

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة 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 : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur
la frange côtière de Bordj El Kiffan**

Présenté par :

- **KADRI Ismahane**

Soutenu le 13/07 /17 devant le jury suivant :

M^{me}. BACHARI HOUMA F.	Professeur	(ENSSMAL)	Présidente
M. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M. AOUDJ C.	Cadre	(MICLAT)	Co-promoteur
M. OTMANI H.	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
M. BACHOUCHE S.	Maître de recherche	(CNRDPA)	Examineur

Promotion : 2017

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة 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 DIPLOME
D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur
la frange côtière de Bordj El Kiffan**

Présenté par :

- KADRI Ismahane

Soutenu le 13/07 /17 devant le jury suivant :

M ^{me} . BACHARI HOUMA F.	Professeur	(ENSSMAL)	Présidente
M. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M. AOUDJ C.	Cadre	(MICLAT)	Co-promoteur
M. OTMANI H.	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
M. BACHOUCHE S.	Maître de recherche	(CNRDPA)	Examineur

Promotion : 2017

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère N, à mes frères Amine, Aboubakr, Ali, Youcef et Aymen.

Dédicaces à toute personne chère à mon cœur à laquelle j'éprouve de profonds sentiments, de respect et d'amour.

A la mémoire de mon Papa, j'aurai aimé, que tu sois présent aujourd'hui.

**KADRI
Ismahane**

REMERCIEMENTS

12 mois,

D'impatience et d'incertitudes, de contradictions, d'obstacles, de la complicité, de satisfactions, de dur travail, d'apprentissage et même de malentendus ont suivi la réalisation de ce modeste travail étape par étape.

Je remercie **ALLAH** en premier lieu, de m'avoir procuré santé, volonté et patience pour pouvoir réaliser ce document. Ensuite je remercie infiniment ma chère mère de m'avoir toujours encouragé et de veiller à ma réussite et mon confort tout le long de mon cursus universitaire.

À cet effet, j'exprime mes sincères remerciements à **Mme. BACHARI** d'avoir présidé le jury de notre soutenance, ainsi que **M. OTMANI H.**, d'abord de nous avoir transmis son savoir, pour les conseils qu'il nous a donné et d'avoir accepté d'examiner ce travail, je remercie aussi **M. BACHOUCHE S.**, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à mon Promoteur **BELKESSA R.**, Professeur à l'ENSSMAL, de m'avoir, en premier lieu, transmis son savoir, ensuite d'avoir accepté de m'encadrer et d'avoir suivi la progression de ce travail par ses suggestions et ses critiques constructives.

Je suis très reconnaissante envers mon Co-promoteur **AOUDJ C.**, cadre au Ministère d'Aménagement du Territoire, Tourisme et Artisanat (MICLAT) et chercheur à l'ENSSMAL d'avoir proposé ce thème ci intéressant, en plus de son orientation, les efforts qu'il a fait pour m'accompagner et me faciliter le travail lors de mes sorties sur terrain. Je lui adresse aussi, mes remerciements d'être patient et généreux, durant la rédaction de ce mémoire, et les conseils qu'il m'a donné pour arriver à finir ce document dans les normes.

Je remercie particulièrement Mlle **BOUGHELLA M.** ingénieur chef de projet au laboratoire d'études maritimes pour son aide et l'attention qu'elle a porté durant mon stage de projet de fin d'étude, je remercie également Mme **BELKESSA M.** technicienne supérieure au LEM pour son aide et ses orientations.

Je tiens également à remercier M. **AROUA**, chercheur à l'ENSSMAL de nous avoir permis de faire la sortie en mer en parallèle avec ses sorties, de son aide et la sympathie qu'il a montré tout le long de la journée.

Enfin, mes vifs remerciements, à toutes les personnes qui m'ont encouragé et aidé de près ou de loin, même par leurs critiques.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES	i
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES TABLEAUX	xvi
LISTE DES PHOTOS	xviii
LISTE DES ACRONYMES	xx
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

Chapitre I: Généralités

1. Le système littoral.....	5
1.1. Définition.....	5
1.2. Origine et perte de sédiments	5
1.3. Les courants responsables du transport sédimentaire	6
2. Les ouvrages de protection : caractéristiques et fonctionnement	6
3.La modélisation numérique	11
3.1. Définition	11
3.2. Les étapes de la modélisation numérique	11
3.2.1. Mise en équations du processus	11
3.2.2. Choix de la méthode numérique	11
3.2.3. Résolution numérique	11
3.2.4. Validation du modèle.....	11

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

•Introduction.....	14
1.Situation géographique de la zone d'étude	14
2.Milieu physique	15
2.1. Contexte météorologique	15
2.1.1. Le vent	15
2.1.2. La température	15
2.1.3. Les précipitations	16

2.2.	Contexte océanographique	17
2.2.1.	Les courants	17
2.2.2.	La marée et la variation du niveau de la mer	18
2.2.3.	La houle	18
2.3.	Contexte hydrologique	20
2.4.	Contexte sédimentologique	20
2.5.	Contexte géologique	21
2.6.	Contexte géomorphologique	22
3.	Milieu socioéconomique	23
3.1.	Industrie	23
3.2.	Agriculture	23
3.3.	Population	23
3.4.	Tourisme	23
4.	Vulnérabilité à l'érosion et protection de la zone d'étude	24
4.1.	Facteurs d'érosion de la zone	24
4.1.1.	L'urbanisation	24
4.1.2.	Extraction abusive d'agrégats	24
4.1.3.	Construction des barrages en amont des oueds	24
4.2.	Protection de la zone d'étude	24
4.2.1.	Description des ouvrages de protection	25
•	Conclusion	25

Chapitre III: Suivi et analyse granulométrique de la partie aérienne de la zone d'étude

•	Introduction	28
1.	Sorties sur terrain	28
1.1.	Répartition des échantillons	28
1.2.	Conditions climatiques des jours de sorties	29
1.3.	Matériels de prélèvement	29
2.	Études au laboratoire	29
2.1.	Analyse granulométrique	29
2.2.	Principe de la méthode	30
2.3.	Matériels utilisés	30

2.4. Mode opératoire	30
3. Les paramètres et indices granulométriques	31
3.1. Paramètres de position	31
3.1.1. Le mode granulométrique (M_0)	31
3.1.2. Les quantiles	31
3.2. Les indices granulométriques	32
3.2.1. L'indice de dispersion ou de classement (S_o , Trasca)	32
3.2.2. Le coefficient d'asymétrie (S_k , Trasca) :	32
4. Résultats et discussion	32
4.1. Analyse de la fraction fine	32
4.2. Analyse de la fraction grossière	34
4.2.1. Les courbes granulométriques	34
4.2.2. Cartes des quantiles et interprétation	36
4.2.3. Analyse modale	41
4.2.4. Indices granulométriques	45
• Conclusion	46

Chapitre IV: Évolution de la cinématique du trait de côte de la zone de Bordj EL Kiffan

• Introduction	48
1. Outils et procédure	48
1.1. Procédure de l'analyse de l'évolution du trait de côte	48
1.2. Données utilisées	48
1.3. Orthorectification et géoréférencement des photographies aériennes	49
1.4. Digitalisation des différents traits de côte	52
1.5. Calcul des erreurs induites par le traitement des données des traits de côte	54
1.6. Utilisation de l'extension DSAS pour l'analyse de l'évolution du trait de côte	55
1.6.1. Présentation de DSAS	56
1.6.2. Méthodologie d'analyse des traits de côte à l'aide de DSAS	57
1.7. Analyse des tendances d'érosion et de dépôts	59
2. Résultats et discussion	59
2.1. Évolution des linéaires côtiers entre 1980 et 2003	59
2.2. Évolution des linéaires côtiers entre 2003 et 2007	60

2.3. Évolution des linéaires côtiers entre 2007 et 2012	61
2.4. Évolution entre 2012 et 2017	62
2.5. Évolution globale 1980 et 2017	62
•Conclusion du chapitre	65

Chapitre v: Évolution de la dynamique des petits fonds aux abords de la frange côtière de Bordj El Kiffan

•Introduction.....	67
1.Étude bathymétrique	67
1.1. La bathymétrie de l'avant-projet en 1921	67
1.2. Réalisation d'un levé bathymétrique.....	67
1.3. Conception des cartes bathymétriques et des modèles numériques de terrain	68
1.4. Réalisation des profils bathymétriques	70
2.Étude sédimentologique.....	74
2.1. Répartition spatiale des dépôts sédimentaires.....	74
2.2. Résultats de l'analyse sédimentologique	75
2.2.1. La fraction fine	75
2.2.2. La médiane.....	75
2.2.3. Les quartiles	76
3.Simulation de la réfraction de la houle au niveau de la zone de Bordj El Kiffan	79
3.1. Méthodologie de la simulation de la réfraction de la houle, des champs de courant et du transport sédimentaire à l'aide du logiciel Mike 21	79
3.1.1. Présentation des modules du logiciel Mike 21	79
3.1.2. Principales étapes de la simulation par le progiciel Mike 21	79
3.2. Résultats de la simulation de la réfraction de la houle dans la zone d'étude	81
3.2.1. Réfraction de la houle de direction Nord N360°	82
3.2.2. Réfraction de la houle de direction Est 20°	82
3.2.3. Réfraction de la houle de direction Ouest 320°	83
4.Simulation des champs de courant et du transport sédimentaire au niveau de la zone de Bordj El Kiffan	84
4.1.1. Champs de courants de la houle de direction Nord N360°.....	84
4.1.2. Champs de courants de la houle de direction Est 20°.....	85
4.1.3. Champs de courants de la houle de direction Ouest 320°	87

•Conclusion 88

Chapitre VI: Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj EL Kiffan

•Introduction..... 90
1.Impacts morphologiques et paysagers 90
2.Impacts sur la dynamique sédimentaire..... 91
3.Impacts sur l'évolution de la ligne de rivage 91
4.Impacts sur la morphologie des petits fonds 93
•Conclusion 93

BIBLIOGRAPHIE..... 98

ANNEXES 102

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Illustration des sources et des pertes des sédiments, modifiée (UQAR, et al., 2008)	5
Figure I.2: Schéma des courants induits par la houle (CASTELLE, 2004)	6
Figure I.3: Schéma illustrant les caractéristiques et le fonctionnement des brises-lames, modifié	7
Figure I.4: Schéma illustrant les caractéristiques et le fonctionnement des épis, modifié	7
Figure I.5: Illustration du fonctionnement des murs (BRGM, 2012)	8
Figure I.6: Illustration de la méthodologie de recharge artificiel	8
Figure I.7: Illustration de l'implantation d'algues artificielles modifiée (IFREMER, 1993)	9
Figure I.8: Illustration du by-passing modifiée (PASKOFF, et al., 2007)	9
Figure I.9: Illustration du principe de drainage des plages modifiée (Egis Eau,IAU-IDF; BRGM, 2013)	10
Figure II.1: Situation géographique du site d'étude	14
Figure II.2: Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)	15
Figure II.3 : Variation des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016), (ONM, 2017)	16
Figure II.4: Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM, 2017)	16
Figure II.5: Roses de houles trimestrielles et annuelles au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)	18
Figure II.6: Nature des fonds de la baie d'Alger modifiée ((MAOUCHE, 1987)in (TAIEB ERRAHMANI, 2009))	21
Figure II.7: Extrait de la carte géologiques 1/50000 de la partie Est d'Alger (BOUKHROUF, et al., 2012) in (JICA, et al., 2006)	22
Figure II.8: Carte bathymétrique de la baie d'Alger établi par le logiciel ArcGis 10.2 à partir de la digitalisation de la carte du SHOM n°1207 intitulée « Mer Méditerranée Côte d'Algérie De Tipaza à Ras Matifou - échelle : 1/20 000»	22
Figure II.9: Schéma d'aménagement de la plage artificielle Sirène I (LEM, 2012)	25
Figure III.1: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan	28
Figure III.2: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage I)	33
Figure III.3: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage II)	33
Figure III.4: Histogramme unimodal	34
Figure III.5: Courbe unimodale	34
Figure III.6: Courbe unimodale	35
Figure III.7:Histogramme unimodal	35
Figure III.8: Histogramme bimodal	35
Figure III.9: Courbe bimodale	35
Figure III.11: Courbe bimodale	35
Figure III.10:Histogramme bimodal	35
Figure III.12: Courbe plurimodale	36
Figure III.13:Histogramme plurimodal	36

Figure III.14: Courbe plurimodale.....	36
Figure III.15: Histogramme plurimodal	36
Figure III.16: Répartition de la médiane dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)	37
Figure III.17: Répartition de la médiane dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)	37
Figure III.18: Répartition du quartile inférieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)	38
Figure III.19: Répartition du quartile inférieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)	39
Figure III.20: Répartition du quartile supérieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)	40
Figure III.21: Répartition du quartile supérieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)	40
Figure III.22: Fréquence d'apparition des modes (Échantillonnage 2).....	41
Figure III.23: Fréquence d'apparition des modes (Échantillonnage 1).....	41
Figure III.24: Répartition du mode 200 μ m sur la plage aérienne de la zone de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1).....	42
Figure III.25: Répartition du mode 200 μ m sur la plage aérienne de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2).....	42
Figure III.26: Répartition du mode 315 μ m dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1).....	43
Figure III.27 : Répartition du mode 315 μ m dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2).....	43
Figure III.28: Répartition du mode 3150 μ m dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1).....	44
Figure III.29: Répartition du mode 3150 μ m dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2).....	44
Figure III.31: Relation entre S_o et Q_{50} (Échantillonnage 1).....	45
Figure III.30: Relation entre S_o et Q_{50} (Échantillonnage 2).....	45
Figure III.33: Relation entre S_o et Q_{50} (Échantillonnage 2).....	46
Figure III.32: Relation entre S_o et Q_{50} (Échantillonnage 1).....	46
Figure IV.1: Les amers choisis pour géoréférencer les photographies aériennes	49
Figure IV.2: Les photos de 2007 importées dans ArcMap avant correction	50
Figure IV.3: Exemple de rectification de photo de 2007 par la transformation 'Spline'	51
Figure IV.4: Exemple de rectification de photo de 2007 par la transformation du 3ème ordre	51
Figure IV.5: Exemple de points de contrôle pour l'Orthorectification de la photo de 2007 et l'estimation de l'erreur résiduelle RMS	51
Figure IV.6: Exemple de rectification et de géoréférencement des photos de 2007	52
Figure IV.7: Numérisation et lissage des traits de côte	53
Figure IV.8: Levé GPS du trait de côte de 2017	54
Figure IV.9: Schéma du fonctionnement de l'extension DSAS	57
Figure IV.10: Application de l'option Buffer pour la réalisation de la ligne de base	58

Figure IV.11: Génération des transects dans la zone d'étude à l'aide de l'extension DSAS ..	59
Figure IV.13: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2003 dans la zone de Bordj El Kiffan.....	59
Figure IV.14: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj EL Kiffan.....	60
Figure IV.15: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2007 et 2012 dans la zone de Bordj EL Kiffan.....	61
Figure IV.16: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2012 et 2017 dans la zone de Bordj El Kiffan.....	62
Figure IV.17: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2017	63
Figure IV.18: Courbe des vitesses d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2017	63
Figure IV.19 : Histogrammes des évolutions des surfaces des différentes périodes analysées	64
Figure V.1: Carte bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan, 1921	69
Figure V.2: Modèle numérique de terrain de la zone de Bordj El Kiffan, 1921	69
Figure V.3: Carte bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan, 2017	70
Figure V.4: Modèle numérique de terrain de la zone de Bordj El Kiffan, 2017	70
Figure V.5: Carte de la superposition des bathymétrie de 1921 et de 2017 et localisation des profils bathymétriques dans la plage de Bordj El Kiffan	71
Figure V.6: Profil bathymétrique n°1	71
Figure V.7: Profil bathymétrique n°2	72
Figure V.8: Profil bathymétrique n°3	72
Figure V.9: Profil bathymétrique n°4	72
Figure V.10: Profil bathymétrique n°5	73
Figure V.11: Profil bathymétrique n°6	73
Figure V.12: Localisation spatiale des stations de prélèvement	74
Figure V.13: Répartition des pélites dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan.....	75
Figure V.14: Répartition de la médiane dans la plage sous-marine de la zone de Bordj El Kiffan.....	75
Figure V.15: Répartition du quartile inférieur dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	76
Figure V.16: Répartition du quartile supérieur dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	76
Figure V.17: Relation entre S_o et Q_{50} dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	77
Figure V.18: Relation entre S_k et Q_{50} dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	77
Figure V.19: Carte du facteur hydrodynamique dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	78
Figure V.20:Maillage du domaine de travail	80
Figure V.21: Réglage du modèle couplé « Coupled Model »	81
Figure V.22: Carte de la réfraction de la houle de direction N 360°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.67m$	82
Figure V.23: Carte de la réfraction de la houle de direction N 20°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.56m$	83
Figure V.24: Carte de la réfraction de la houle de direction N 320°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.64m$	83
Figure V.25 : Champs de courant induits par la houle du secteur N360, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	84

Figure V.26: Capacité de transport solide par la houle du secteur N360, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	85
Figure V.27: Champs de courant induits par la houle du secteur N20, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	86
Figure V.28: Capacité de transport solide par la houle du secteur N20, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	86
Figure V.29: Champs de courant induits par la houle du secteur N320, $T_p=8s$ et $H_s=2.64m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	87
Figure V.30: Capacité de transport solide par la houle du secteur N320, $T_p=8s$ et $H_s=2.64m$ dans la zone de Bordj El Kiffan.....	87
Figure VI.1 : Différentiel bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan de 1921 à 2017	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Les différents types d'ouvrages de protection, leurs caractéristiques et leur fonctionnement	7
Tableau II.1 : Fréquences mensuelles de la houle du large par direction (LEM, 2009).....	19
Tableau II.2: Hauteurs des houles extrêmes par secteur de provenance au large (LEM, 2009)	19
Tableau II.3: Caractéristiques de Oued EL Harrach et Oued El Hamiz (ANRH, 2014)	20
Tableau III.1: Conditions climatiques lors des sorties.....	29
Tableau III.2 : Définitions granulométriques pour les sables et les graviers (EHRHOLD, 1994).....	29
Tableau IV.1 : Inventaire des données utilisées pour déterminer l'évolution du trait de côte ..	49
Tableau IV.2: Estimation des erreurs induites par le traitement des données des traits de côte	55
Tableau IV.3: La barre d'outils de l'extension DSAS	56
Tableau IV.4 : Bilan de l'évolution des surface de la zone de Bordj EL Kiffan de 1980 à 2017	64
Tableau V.1: Caractéristiques de la houle retenues pour le module SW.....	80
Tableau V.2: Résultats du calcul de la réfraction de la houle dans la zone de Bordj El Kiffan	81
Tableau V.3: Résultats de la simulation des courants de houle et de la capacité de transport solide dans la zone de Bordj El Kiffan	84

LISTE DES PHOTOS

Photo III.1 : Matériels de prélèvement	29
Photo III.2: Matériel utilisé lors des analyses granulométriques.....	30
Photo V.1 : GPS et Échosondeur de type Furuno de l'embarcation Baba Aroudj	68
Photo V.2: Prélèvement des échantillons à l'aide de la benne Van Veen.....	74
Photo VI.1: Cordons d'enrochements naturels au niveau de la zone de Bordj El Kiffan	90
Photo VI.2: Les ouvrages mixtes de protection de la zone de Bordj El Kiffan.....	91
Photo VI.3: Photographie aérienne de Bordj El Kiffan en 1980, échelle 1/10000 (INCT, 2017).....	92
Photo VI.4: Photographie aérienne de Bordj El Kiffan en 2007, échelle 1/7000 (INCT, 2017)	92

LISTE DES ACRONYMES

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
APPL	Agence de Promotion et de Protection du Littoral
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
EPR	End Point Rate
INCT	Institut National de Cartographie et de Télédétection
LEM	Laboratoire des Études Maritimes.
LGA	Laboratoire de Géologie et d'Aménagement.
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NSM	Net Shore Line Movement
ONM	Office National de Météorologie.
RGPH	Rassemblement Général de la Population et de l'Habitat
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SSMO	Summary of Synoptic Meteorological Observation.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'occupation abusive du littoral, de la côte et leur fragilité les mènent à se trouver face au phénomène d'érosion qui conduit au recul de la ligne de côte. En effet, « si les fluctuations de la ligne de côte ont toujours existé, ce n'est que depuis l'installation massive des hommes sur les littoraux qu'importent l'érosion marine » (CLAUS-AUBY, 2003). Cela les met dans la nécessité d'être protégés.

L'anthropisation des rivages accélèrent les tendances d'évolutions ce qui mènent à d'autres interventions de l'Homme en implantant des ouvrages durs de protection qui peuvent avoir d'autres impacts et même accélérer les taux d'érosion (SAMAT, 2007).

« L'implantation d'un ouvrage sur le littoral ou une modification de la côte perturbent les conditions de déplacement ou d'équilibre naturel des matériaux. Les fonds et le rivage évoluent de façon à atteindre un état d'équilibre naturel correspondant à la nouvelle situation ». (MAQUET, 1993)

L'implantation de certains ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj el Kiffan a provoqué un déséquilibre sur cette dernière. Avec les SIG et les études sur le terrain et au laboratoire, nous avons essayé de mieux cerner ce phénomène.

De manière à traiter cette problématique, le mémoire s'organise en six (6) chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la synthèse des connaissances nécessaires pour traiter ce sujet, à savoir le fonctionnement du système littoral, les types et les caractéristiques des ouvrages de protection du littoral ainsi que le principe et les étapes de la modélisation numérique.

Le deuxième chapitre fait l'objet d'une description de notre zone d'étude, la frange côtière de Bordj El Kiffan, plus précisément les plages Sirène I, Sirène II et la plage Lido, selon différents contextes.

Le troisième chapitre porte sur la connaissance de la nature des sédiments superficiels qui constituent la zone d'étude et sa variation à une petite échelle spatio-temporelle balayant toute la partie aérienne à partir d'une analyse granulométrique des échantillons prélevés.

Le quatrième chapitre est réservé pour étudier la dynamique et évolution de la ligne de rivage dans une échelle à moyen terme, durant la période de 1980 à 2017, permettant de percevoir l'impact des ouvrages de protection qui y existent. Cette étude se base sur une analyse des variations du trait de côte sous SIG.

Le cinquième chapitre est consacré pour l'étude bathy-sédimentaire afin de décrire le relief et la morphologie des fonds marins avant et après l'implantation des ouvrages de protection, et l'établissement de la carte bathymétrique ainsi que le modèle numérique de terrain de notre zone d'étude. D'autre part, la connaissance de la qualité du sédiment de la

zone d'étude selon une analyse sédimentologique et enfin l'étude de la réfraction de la houle, des champs de courants induits par la houle et le transport sédimentaire.

Le dernier chapitre fait l'objet de la détermination des différents impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la zone de Bordj EL Kiffan à savoir les impacts morphologiques et paysagers, les impacts sur l'évolution du trait de côte, la morphologie des petit fonds ainsi que sur la dynamique sédimentaire.

CHAPITRE I:
GÉNÉRALITÉS

1. Le système littoral

1.1. Définition

« 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, et al., 2005)

1.2. Origine et perte de sédiments

Les principales sources et pertes de sédiments pour le littoral sont :

Les sources (1) : la plage elle-même qui fournit les sédiments au littoral

(2) : la dérive littorale qui apporte des sédiments des zones adjacentes

(3) : les cours d'eau qui transportent vers la côte les sédiments du continent

(4) : le vent

(5) : l'érosion de certains secteurs de côte (falaise, côtes basses, etc.)

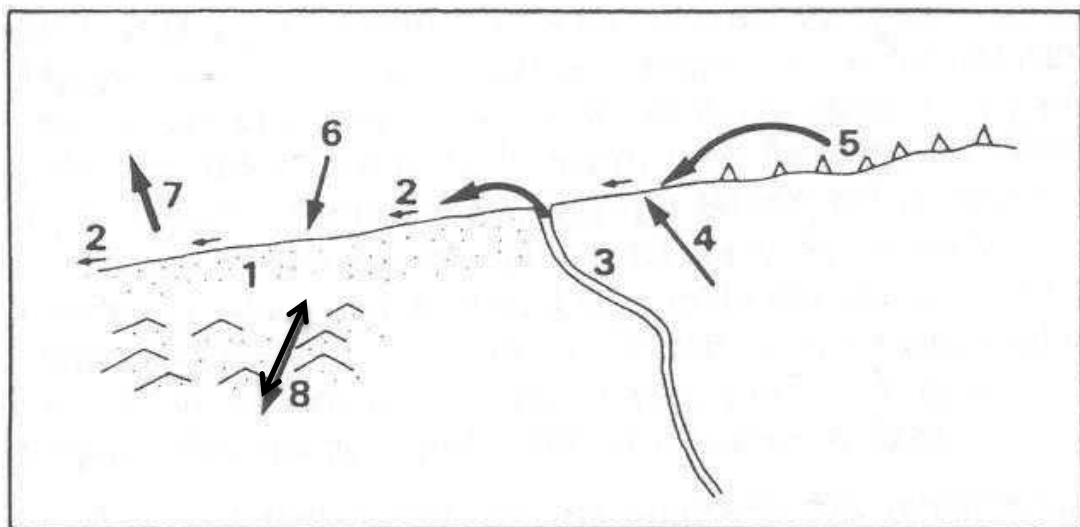
(6) : la zone intertidale et la zone marine qui apportent à la côte les sédiments déjà accumulés sous forme de bancs de sable ou de haut-fond

(8) : vers la plage par le vent

Les pertes (2) : la dérive littorale qui emporte des sédiments des zones adjacentes

(7) : vers la zone intertidale et marine par les courants d'arrachement

(8) : vers les dunes par le vent (UQAR, et al., 2008)



Figure

18)

1.3. Les courants responsables du transport sédimentaire

1.3.1. Le courant de retour

« Le courant de retour (ou "undertow"), aussi appelé courant de compensation, est présent sur toutes les côtes exposées aux houles. En milieu côtier la houle transporte de l'eau dans sa direction de propagation. Cela est particulièrement vrai dans la zone de déferlement. Le courant de retour permet donc de compenser cet apport de masse en transportant les masses d'eau vers le large. » (CASTELLE, 2004)

1.3.2. Le courant de dérive ou courant "longshore"

« Si on se place dans la direction longshore, les houles obliques vont générer un courant parallèle à la plage en déferlant. Ce courant est appelé courant de dérive, et son intensité est maximale derrière le point de déferlement. » (CASTELLE, 2004)

1.3.3. Le courant sagittal ou « rip current »

« Le courant sagittal ou courant d'arrachement, est un courant violent, intense et étroit dirigé vers le large, qui est observé sur de nombreuses plages. Il a fait l'objet de nombreuses études, particulièrement parce qu'il transporte de grandes quantités de sédiments (Cook, 1970; Inman et al., 1971). Il fait également partie d'un ensemble complexe de cellules de circulation des courants moyens, et joue un rôle essentiel dans la morphodynamique côtière » (Somu, 1972; Short, 1979b, 1992; Wright and Short, 1984 in (CASTELLE, 2004)).

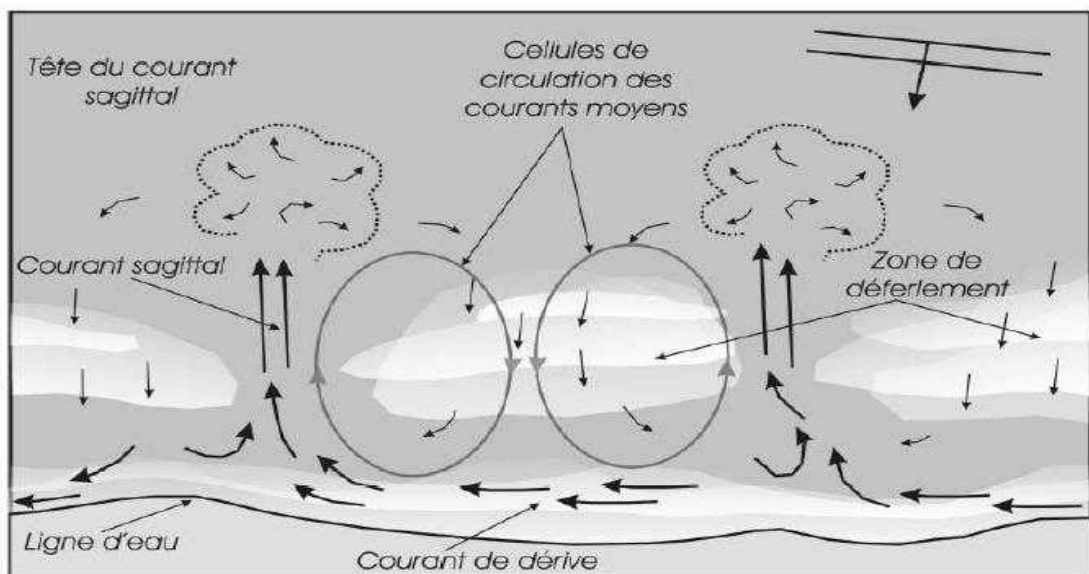


Figure I.2: Schéma des courants induits par la houle (CASTELLE, 2004)

2. Les ouvrages de protection : caractéristiques et fonctionnement

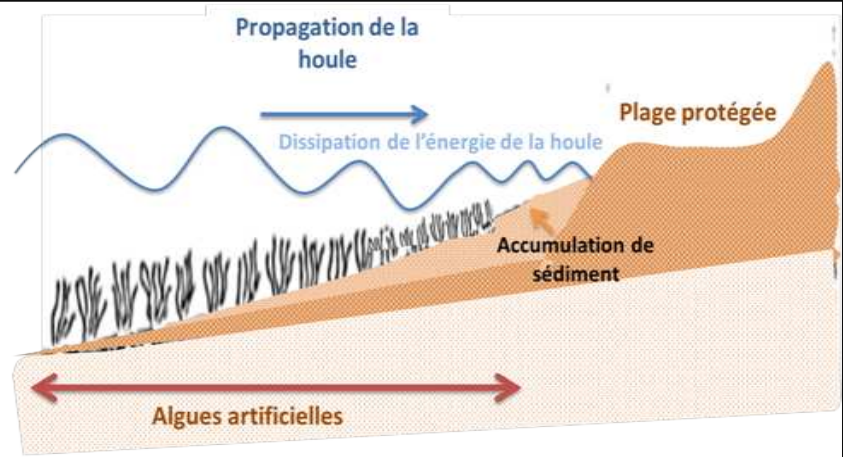
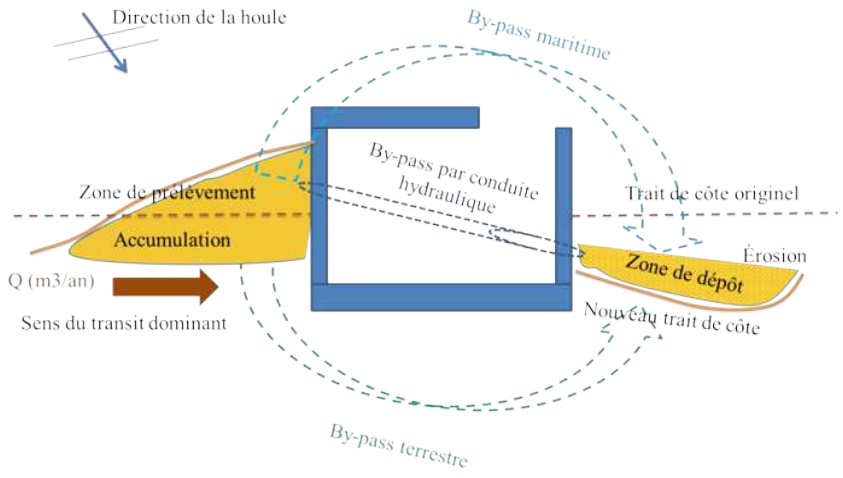
On distingue trois types de protection, synthétisés dans le Tableau I.1 :

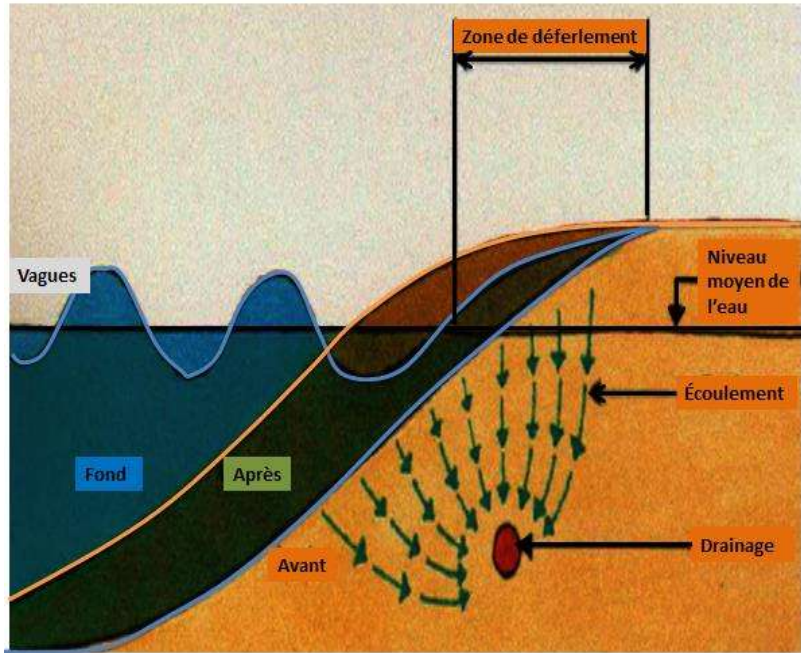
- les protections statique, on cherche à résoudre définitivement le problème ;
 - Les protections dynamiques, cherchant à s'adapter aux phénomènes dynamiques ;
 - Les procédés nouveaux : tels que le rechargement artificiel et le drainage de plage ;
- (MAQUET, 1978)

Tableau I.1: Les différents types d'ouvrages de protection, leurs caractéristiques et leur fonctionnement

		Caractéristiques	Fonctionnement	Schéma
Méthode statique (Ouvrages lourds)	Brise-lames	-Longueur l $l \geq 1,2 (lc + 0,3L)$ avec L : longueur d'onde de la houle au point considéré -Espacement e et distance à la côte lc $e < 0,83 lc + 0,5 l$ (CETMF, 1998)	-Brise l'énergie de la houle -Stoppe le départ de sédiment vers le large et engendre son accumulation en tombolo derrière l'ouvrage (IFREMER, 1993)	<p style="text-align: center;">Figure I. 3: Schéma illustrant les caractéristiques et le fonctionnement des brises-lames, modifié</p>
	Épis	-Longueur l : elle dépend de la granulométrie, la pente de la plage, -Espacement e $e=1,5 * l$ -Orientation α : elle dépend de l'incidence de la houle (MIGNIOT, 1990)	-Arrêt partiel ou total du transit sédimentaire -Accumulation en amont et érosion en aval de l'épi (IFREMER, 1993)	<p style="text-align: center;">Figure I. 4: Schéma illustrant les caractéristiques et le fonctionnement des épis, modifié</p>

	<p>Murs et cordons d'enrochements</p>	<p>-Murs : caractérisés par une pente verticale</p> <p>-Perrés: caractérisés par une pente oblique simple ou multiple (Coastal Engineering Research Center, 1984)</p>	<p>-Barrière de protection contre l'action des vagues (BRGM, 2012)</p> <p>-Fixent le trait de côte (MIOSSEC, 2004)</p>	
<p>Méthode dynamique (ouvrages doux)</p>	<p>Rechargement artificiel</p>	<p>-Granulométrie</p> <p>-Pente de la plage</p> <p>-volume d'apport pour reconstituer 1m³ de plage</p> $R = \frac{\sigma_{\phi r}}{\sigma_{\phi n}} \exp\left(-\frac{(M_{\phi n} - M_{\phi r})^2}{2(\sigma_{\phi n}^2 - \sigma_{\phi r}^2)}\right)$ <p>-$\sigma_{\phi n}$: l'écart-type du matériau naturel</p> <p>-$\sigma_{\phi r}$: l'écart-type du matériau d'apport</p> <p>-$M_{\phi n}$: la médiane du matériau naturel</p> <p>-$M_{\phi r}$: la médian du matériau d'apport</p>	<p>-Compensation du déficit sédimentaire (IFREMER, 1993)</p>	

	<p>Implantation d'algues artificielles</p>	<p>-Surface d'implantation : « <i>suffisamment large pour assurer une réduction de l'énergie des vagues</i> » -Ancrage : « <i>la fixation des algues artificielles sur les fonds nécessite un ancrage très solide ou la réalisation d'un matelas tressé sur lequel les algues seront fixées</i> » (MIGNIOT, 1990)</p>	<p>-Freinage des vagues et protection des fonds -Piégeage des sédiments (IFREMER, 1993)</p>	 <p>Figure I.7: Illustration de l'implantation d'algues artificielles modifiée (IFREMER, 1993)</p>
<p>Procédés nouveaux</p>	<p>By-passing</p>	<p>-Mise en œuvre d'un système de succion du mélange d'eau et de sédiment - « Moyens nautiques, dragues et barges pour le prélèvement, transport et dépôt des sédiments » (PASKOFF, et al., 2007)</p>	<p>-Restauration d'un transit interrompu par un ouvrage (IFREMER, 1993)</p>	 <p>Figure I.8: Illustration du by-passing modifiée (PASKOFF, et al., 2007)</p>

	<p>Drainage</p>	<p>-Canalisation de drainage -Station de pompage (Egis Eau;IAU-IDF; BRGM, 2013)</p>	<p>-Favorise la percolation des eaux par un système de drainage, les sables sont alors moins mobiles (IFREMER, 1993) -Freiner les processus d'érosion et la restitution d'une plage après tempête (Egis Eau;IAU-IDF; BRGM, 2013)</p>	 <p>Figure I.9: Illustration du principe de drainage des plages modifiée (Egis Eau;IAU-IDF; BRGM, 2013)</p>
--	------------------------	---	---	---

3. La modélisation numérique

3.1. Définition

« La modélisation numérique d'un processus physique est basée sur la mise en équations du processus impliqué puis la résolution, par code informatique, de ces équations. Elle met en œuvre successivement plusieurs étapes ». (CETMF, 1994)

3.2. Les étapes de la modélisation numérique

3.2.1. Mise en équations du processus

Les équations peuvent être théorique (ex. : conservation de la masse de sédiment), empiriques (ex. : transport solide par charriage) ou encore semi-empiriques provenant de l'ajustement de la théorie à des données expérimentales. Ces équations peuvent être aussi tridimensionnelles ; lorsque on s'intéresse à ce qui se passe à l'intérieur d'un volume ; bidimensionnelles ou monodimensionnelles.

