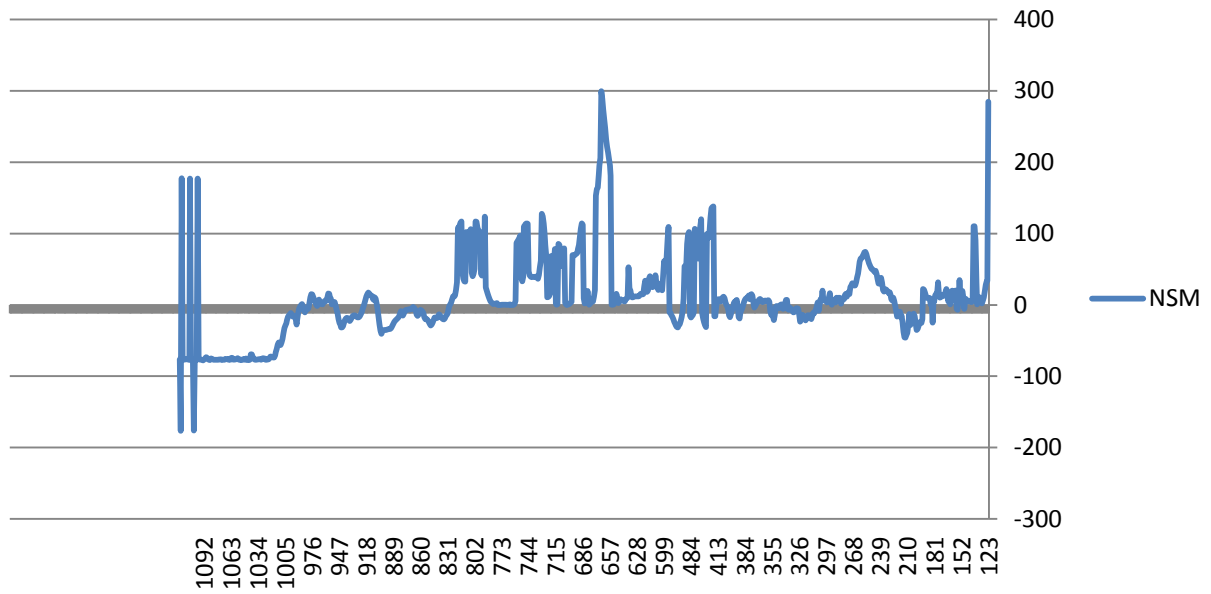
NSM du période entre 1980 et 1999



NSM du période entre 1999 et 2017



NSM du période entre 1999 et 2019



Résumé

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

De 1959 jusqu'à 2019, la zone ouest d'Alger a connu une forte dégradation dont 50 % de ces plages sont perdues par érosion avec un taux de recul moyen de l'ordre de -1 m/an, cela est expliqué par la conjonction des facteurs naturels (climat des houles) et/ou anthropiques (développement de tourisme balnéaire, industrie, extension du tissu urbain...).

Les cartes d'occupation de sol submergées élaborées révèlent à un grand risque par rapport à la submersion marine. L'estimation des terres en risque à long terme incite de maintenir des mesures d'adaptation pour minimiser les dégâts provisionnés dans une période centennale.

Mots clés : Changement climatique, submersion marine, occupation de sol submergée, adaptation, vulnérabilité, période centennale.

Summary

Starting from the postulate that climate change and the consequent Mediterranean Sea level rise are now the most worrying phenomena for the scientific community, several studies have therefore attempted to contribute to the efforts made for the assessment of vulnerability and the adaptation of Algerian coastal areas to these changes.

From 1959 to 2019, the western area of Algiers experienced a strong degradation of which 50% of these beaches are lost by erosion with an average rate of -1 m / year, this is to explain by the combination of natural (swell climate) and / or anthropogenic factors (development of seaside tourism, industry, extension of the urban fabric, etc.).

The submerged land use maps developed reveal a high risk compared to marine submergence. The estimation of land at longterm risk encourages the maintenance of adaptation measures to minimize damage provisioned over a 100-year period

Keywords: Climate change, marine submersion, submerged land use, adaptation,

Vulnerability, centennial period.

ملخص

انطلاقاً من الافتراض بأن تغير المناخ وما يترتب عليه من ارتفاع في مستوى البحر الأبيض المتوسط هما الآن أكثر الظواهر إثارة للقلق بالنسبة للمجتمع العلمي، لذلك حاولت العديد من الدراسات المساهمة في الجهود المبذولة لتقييم قابلية التأثر والتكيف الجزائري. المناطق الساحلية لهذه التغييرات.

من عام 1959 حتى عام 2019، شهدت المنطقة الغربية للجزائر العاصمة تدهوراً قوياً حيث فقدت 50٪ من هذه الشواطئ بسبب التعرية بمتوسط معدل تراجع قدره -1 م / سنة، ويفسر ذلك بمزيج من الطبيعة (الطبيعية). تضخم المناخ) و / أو (العوامل البشرية) (تطوير السياحة الساحلية، والصناعة، وتوسيع النسيج الحضري، وما إلى ذلك

تُظهر خرائط الغطاء الأرضي المغمور المطورة خطراً كبيراً فيما يتعلق بالغمر البحري. يشجع تقدير الأرض المعرضة للخطر على المدى الطويل على الحفاظ على تدابير التكيف لتقليل الضرر المقدم في فترة 100 عام. الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، الغمر البحري، استخدام الأراضي المغمورة، التكيف، الضعف، فترة المئوية