3.2.2. Choix de la méthode numérique

Dans les cas les plus simples, les équations peuvent être intégrées directement donnant naissance à une solution analytique. Dans les autres cas, il conviendra de rechercher des solutions approchées en discrétisant les données et les inconnues sur un maillage, non seulement en espace mais aussi en temps.

3.2.3. Résolution numérique

Ce choix sera adapté à la nature des équations étudiées, de façon à assurer la qualité du modèle sous les aspects de :

- La rapidité
- La stabilité (amortissement des erreurs)
- La précision
- La conservativité
- La diffusion numérique (liée au maillage du modèle, et qui induit une réduction parasite des gradients en espace) (CETMF, 1998)

3.2.4. Validation du modèle

Le domaine de validité du modèle est limité par :

- Les hypothèses à la base de la mise en équations du problème

- Le domaine de validité et la précision des lois empiriques qu'il contient
- Les performances de la méthode de résolution employée (précision du schéma numérique, finesse de discrétisation)

C'est pourquoi tout modèle numérique doit être validé par la comparaison de ses résultats avec ceux issus de solution analytiques, de mesures en nature ou d'expérimentations en laboratoire, avant de l'employer à une étude appliquée. (CETMF, 1994)

Chapitre II :
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

• Introduction

Ce chapitre va faire l'objet d'une description de notre zone d'étude, la frange côtière de Bordj El Kiffan, plus précisément les plages Sirène I, Sirène II et la plage Lido.

En premier temps, nous allons présenter la situation géographique de cette zone. Ensuite nous allons entamer les différents aspects de la zone : physiques et socioéconomiques. Enfin, les causes de l'érosion et la protection du site d'étude seront abordées.

1. Situation géographique de la zone d'étude

La baie d'Alger se situe dans la partie Centrale de la côte algérienne, elle s'inscrit en creux dans la pleine de la Mitidja et elle est d'une forme semi-circulaire. Elle est délimitée par la Rais Hamidou (Pointe Pescade) à l'Ouest, le Cap Matifou à l'Est, au Sud la ville d'Alger et le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée.

La commune de Bordj El Kiffan relève de la circonscription administrative de Dar El Beida. Elle est située à 20 km à l'Est d'Alger ; elle présente une superficie de 2169.6 ha et est limitée : au Nord, par la mer Méditerranée ; au Sud, par les communes de Bab Ezzouar et Dar El Beida ; à l'Est, par la commune de Bordj El Bahri et à l'Ouest, par la commune de Mohammadia.

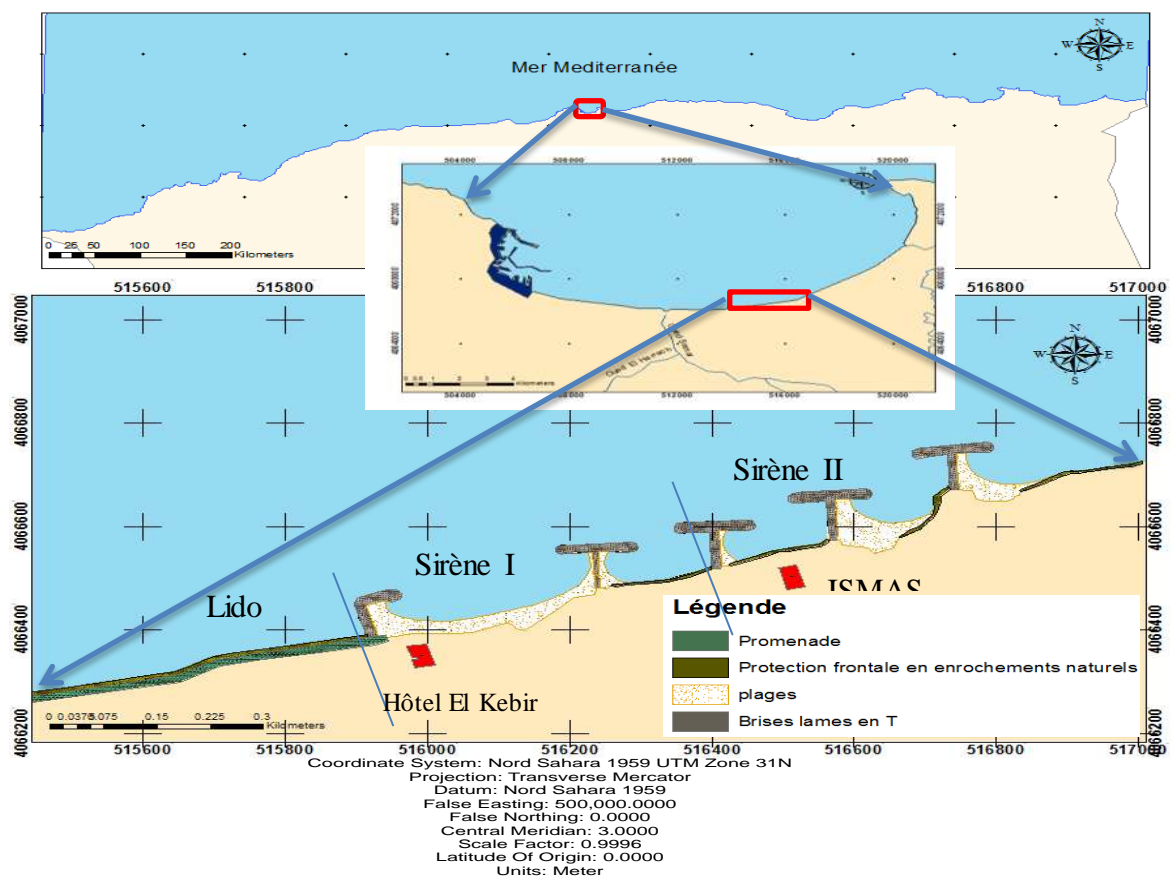


Figure II.10: Situation géographique du site d'étude

Sur un linéaire de côte de 2000m environ, le site d'étude se trouve dans la partie centrale de la baie d'Alger, dans la commune de Bordj El Kiffan, sur les plages : Sirène I, Sirène II et Lido.

2. Milieu physique

2.1.Contexte météorologique

2.1.1. Le vent

La reconstitution du climat de vents a été établie à partir des données de MEDATLAS (1999-2004) ((MEDAR Group, 2004) in (LEM, 2009)) en modèle numérique d'un point situé dans une zone en Méditerranée où la profondeur dépasse 2500 m selon les coordonnées géographiques (3°00' E, 37°00'N).

Les résultats de cette étude mettent en évidence une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, avec des vitesses maximales qui atteignent 20m/s pour les directions comprises entre 240° et 270°N. Aussi pour les directions comprises entre 45° et 90°N on observe des vitesses de vent qui atteignent 16 m/s. (LEM, 2009)

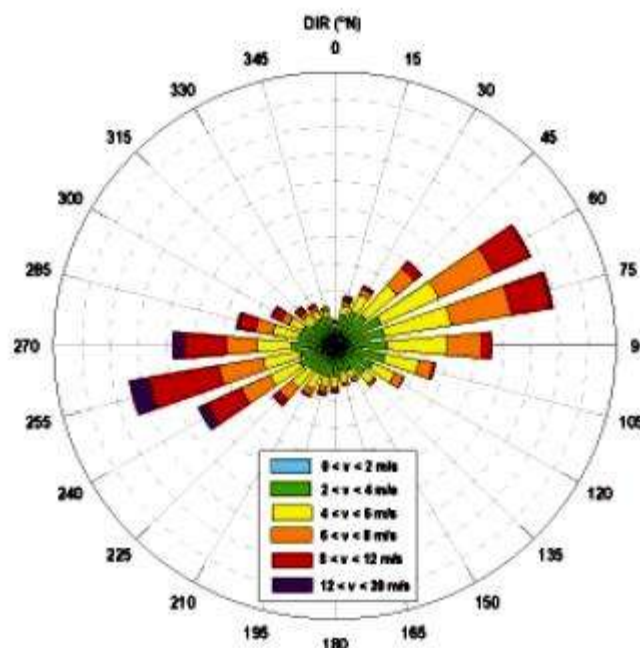


Figure II.11: Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)

2.1.2. La température

Les données de température ont été acquises de l'Office National de Météorologie (1996-2016) de la station de Dar El Beida à une altitude de 25 m selon les coordonnées géographiques (3°13' E, 36°41'N).

L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral présente une période estivale caractérisée par des températures qui sont relativement élevées avec 22.8°C en Juin, 25.6°C pour Juillet et 26.4°C au mois d'Août. Quant au mois le plus froid est celui de janvier avec 11.6°C.

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois d'Août avec une valeur de 32.7°C, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Janvier et qui ne dépasse pas 6°C.

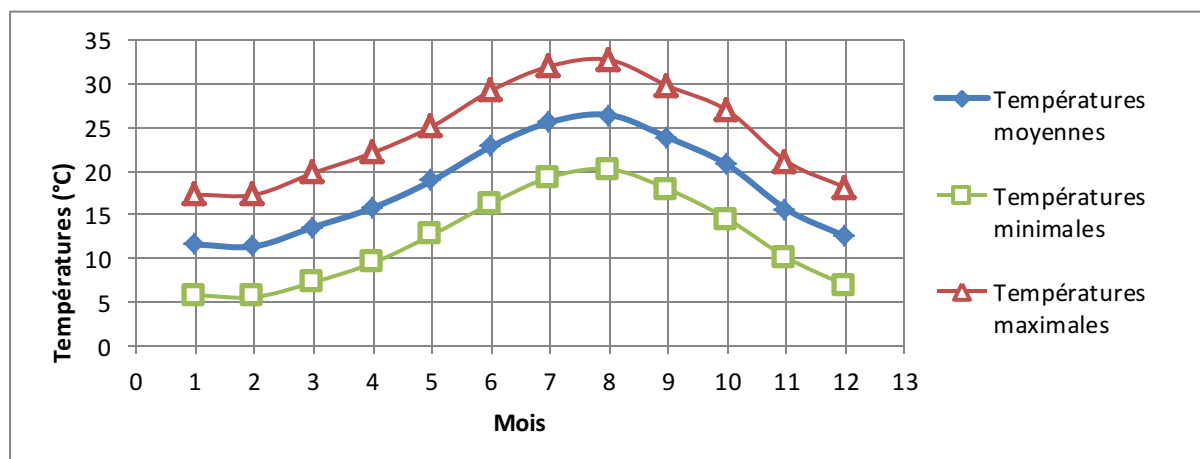


Figure II.12 : Variation des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016), (ONM, 2017)

2.1.3. Les précipitations

La moyenne annuelle donnée par la station de Dar El Beida couvrant la période qui s'étale de 2006 à 2016 est de l'ordre de 625.3mm.

Les précipitations se concentrent de Septembre à Mai, avec un maximum hivernal de 108.2 mm en Novembre ; celles-ci diminuent progressivement dès le mois de Mai pour devenir faibles de juin à août avec un minimum de 1.8 mm en juillet.

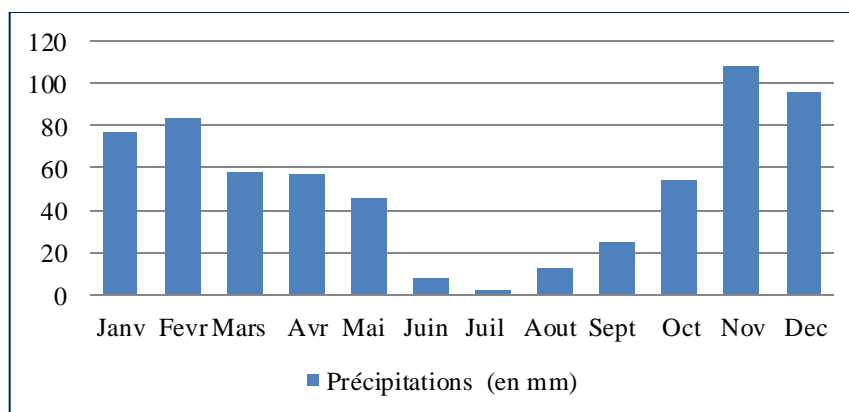


Figure II.13: Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM, 2017)

2.2.Contexte océanographique

2.2.1. Les courants

2.2.1.1.Le courant général

Le courant Atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe, d'Ouest en Est, les côtes d'Afrique du nord ; sa vitesse est de l'ordre de 1,5 à 2 nœuds. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques et son action se fait sentir jusqu'à une profondeur de 200 m. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), son action va en diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée. (LEM, 2009)

2.2.1.2.Les courants côtiers

Le sens et l'intensité de ces courants sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments. (LEM, 2009)

a. Les courants de retour

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large. (LEM, 2009)

b. Les courants de dérive littorale

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte. Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre, les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40 m à - 60 m".

À proximité du fond, la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable. (TAIEB ERRAHMANI, 2009). Pendant l'hiver ils ont une direction Ouest - Est du fait de la houle dominante du NW ; le reste de l'année les courants ont plutôt une direction Est - Ouest. (LEM, 2009)

2.2.2. La marée et la variation du niveau de la mer

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée ; elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et est le plus souvent masquée par la surélévation ou l'abaissement du niveau de l'eau engendré par des variations de conditions climatologiques. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm.

De forts vents marins locaux peuvent aussi, par action directe sur la surface de la mer, entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau, le niveau de la surface de la mer pourrait ainsi atteindre une surélévation maximale de 1 m environ. (LEM, 2009)

2.2.3. La houle

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle.

Les données de houle ont été requises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observation » S.S.M.O s'étalant sur une période de 8ans (1963 à 1970). Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs de la houle prédominants et leurs amplitudes respectives (figure ci-dessous).

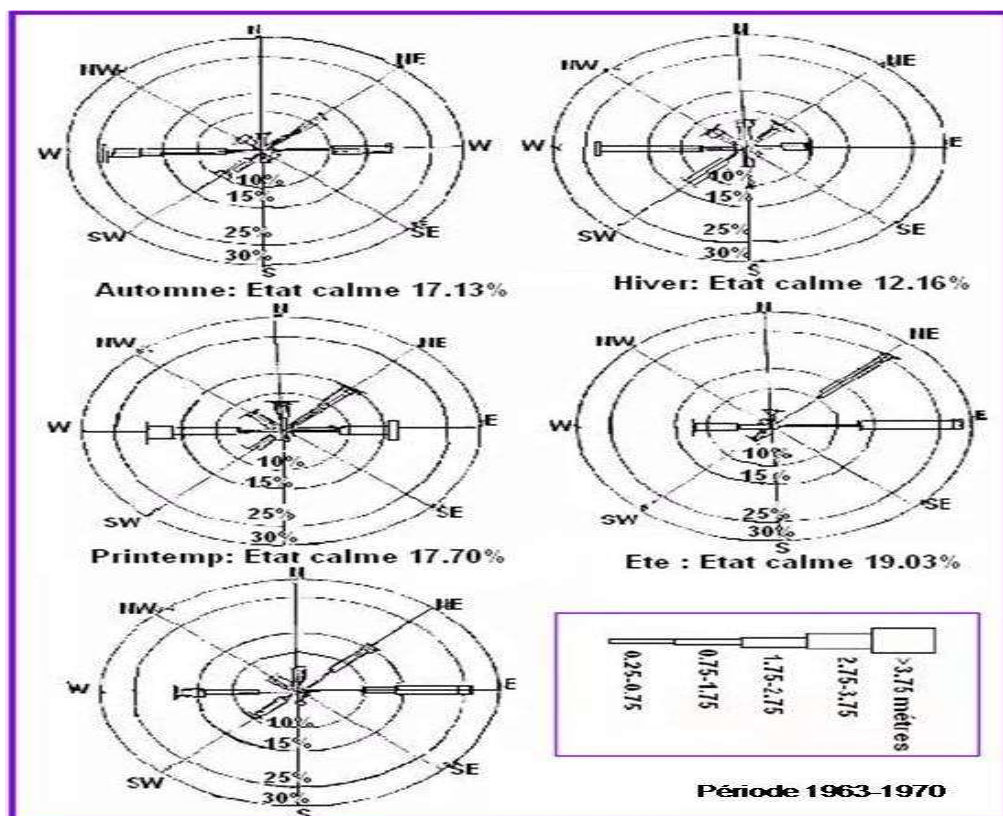


Figure II.14: Roses de houles trimestrielles et annuelles au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)

2.2.3.1. Fréquences mensuelles de la houle

Les fréquences mensuelles de la houle au large par direction sont données dans le tableau ci-après.

Tableau II.2 : Fréquences mensuelles de la houle du large par direction (LEM, 2009)

Mois	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.00	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	10.30	12.60	4.00	6.10	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	12.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.40	16.00	2.00	4.40	13.70	26.70	10.20
Mai	8.20	26.30	31.90	3.00	3.30	7.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	8.20	16.40	4.20
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	1.00	5.90	16.30	2.00
Août	8.80	27.70	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.40	40.50	2.20	2.30	4.60	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.20	14.80	28.80	6.80
Novembre	5.50	5.80	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.40	4.60	7.50	15.00	37.10	10.00

D'après le (LEM, 2009), le résultat de la synthèse des données montre que :

- Les houles de Nord-Est sont les plus fréquemment observées.

- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et Ouest sont sensiblement identiques avec toujours une légère prédominance du secteur Est.

2.2.3.2. Les houles extrêmes du large

Les caractéristiques des houles extrêmes sont, par secteur de provenance et pour toutes directions confondues, les suivantes :

Tableau II.3: Hauteurs des houles extrêmes par secteur de provenance au large (LEM, 2009)

Direction de houle	E	NE	N	NW	W	Toutes Directions
Biennale	4,12 m	4,93 m	4,90 m	4,16 m	7,36 m	7,44 m
Quinquennale	4,70 m	5,67 m	5,75 m	4,87 m	8,43 m	8,34 m
Décennale	5,14 m	6,23 m	6,38 m	5,40 m	9,22 m	9,02 m
Vingtennale	5,59 m	6,79 m	7,02 m	5,94 m	10,02m	9,70 m
Cinquantennale	6,17 m	7,53 m	7,87 m	6,65 m	11,08m	10,60 m
Centennale	6,62 m	8,08 m	8,50 m	7,18 m	11,88m	11,27 m

- Les houles de tempête proviennent essentiellement du secteur Ouest.

- Les fréquences d'apparition sont plus faibles pour le secteur Nord et Nord-Ouest. Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

2.3. Contexte hydrologique

Le réseau hydrographique dans la baie d'Alger se caractérise par la présence d'oueds à régime temporaire et irrégulier tels qu'Oued El Harrach et Oued El Hamiz. En été les lits des oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à des simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale.

La baie d'Alger est donc alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz, cours d'eau qui prennent leurs sources dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de la Métidja. (LEM, 2009). Ces Oueds sont utilisés comme récepteur des eaux usées des quatre agglomérations secondaires à travers un réseau communal sans traitement préalable. (APPL, 2015)

Tableau II.4: Caractéristiques de Oued EL Harrach et Oued El Hamiz (ANRH, 2014)

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Superficie (km²)	378	86
Orientation	Nord-Est	Nord-Ouest
Apports solides (m³/an)	107114	100226
Apports liquides 10(m³/s)	53	11
Affluents	Oued Djemaà, Baba Ali, Terrou, Kerma, Semar et Ouchaih	Oued Bouera et Oued Barek

2.4. Contexte sédimentologique

La connaissance de la nature du fond de la baie d'Alger est essentielle. Beaucoup de travaux y ont été faits, montrant que la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale.

À partir de la composition globale des dépôts, Maouche (1987) distingue, de façon générale, trois types de faciès :

- a- Faciès sableux :** se limitant à la bordure littorale (entre -10 m et -35 m) ; les sables moyens à la limite du secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale et les sables grossiers prédominants dans le secteur Est, mélangés au faciès pélitique.
- b- Faciès carbonatés :** localisés dans la bordure Ouest jusqu'à -35 et -50 m et à des profondeurs plus importantes à l'Est au droit du cap Matifou.
- c- Faciès pélitiques :** 70 % des dépôts superficiels constituent les faciès vaso-sableux à vaseux. La fraction pélitique représente 10 % des dépôts à 10 m de profondeur, 50 % dès la profondeur de - 25 m et 75 à 95 % à la profondeur de - 30 m et -50 m, à proximité des oueds. (TAIEB ERRAHMANI, 2009)

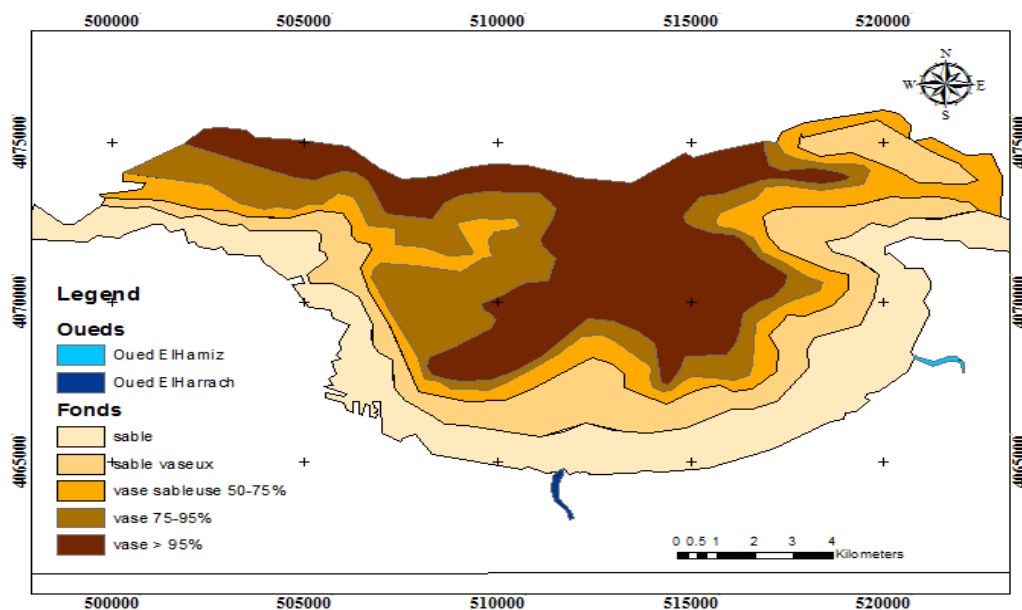


Figure II.15: Nature des fonds de la baie d'Alger modifiée ((MAOUCHE, 1987)in (TAIEB ERRAHMANI, 2009))

2.5.Contexte géologique

D'après la carte géologique 1/50000 (JICA, et al, 2006) in (BOUKHROUF, et al, 2012), notre zone d'étude est recouverte de terrains quaternaire ; à savoir :

- Dépôts de plage (aP) ;
- Dunes actuelles (aD) au Sud Ouest du site ;
- Terrasses marines tyrrhéniennes (q3cD) dans la partie Nord du site ;
- Sable rouge (aS) dans la partie centrale de la zone.

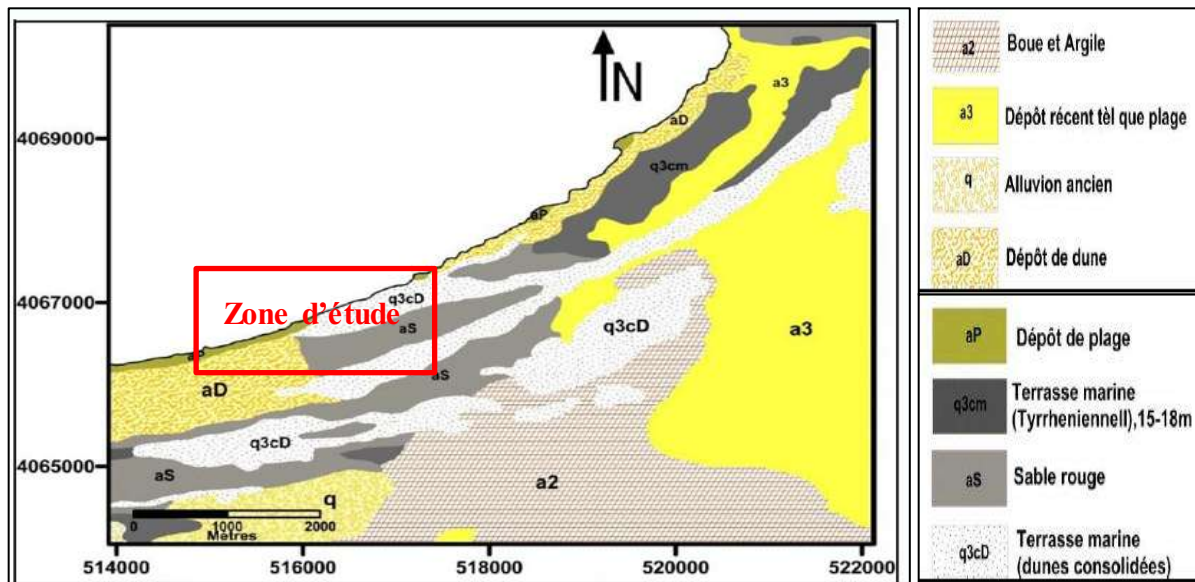


Figure II.16: Extrait de la carte géologiques 1/50000 de la partie Est d'Alger (BOUKHROUF, et al., 2012) in (JICA, et al., 2006)

2.6.Contexte géomorphologique

La pente continentale passe du massif de la Bouzareah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, le rivage s'incurve entre la pointe de Rais Hamidou et le Cap Matifou et délimite la baie d'Alger qui est une baie très régulière, le fond de cette dernière est en pente douce, uniforme, de 0 à 100 mètres (0°35').

À faible distance au nord de la côte, les courbes atteignent des profondeurs de plusieurs centaines de mètres, plus au nord la côte est bordée par des abîmes supérieurs à 2000 mètres (LECLAIRE, 1972).

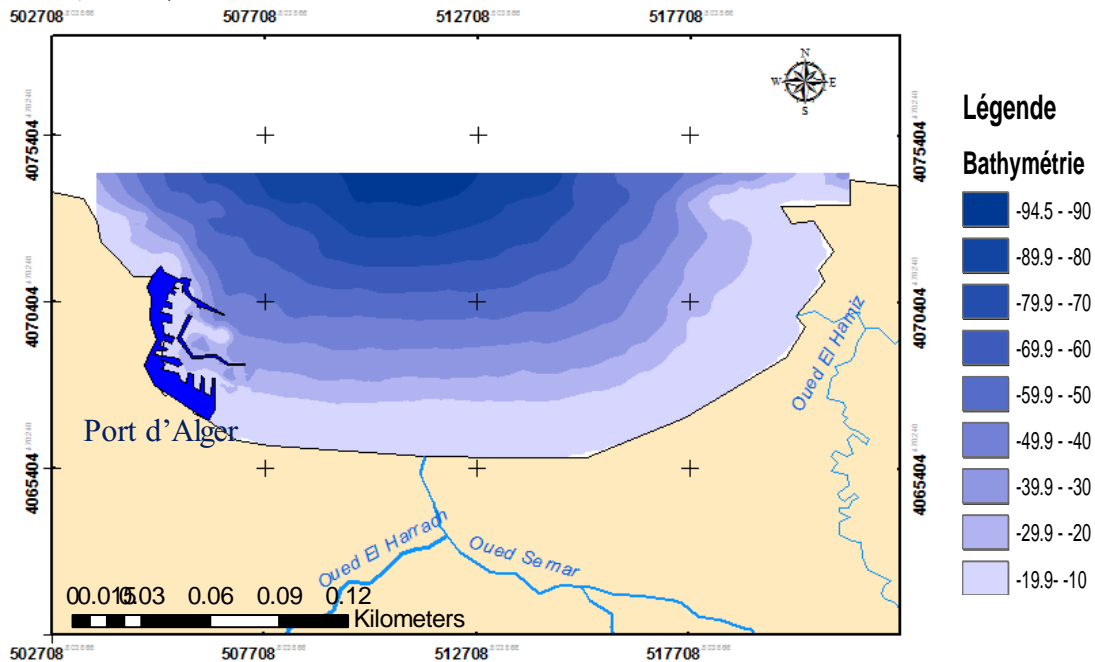


Figure II.17: Carte bathymétrique de la baie d'Alger établi par le logiciel ArcGis 10.2 à partir de la digitalisation de la carte du SHOM n°1207 intitulée « Mer Méditerranée Côte d'Algérie De Tipaza à Ras Matifou - échelle : 1/20 000 »

3. Milieu socioéconomique

La commune de Bordj El Kiffan était une commune à vocation agricole et touristique mais l'urbanisation de cette dernière l'a réduite à une commune très urbanisée. Les terrains agricoles ont été sacrifiés au profit de l'urbanisation. Premier atout touristique les plages, et qui ont fait autrefois la gloire de la commune, sont dans un état déplorable, seule la plage Bateau Cassé reste à exploiter, des monuments historique au nombre de deux y sont présents mais dans un état d'abondance total. (APPL, 2015)

3.1.Industrie

L'industrie constitue un potentiel très important à l'échelle nationale. De ce fait, malgré que la commune se caractérise par une double vocation agricole et touristique, elle n'empêche pas l'implantation de certaines entreprises industrielles induisant ainsi le développement d'autres effets négatifs. Le secteur privé n'est pas négligeable. Deux zones d'activités(ZA) y sont présentes : ZA Kaidi et ZA de Dergana, d'autres industries sont localisés dans les tissus urbains.

3.2.Agriculture

L'agriculture constitue une vocation très importante au niveau de la commune, compte tenu du patrimoine foncier dont elle bénéficie, qui est de 75% de la superficie communale. La menace préliminaire de la perte des surfaces de terres agricole est surtout due à l'extension du bâti urbain.

3.3.Population

La population de la commune est estimée en 1998 selon le RGPH à 103690 habitants avec une densité de 4778 hab/ Km². Une population masculine évaluée à 52695 et une population féminine à 50995. (APPL, 2015)

3.4.Tourisme

La commune de Bordj El Kiffan, avec son linéaire de côte qui s'étend sur environ 7 Km, elle regroupe des potentialités assez importantes, constituant ainsi un pôle attractif pour les flux des vacanciers. Ses potentialités regroupent différentes infrastructures tels que les hôtels « le grand hôtel qui donne sur la plage sirène I et le Fort Turc au niveau de la plage Sirène II. (APPL, 2015)

4. Vulnérabilité à l'érosion et protection de la zone d'étude

4.1. Facteurs d'érosion de la zone

4.1.1. L'urbanisation

L'urbanisation anarchique a fait que les constructions trop proches du rivage constituent par elles-mêmes des obstacles réfléchissants pour les houles d'incidence frontale entraînant ainsi la disparition des plages et la dégradation permanente des habitations par déchaussement des fondations.

4.1.2. Extraction abusive d'agrégats

D'énormes quantités de sable sont prélevées chaque jour, comme c'est le cas à l'embouchure de l'Oued El-Harrach, au niveau des sablières littorales, ainsi que les nombreuses carrières de gravier en amont de cet oued (LEM, 2009).

4.1.3. Construction des barrages en amont des oueds

D'autre part, la présence d'un barrage en amont de l'Oued Hamiz, a fait que ce dernier reste inactif d'où le déficit en apports terrigène. Ce déficit en apports, additionné au transfert des sédiments dans le sens du profil, se solde par une diminution importante des largeurs des plages par érosion (LEM, 2009).

4.2. Protection de la zone d'étude

La vulnérabilité de la zone d'étude face à l'aléa érosion a nécessité sa protection par l'installation de différents type d'ouvrage de protection : durs tels que des murs de garde en enrochements naturels, des ouvrages mixtes de protection en T et en L (épis plus brise-lames), ainsi qu'une protection souple : création de plage artificielle. Cela était dans le but de protéger les habitations limitrophes en diminuant l'énergie hydrodynamique ainsi qu'en élargissant la plage.

La protection de la zone d'études a été faite suite aux études effectuées par le LEM : Étude de protection de la station de Bordj El Kiffan (1997) et l'Étude de protection du site Lido Commune de Mohammadia (2009).

Les ouvrages ont été réalisés par la mise en place d'une protection frontale en enrochements naturels en plus de quatre brise-lames en forme de T dont le linéaire total est de 1560 m sur les sites Sirène I et sirène II en 2004, et la réalisation d'un brise-lames en L pour garder le rechargement effectué au niveau de la plage Sirène I ainsi que la réalisation d'une promenade sur le site de Lido en 2012.

terme de présence de corps sédimentaires d'âge quaternaire avec une lithologie à faciès différents, son régime pluviométrique diffère d'une année à une autre.

A la côte les houles arrivent d'une certaine énergie plus au moins atténuée, d'une direction du Nord-Est qui est la plus fréquente. Les courants ayant une influence sur la zone sont le courant de retour, qui joue un rôle important dans l'érosion côtière, et celui de dérive littorale.

La zone est connue par son anthropisation et les activités qui s'y exercent, jouant ainsi un rôle important dans la dégradation des plages

Le site d'étude est vulnérable face à l'aléa érosion, cela a nécessité sa protection par l'installation de différents types d'ouvrage de protection.

CHAPITRE III :

**SUIVI ET ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DE
LA PARTIE AÉRIENNE DE LA FRANGE
COTIÈRE DE BORDJ EL KIFFAN**

• **Introduction**

Le présent chapitre porte sur la connaissance de la nature des sédiments superficiels qui constituent notre zone d'étude et sa variation à une petite échelle spatio-temporelle balayant toute la partie aérienne à partir d'une analyse granulométrique des échantillons prélevés qui nous informe sur la répartition de la taille des différents grains tout en complétant par déduire les indices granulométriques qui appuient nos résultats obtenus.

1. Sorties sur terrain

Nous avons réalisé deux sorties sur terrain dans le but d'effectuer les prélèvements des sédiments de la partie aérienne de notre zone d'étude ; La frange côtière de Bordj El Kiffan : plage Sirène I, Sirène II et la plage Lido.

Le prélèvement a été fait par la méthode directe, à la main, en utilisant des sacs de congélation, du papier glace et un crayon pour énumérer les étiquettes. L'espacement entre les stations a été mesuré à l'aide d'un décimètre et les coordonnées de chaque station ont été prises à l'aide d'un GPS de type GARMIN.

Enfin, un ensemble de 21 échantillons a été récolté pour la première sortie et 19 pour la deuxième et faisant l'objet des analyses granulométriques au laboratoire (LGA de l'ENSSMAL).

1.1. Répartition des échantillons

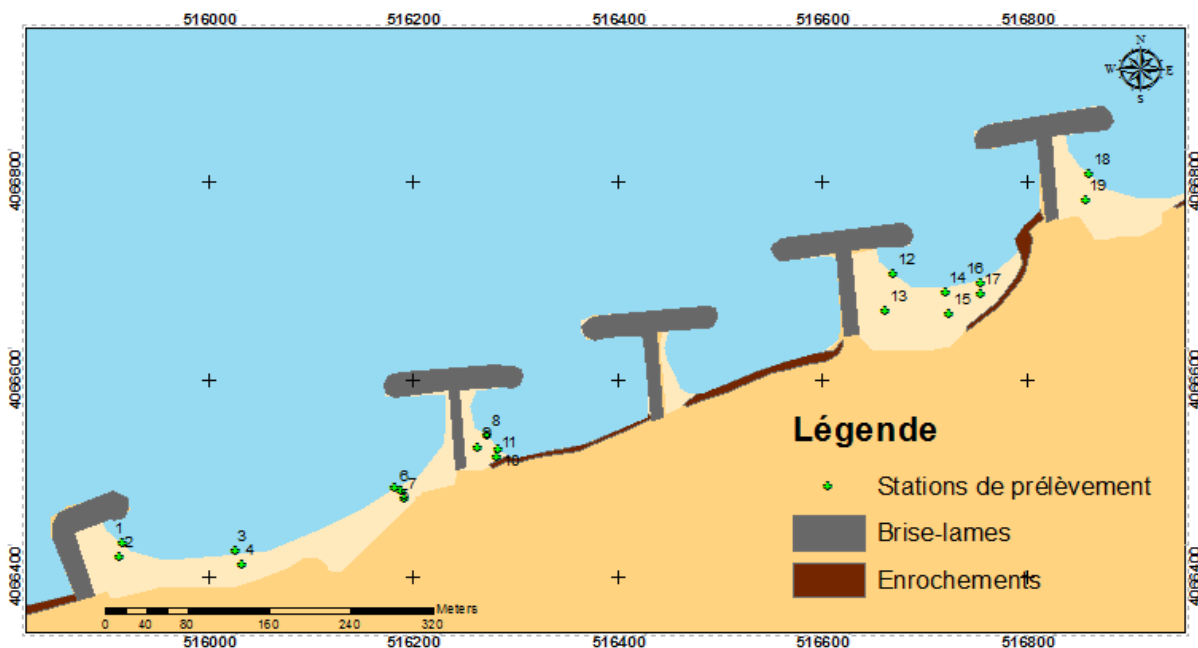


Figure III.19: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan

1.2. Conditions climatiques des jours de sorties

Tableau III.5: Conditions climatiques lors des sorties

Dates des sorties	27 Décembre 2016	18 avril 2017
Température maximale (°C)	18	21
Température minimale (°C)	12	15
Vitesse du vent Km/h	15	18

1.3. Matériels de prélèvement



Photo III.1: Matériels de prélèvement

2. Études au laboratoire

2.1. Analyse granulométrique

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un échantillon de sédiment dont les dimensions sont comprises entre 63 et 5000 μm .

Tableau III.6 : Définitions granulométriques pour les sables et les graviers (EHRHOLD, 1994)

Classe	Taille (μm)
Sable très fin	63-125
Sable fin	125-250
Sable moyen	250-500
Sable grossier	500-1000
Sable très grossier	1000-2000
Gravier très fins	2000-4000

2.2. Principe de la méthode

La méthode consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis de taille décroissante un échantillon de sédiment en plusieurs classes granulaires. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale de l'échantillon. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

2.3. Matériels utilisés



Photo III.2: Matériel utilisé lors des analyses granulométriques

2.4. Mode opératoire

- Verser les échantillons dans des boîtes de Pétri étiquetées et mettre à l'étuve pendant 24h à 105°C pour un premier séchage ;
- Peser 200 g de chaque échantillon et rincer à l'eau de robinet dans un tamis de 40 µm de diamètre, ensuite remettre dans l'étuve pendant 24h à 105°C pour un deuxième séchage ;
- Repeser les échantillons après le séchage, la différence de poids fera l'objet du calcul du taux de pélites ;
- Passer au tamisage de chaque échantillon sur une tamiseuse composée d'une série de tamis de normes AFNOR superposée par ordre décroissant pendant 10 minutes sous une fréquence de 60 Hz ;

- Peser les refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision (FORNIER, et al., 2012);

3. Les paramètres et indices granulométriques

Une fois les travaux au laboratoire achevés et les masses des refus des différents échantillons enregistrées et organisées dans un fichier Excel, l'étape suivante est celle du traitement des données obtenues par :

Le calcul des pourcentages cumulés de chaque échantillon à partir des masses des refus pour chaque échantillon ;

La représentation graphique en histogramme de fréquence et courbe cumulative représentant le pourcentage des refus cumulés en fonction du logarithme des mailles des tamis utilisés.

Cette dernière nous permettra de comparer les échantillons et déterminer les différents paramètres grâce auxquels nous calculerons les indices granulométriques.

3.1. Paramètres de position

Ils sont déduits à partir de la courbe cumulative, en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. C'est à partir de ces paramètres que les différents indices granulométriques sont calculés.

3.1.1. Le mode granulométrique (M_0)

Il correspond au diamètre du tamis qui représente la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon.

Il est déduit à partir de l'histogramme de fréquences. Rivière (1977) distingue trois types :

- Courbe (ou histogramme) unimodale : dominance d'un seul stock sédimentaire ;
- Courbe (ou histogramme) bimodale : dominance de deux stocks sédimentaires ;
- Courbe (ou histogramme) plurimodale : dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

3.1.2. Les quantiles Ils regroupent :

- Les quartiles : Quartile inférieur Q25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25% ;

Quartile supérieur Q75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75% ;

-La médiane Q_{50} : C'est l'indice absolu correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment, elle est déduite à partir de la courbe cumulative

-Les déciles : Premier décile D_{10} : Diamètre du grain à l'ordonnée 10% ;

Deuxième décile D_{90} : Diamètre du grain à l'ordonnée 90%.

3.2. Les indices granulométriques

3.2.1. L'indice de dispersion ou de classement (S_o , Trasck)

Il donne une idée sur l'étalement de la courbe autour de son grain moyen, et nous renseigne sur le degré de classement du sédiment.

$$S_o = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2}$$

$S_o < 1$	Très bien classé
$1 < S_o < 2.5$	Bien classé
$2.5 < S_o < 3$	Normalement classé
$3 < S_o < 4$	Mal classé

3.2.2. Le coefficient d'asymétrie (S_k , Trasck) :

Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane et indique la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers.

$$S_k = (Q_{25} \cdot Q_{75}) / Q_{50}^2$$

$S_k < 1$	Classement maximum vers les fins
$S_k = 1$	Symétrie parfaite
$S_k > 1$	Classement maximum vers les grossiers

4. Résultats et discussion

4.1. Analyse de la fraction fine

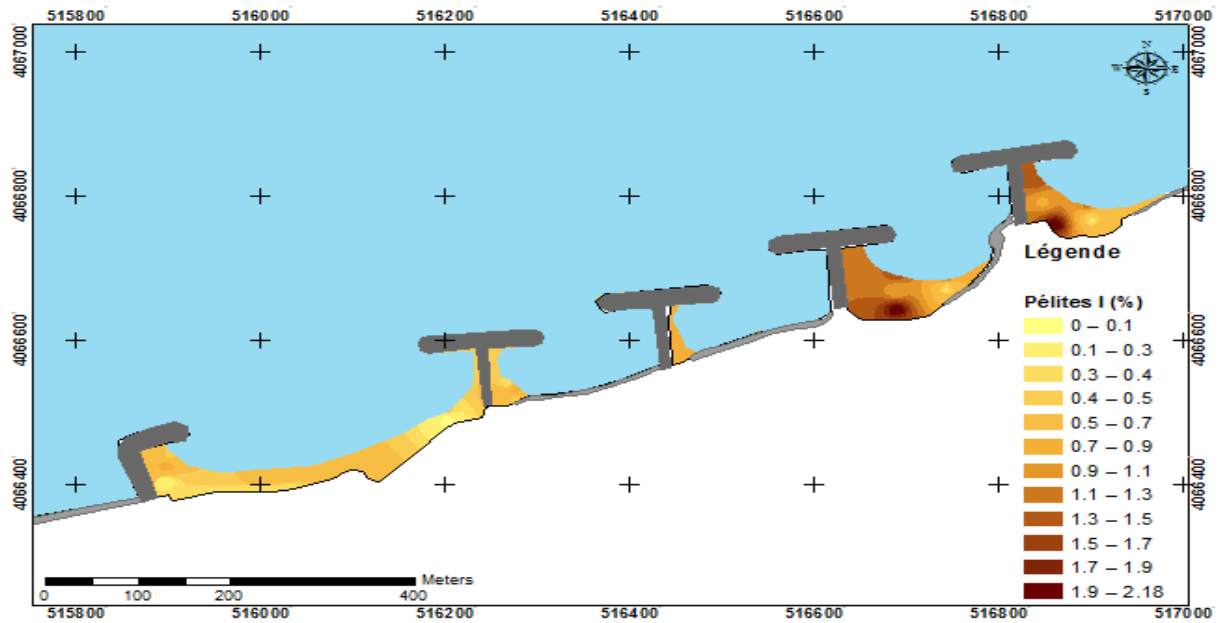


Figure III.20: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage I)

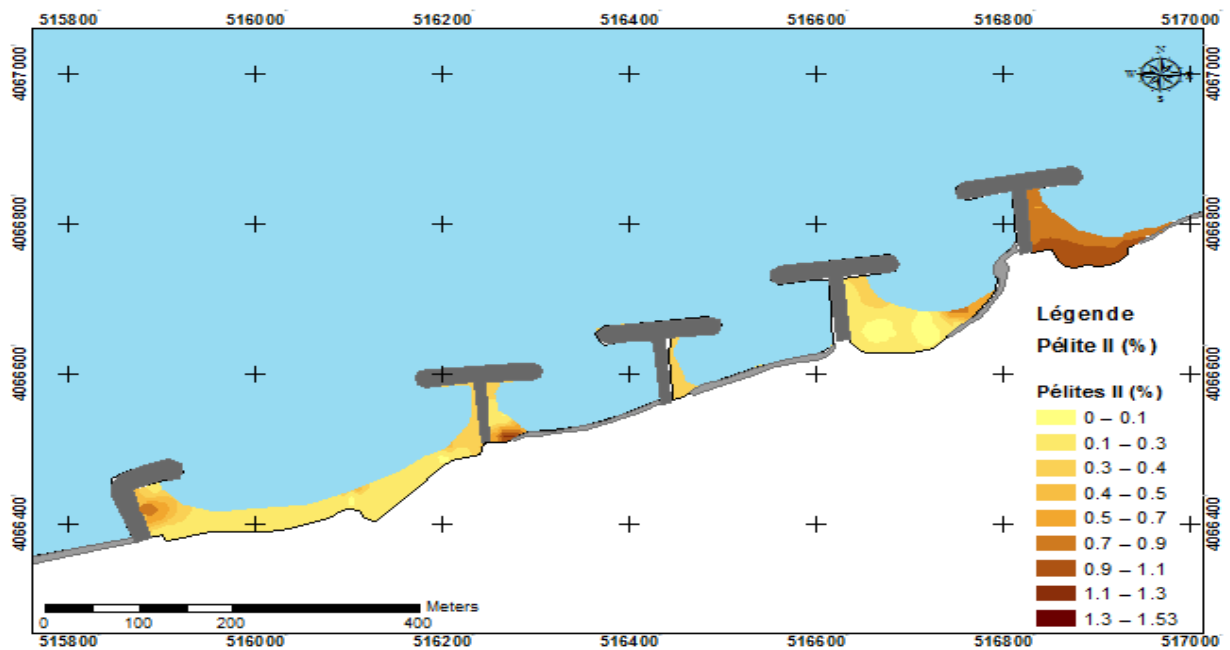


Figure III.21: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage II)

Les cartes des pélites pour les deux échantillonnages effectués au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan, en mois de décembre et en mois d'avril, présentent des valeurs très faibles qui dépassent légèrement les 2%.

On observe une diminution du taux de pélites maximum de 2.17% pour le premier échantillonnage à 1.53% pour le deuxième échantillonnage, cela pourrait s'expliquer par l'intensification des facteurs hydrodynamiques dans la période hivernale qui ne permettent pas le dépôt des fractions fines au niveau de la côte. Le taux de fraction fine diminue aussi d'Est en Ouest, cela est probablement dû aux courants de dérive littorale.

4.2. Analyse de la fraction grossière

4.2.1. Les courbes granulométriques

➤ Aspect général des courbes cumulatives

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés, sauf les échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène I.

-Les courbes unimodales : elles indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

Échantillonnage 1 : Exemple de la station N°02

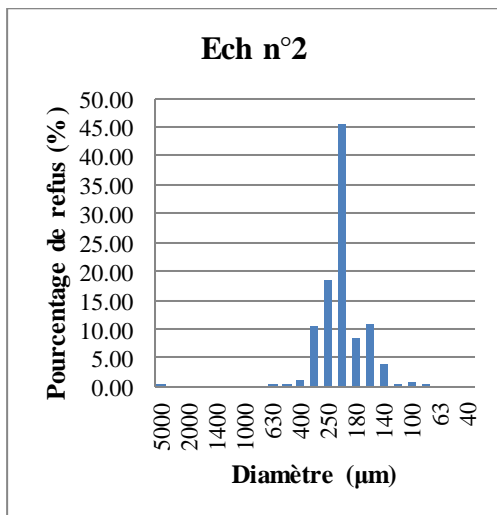


Figure III.22: Histogramme unimodal

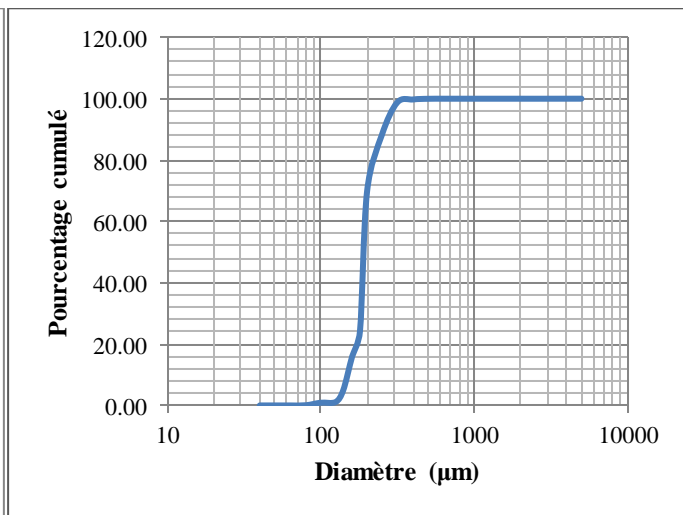


Figure III.23: Courbe unimodale

Échantillonnage 2 : Exemple de la station N°14

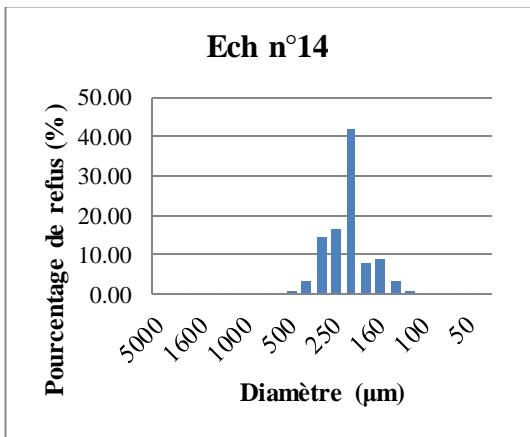


Figure III.25: Histogramme unimodal

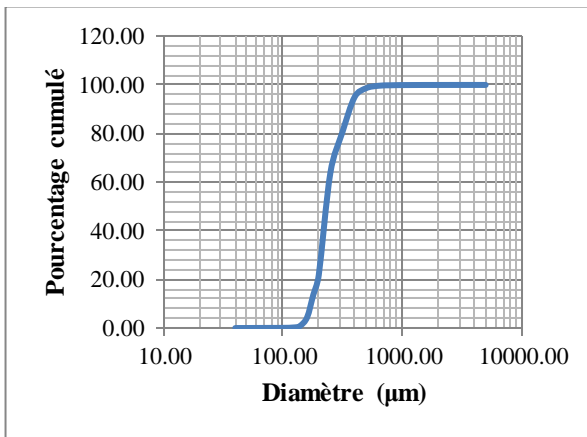


Figure III.24: Courbe unimodale

-Les courbes bimodales : elles indiquent la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

Échantillonnage 1 : Exemple de la station N°10

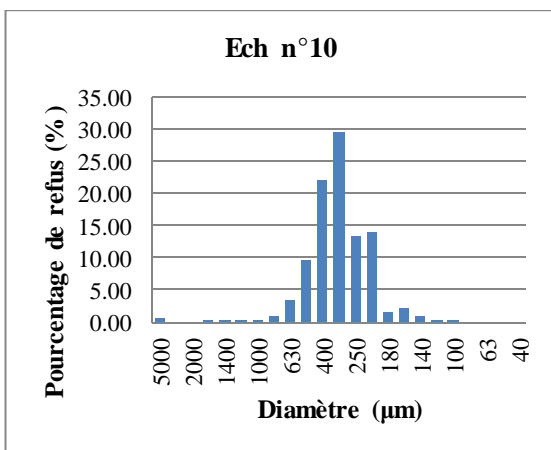


Figure III.26: Histogramme bimodal

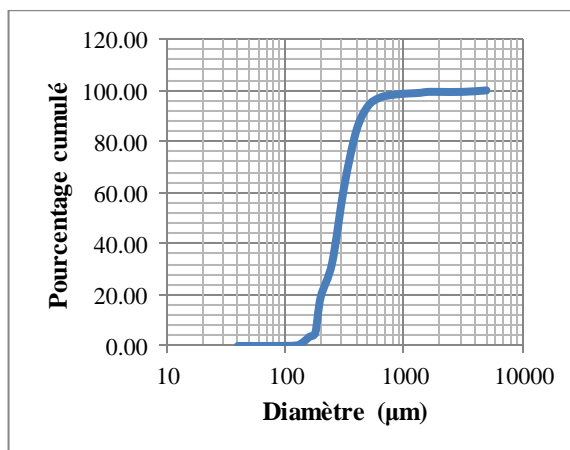


Figure III.27: Courbe bimodale

Échantillonnage 2 : Exemple de la station N°12

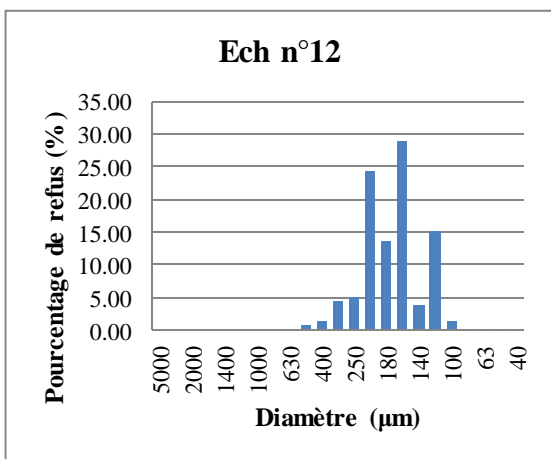


Figure III.29: Histogramme bimodal

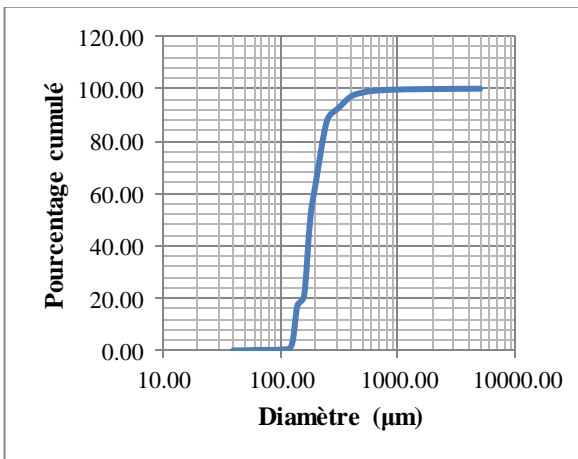


Figure III.28: Courbe bimodale

-Les courbes plurimodales :

Échantillonnage 1 Exemple de la station N°9

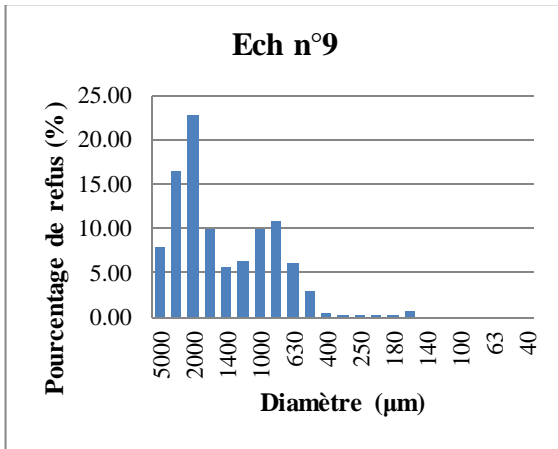


Figure III.31: Histogramme plurimodal

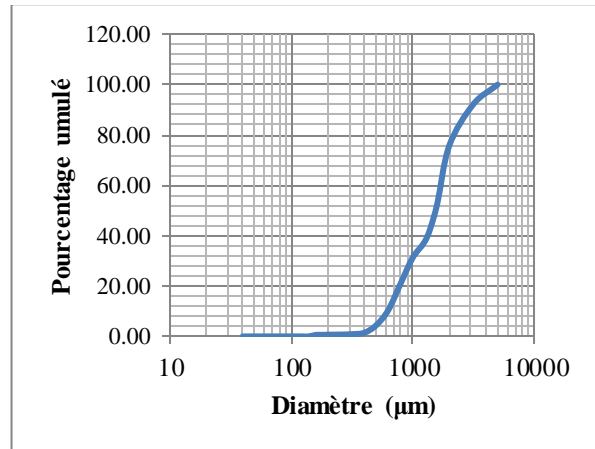


Figure III.30: Courbe plurimodale

Échantillonnage 2: Exemple de la station N°18

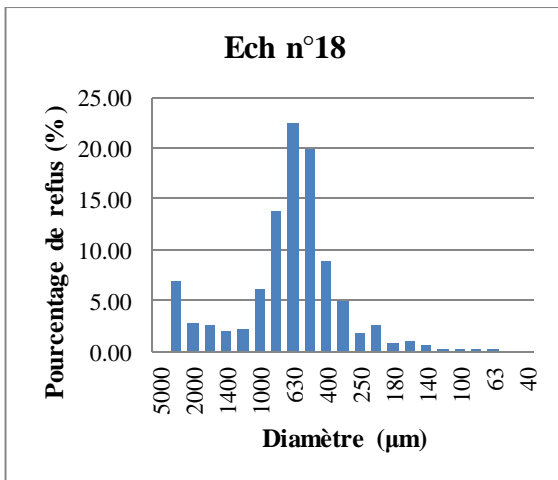


Figure III.33: Histogramme plurimodal

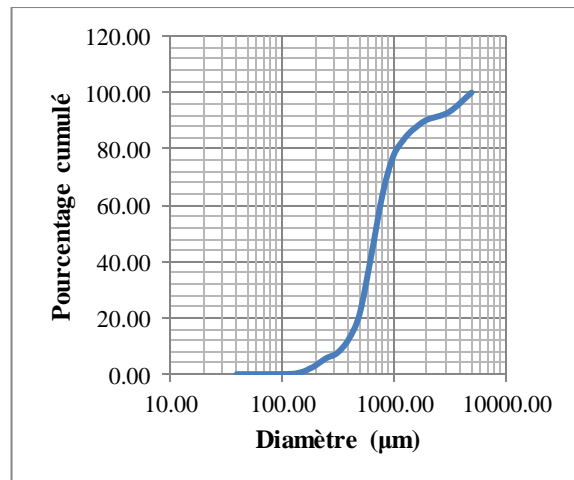


Figure III.32: Courbe plurimodale

4.2.2. Cartes des quantiles et interprétation

➤ **Médiane Q50**

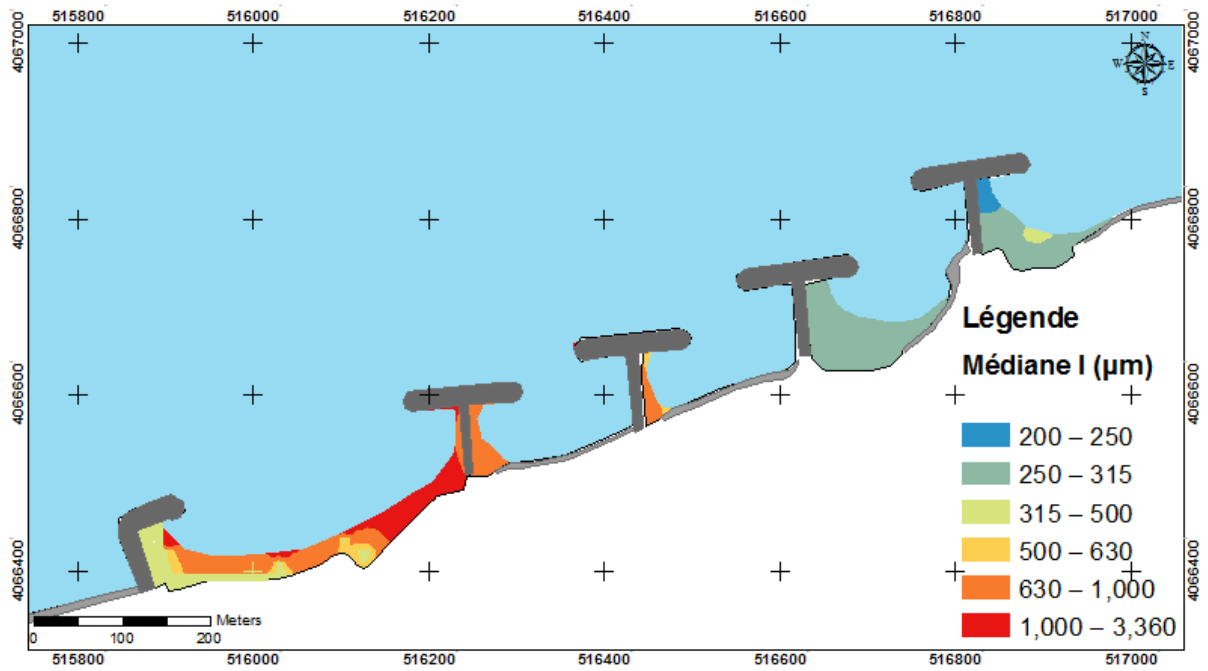


Figure III.34: Répartition de la médiane dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)

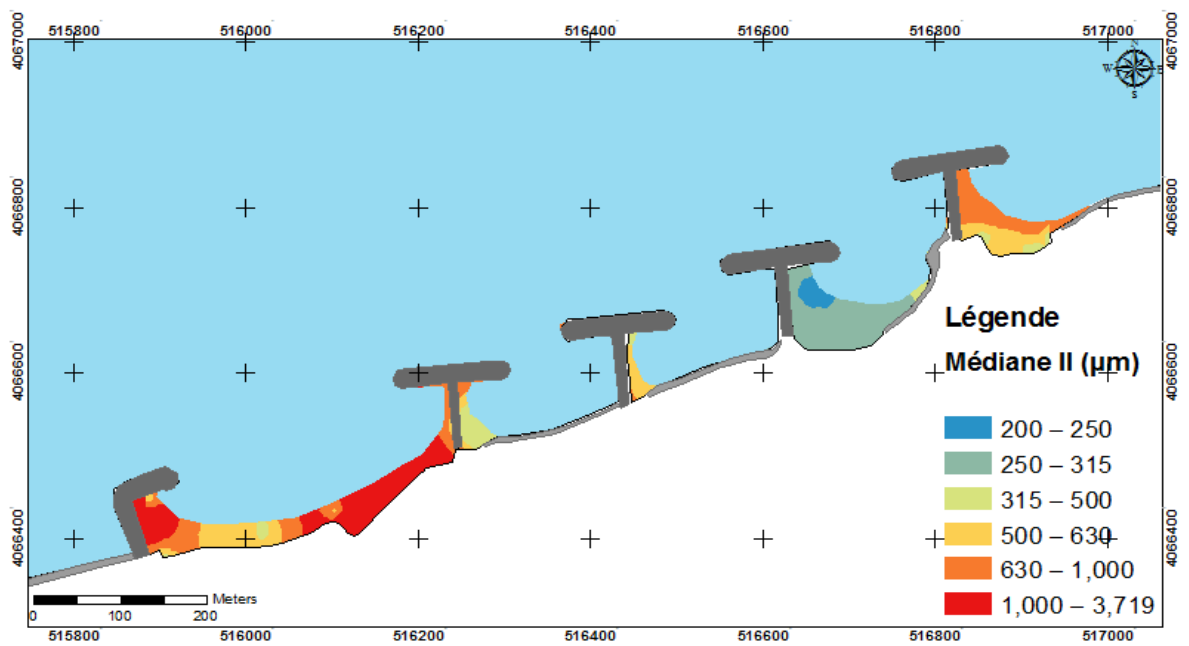


Figure III.35: Répartition de la médiane dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)

• **Commentaire**

Ces cartes représentent la répartition de la médiane dans la plage aérienne de notre zone d'étude. La médiane est de 680 μm pour le mois de décembre et de 700 μm pour le mois d'Avril, cela correspond à du sable grossier.

La distribution du grain moyen du sédiment est plus au moins hétérogène pour les deux échantillonnages où les diamètres les plus petits sont observés au niveau de la plage Sirène II tandis que les diamètres les plus grossiers sont observés au niveau de la plage Sirène I, cela est dû à la présence des ouvrages mixtes qui bloquent le transit sédimentaire.

On remarque aussi qu'il y a un changement dans le grain moyen entre Décembre et Avril, qui est passé de 680 μm à 700 μm . Ce changement peut être lié à l'hydrodynamisme qui est plus fort en hiver.

➤ **Quartile inférieur Q25**

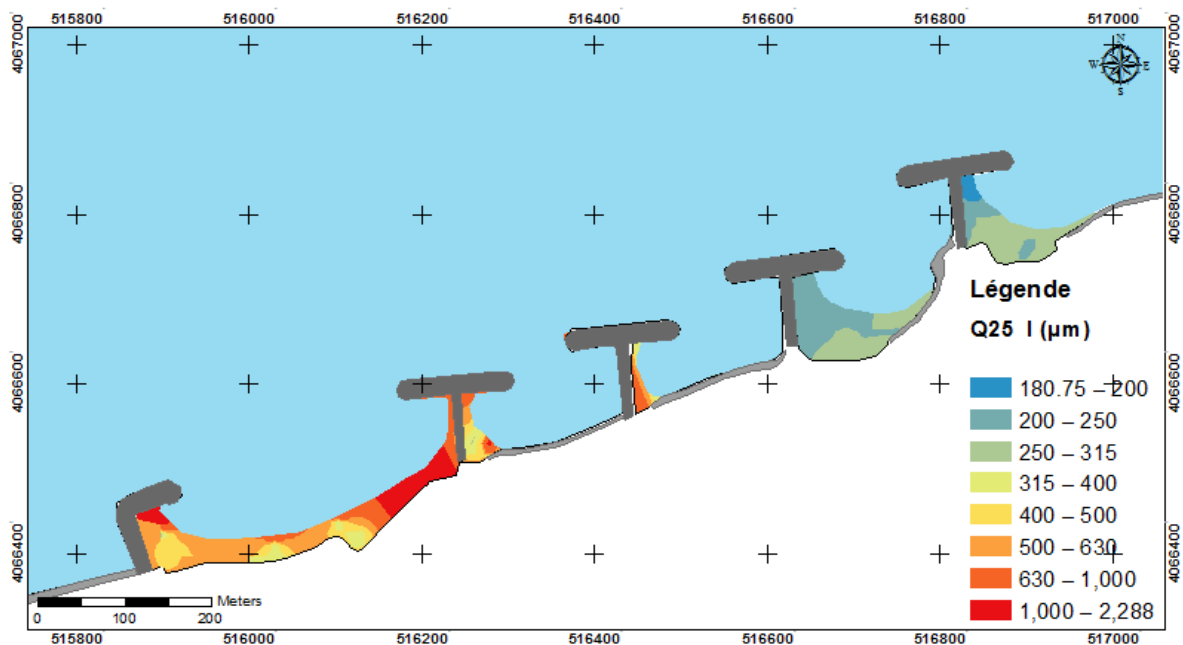


Figure III.36: Répartition du quartile inférieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)

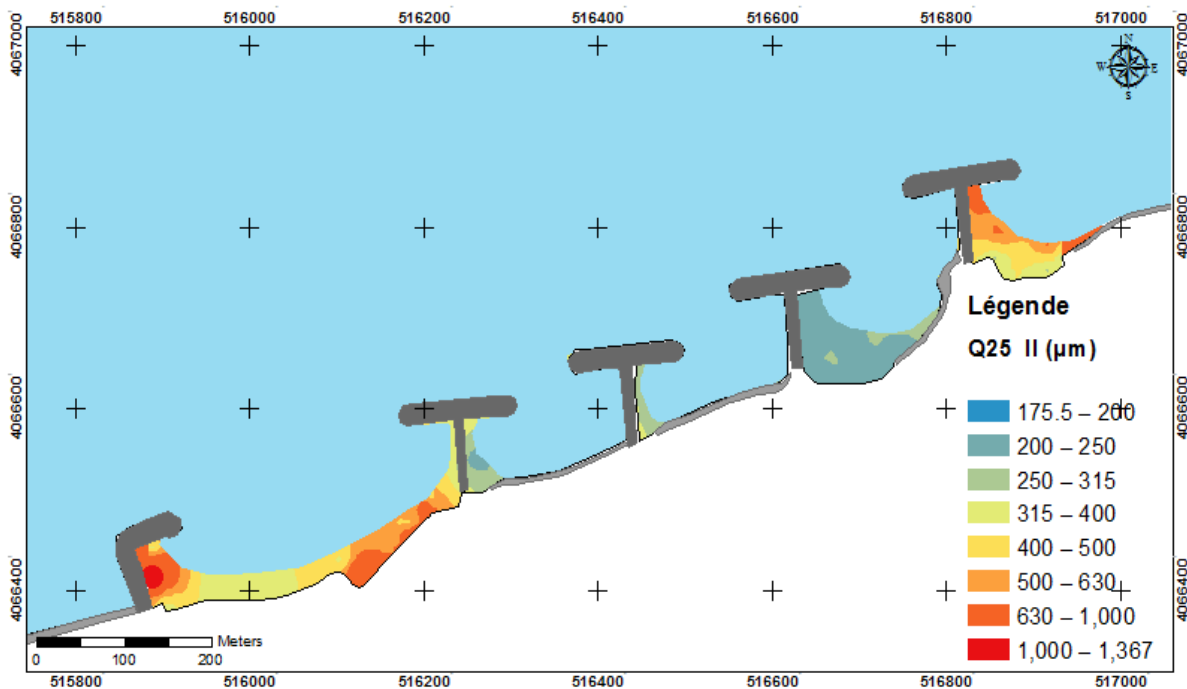


Figure III.37: Répartition du quartile inférieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)

- **Commentaire**

La répartition du quartile inférieur Q25 dans la plage aérienne de notre zone d'étude est marquée par une augmentation graduelle de la taille des sédiments d'Est en Ouest avec des diamètres allant d'environ 175 µm à des diamètres grossiers atteignant les 2000 µm pour le premier échantillonnage.

La distribution du quartile inférieur du sédiment est plus au moins hétérogène pour le deuxième échantillonnage où des sédiments plus grossiers avec un diamètre d'environ 1400 µm se sont déposés aux extrémités de notre zone d'étude, et les diamètres les moins élevés sont déposés au centre.

- **Quantile supérieur, Q75**

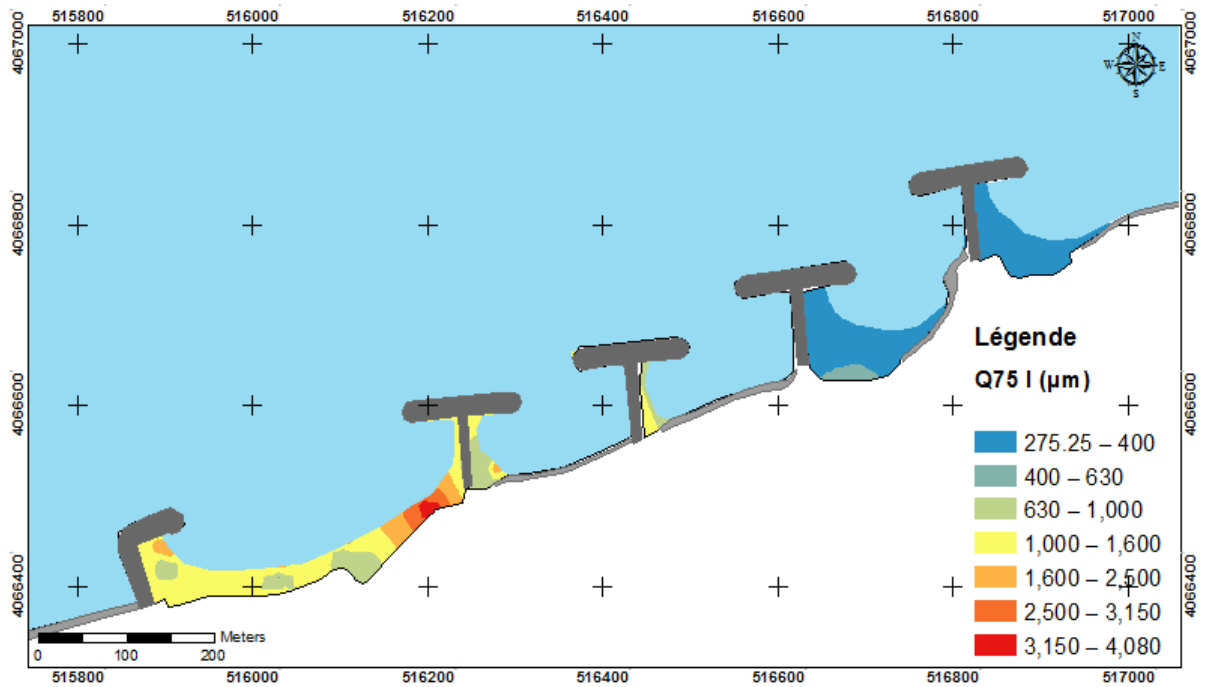


Figure III.38: Répartition du quartile supérieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 1)

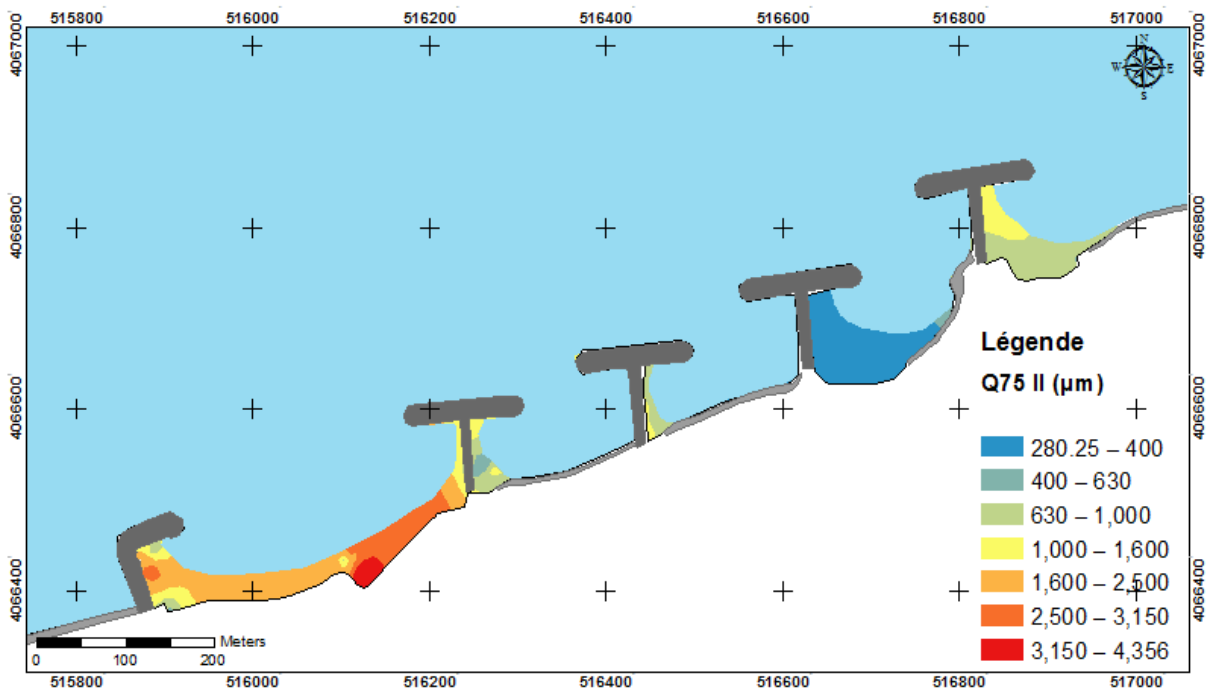


Figure III.39: Répartition du quartile supérieur dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan (échantillonnage 2)

• **Commentaire :**

La répartition du quartile supérieur dans la plage aérienne de la frange côtière de Bordj El Kiffan présente une répartition hétérogène semblable à celle du quartile inférieur, où les sédiments les plus importants varient entre 630 μm jusqu'à 4000 μm , couvrent la majeure partie de la zone d'étude à l'exception de la plage en poche abritée par les deux épis en T au niveau de Sirène II qui est marquée par le dépôt des sédiments avec des diamètres allant d'environ 280 μm à 630 μm .

Cette répartition est due au facteur hydrodynamique qui tend à déplacer les sédiments fins et déposer les sédiments grossiers à la côte.

4.2.3. Analyse modale

➤ **Fréquence d'apparition des modes**

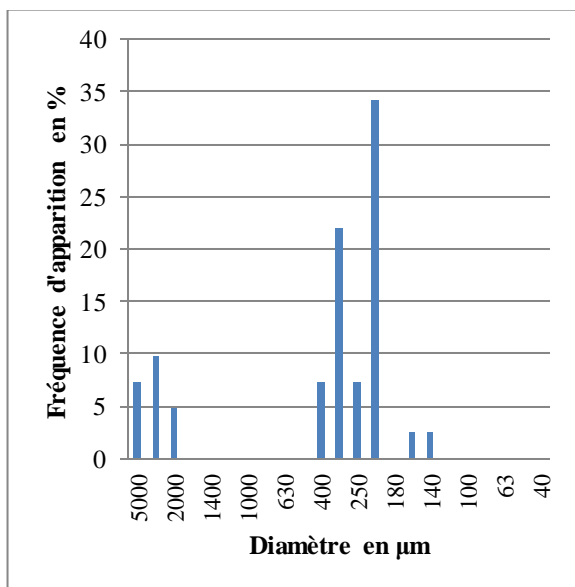


Figure III.41: Fréquence d'apparition des modes (Échantillonnage 1)

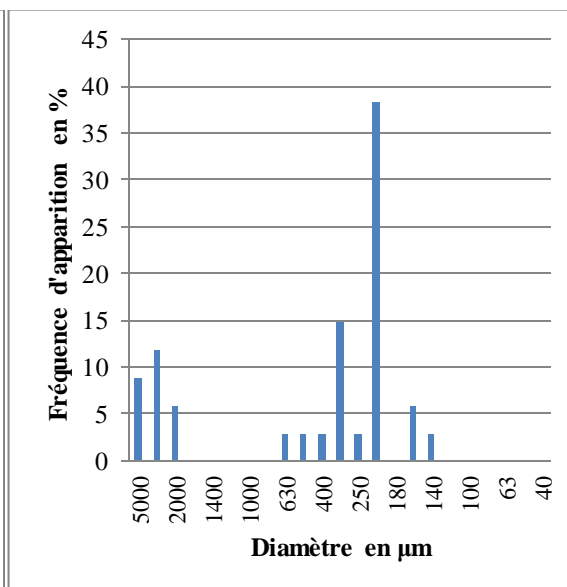


Figure III.40: Fréquence d'apparition des modes (Échantillonnage 2)

• **Commentaire :**

Les diagrammes des fréquences d'apparition des modes nous montrent l'existence de trois modes pour les deux échantillonnages, le mode 200 μm , le mode 315 μm et le mode 3150 μm .

➤ Cartographie du mode 200 µm

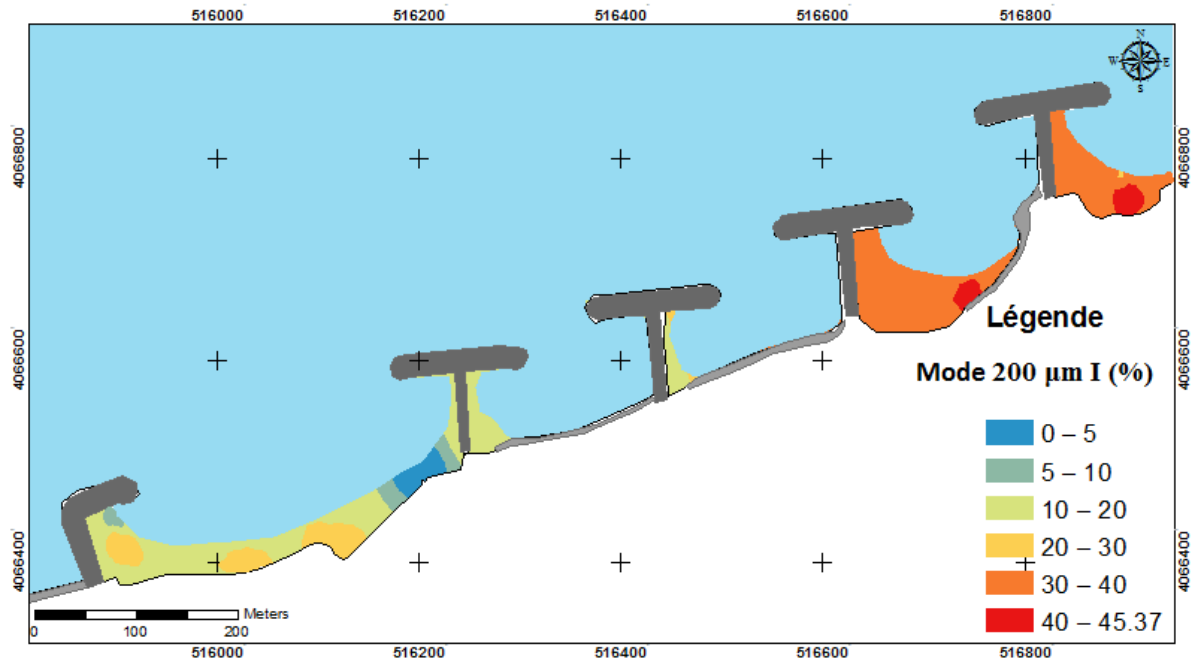


Figure III.42: Répartition du mode 200µm sur la plage aérienne de la zone de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1)

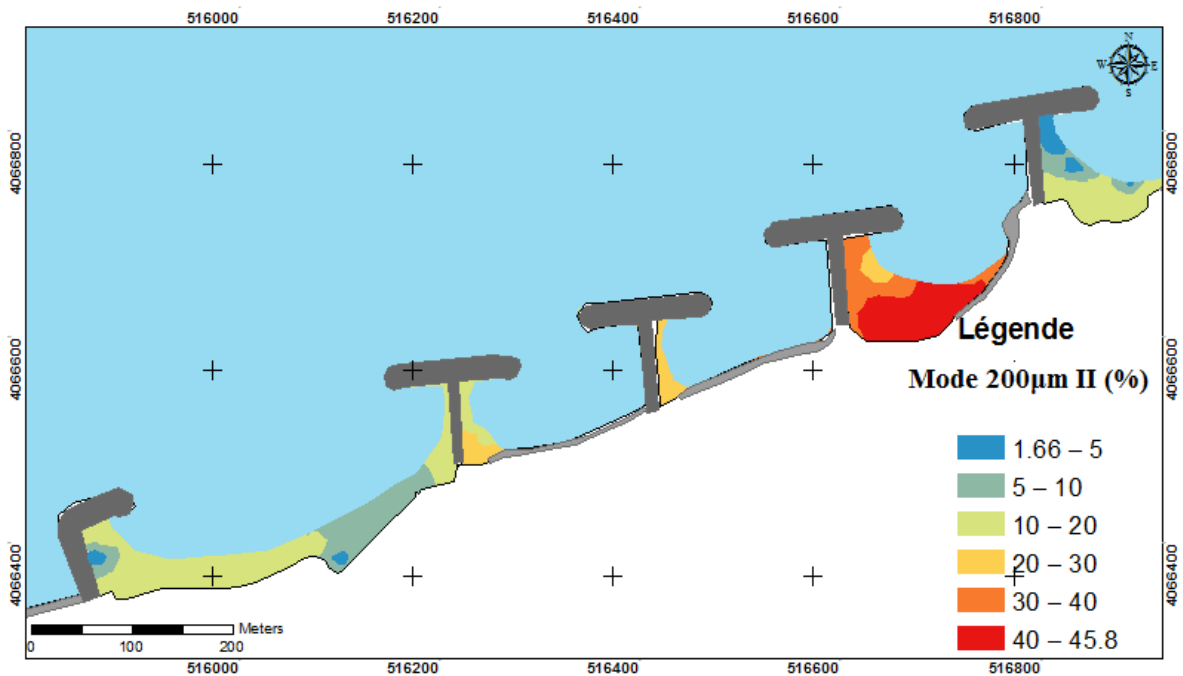


Figure III.43: Répartition du mode 200µm sur la plage aérienne de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2)

• **Commentaire :**

Le mode 200 μm représente le stock des sédiments fins, les pourcentages les plus faibles de ce mode (<20%) sont localisés aux extrémités de la zone d'étude tandis que les pourcentages les plus élevés (>20%) sont concentrés dans la partie centre.

➤ **Cartographie du mode 315 μm**

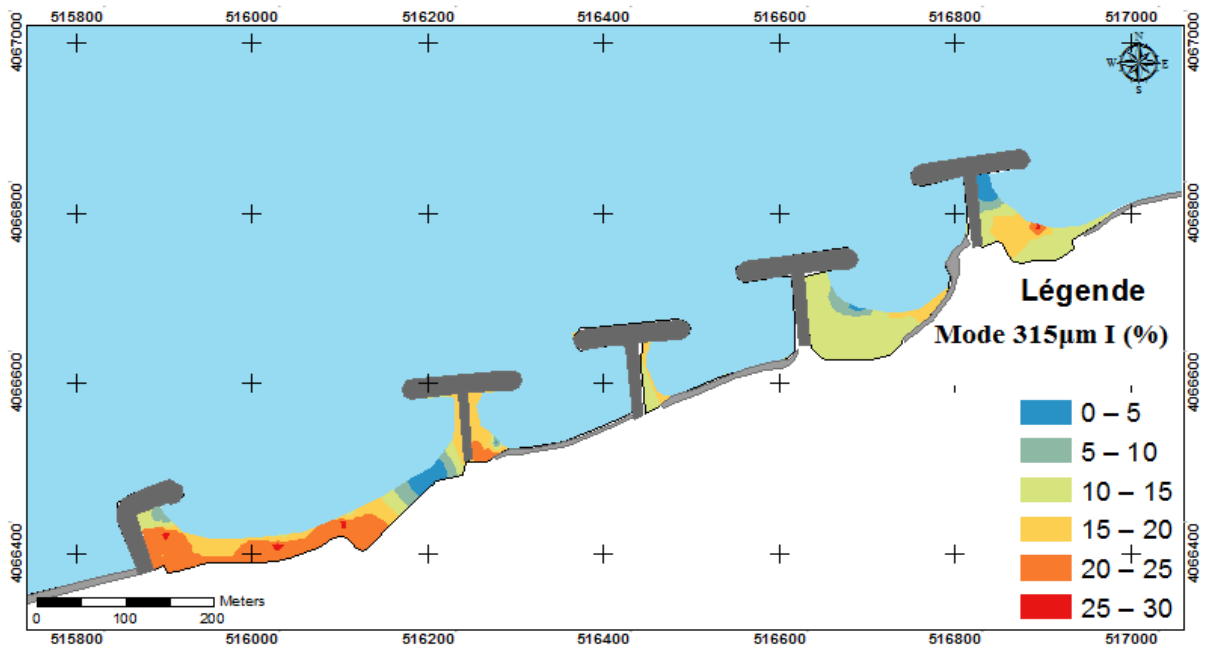


Figure III.44: Répartition du mode 315 μm dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1)

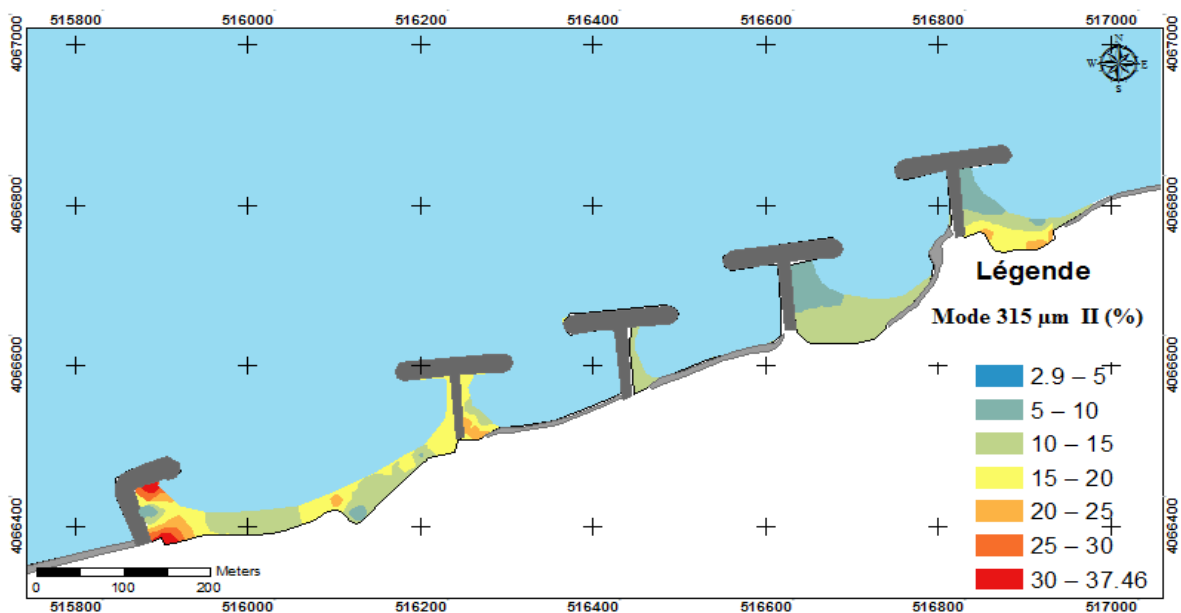


Figure III.45 : Répartition du mode 315 μm dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2)

• **Commentaire :**

Le mode 315µm représente le stock des sédiments moyens. La répartition de ce mode se traduit par une diminution graduelle de pourcentage d’Est en Ouest. Il y a une dominance en pourcentage moyen qui varie entre (10-15%) sur la totalité de la zone d’étude avec une apparition de pourcentages plus élevés (>20%) en amont du premier épi en T et en amont de l’épi en L.

➤ **Cartographie du mode 3150 µm**

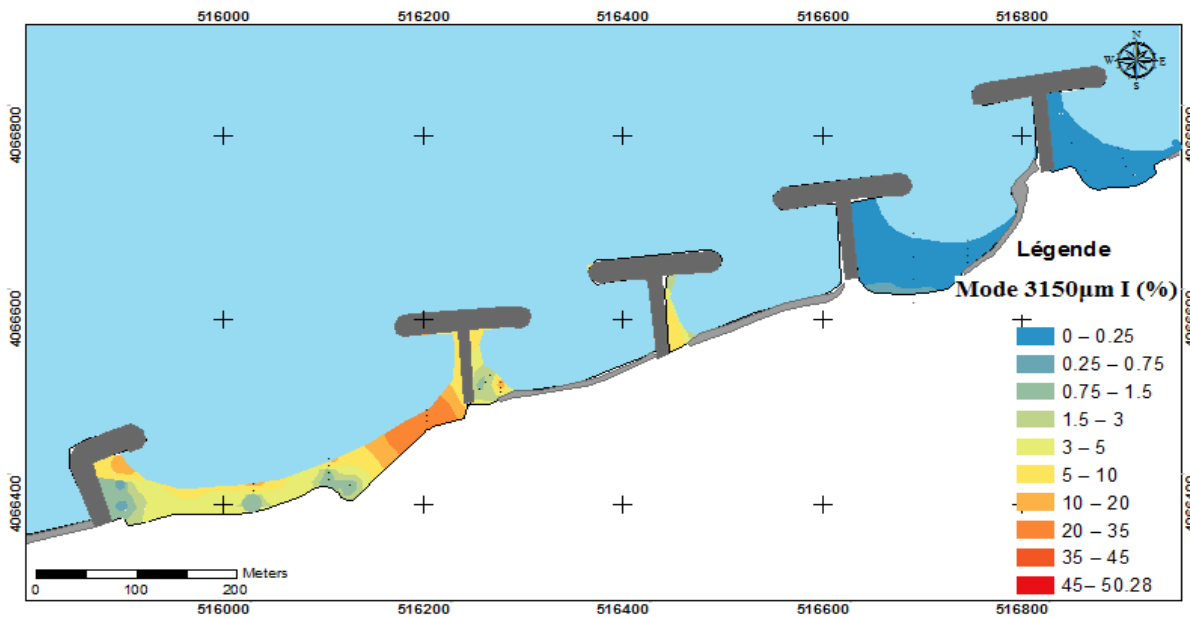


Figure III.46: Répartition du mode 3150µm dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 1)

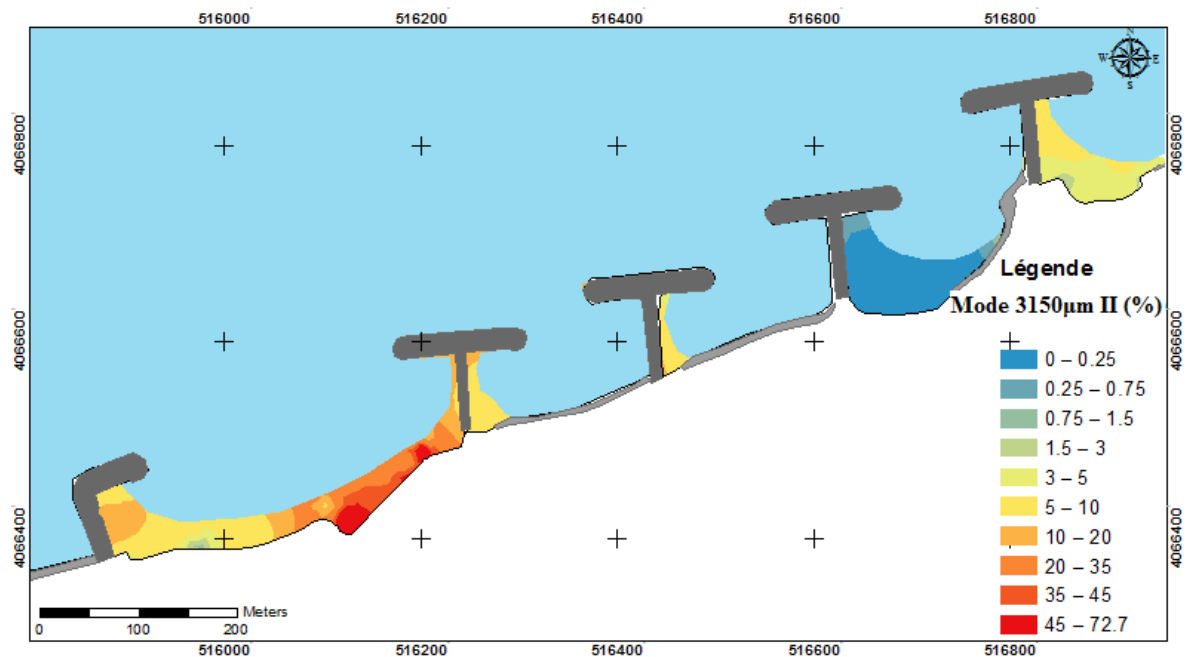


Figure III.47: Répartition du mode 3150µm dans la plage de Bordj El Kiffan (Échantillonnage 2)

- **Commentaire :**

Le mode 3150 μm représente le stock des sédiments très grossier. La répartition de ce mode se traduit par une diminution graduelle de pourcentage d'Est en Ouest. Les pourcentages de ce mode sont très faibles (ne dépassent pas les 5%) dans la plage Sirène II pour les deux échantillonnages.

Les pourcentages les plus élevés atteignent 50% pour le premier échantillonnage et dépassent les 70 % pour le deuxième échantillonnage au niveau de la plage Sirène I.

4.2.4. Indices granulométriques

➤ **Indice de classement S_0**

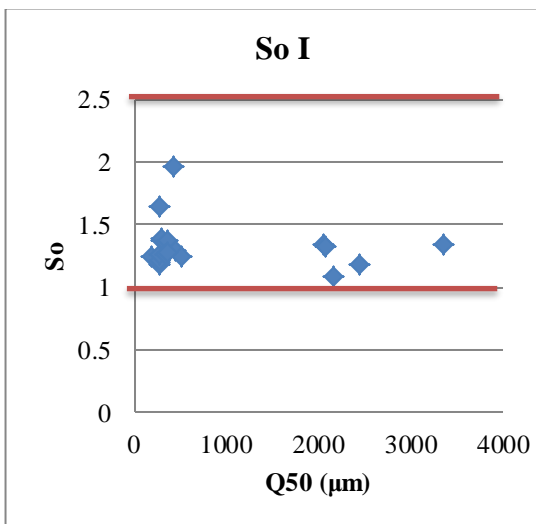


Figure III.48: Relation entre S_0 et Q_{50} (Échantillonnage 1)

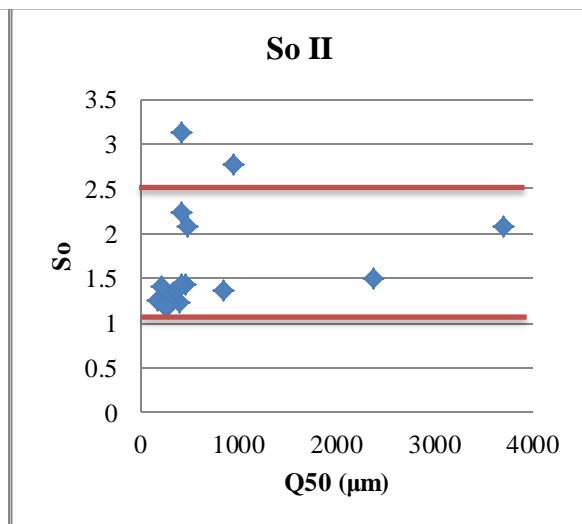


Figure III.49: Relation entre S_0 et Q_{50} (Échantillonnage 2)

- **Commentaire :**

L'ensemble des valeurs de S_0 obtenues dans notre zone d'étude varient entre 1 et 2.5 pour les deux échantillonnages (sauf pour les échantillons n°3 et n°4), cela révèle une présence de sédiments bien classés.

➤ **Coefficient d'asymétrie SK**

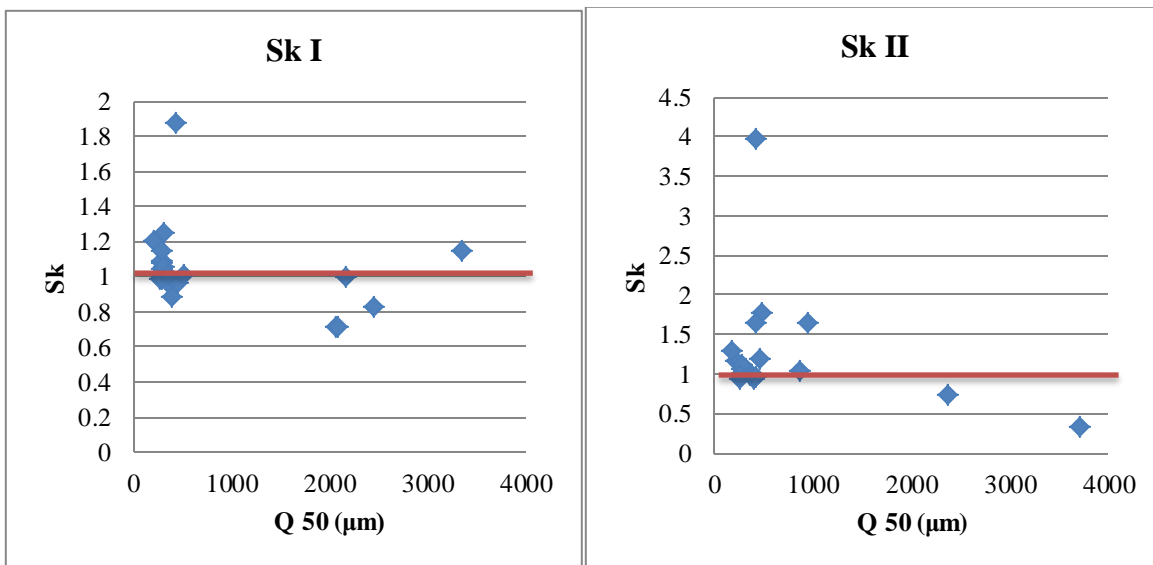


Figure III.51: Relation entre So et Q50 (Échantillonnage 1)

Figure III.50: Relation entre So et Q50 (Échantillonnage 2)

- **Commentaire :**

Plus de 50% des valeurs de coefficient d’asymétrie des échantillons dans la zone d’étude, pour les deux échantillonnages, sont supérieures à 1 ce qui indique un classement maximum vers les particules grossières, à l’exception de quelques stations de prélèvement qui se situent au niveau de la plage Sirène II.

- **Conclusion**

Les teneurs en pélites sont comprises entre 0 et 3 % et diminuent d’Est en Ouest reflétant ainsi le fort hydrodynamisme dans la zone d’étude.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables très grossiers et des graviers très fins (630 et 4000 µm) pour les deux sorties.

Les diamètres des sédiments correspondant aux Q25 et Q75, diminuent d’Est en Ouest pour les deux sorties et varie de 180 µm à 3000 µm pour le Q25 et de 300 µm à 4000 µm pour le Q75.

L’analyse modale des courbes granulométriques, qui sont pour la plupart de type plurimodales, indiquent l’existence de stocks sédimentaires très variés (200 µm, 315 µm et 3150 µm).

Selon la classification de Folk, 1966, les sédiments sont bien classés, le tri indique un classement maximum vers les particules grossières pour les deux échantillonnages.

CHAPITRE IV :
VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE
DU TRAIT DE CÔTE
DE LA ZONE DE BORDJ EL KIFFAN

- **Introduction**

Il est nécessaire de comprendre la dynamique globale de la zone d'étude. Pour cela, nous avons étudié son évolution dans une échelle à moyen terme, durant la période de 1980 à 2017, permettant de percevoir l'impact des ouvrages de protection qui y existent. Cette étude se base sur une analyse des variations du trait de côte sous SIG. Nous présentons donc les outils et les procédures pour ce faire, puis les traitements appliqués à ces informations et enfin les résultats de cette analyse.

1. Outils et procédure

Pour mener à bien cette étude, différents types de données relatives à la mesure des traits de côte ont été utilisées.

Nous avons procédé à l'aide de l'analyse diachronique des photographies aériennes datant de 1980, 2003 et 2007, d'une orthophoto de 2012 et d'un levé sur terrain réalisé par le biais d'un GPS effectué en 2017.

1.1.Procédure de l'analyse de l'évolution du trait de côte

Une des meilleures méthodes qui existe dans l'analyse de l'évolution du trait de côte est l'analyse de photographies aériennes. En résumé, on procède de la façon suivante :

- On choisit des photos aériennes, images satellitaires prises à des dates différentes;
- Ces photos doivent être rectifiées et géoréférencées (reliées à des coordonnées géographiques précises de sorte qu'on puisse localiser des objets au sol);
- On détermine la position du trait de côte selon des critères aussi précis que possible;
- On trace les traits de côte et on mesure la différence du positionnement entre eux.

1.2.Données utilisées

Les données les plus anciennes sont issues des photographies aériennes achetées de l'INCT. Les huit clichés de 1980, 2003 et 2007 ne sont pas géoréférencés, mais celui de 2012 est géoréférencé (orthophoto). D'autres données de position du trait de côte ont été acquises sur le terrain au GPS

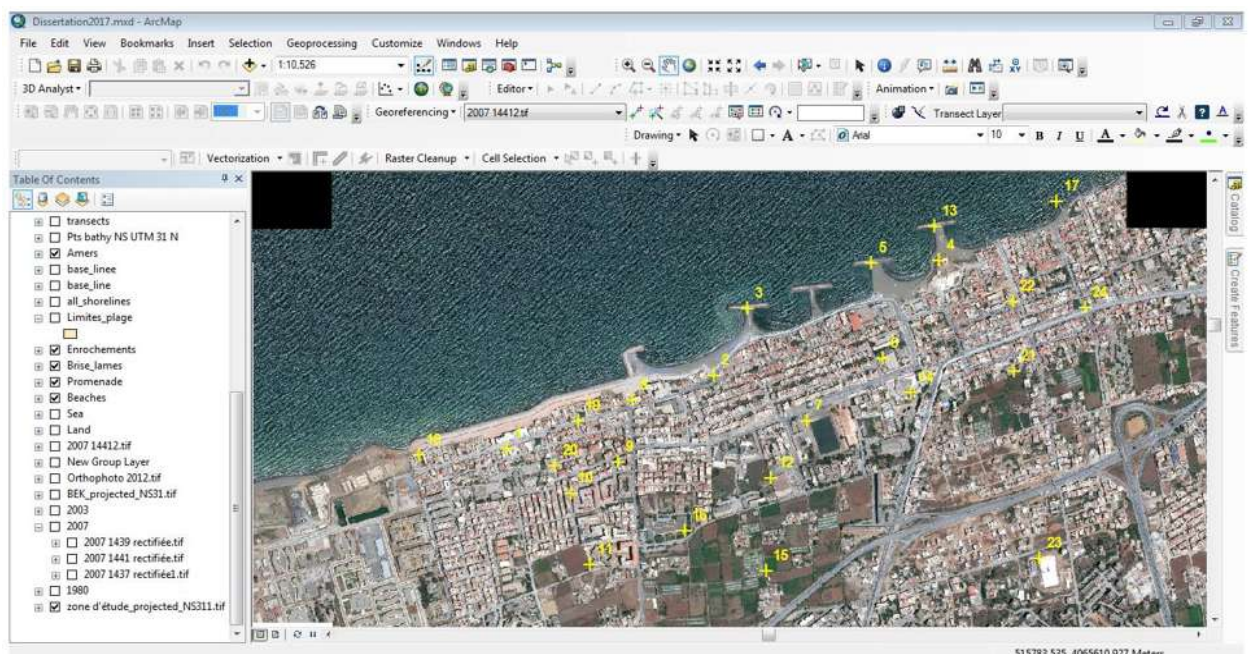
Tableau IV.7 : Inventaire des données utilisées pour déterminer l'évolution du trait de côte

Date	Type de données	Source	Échelle	Résolution
08/1980	Photos aériennes n° 24 et 26	INCT	1/10000	1 m
29/05/2003	Photos aériennes n° 28, 104 et 106	INCT	1/10000	1 m
22/12/2007	Photos aériennes n°1437, 1439 et 1441	INCT	1/4000	42 cm
24/02/2012	Ortho photographie n°600	INCT	1/20000	12 cm
18/04/2017	Levé GPS	Levé terrain	/	/

1.3.Orthorectification et géoréférencement des photographies aériennes

La rectification des photographies aériennes a été une étape indispensable dans ce chapitre. Elle a permis de les superposer à l'orthophoto de 2012 pour déterminer le changement de la position du trait de côte.

Afin d'optimiser la rectification de la zone côtière, nous avons identifié une dizaine de points de contrôle pour chaque photo, c'est-à-dire des objets communs entre les photos de 2012 et celles de 1980, 2003 et 2007, bien répartis sur la zone d'intérêt.

**Figure IV.52: Les amers choisis pour géoréférencer les photographies aériennes**

Une fois les points de contrôle choisis, nous avons procédé à la rectification proprement dite des photos en utilisant le logiciel ArcGIS 10.2 dans lequel nous avons importé les photos.

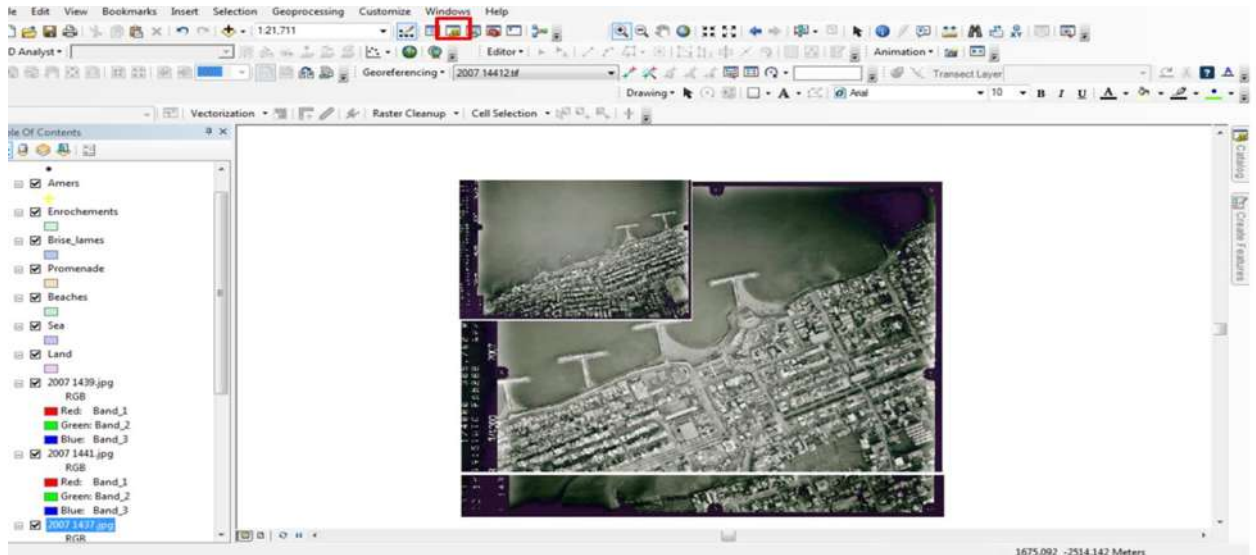


Figure IV.53: Les photos de 2007 importées dans ArcMap avant correction

Le logiciel utilise les points de contrôle lors de cette rectification et procède à une transformation qui modifie les photos de telle sorte à optimiser la superposition.

La transformation choisie est celle dite du « Spline » de 1^{er} ordre. Cette méthode consiste en une transformation à faire subir à une image, pour obtenir une image corrigée dans le référentiel choisi tout en choisissant le nombre d’amers nécessaire pour pouvoir l’effectuer. Le nombre minimal de points d’appuis peut être calculé de la façon suivante (SAMAT, 2007):

$$N = \frac{(T+1)(T+2)}{2} \dots\dots\dots IV.1$$

Où : N : le nombre minimal d’amers nécessaire

T : l’ordre de la transformation (SAMAT, 2007)

Le choix de cette méthode a été fait après plusieurs essais et s’est avérée le meilleur parce qu’elle permettait une superposition quasi parfaite des photos avec l’orthophoto de 2012 et une continuation parfaite du trait de côte entre les différentes photos.

Une fois les photographies aériennes rectifiées, les déformations sont fortement atténuées et l'image est géoréférencée. L'association des photographies d'une même campagne permet d'obtenir une image complète du site pour cette date (Figure).

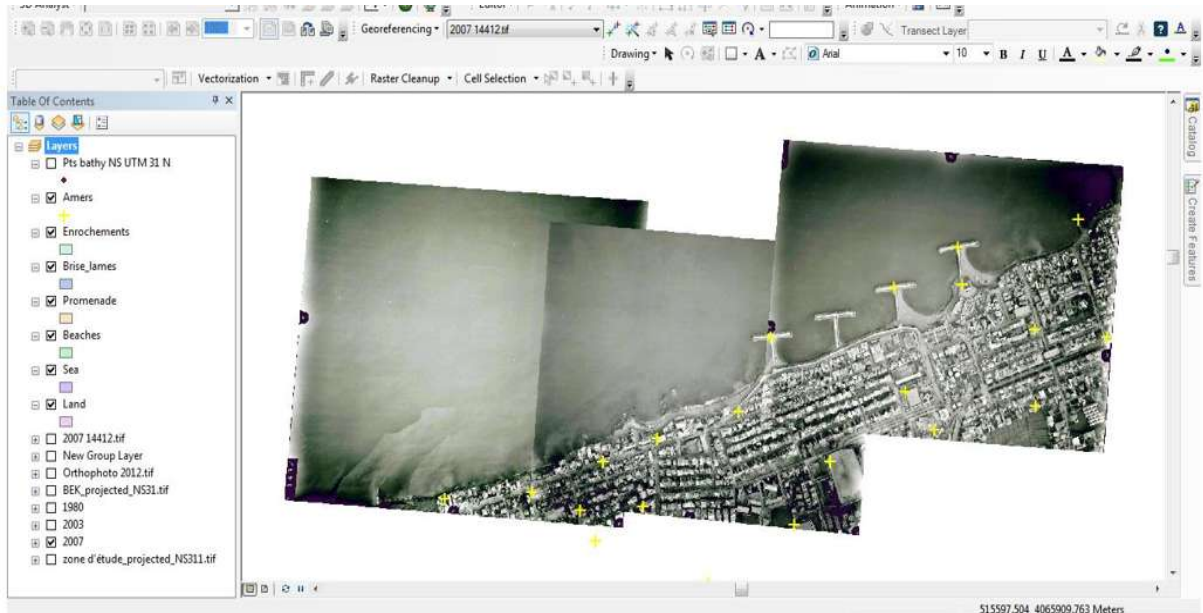


Figure IV.57: Exemple de rectification et de géoréférencement des photos de 2007

1.4. Digitalisation des différents traits de côte

Après avoir corrigé les photographies aériennes, suivra l'étape de digitalisation des traits de côtes, cela a été fait à l'aide du module ArcMap du logiciel ArcGIS 10.2, où une nouvelle base de données personnalisée a été créée afin de pouvoir l'utiliser ultérieurement dans l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) pour calculer les statistiques d'évolution des traits de côte et d'estimer les surfaces érodées et celles accrétées.

1.4.1. Digitalisation des traits de côte historiques

« La ligne de rivage correspond à l'intersection de la lithosphère avec l'hydrosphère marine. Sa position connaît des modifications en liaison avec le va-et-vient de la marée et le déferlement des vagues, mais on peut définir un niveau moyen de la mer, de marée nulle sans vagues, qui semble fixe auquel on se réfère pour mesurer l'altitude d'un point de la surface d'un continent. En réalité, ce niveau marin, outre des oscillations de courte durée, est affecté par des variations à long terme dont la connaissance est indispensable pour comprendre la morphologie et l'évolution des littoraux » (PASKOFF, 1998).

La digitalisation des traits de côte se fait en utilisant des repères plus faciles à identifier et dont la position témoigne de l'évolution de la côte par exemple les sommets des falaises, la ligne de végétation des plages, ou bien les pieds de dunes côtières. Notre zone d'étude est une zone urbanisée où les dunes se sont dégradées à cause de la forte anthropisation du rivage et elle ne contient pas de falaises. C'est pour cela les traits de côte sont numérisés en repérant la limite de rencontre de la terre et de la mer.

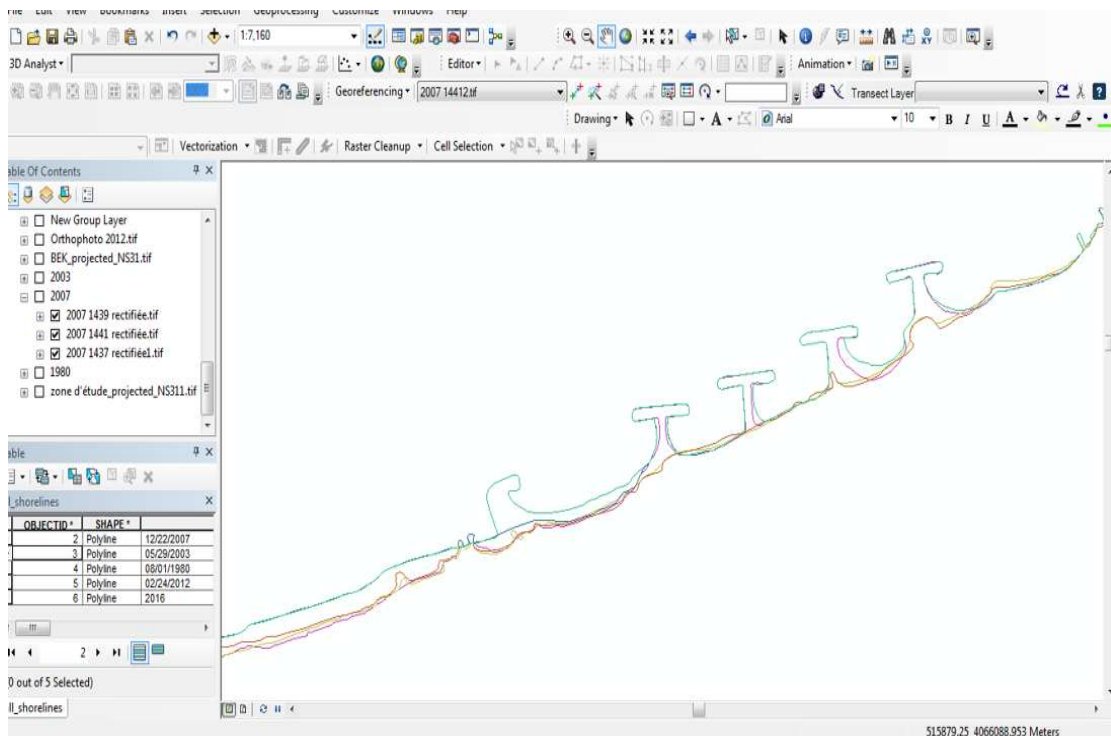


Figure IV.58: Numérisation et lissage des traits de côte

1.4.2. Le tracé du trait de côte actuel

Pour avoir une perception sur la forme du trait de côte actuel de notre zone d'étude, et qui nous sera utile pour comparer et suivre l'évolution historique de ce dernier, nous avons réalisé une sortie sur notre zone d'étude le 18 Avril 2017 équipé d'un GPS de type GARMIN dans le but d'effectuer des levés du trait de côte. Les conditions climatiques étaient stables et une journée nuageuse d'une température maximale de 18°C.

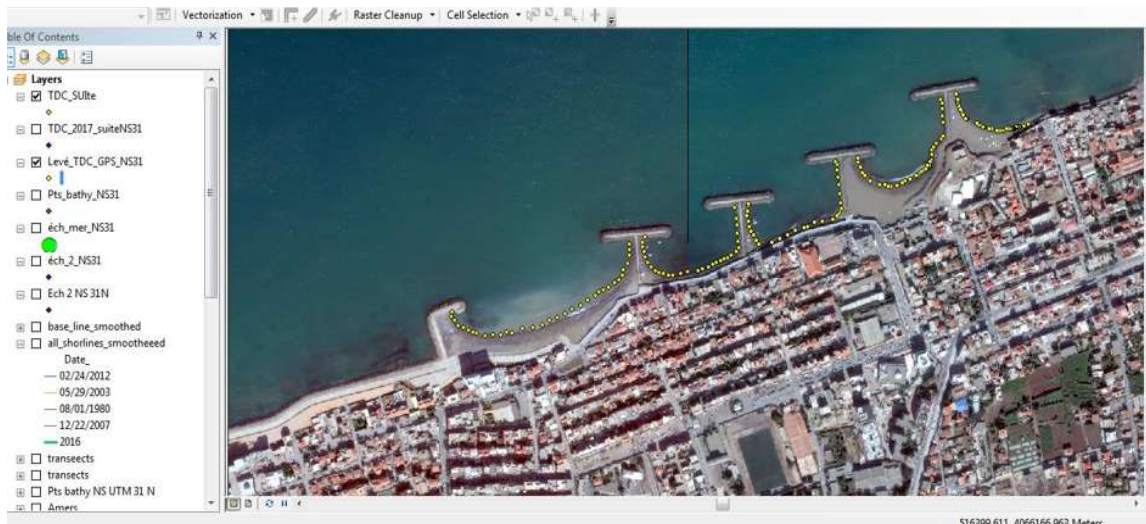


Figure IV.59: Levé GPS du trait de côte de 2017

1.5. Calcul des erreurs induites par le traitement des données des traits de côte

Les différents outils et méthodes utilisés plus haut induisent une erreur significative qui affecte la précision des données générées. Il est donc très important de calculer leur marge d'erreur et d'en tenir compte lors de l'appréciation des taux de changement du trait de côte et de leur utilisation ultérieure. Les sources d'erreur dont nous avons tenu compte sont les suivantes :

➤ La précision des photos E_p

Elle correspond à la résolution de la photo, c'est-à-dire dans ce cas-ci à la taille des pixels au sol des photos aériennes qui est différente d'une photo à une autre. (ROBICHAUD, et al., 2012)

➤ L'erreur due à la rectification E_r

Le plus souvent, on utilise l'erreur résiduelle générée par le logiciel de rectification qui est calculée à partir de la qualité de la superposition des points de contrôle selon la méthode de transformation utilisée (ROBICHAUD, et al., 2012). Dans notre cas, le logiciel ArcGIS ne génère aucune erreur résiduelle selon la méthode de transformation choisie (spline).

➤ L'erreur de digitalisation E_d

C'est l'erreur dû au positionnement du trait de côte selon les repères choisis. Difficile à établir précisément, on utilise souvent une valeur arbitraire, mais raisonnable

(ROBICHAUD, et al., 2012). Dans ce travail, elle est jugée égale à ±5 m pour les photos de 1980 et 2003, ±2 m pour la photo de 2007 et ± 1m pour l’orthophoto de 2012.

➤ **L’erreur due aux variations saisonnières E_s**

C’est l’erreur du mouvement de la position de la ligne du rivage (fluctuations saisonnières du rivage) sous l’action des vagues et des tempêtes.

Les différences des positions saisonnières sont calculées sur les traits de côte d’hiver et d’été de 2007 et de 2012. Cette erreur est estimée à ±3m

➤ **L’erreur globale**

C’est le résultat de toutes les erreurs qui ont été précédemment estimées. Elle est définie comme la racine carrée de la somme des carrés des erreurs. Elle est calculée en utilisant :

$$E_g = \pm \sqrt{E_p^2 + E_r^2 + E_d^2 + E_s^2} \dots\dots\dots (IV.2)$$

Les erreurs sont donc estimées en (m) et résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV.8: Estimation des erreurs induites par le traitement des données des traits de côte

Date	Erreur saisonnière (E_s)	Erreur due à la rectification (choix des amers) (E_r)	Erreur de digitalisation (E_d)	Résolution ou précision de l’orthophotoplan(E_p)	Erreur globale (m)
01/08/1980	5.00	5.00	5.00	0.12	8.66
29/05/2003	5.00	5.00	5.00	0.12	8.66
22/12/2007	5.00	2.00	2.00	0.12	5.75
24/02/2012	5.00	0.00	1.00	0.12	5.10
18/04/2017	5.00	0.00	4.00	0.00	6.40

1.6.Utilisation de l’extension DSAS pour l’analyse de l’évolution du trait de côte

L’idée de base dans la détermination du déplacement de la ligne de côte de Bordj El Kiffan est de superposer les traits de côte numérisés, et de mesurer la distance entre eux à différents points le long du littoral. Cela permet de calculer des taux de changement annuels (en mètre par an).

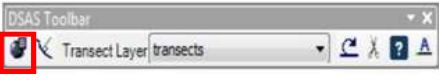

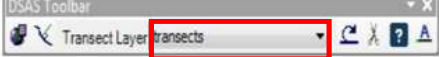


Les mesures entre les traits ont été faites à l'aide de l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) spécialement conçu pour ce genre de travail et compatible avec le logiciel ArcGIS.

1.6.1. Présentation de DSAS

Le système d'analyse numérique des traits de côte DSAS (Digital Shorelines Analysis System) est une extension conçue pour le logiciel ArcGis, elle est disponible gratuitement. DSAS calcule les statistiques du taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral.

1.6.1.1.Barre d'outils de DSAS

Tableau IV.9: La barre d'outils de l'extension DSAS

	<p>Spécifier les paramètres de base, les noms de fichiers de référence, des traits de côte, paramètres des transects...</p>
	<p>Génère nouvelle classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.</p>
	<p>Reconnaissance de tous les fichiers de transects actif dans le projet</p>
	<p>Calcul des différentes statistiques et les afficher dans des tableaux</p>
	<p>Cette icône permet de découper les transects selon la variation du trait de côte</p>

1.6.1.2.Les méthodes statistiques

DSAS utilise plusieurs techniques statistiques afin de comparer les positions des traits de côte à travers le temps pour analyser leurs évolutions, telles que : la méthode du mouvement net du trait de côte, la méthode des points extrêmes. Les méthodes utilisées dans cette présente analyse sont les méthodes du changement net du rivage ainsi que celles des points extrêmes. (HIMMELSTOSS, 2009)

a- Le mouvement net du trait de côte

Le mouvement net de la ligne du rivage « Net Shoreline Movement » NSM rapporte une distance, pas un taux. Il est associé avec les dates de seulement deux traits de côte. Il tient compte de la distance entre le plus anciens et le plus récent traits de côte pour chaque transect. Il permet donc d’estimer le changement global. (THAN, 2015)

b- Méthodes des points extrêmes

Cette méthode « End Point Rate » EPR est la distance sur les transects entre deux traits de côte divisé par le nombre d’années qui les séparent.

$$R = D/T_e \dots\dots\dots(IV.3)$$

Où : R : est la vitesse en mètre par an (m/an)

D : est la distance en mètre (m)

T_e : est le laps de temps écoulé entre le plus récent et le plus ancien des traits de côte (ans) (THAN, 2015)

1.6.2. Méthodologie d’analyse des traits de côte à l’aide de DSAS

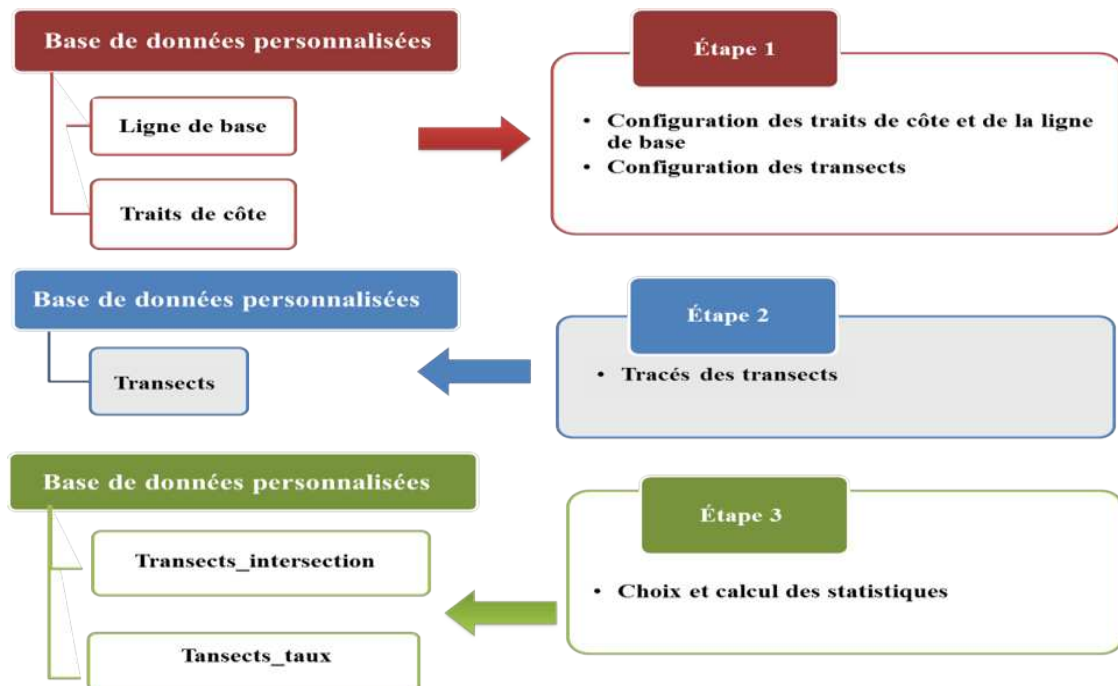


Figure IV.60: Schéma du fonctionnement de l'extension DSAS

1.6.2.1. Préparation des classes d'entité (Shape files)

a- La classe d'entité des traits de côte

Une classe d'entité pour les traits de côte est créée, avec un champ de la date sous format texte et un autre champ pour l'incertitude ou l'erreur globale calculée précédemment sous format réel double.

b- La classe d'entité de la ligne de base

La ligne de base est déterminée et tracée après avoir créé automatiquement, à l'aide de l'outil 'Buffer' d'ArcMap, une enveloppe qui englobe tous les traits de côtes. Cela permet d'avoir une ligne de base avec l'allure la plus proche à celle des changements de l'ensemble des traits de côte qui peut être tracée « on-shore » ou « off-shore ».

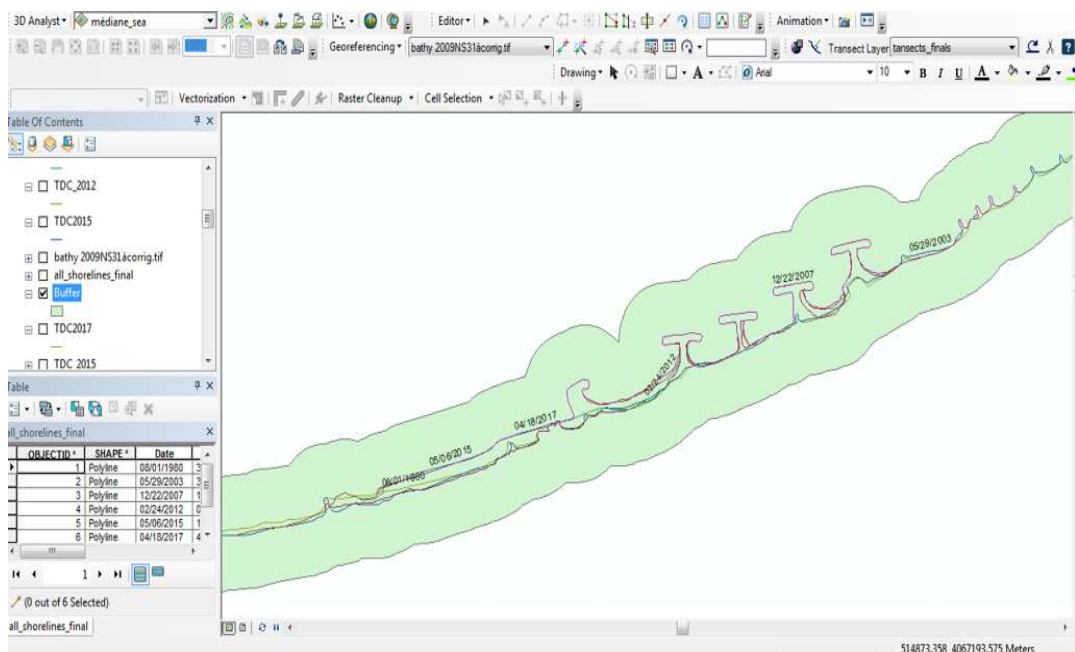


Figure IV.61: Application de l'option Buffer pour la réalisation de la ligne de base

1.6.2.2. Configuration des transects

Une autre classe d'entité pour les transects a été créée et les taux de déplacement annuels ont été calculés sur près de 250 transects ayant une longueur de 250 m et distants de 10 mètres tout le long du littoral. Ces taux sont présentés dans la section « Résultats » et sont indiqués dans la figure ci-dessous.

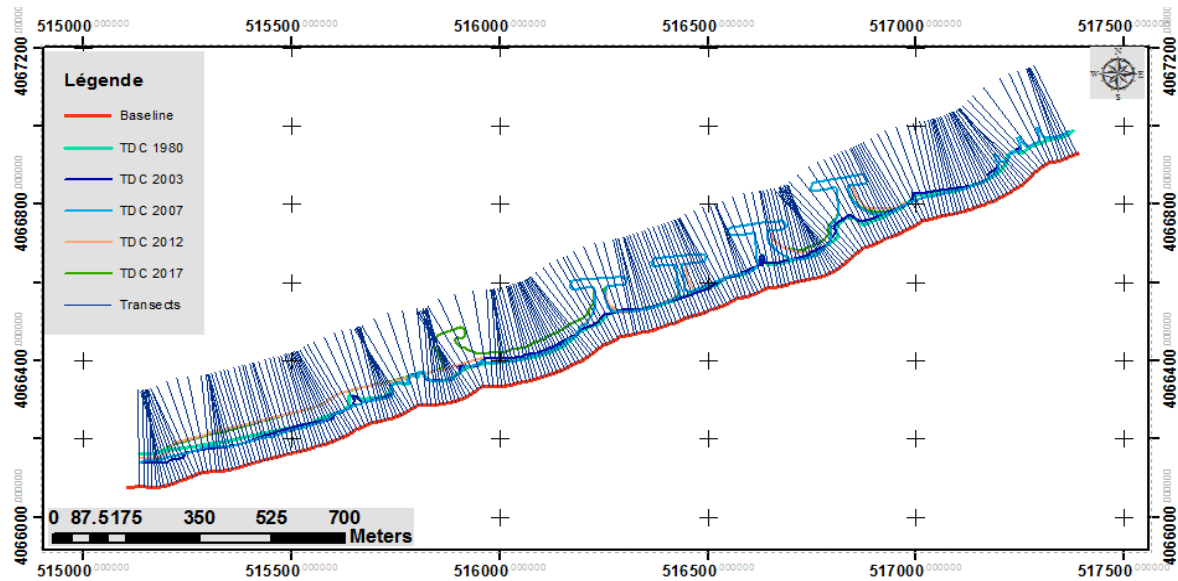


Figure IV.62: Génération des transects dans la zone d'étude à l'aide de l'extension DSAS

1.7. Analyse des tendances d'érosion et de dépôts

Après avoir défini les méthodes d'analyse de variations linéaires du rivage nous aborderons également l'évaluation des changements en surfaces.

Pour ce faire, nous avons créé des classes d'entité de type polygone pour pouvoir estimer les surfaces érodées et celles accumulées.

2. Résultats et discussion

2.1. Évolution des linéaires côtiers entre 1980 et 2003

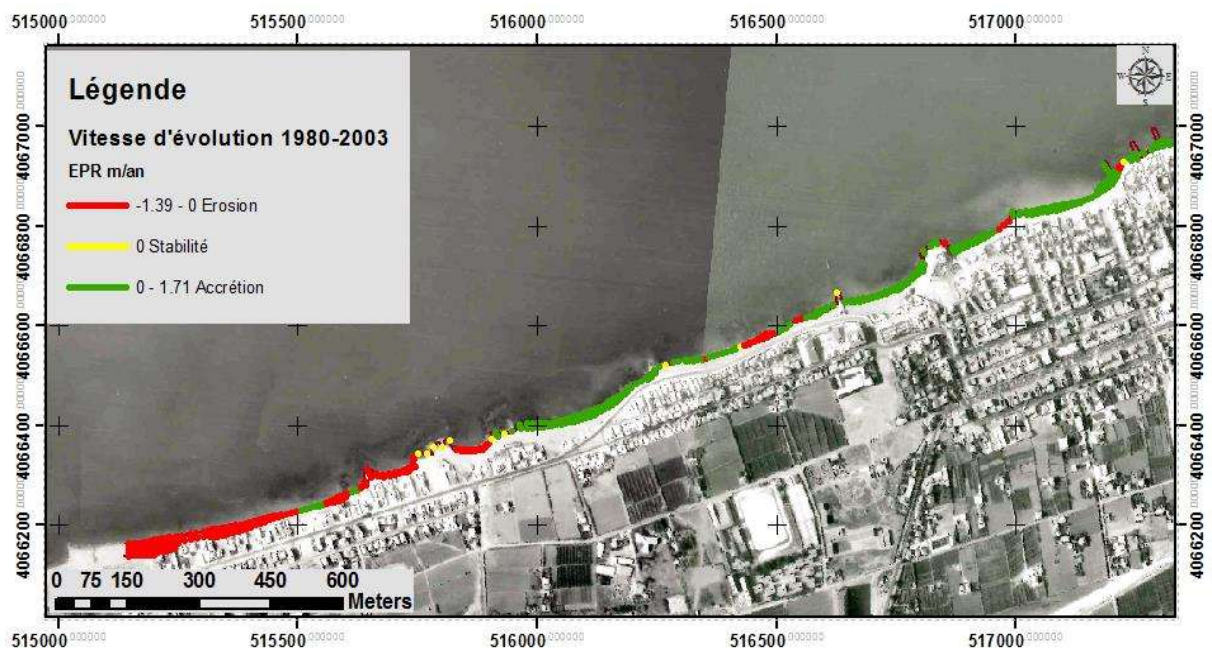


Figure IV.63: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2003 dans la zone de Bordj El Kiffan

Cette carte illustre les tendances d'évolution naturelle du trait de côte sur une période de 23 ans, c'est-à-dire l'implantation des ouvrages de protection (mise à part l'implantation d'une batterie d'épis et un cordon d'enrochement à l'Est de la zone d'étude au niveau de la Verte Rive).

L'analyse diachronique des traits de côte de cette période montre que la partie Est de la zone d'étude a connu une accrétion en moyenne de 0.24 m/an avec un maximum de 1.71 m/an soit un gain de surface de m^2 et un minimum de 0.1m/an soit une perte en surface de $8269.17m^2$. Par contre dans la partie Ouest, l'érosion a pris l'avantage sur l'accumulation avec un recul moyen estimé à -0.12 m/an, un maximum de -1.39m/an et un minimum de -0.39 m/an soit une perte de $-9633.44 m^2$. Nous remarquons aussi la présence de petites zones qui n'ont pas évolué cela est dû à la présence de platiers rocheux.

Ces évolutions de la côte sont d'une part, le résultat de la manifestation des forçages hydrodynamiques et d'autre part, l'intervention du facteur humain par la forte urbanisation du rivage et de son anthropisation.

2.2. Évolution des linéaires côtiers entre 2003 et 2007

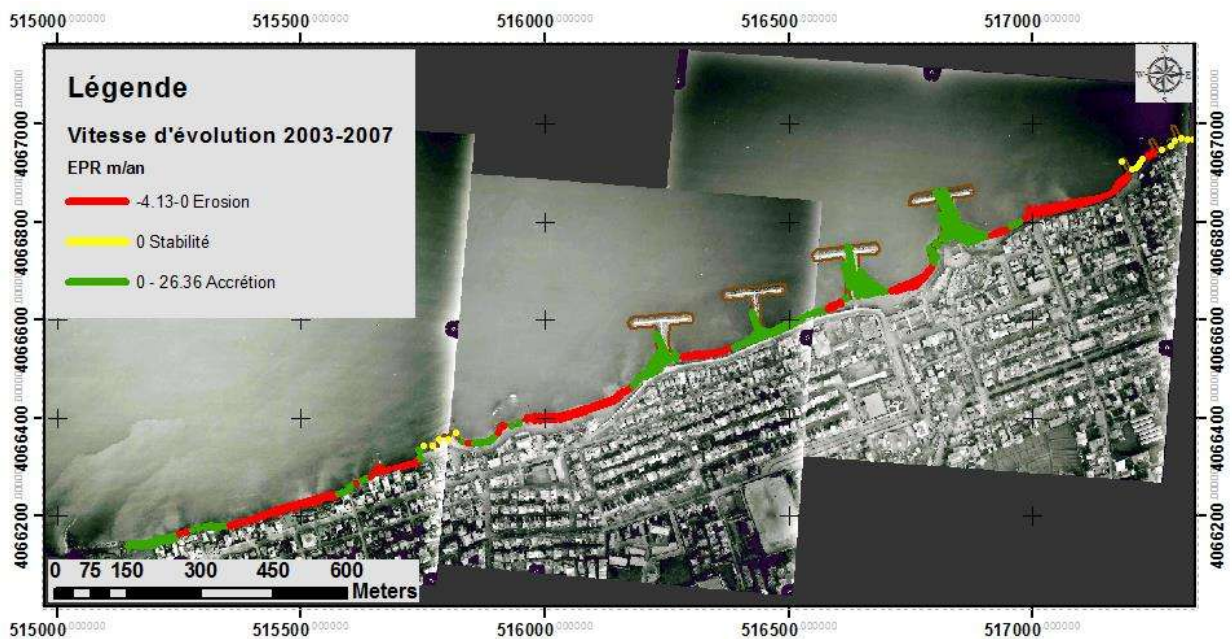


Figure IV.64: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj EL Kiffan

Durant une période de 4 ans, notre zone d'étude a été marquée par une alternance de zone d'érosion et d'accrétion. L'érosion a été déclenchée au niveau du secteur Est et a accentué au

niveau du secteur Ouest (au niveau du Lido) avec un taux moyen de -1.17m/an , un maximum de -4.13 m/an et un minimum de -0.08m/an soit une perte de -6488.92 m^2 . Nous remarquons que les zones d'accumulation se situent en amont des épis avec une évolution moyenne de 2.73m/an , un maximum de 26.36 m/an et un minimum de 0.04m/an .

Ces bouleversements à court terme sont dus à la combinaison de deux facteurs naturels et artificiels, par l'hydrodynamisme et par l'implantation de quatre épis en T qui favorisent l'érosion en aval et la progradation en amont de la dérive littorale.

2.3.Évolution des linéaires côtiers entre 2007 et 2012

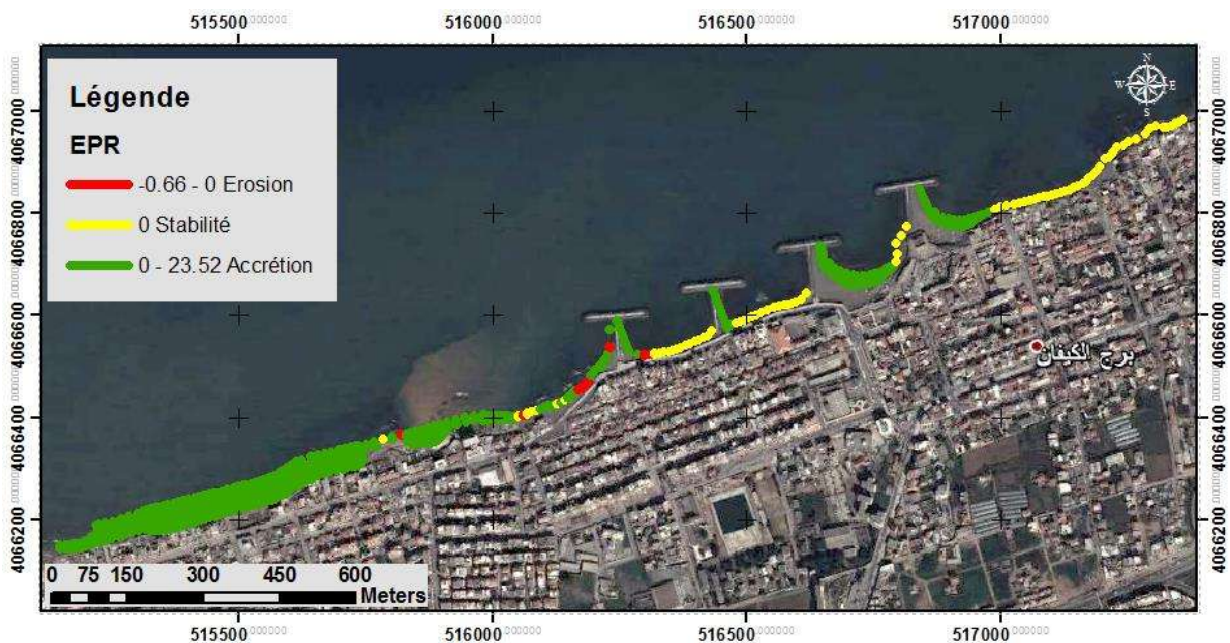


Figure IV.65: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2007 et 2012 dans la zone de Bordj EL Kiffan

De 2007 à 2012, notre zone d'étude a connu un changement des tendances d'évolution, où les taux d'érosion ont fortement été atténués à une moyenne de -0.26 m/an , un maximum de -0.66 m/an et un minimum de -0.02m/an soit une perte de -289.13m^2 . Nous remarquons la poursuite de l'engrègement surtout au niveau du secteur Ouest avec une moyenne de 5.98 m/an , un maximum de 23.52 m/an et un minimum de 0.82m/an soit un gain de surface de 32924.74 m^2 .

Cette période de 4 ans a été marquée aussi par la stabilisation du trait de côte dans la partie Est et entre les brise-lames, cela est dû à la présence des cordons d'engrèvements. Les engrègements observés dans le secteur Est sont naturels par les apports des sédiments du large et leur dépôts à la côte. Par contre, l'accumulation spectaculaire dans le secteur Ouest

est causée par le début des travaux de l'aménagement d'une promenade et une plage artificielle au niveau de Lido.

2.4.Évolution entre 2012 et 2017



Figure IV.66: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2012 et 2017 dans la zone de Bordj El Kiffan

Durant une période de 5 ans, l'érosion s'est déclenché à nouveau dans le secteur Est en amont du dernier brise-lames et au niveau du Lido après avoir achevé la réalisation de la promenade. La vitesse moyenne de recul du trait de côte est de -0.72 m/an avec un maximum de -4.99 m/an et un minimum de -0.02 m/an soit une perte de -2766.31m^2 . La progradation au niveau du secteur Ouest continue avec une moyenne de 3.45 m/an, un maximum de 17.6 m/an et un minimum de 0.2 m/an soit un gain en surface de 16153.77m^2 .

La poursuite de l'accumulation dans la plage Lido est artificielle et est causée par l'apport d'un rechargement artificiel ainsi que la mise en place d'un épi en L pour le maintenir.

2.5.Évolution globale 1980 et 2017

L'analyse de l'évolution de la zone d'étude à moyen terme (période de 37 ans) montre que notre zone d'étude a subi beaucoup de changements. D'une part, nous remarquons la formation de petite plages en poches abritées par les brise-lames qui s'engraissent à une vitesse moyenne de 0.8m/an , cela est à l'origine du blocage du transit sédimentaire de l'Est vers l'Ouest ainsi que l'empêchement du départ des sédiments vers le large.

D'autre part, il existe de petite zone qui s'érodent à des taux faibles de -0.51 m/an au niveau du secteur Est en aval du dernier épi droit de la Verte Rive ainsi qu'en aval de la promenade de Lido. (Figures 17 et 18)

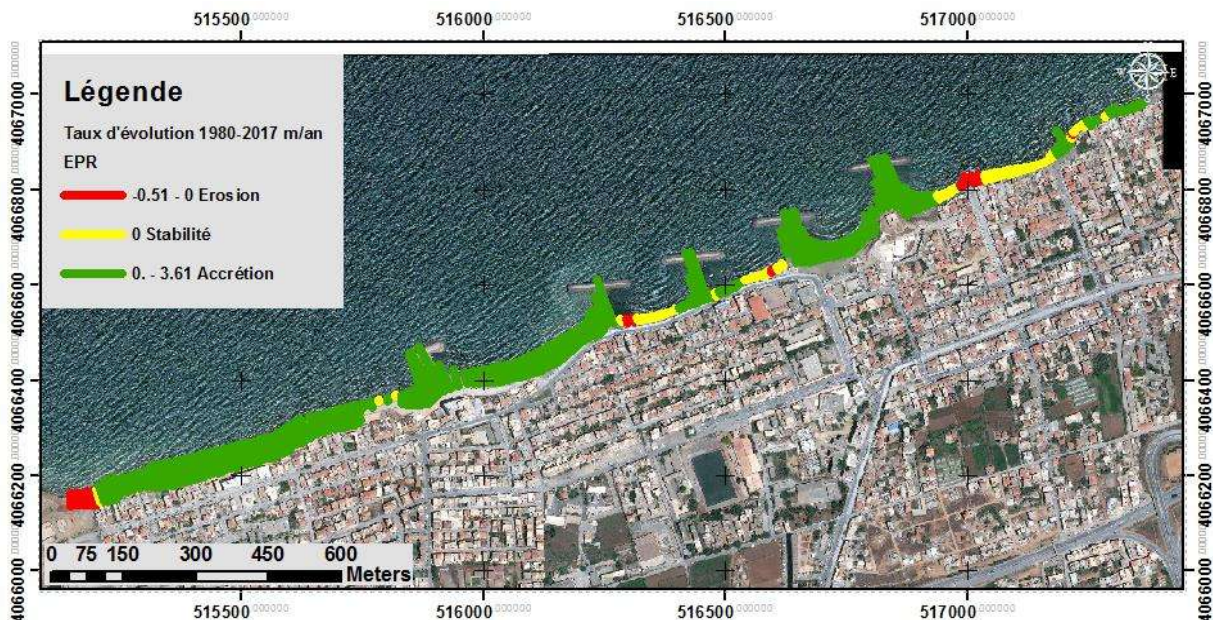


Figure IV.67: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2017

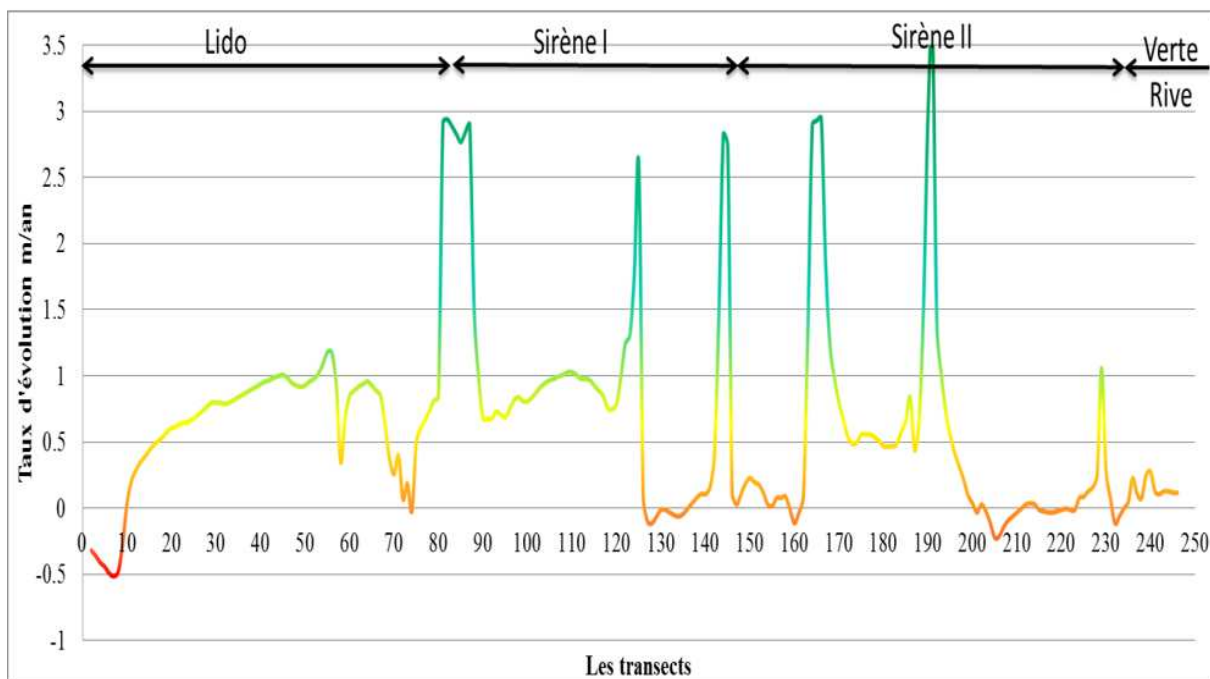


Figure IV.68: Courbe des vitesses d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2017

L'analyse des évolutions en termes de surface est illustrée dans le tableau et dans l'histogramme ci-après. Le bilan général de l'état d'évolution des surfaces dans une période de 37 ans est positif et estimé à 1807.33 m² avec un gain de 68517.04 m² et une perte de -1645.794 m².

Tableau IV.10 : Bilan de l'évolution des surface de la zone de Bordj EL Kiffan de 1980 à 2017

Périodes	Accrétion (m ²)	Érosion (m ²)	Bilan (m ²)	Évolution annuelle (m ² /an)
1980-2003	8269.17	-9633.44	-1364.27	-59.32
2003-2007	26197.96	-6488.92	19709.03	4927.26
2007-2012	32924.74	-289.13	32635.62	6527.12
2012-2017	16153.77	-2766.31	13387.47	2677.49
1980-2017	68517.04	-1645.79	66871.253	1807.33

Le diagramme ci-dessous illustre le bilan différents taux d'accrétion et d'érosion estimés en moyenne. Le taux d'érosion est enregistré de -59.32 m²/an durant la période allant de 1980 à 2003, le taux maximum de gains est observé durant la période de 2007 à 2012 est estimé à 6527.12 m²/an tandis que le taux minimum est de 2677.49 m²/an et s'étale sur une période de 5ans (de 2012 à 2017).

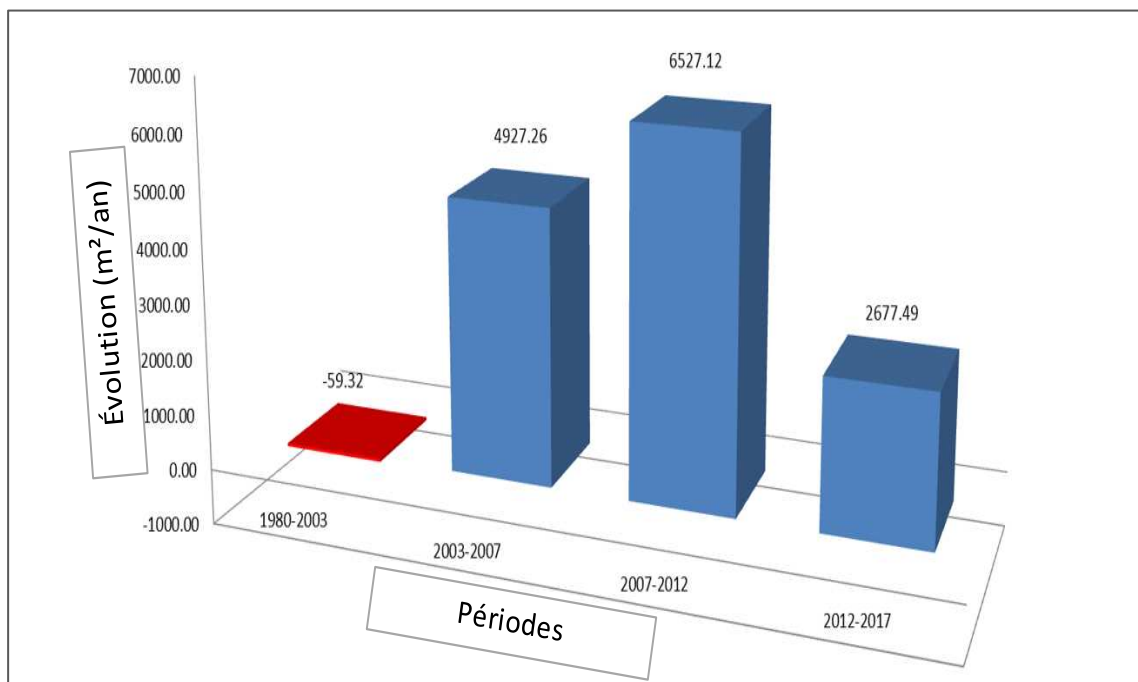


Figure IV.69 : Histogrammes des évolutions des surfaces des différentes périodes analysées

- **Conclusion**

L'analyse des traits de côte historiques de la zone de Bordj El Kiffan a permis de déterminer ses tendances évolutives.

La forte anthropisation du rivage et la construction des habitations le long du linéaire côtier de la zone à partir de 1980 a favorisé le déclenchement du phénomène d'érosion.

La mise en place de différents ouvrages de protection (Brise-lames en T et L, cordons d'enrochement, promenade et rechargement artificiel) au niveau de la frange côtière de Bordj El Kiffan a induit des changements importants avec de forts taux d'accrétion et de faibles taux d'érosion où l'accrétion a pris l'avantage sur le recul.

**CHAPITRE V: ÉVOLUTION DE LA
DYNAMIQUE DES PETITS FONDS AUX
ABORDS DE LA FRANGE CÔTIÈRE DE BORDJ
EL KIFFAN**

- **Introduction**

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques qui entraînent des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux (IFFOUR, et al., 2016).

L'étude bathy-sédimentaire présentée dans ce chapitre assure d'une part, la description du relief et de la morphologie des fonds marins avant et après l'implantation des ouvrages de protection, et l'établissement de la carte bathymétrique ainsi que le modèle numérique de terrain de notre zone d'étude. D'autre part, la connaissance de la qualité du sédiment de la zone d'étude selon une analyse sédimentologique et enfin l'étude de la réfraction de la houle, des champs de courants induits par la houle et le transport sédimentaire.

1. Étude bathymétrique

Pour bien observer l'impact des ouvrages de protection, on a traité une carte bathymétrique de la zone d'étude avant la réalisation du projet de protection en 1921 issue de la carte bathymétrique établie par le SHOM et une deuxième carte issue d'un levé effectué en 2017. En effet, nous avons l'intention également de comparer les levés bathymétriques de 2000 effectué par le LEM dans le projet de l'établissement de la carte sédimentaire d'Alger, et celui que nous avons réalisé en 2017 mais la campagne bathymétrique de 2000 n'est plus disponible.

Les données bathymétriques ont été traitées en utilisant le logiciel ArcGis 10.2 ensuite elles ont été intégrées dans le logiciel Mike 21 pour pouvoir réaliser les cartes bathymétriques et la réfraction des houles, de plus des MNT ont été élaborés à l'aide du logiciel Surfer 11.

1.1.La bathymétrie de l'avant-projet en 1921

La carte bathymétrique utilisée pour cette étape est issue de la digitalisation de la carte bathymétrique n°5638, 1921 établie par le SHOM et extraction des lignes isobathes avec le logiciel ArcGis 10.2.

1.2.Réalisation d'un levé bathymétrique

Un levé bathymétrique est un levé hydrographique qui mesure la profondeur de l'eau et détermine la forme des fonds marins. (IFFOUR, et al., 2016)

Dans le but, de réaliser un levé bathymétrique de notre zone d'étude, nous avons réalisé une sortie en mer le 13 avril 2017, à bord de l'embarcation Baba Arroudj de l'ENSSMAL de

type « petit métier » et travaux côtiers. L'embarcation était munie d'un échosondeur et d'un GPS de la marque Furuno.

Le départ à la zone d'étude était du port de Sidi Fredj à 9h, l'échantillonnage et le levé bathymétrique s'étaient déroulés de 12h à 14h. Les conditions climatiques étaient favorables lors des premiers prélèvements, par contre pour le reste des prélèvements la mer est devenu très agitée.



Photo V.3 : GPS et Échosondeur de type Furuno de l'embarcation Baba Aroudj

1.3. Conception des cartes bathymétriques et des modèles numériques de terrain

La carte bathymétrique est une carte topographique du fond, elle constitue un document de base pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine (IFFOUR, et al., 2016).

Les résultats obtenus lors de notre levé bathymétrique et de la digitalisation de la carte bathymétrique du SHOM nous ont permis de réaliser des cartes bathymétriques de notre zone d'étude à l'aide du logiciel Mike 21 et des MNT à l'aide du logiciel Surfer 11.

➤ Bathymétrie de 1921

En général, la carte bathymétrique du levé du SHOM 1921 et le MNT de notre zone d'étude, montre des isobathes plus ou moins régulières et parallèles à la côte. Cette répartition des isobathes indique que la pente de notre zone d'étude est légèrement douce.

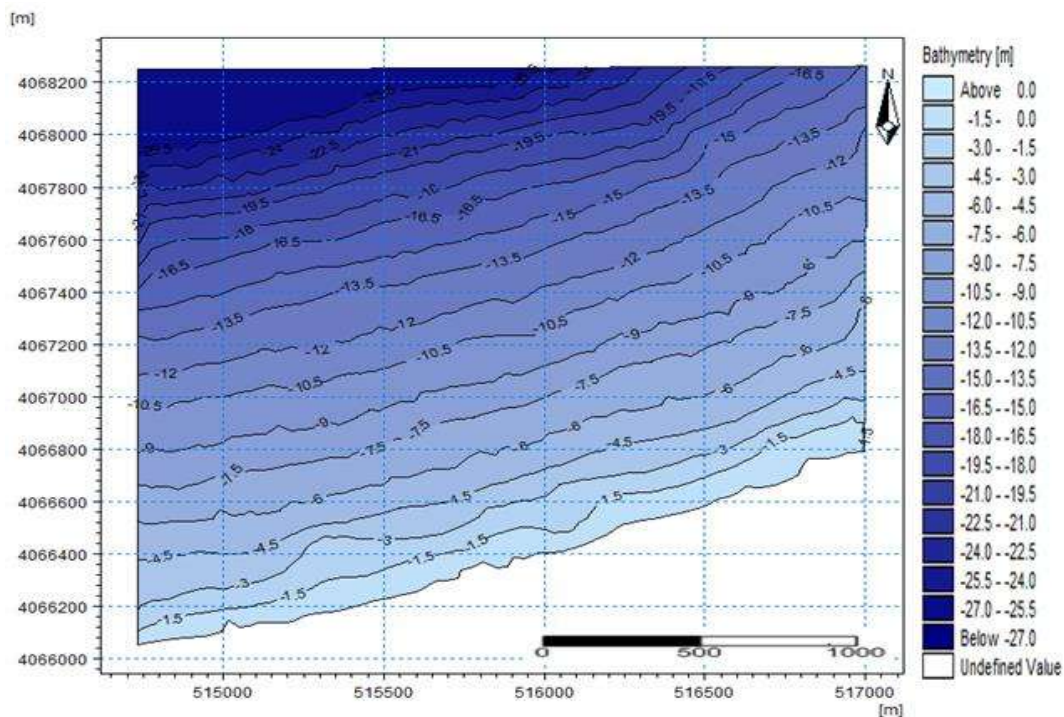


Figure V.70: Carte bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan, 1921

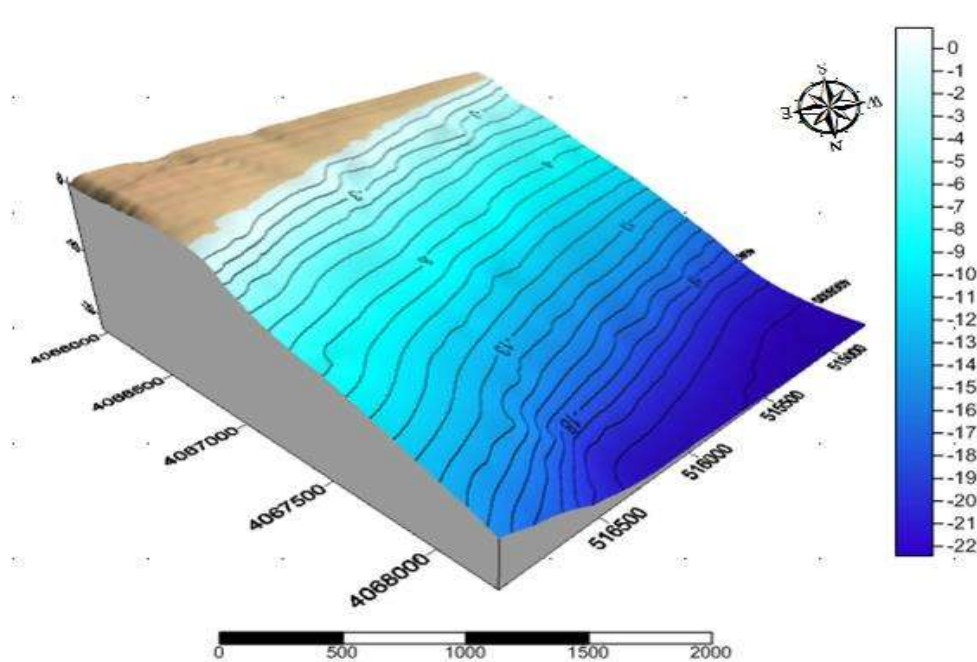


Figure V.71: Modèle numérique de terrain de la zone de Bordj El Kiffan, 1921

➤ Bathymétrie de 2017

Les lignes isobathes du levé 2017 de notre zone d'étude sont plus ou moins régulières, espacées et parallèles au trait de côte. Le modèle numérique de terrain met en évidence la présence de bassins de brise-lames.

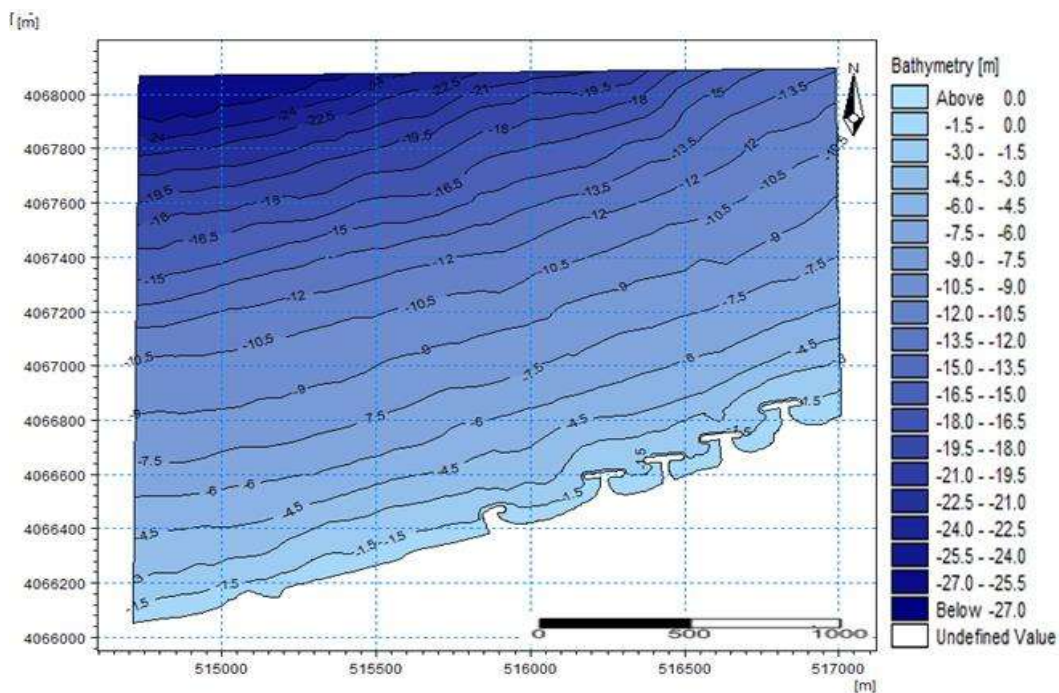


Figure V.72: Carte bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan, 2017

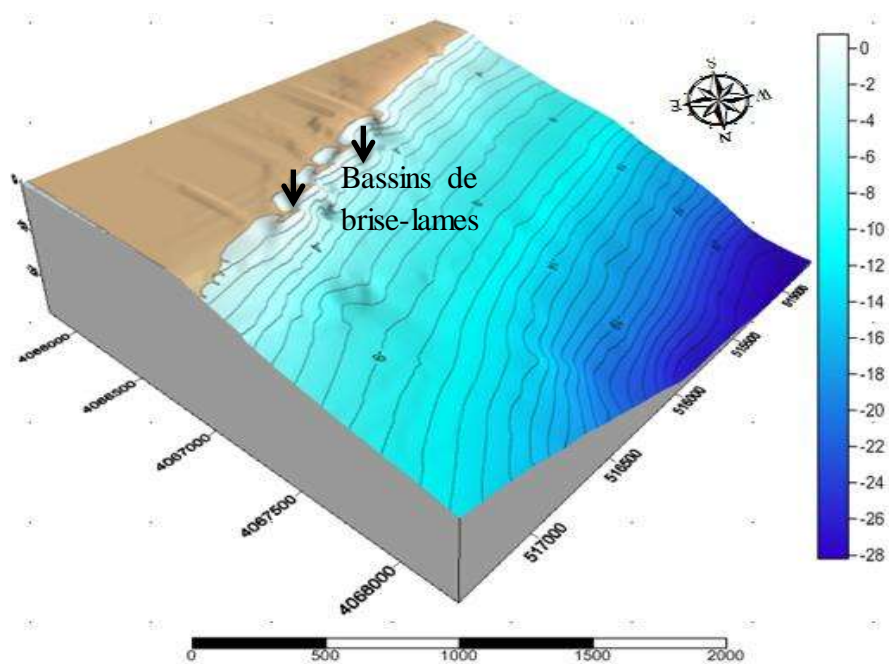


Figure V.73: Modèle numérique de terrain de la zone de Bordj El Kiffan, 2017

1.4.Réalisation des profils bathymétriques

Le profil topographique est une section par un plan vertical de la surface topographique, ce profil doit rendre compte des formes du relief (IFFOUR, et al., 2016).

Nous avons tracé six profils perpendiculaires à la côte dans le but de connaître les différentes formes du relief sous-marin qui caractérisent la zone ainsi que pour analyser l'évolution des petits fonds aux abords de la frange côtière de Bordj El Kiffan entre 1921 et 2017.

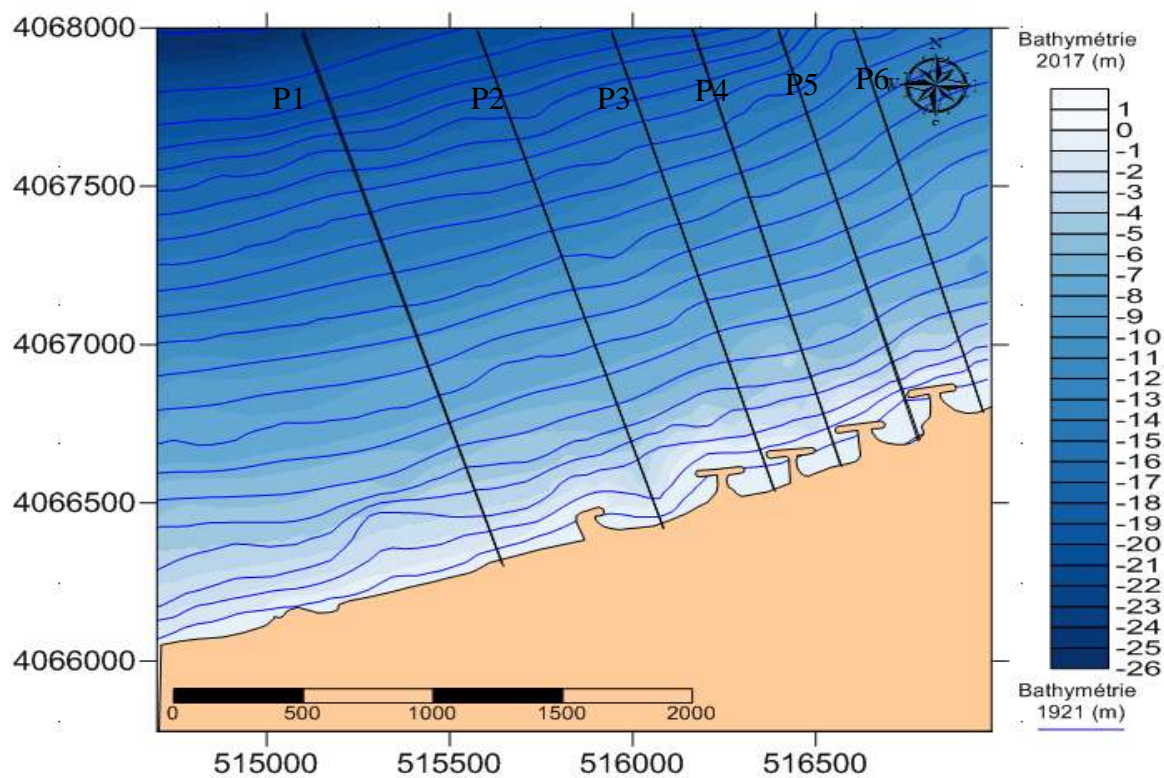


Figure V.74: Carte de la superposition des bathymétries de 1921 et de 2017 et localisation des profils bathymétriques dans la plage de Bordj El Kiffan

Les comparaisons des profils sont présentées sur les figures suivantes :

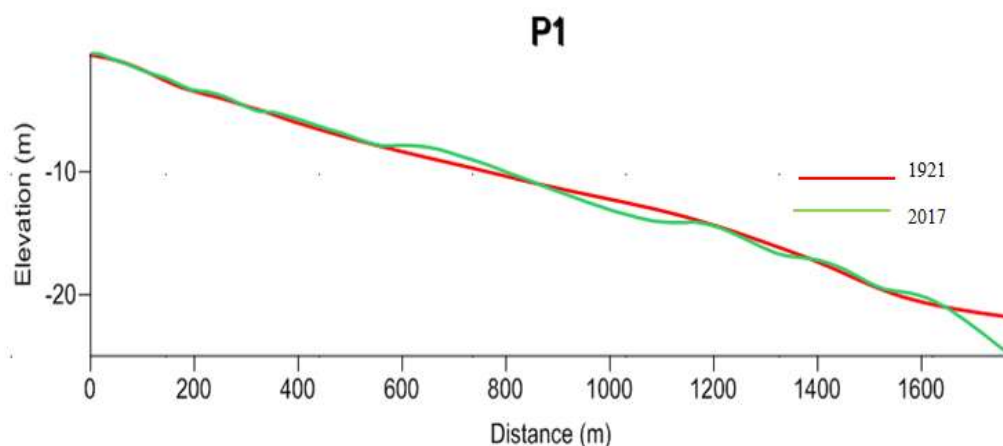


Figure V.75: Profil bathymétrique n°1

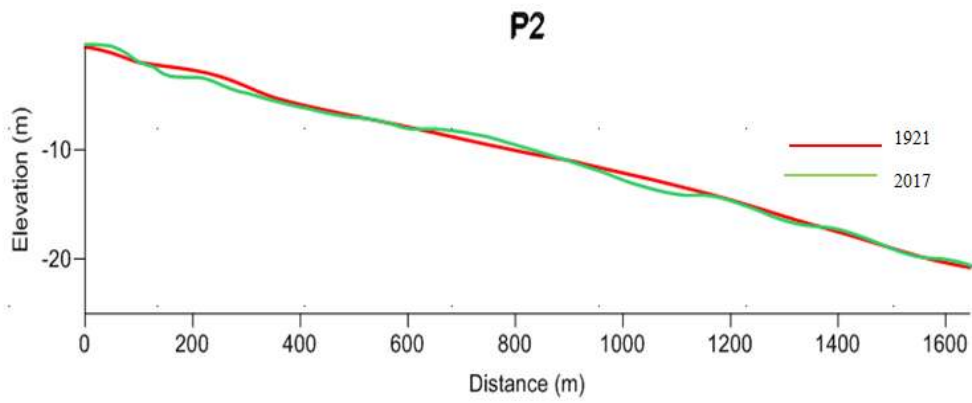


Figure V.76: Profil bathymétrique n°2

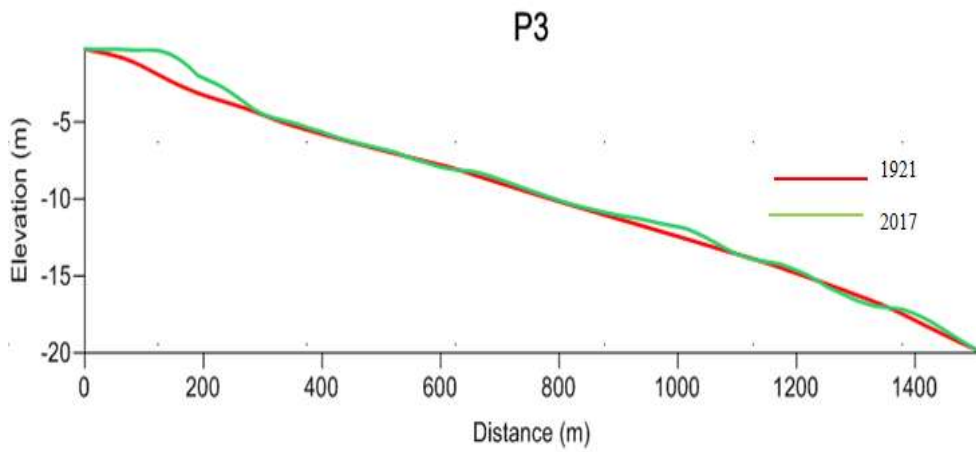


Figure V.77: Profil bathymétrique n°3

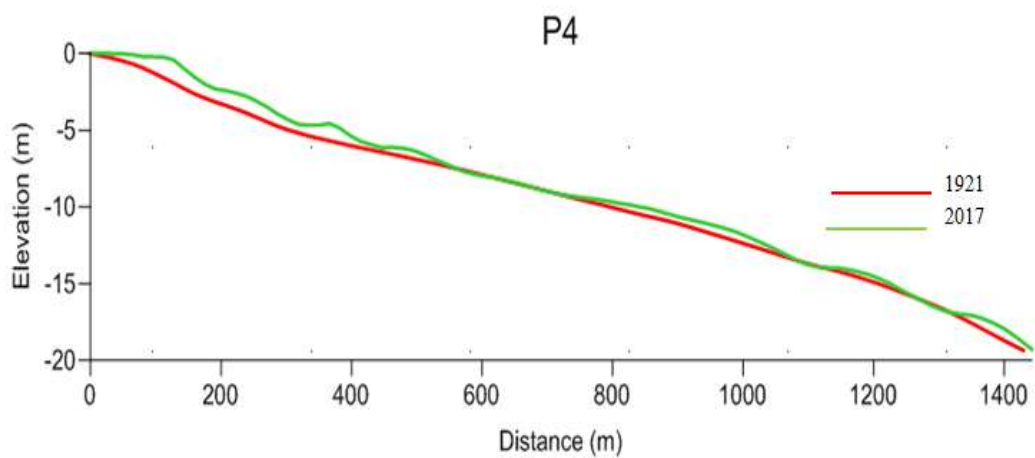


Figure V.78: Profil bathymétrique n°4

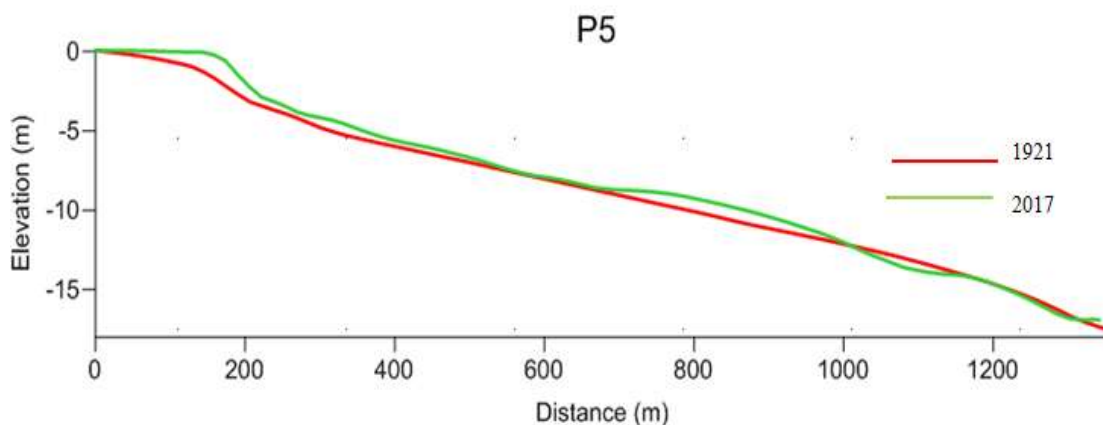


Figure V.79: Profil bathymétrique n°5

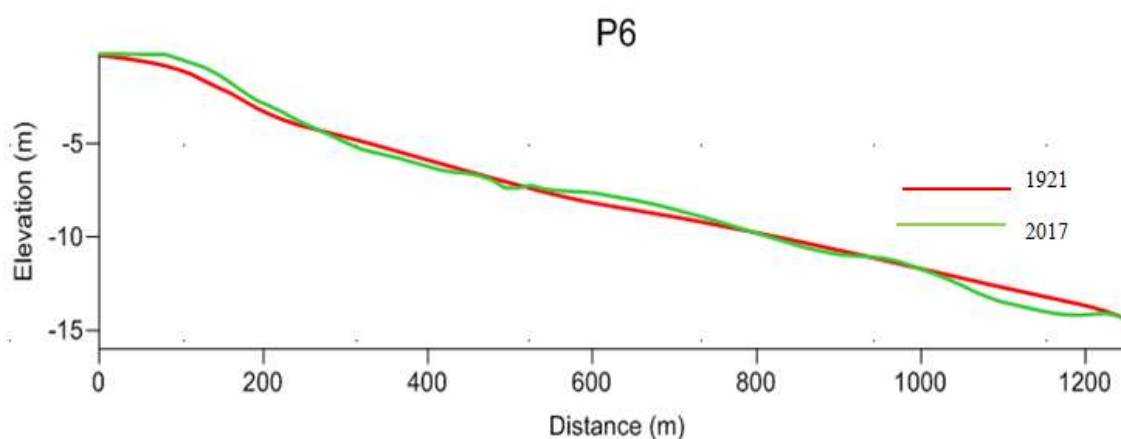


Figure V.80: Profil bathymétrique n°6

Les profils présentent des pentes douces. On constate la présence de petites barres sous-marines vers le large résultant de l'action hydrodynamique des houles sur les fonds. Ces barres sous-marines sont caractéristiques des profils en période hivernale soumis aux tempêtes. Lors de la période estivale, les barres sous-marines ont tendance à disparaître et les profils deviennent beaucoup plus lisses. (LEM, 2009)

Les petits fonds allant de 0 à -4/-6 m se sont soulevés de l'ordre de 0,5 à 1m près de la côte sur la période 1921-2017. Ce soulèvement s'expliquerait par l'apport de sédiments du large et des zones adjacentes et leur piégeage par les brise-lames formant ainsi les bassins de brise-lames.

Au-delà de -6 m, la tendance est inversée avec un abaissement des fonds de l'ordre de 0,5 m dû aux pertes de matériaux dans le profil du large vers la côte.

2. Étude sédimentologique

2.1. Répartition spatiale des dépôts sédimentaires

Dans le but de connaître la nature et la répartition des sédiments sous-marins qui caractérisent notre zone d'étude, nous avons récolté 18 échantillons choisis aléatoirement lors de notre sortie en mer en utilisant une benne preneuse de type « Van Veen » à différentes profondeurs, la profondeur maximale était de 11 m. De plus 11 échantillons ont été prélevé à la côte. Ensuite, les échantillons obtenus ont été destinés à une analyse granulométrique au laboratoire suivant les mêmes étapes citées précédemment dans le chapitre III.



Photo V.4: Prélèvement des échantillons à l'aide de la benne Van Veen

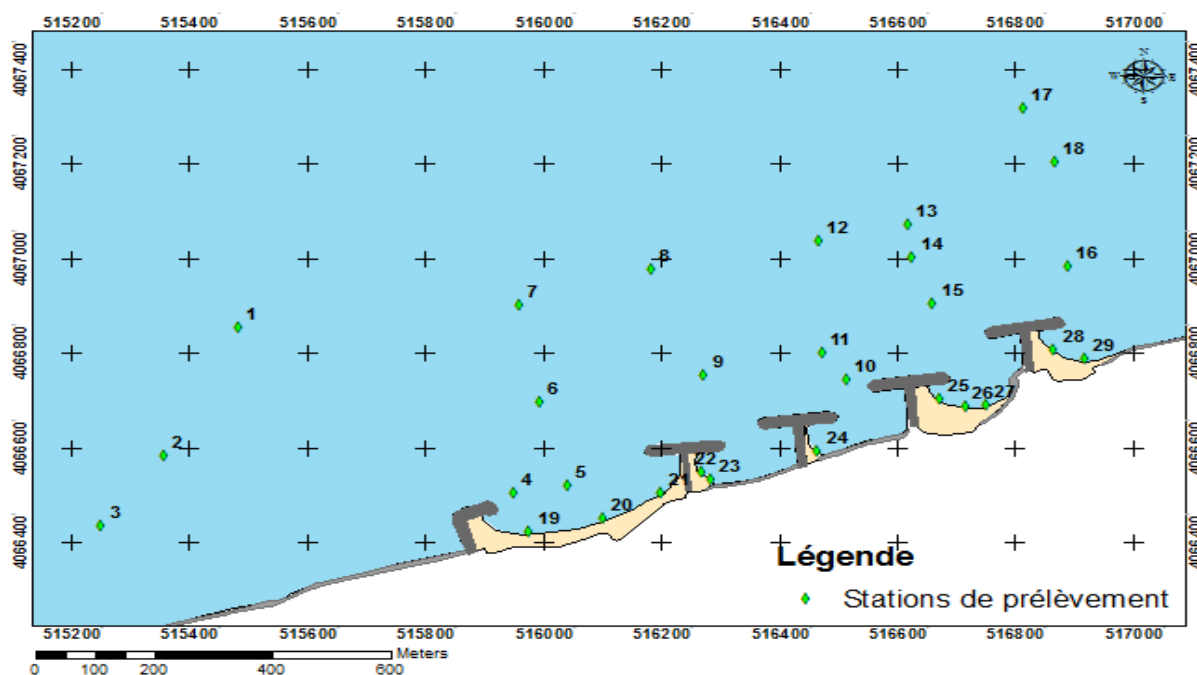


Figure V.81: Localisation spatiale des stations de prélèvement

2.2. Résultats de l'analyse sédimentologique

2.2.1. La fraction fine

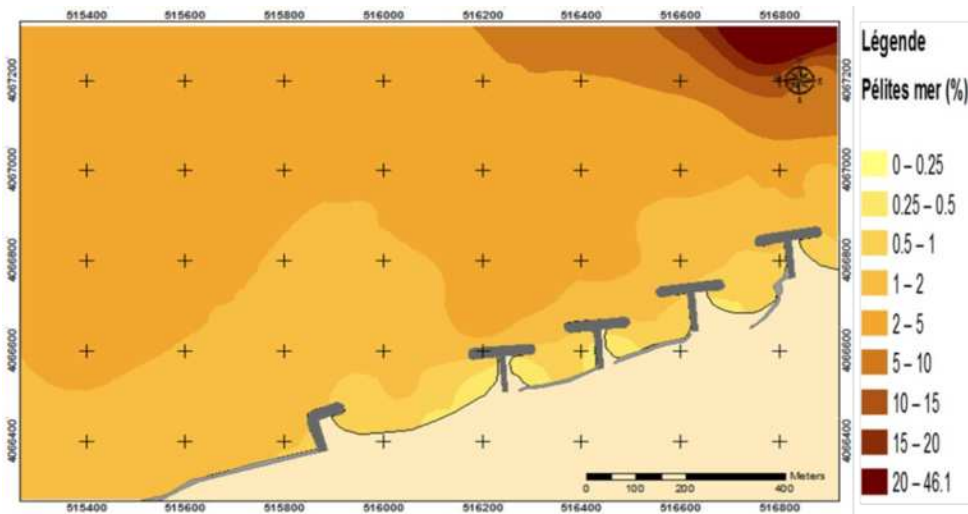


Figure V.82: Répartition des pélites dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

Commentaire :

La répartition de la fraction fine montre de faibles teneurs à la côte qui augmentent en allant vers le large, elles varient entre 0 et 7% sur l'ensemble du site, une valeur de 46% s'observe pour l'échantillon prélevé dans la station n° 17 à environ -10m de profondeur.

Cette répartition révèle la présence d'une énergie importante mettant en perpétuel remaniement les sédiments.

2.2.2. La médiane

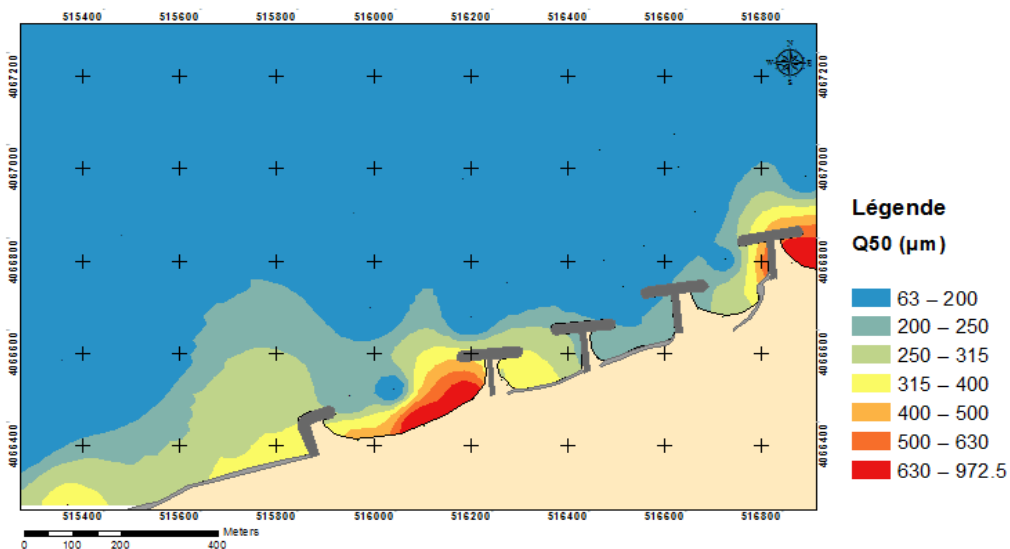


Figure V.83: Répartition de la médiane dans la plage sous-marine de la zone de Bordj El Kiffan

Commentaire:

La répartition de la médiane présente une diminution de la taille du grain moyen de la côte vers le large en partant de 970 μ m à 63 μ m environ donc du grossier vers le fin.

2.2.3. Les quartiles

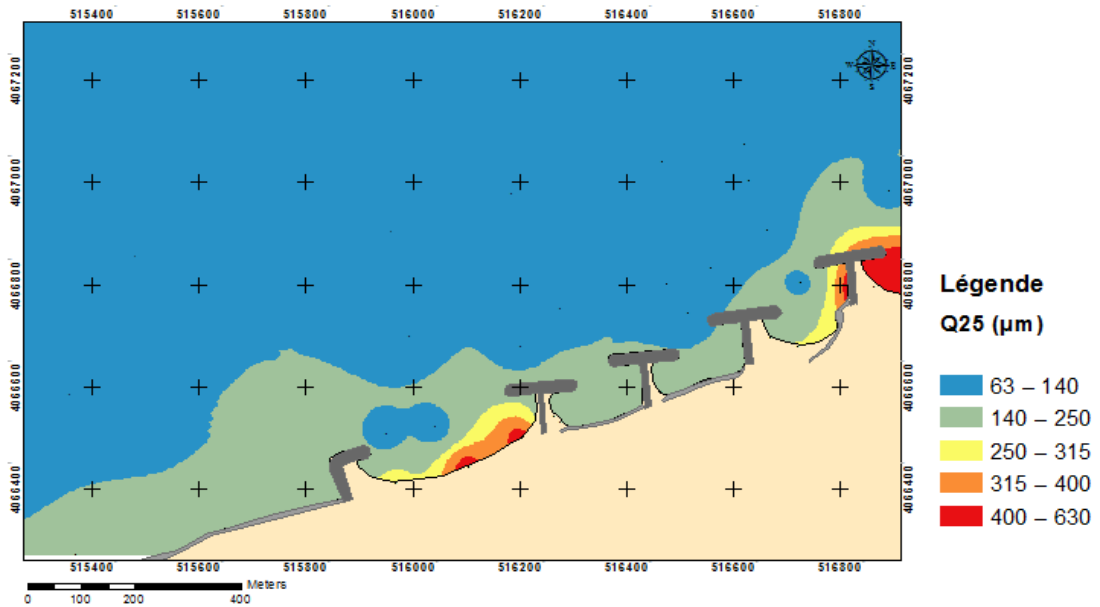


Figure V.84: Répartition du quartile inférieur dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

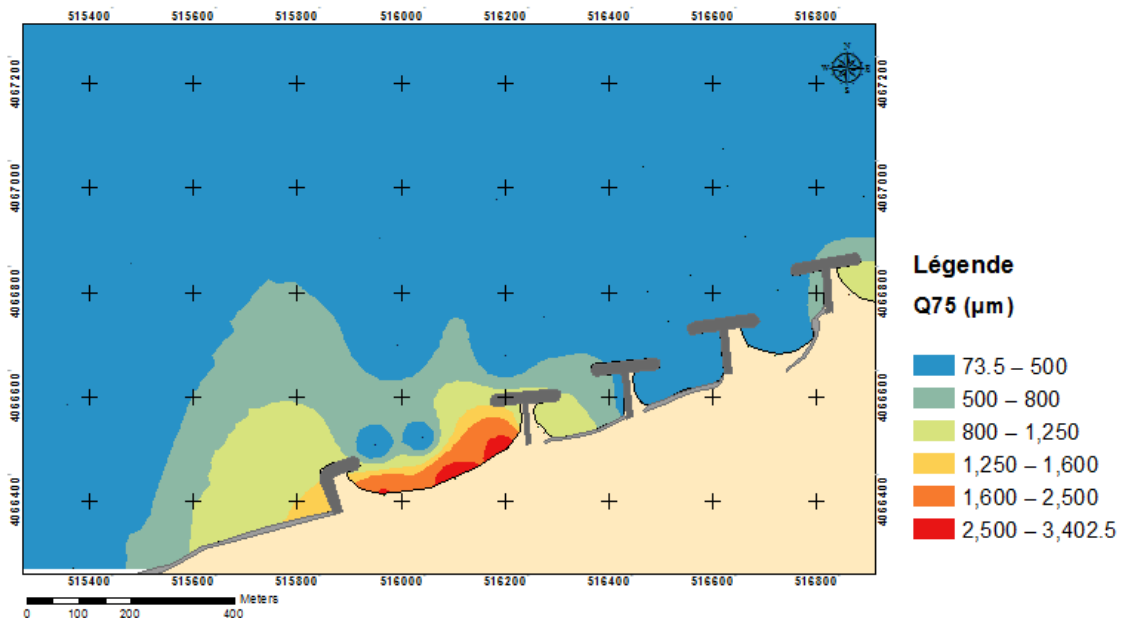


Figure V.85: Répartition du quartile supérieur dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Les cartes des quartiles inférieur et supérieur ; Q25 et Q75 respectivement montrent aussi une répartition classique des sédiments à savoir une décroissance des diamètres de la côte vers le large. Le diamètre correspondant à 75% atteint 3400 μm à la côte, et celui à l'ordonné 25%, n'atteint que 630 μm .

2.2.4. Les indices granulométriques :

a. Indice de classement, S_o

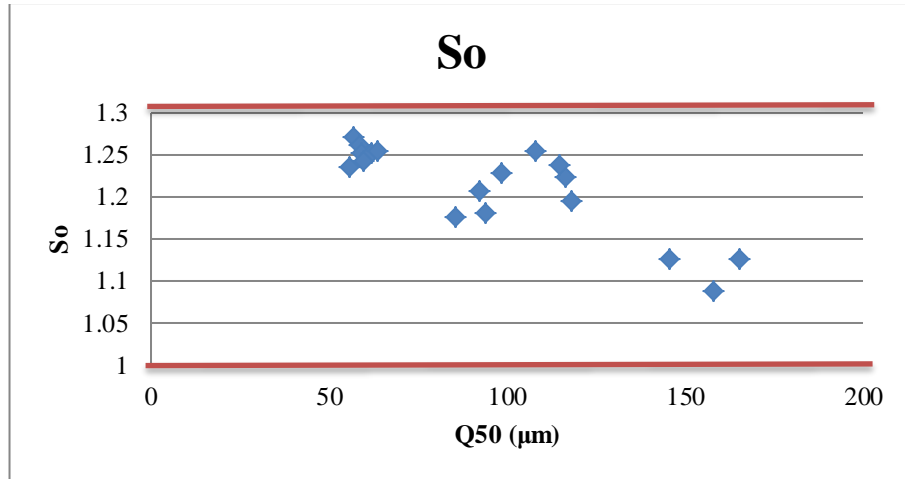


Figure V.86: Relation entre S_o et Q 50 dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

L'indice de classement qui correspond aux échantillons sous-marins porte des valeurs comprises entre 1 et 2,5. Ces dernières nous apprennent que les sédiments sous-marins sont bien classés.

b. Le coefficient d'asymétrie

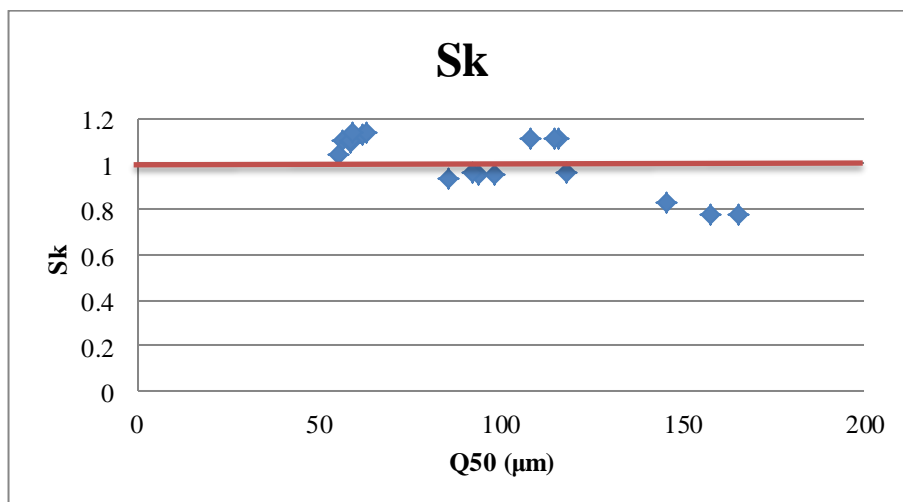


Figure V.87: Relation entre S_k et Q 50 dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

Le coefficient de classement dont les valeurs sont autour de 1, plus de la moitié des échantillons sous-marins présentent des valeurs supérieures à 1 à l'exception de quelques échantillons dont les valeurs de Sk sont inférieures à 1. Cette répartition du coefficient d'asymétrie et sa relation avec la médiane indique un classement maximum des sédiments vers les fins pour les échantillons prélevés au large et un classement maximum vers les sédiments grossiers pour le reste.

c. Le facteur hydrodynamique

Cet indice permet d'appréhender les conditions hydrodynamiques régnant dans le milieu. Les valeurs positives correspondent à un sédiment en cours de transport par les masses d'eau et les valeurs négatives à des sédiments en place ou qui seront difficilement remis en mouvement

$$FH = KG - \left(\frac{\phi_{75} - \phi_{25}}{2} \right)$$

$2 > FH$: très fort
$1 < FH < 2$: fort
$0.5 < FH < 1$: moyen
$FH \approx 0$: faible
$FH \approx -1$: très faible

Avec : $KG = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

- **Cartographie du facteur hydrodynamique**

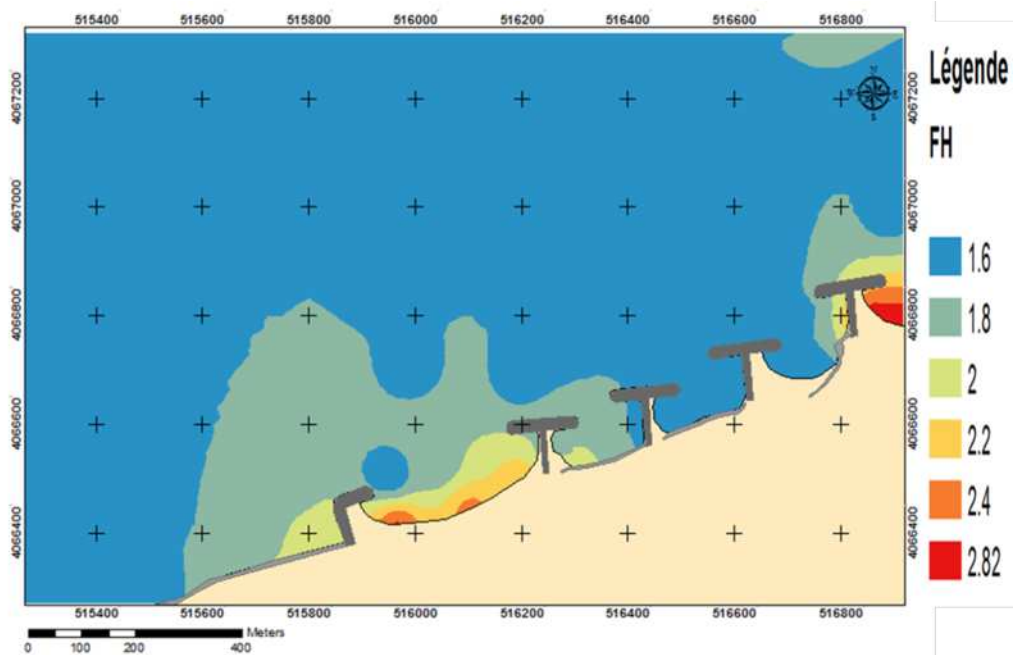


Figure V.88: Carte du facteur hydrodynamique dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

D'après cette figure, on observe que toutes les valeurs du facteur hydrodynamique sont positives correspondant à des sédiments en cours de transport par les masses d'eau avec une prédominance remarquable des valeurs inférieures à 2 ce qui signifie globalement que cette zone a un régime hydrodynamique fort.

On note aussi l'existence de valeurs supérieures à 2 témoignant donc d'un hydrodynamisme très fort en amont du premier épi en T situé dans la plage Sirène II ainsi qu'en amont de l'épi en L de la plage Sirène I.

3. Simulation de la réfraction de la houle au niveau de la zone de Bordj El Kiffan

3.1.Méthodologie de la simulation de la réfraction de la houle, des champs de courant et du transport sédimentaire à l'aide du logiciel Mike 21

3.1.1. Présentation des modules du logiciel Mike 21

Le Mike 21 est un progiciel destiné aux professionnels du génie côtier, il comporte plusieurs modes de calculs et de modélisation numérique en 2D, il est développé par le Danish Hydraulics Institute et se base sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré (grille triangulaire) (DHI, 2014).

La modélisation de la dynamique sur un domaine côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles.

Les modules du Mike 21 sont :

- Mike 21-SW «Spectral Wave Flexible Mesh» pour le calcul de la réfraction de la houle
- Mike 21-HD «Hydrodynamics» pour la simulation des champs de courants engendrés par la houle
- Mike 21-St «Non-Cohesive Sediment Transport» pour la simulation du transport sédimentaire

3.1.2. Principales étapes de la simulation par le progiciel Mike 21

a. Préparation des données d'entrée au modèle

- La bathymétrie du modèle sous forme d'un maillage avec l'extension « .mesh »

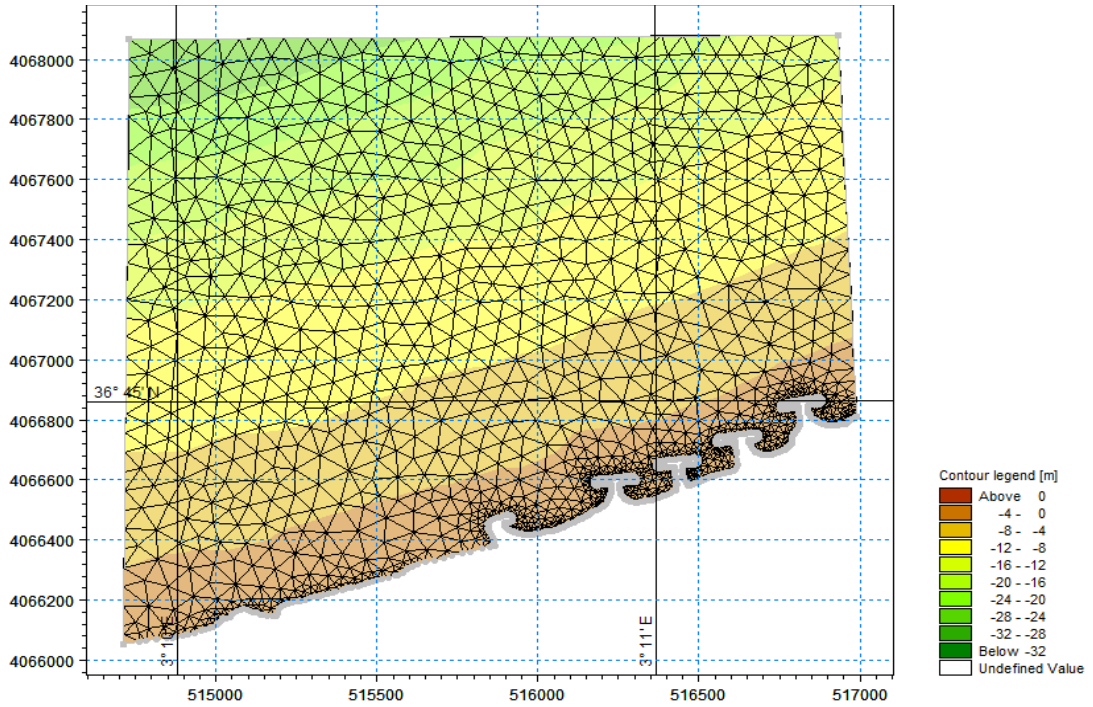


Figure V.89:Maillage du domaine de travail

- Les données de la houle : hauteur significative, période et direction

Les houles utilisées pour cette étude sont celles de la période de 8s car elles sont les plus fréquentes.

Tableau V.11: Caractéristiques de la houle retenues pour le module SW

		Direction de la houle au large		
Période		N 320°	N 360°	N 20°
8s		Hs = 2,64 m	Hs = 2,67 m	Hs = 2,56 m

- La table des sédiments générée à partir de la boîte à outils de Mike 21 « Mike 21 toolbox », où il faut spécifier les intervalles qui incluent les paramètres de la houle, des courants, de la bathymétrie ainsi que ceux du sédiment.

Un diamètre moyen D_{50} de 290 μm et un écart type σ_g de 1.65 sont retenus pour notre modèle.

b. Réglage du modèle

- Création d'un espace de travail : « CoupledModelFM.mfm »
- Réglage de la durée de la simulation

- Choix des modules : HD, ST et SW
- Paramétrage des modules : données initiales, conditions aux limites, ...

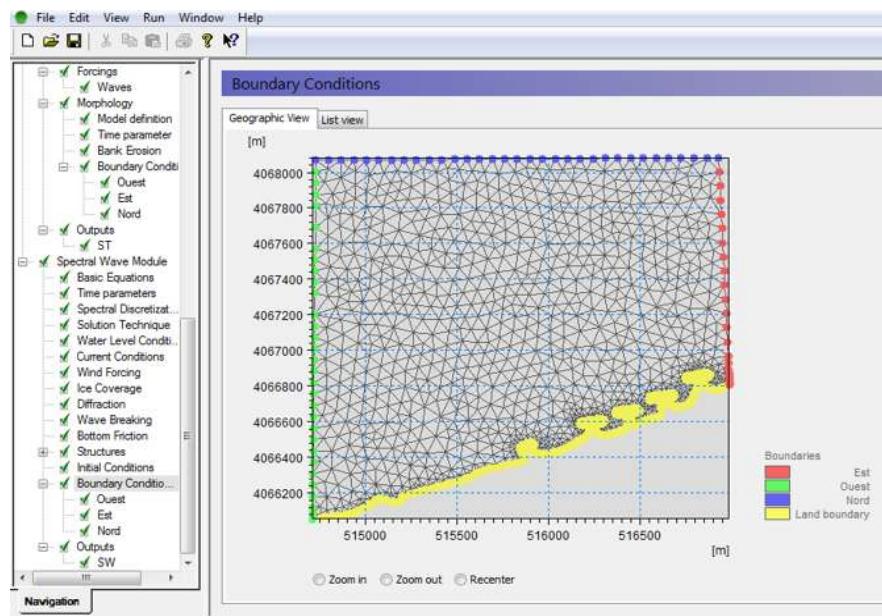


Figure V.90: Réglage du modèle couplé « Coupled Model »

- Choix des fichiers de sortie : Vitesse du courant, capacité du transport par la houle ...
- Lancer la simulation

3.2. Résultats de la simulation de la réfraction de la houle dans la zone d'étude

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante:

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large}}$$

Les résultats du calcul de la réfraction de la houle sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.12: Résultats du calcul de la réfraction de la houle dans la zone de Bordj El Kiffan

Direction	Hs (m)	H local (m)	Angle d'arrivée	Kr	Profondeur (m)
N360°	2.67	0.26	349°	0.10	-1.00
N320°	2.64	0.3	326°	0.11	-1.00
N20°	2.56	0.24	7°	0.09	-1.00
N360°	2.67	2.1	352°	0.79	-5.00
N320°	2.64	2.17	328°	0.82	-5.00
N20°	2.56	1.78	9°	0.70	-5.00

3.2.1. Réfraction de la houle de direction Nord N360°

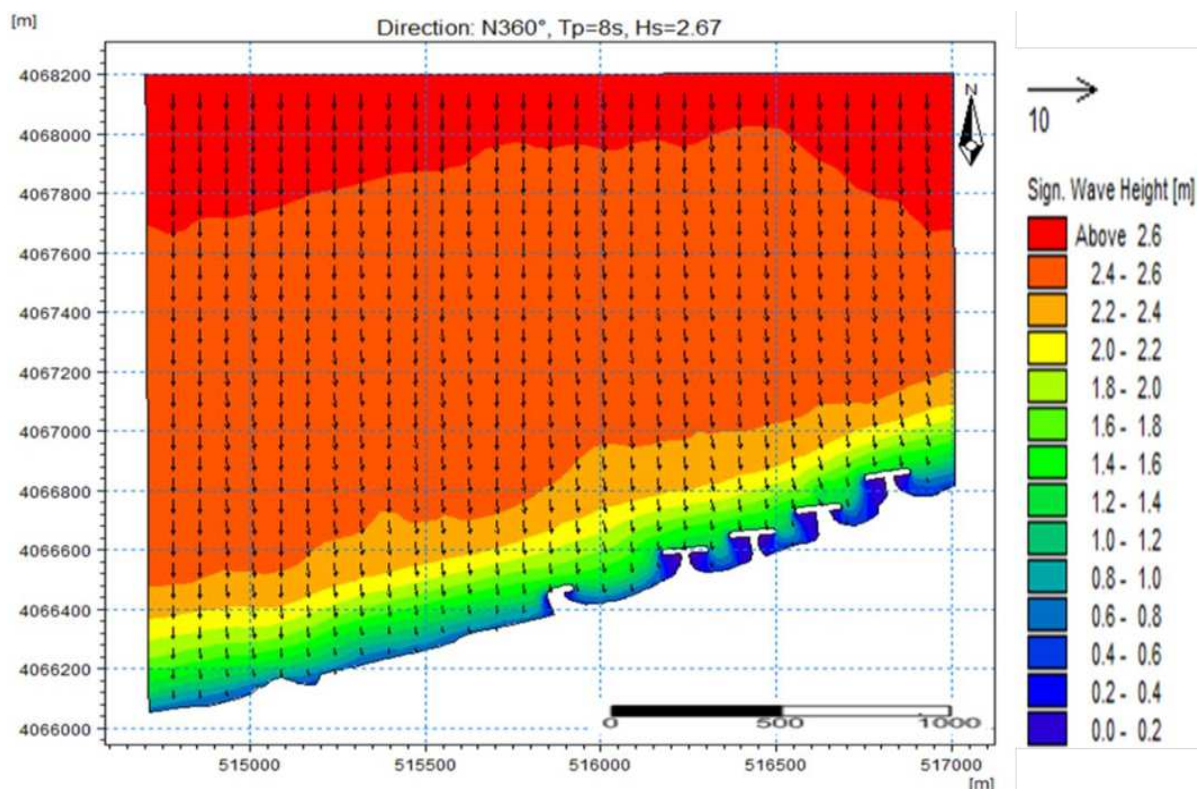


Figure V.91: Carte de la réfraction de la houle de direction N 360°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.67m$

- **Commentaire :**

Nous constatons que les vagues du secteur N360° atteignent frontalement notre zone, ce qui explique qu'elle est totalement affectée. Ces houles sont celles qui réfractent le moins avec des angles de déviations quasiment nuls 1° qui augmentent légèrement en arrivant à la côte pour atteindre 11° à cause de la présence des brise-lames, les directions changent du Nord au Nord-Nord-Ouest.

Le coefficient de réfraction de ces houles est de 0.8 à -5m mais il décroît à 0.1 en arrivant à -1m de profondeur cela signifie que les houles perdent 90% de leur énergie à l'intérieur des bassins des brise-lames avec des hauteurs significatives de l'ordre de 0.5m.

3.2.2. Réfraction de la houle de direction Est 20°

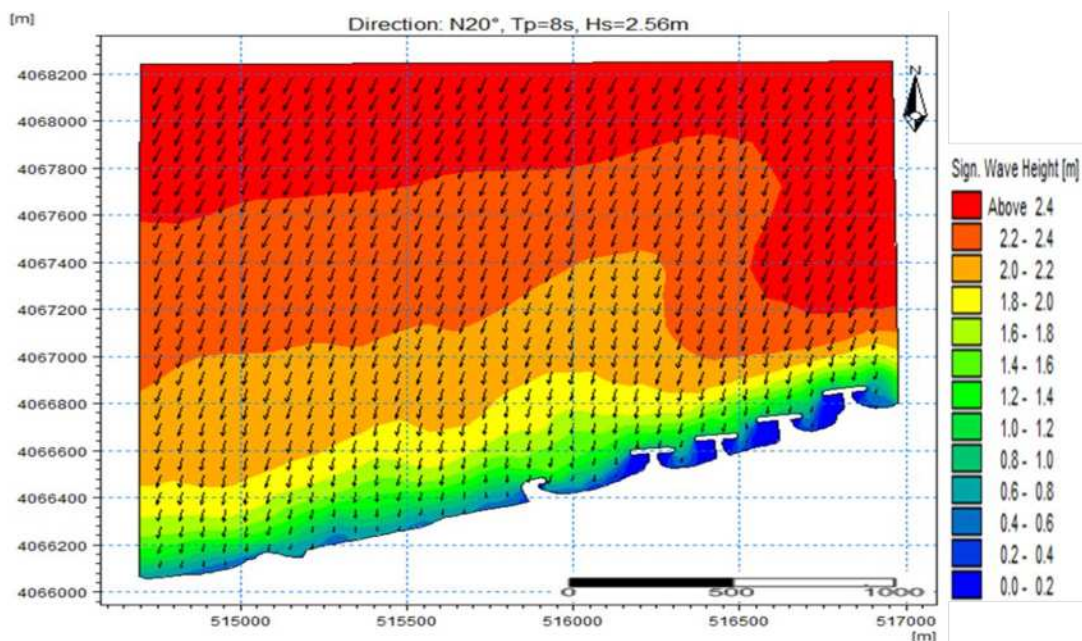


Figure V.92: Carte de la réfraction de la houle de direction N 20°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.56m$

- **Commentaire :**

Les vagues du secteur N20° ont une provenance oblique par rapport à la côte de Bordj El Kiffan. Leur amplitude et coefficient de réfraction sont légèrement au-dessous de ceux du secteur Nord de l'ordre de 0.09 à -1m et de 0.7 à -5m. Ses orthogonales pivotent du Nord-Est au Nord à leur arrivée à la côte.

3.2.3. Réfraction de la houle de direction Ouest 320°

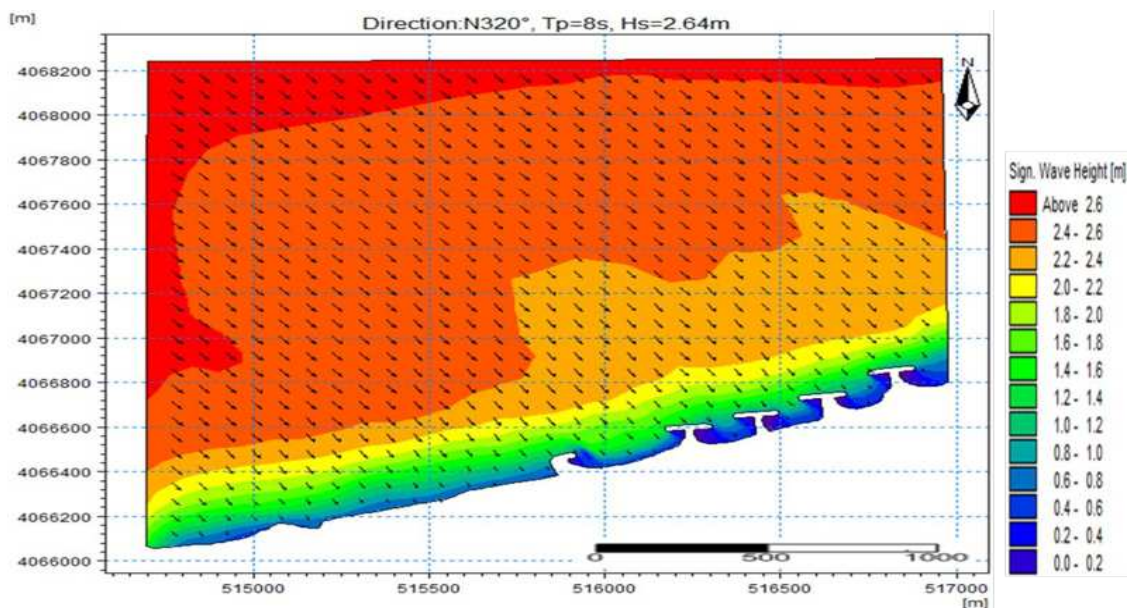


Figure V.93: Carte de la réfraction de la houle de direction N 320°, Période $T_p=8s$ et de hauteur significative de $H_s= 2.64m$

• **Commentaire :**

En premier lieu, nous remarquons que l'ensemble des houles arrivent frontalement à la côte vue que son orientation est vers le Nord-Est. Les orthogonales pivotent légèrement vers le Nord. Ensuite nous constatons que les vagues perdent 80% de leurs énergie à -5m et 90% à -1m. Cette perte d'énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte pourrait s'expliquer par la morphologie du fond ainsi que la présence des ouvrages de protection.

4. Simulation des champs de courant et du transport sédimentaire au niveau de la zone de Bordj El Kiffan

Tableau V.13: Résultats de la simulation des courants de houle et de la capacité de transport solide dans la zone de Bordj El Kiffan

Direction	Hs (m)	Vitesse moyenne de courant (m/s)	Capacité Moyenne de transport (m ³ /an/m)
N360°	2.67	1.4	35320.32
N320°	2.64	0.96	11037.6
N20°	2.56	1.65	35320.32

4.1.1. Champs de courants de la houle de direction Nord N360°

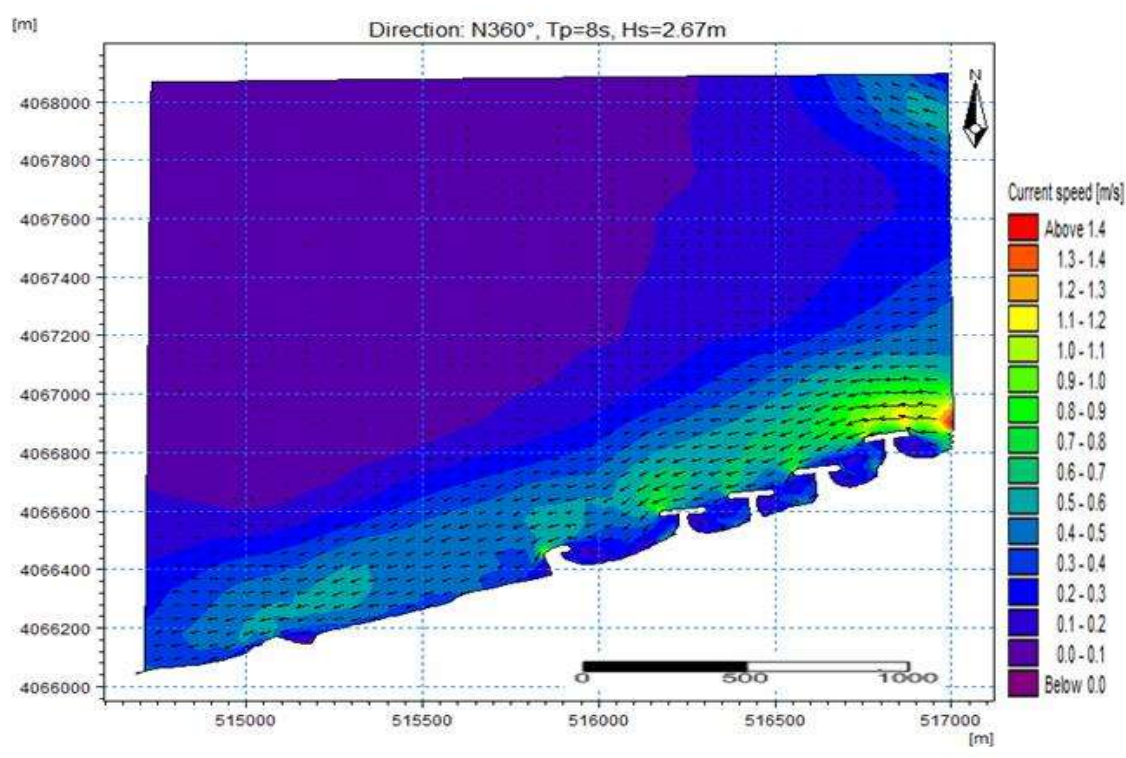


Figure V.94 : Champs de courant induits par la houle du secteur N360, Tp=8s et Hs=2.67m dans la zone de Bordj El Kiffan

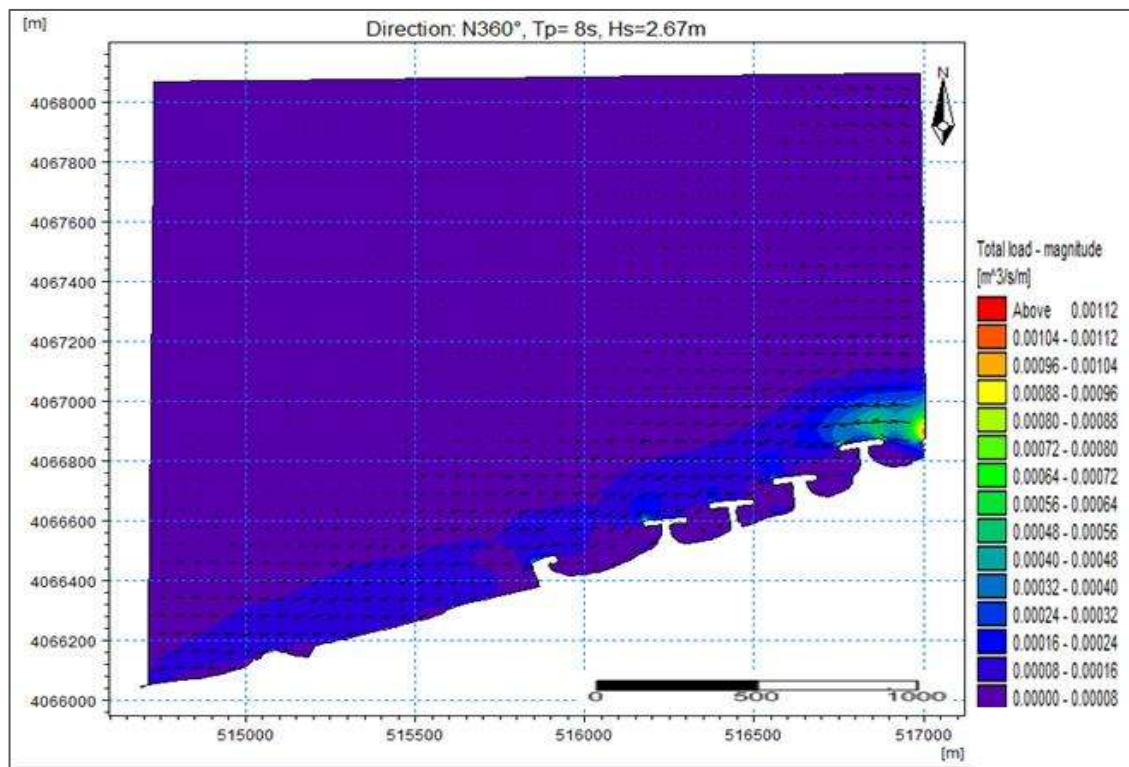


Figure V.95: Capacité de transport solide par la houle du secteur N360, Tp=8s et Hs=2.67m dans la zone de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Les houles de secteur N360° engendrent un faible courant de retour ainsi qu'un courant de dérive littorale d'Est en Ouest avec des vitesses qui atteignent 1.4m/s induisant ainsi un déplacement de sédiment de l'ordre de 0.00112 m³/s/m soit un transport de 35320.32 m³/an/m qui pourrait être lié aux apports de Oued El Hamiz. De plus, ces courants de houle sont tourbillonnaires à l'intérieur des bassins de brise-lames.

4.1.2. Champs de courants de la houle de direction Est 20°

Commentaire :

Nous constatons que les houles de direction N20° créent un courant de dérive avec des vitesses plus importantes que celle des courants engendrés par les houles du secteur N360° de l'ordre de 1.65m/s. Ces courants ont une capacité de transport solide de l'ordre de 0.00112 m³/s/m.

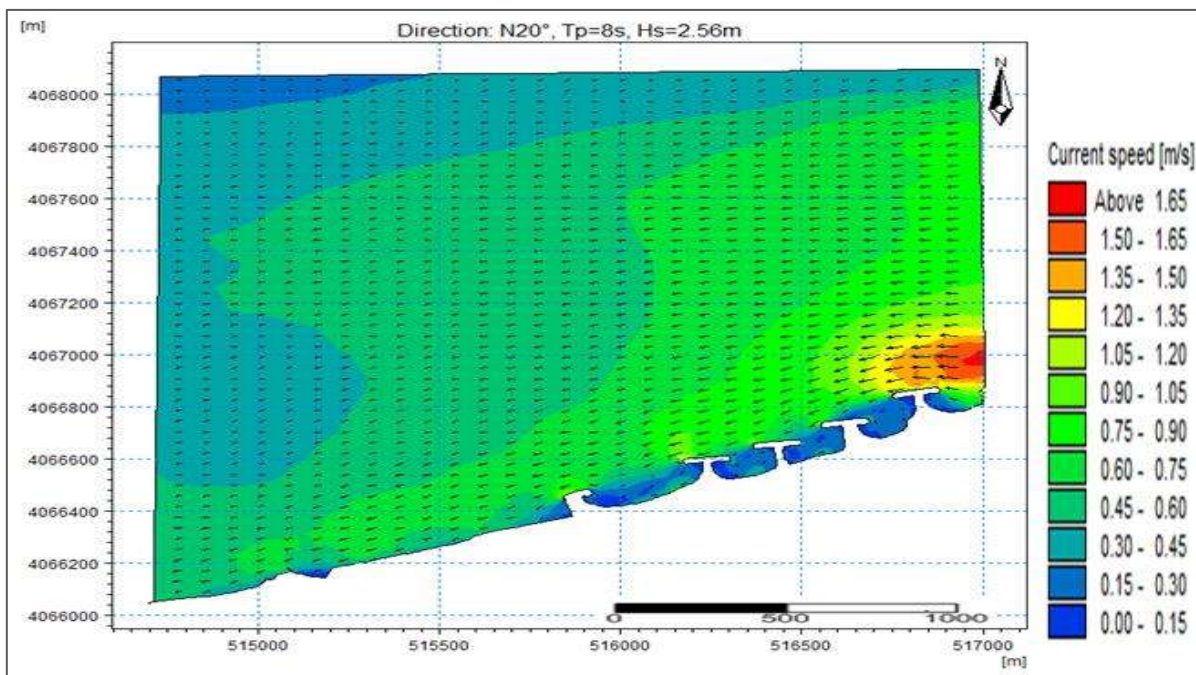


Figure V.96: Champs de courant induits par la houle du secteur N20, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$ dans la zone de Bordj El Kiffan

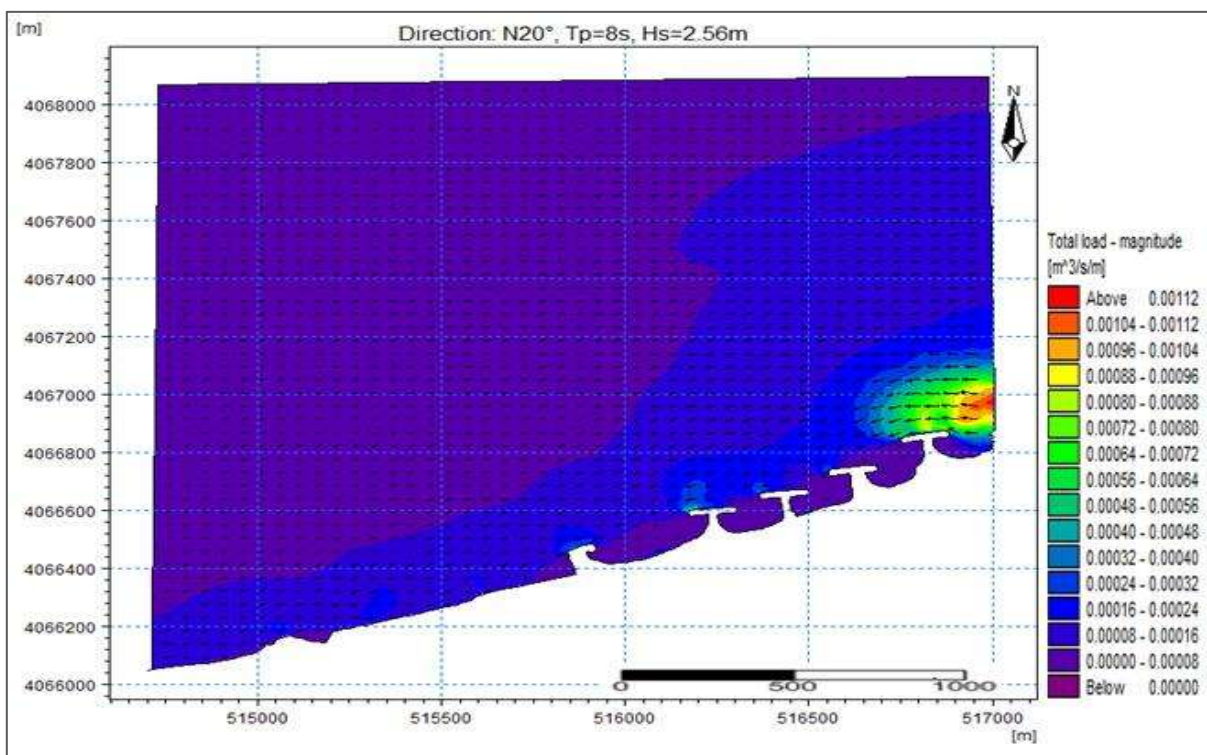


Figure V.97: Capacité de transport solide par la houle du secteur N20, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$ dans la zone de Bordj El Kiffan

4.1.3. Champs de courants de la houle de direction Ouest 320°

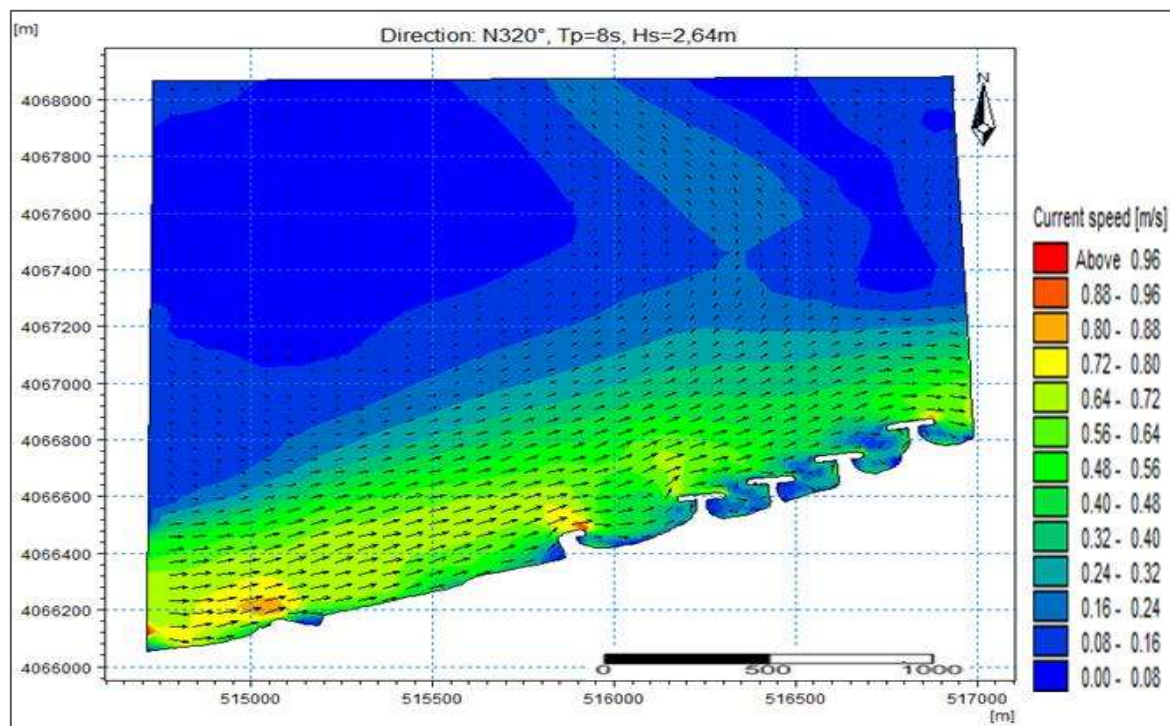


Figure V.98: Champs de courant induits par la houle du secteur N320, $T_p=8s$ et $H_s=2.64m$ dans la zone de Bordj El Kiffan

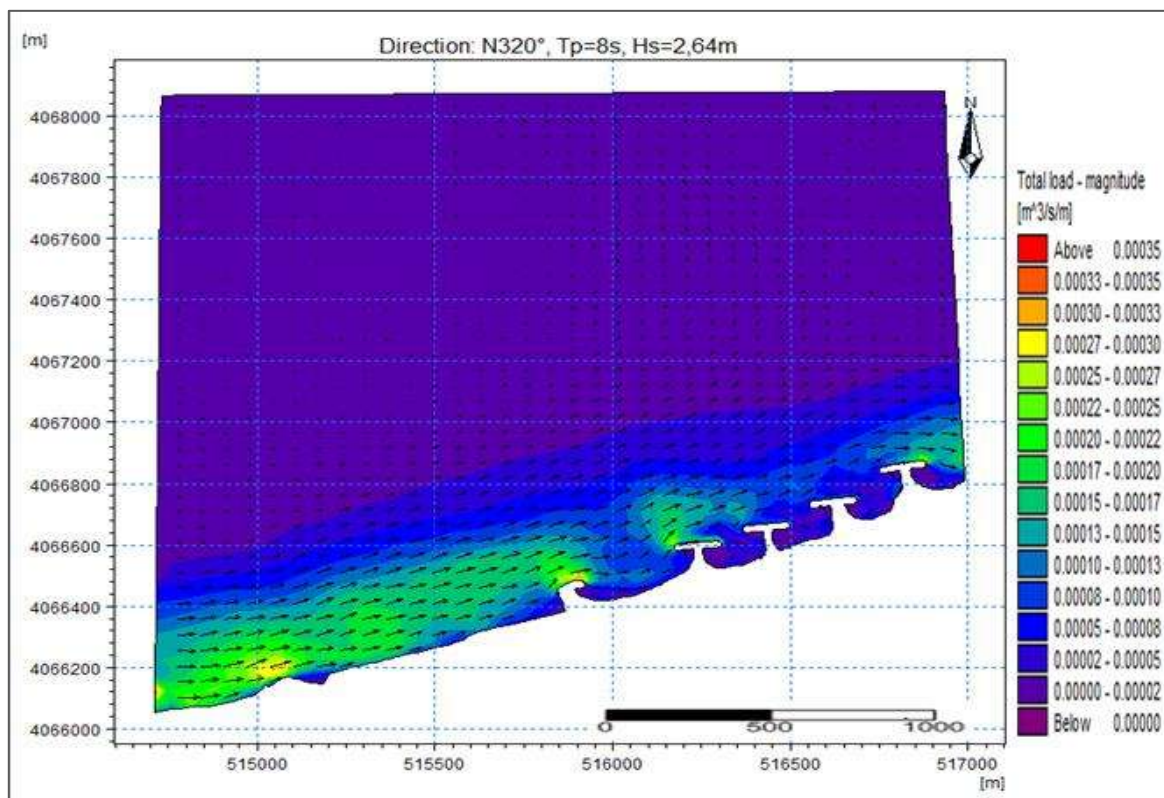


Figure V.99: Capacité de transport solide par la houle du secteur N320, $T_p=8s$ et $H_s=2.64m$ dans la zone de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Nous constatons que les houles de direction N320° créent un courant de dérive avec des vitesses plus faibles que celle des autres courants, il est de l'ordre de 0.96m/s. Ces courants ont une capacité de transport solide de l'ordre de 11037.6 m³/an/m.

- **Conclusion**

Dans l'ensemble, les isobathes de la zone de Bordj El Kiffan sont espacés et parallèles à la côte avec une douce pente pour les deux levés de 1921 et de 2017.

L'étude des profils a révélé la présence de barres sous-marines à environ 200 m du rivage et des bassins de brise-lames à la côte.

La répartition des quartiles (Q25, Q75) montre une diminution des diamètres auxquels ils correspondent de la côte vers le large, avec 650µm et 3400µm respectivement comme maximum.

La répartition de la médiane montre une dominance du sable fin au large de la zone d'étude et du sable grossier à l'intérieur des bassins des brise-lames.

Selon les valeurs de S₀ et S_k les sédiments sont bien triés avec un classement maximum vers les fins pour les échantillons du large et un classement vers les grossier à la côte.

Les résultats du calcul de la réfraction de la houle montrent que 90% de l'énergie des houles sont atténuées à leur arrivée à la côte.

Les houles les plus énergétiques sont celles du Nord-Est, qui engendrent des courants avec des vitesses de l'ordre de 1.65m/s.

Les cartes du transport sédimentaire montre la présence de courants de dérives littorale avec la dominance d'Est en Ouest qui sont probablement liés aux apports d'Oued El Hamiz, des courants tourbillonnaires à l'intérieur des bassins de brise-lames ainsi qu'un faible courant de retour.

**CHAPITRE VI : IMPACTS DE
L'IMPLANTATION DES OUVRAGES DE
PROTECTION SUR LA FRANGE CÔTIÈRE DE
BORDJ EL KIFFAN**

- **Introduction**

Ce chapitre fait l'objet de la détermination des différents impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la zone de Bordj EL Kiffan à savoir les impacts morphologiques et paysagers, les impacts sur l'évolution du trait de côte, la morphologie des petit fonds ainsi que sur la dynamique sédimentaire.

- **1. Impacts morphologiques et paysagers**

La mise en place des murs d'enrochements naturels au niveau de la frange côtière de Bordj El Kiffan assure une protection du talus et un empiétement minimum sur la plage existante.

Le talus a subit un changement avec un espace de promenade au niveau de Lido et des escaliers d'accès aux plages. Ainsi le talus situé entre les habitations et les plages a été traité par reprofilage.

D'autre part, ces cordons d'enrochements ont contribué à l'artificialisation du haut de plage de la frange côtière de Bordj El Kiffan, vue la surface très réduite des plages abritées par les brise-lames centres et la faible accumulation des sédiments.



Photo VI.5: Cordons d'enrochements naturels au niveau de la zone de Bordj El Kiffan



Photo VI.6: Les ouvrages mixtes de protection de la zone de Bordj El Kiffan

Les impacts des brise-lames dans la zone de Bordj El Kiffan ont un impact visuel très important. Ils constituent d'une part, des écrans qui masquent la vue vers le large d'autre part ils s'insèrent très mal dans le paysage.

2. Impacts sur la dynamique sédimentaire

Les ouvrages mixtes de protection implantés au niveau de la frange côtière de Bordj EL Kiffan perturbent la dynamique sédimentaire par le piégeage du transit Est –Ouest et empêchement du départ des sédiments vers le large. Ces ouvrages ont un impacts positif localement.

3. Impacts sur l'évolution de la ligne de rivage

L'analyse des traits de côte historiques de la zone de Bordj El Kiffan a permis de déterminer ses tendances évolutives.

La forte anthropisation du rivage et la construction des habitations le long du linéaire côtier de la zone à partir de 1980 a favorisé le déclenchement du phénomène d'érosion.

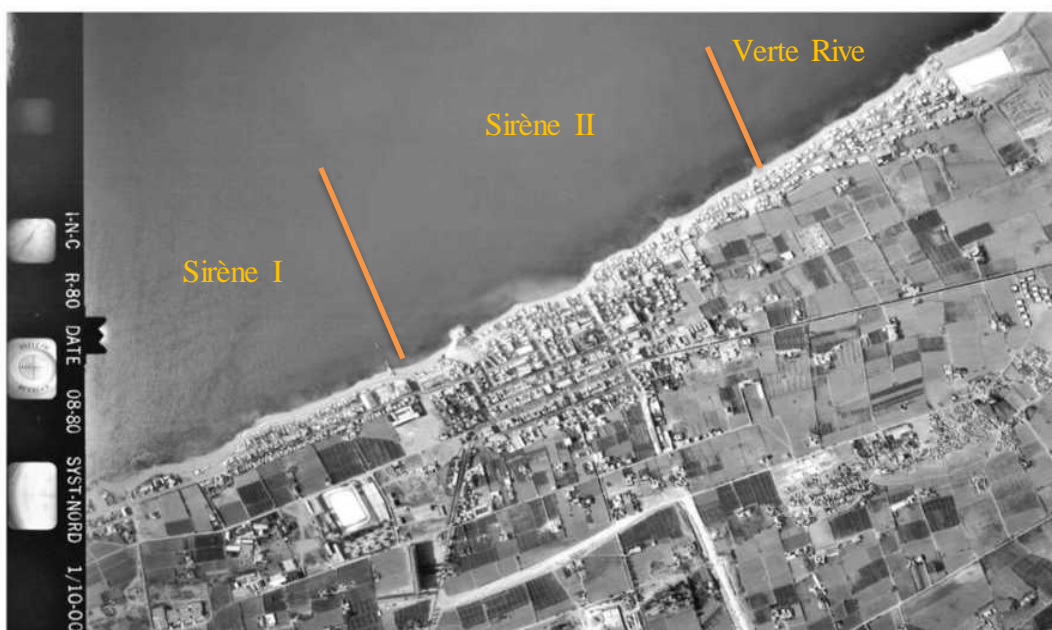


Photo VI.7: Photographie aérienne de Bordj El Kiffan en 1980, échelle 1/10000 (INCT, 2017)



Photo VI.8: Photographie aérienne de Bordj El Kiffan en 2007, échelle 1/7000 (INCT, 2017)

La mise en place de différents ouvrages de protection (Brise-lames en T et L, cordons d'encrochement, promenade et rechargement artificiel) au niveau de la frange côtière de Bordj El Kiffan a induit des changements importants sur la ligne de rivage où il y a eu de forts taux d'accrétion et de faibles taux d'érosion où l'accrétion a pris l'avantage sur le recul.

4. Impacts sur la morphologie des petits fonds

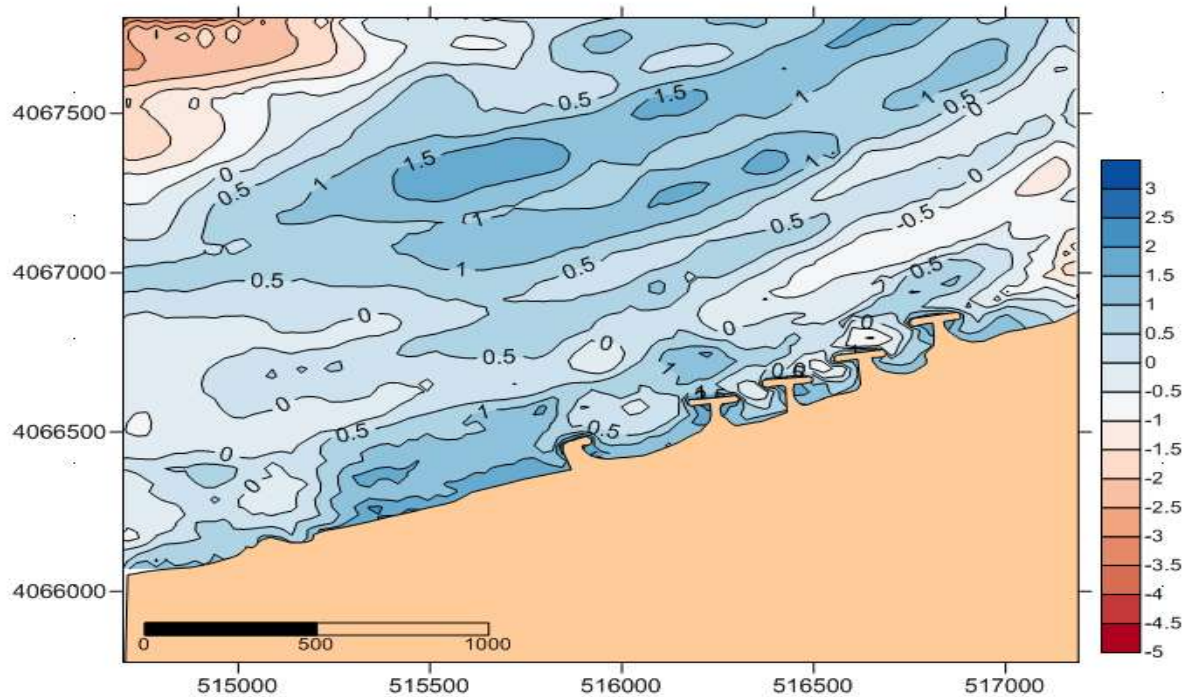


Figure VI.100: Différentiel bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan de 1921 à 2017

Le calcul du différentiel bathymétrique entre 1921 et 2017 permet de déterminer la tendance de l'évolution des fonds, érosion ou engraissement.

On constate clairement que la tendance sur cette période d'étude est à l'accumulation avec un soulèvement général des petits fonds allant du rivage à 10 m, et une érosion au large et au niveau de la Verte Rive cela pourrait s'expliquer par le départ des sédiments vers la côte et vers les zones adjacentes.

- **Conclusion**

L'étude de la morphologie sous-marine et la ligne de rivage montrent que les ouvrages implantés dans la zone d'étude semblent donner un résultat positif localement avec une légère érosion au niveau des zones adjacentes.

L'étude sédimentaire montre que les ouvrages de protection influent sur les dépôts des sédiments où de petite plage en poche ont été créés.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire portant sur l'impact de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan, avait pour principal objectif de déterminer et d'évaluer le fonctionnement des différentes méthodes de protection mises en place sur la zone d'étude.

Pour ce faire Nous avons réparti le travail en trois parties essentielles : Partie aérienne, partie sous-marine et celle qui sépare les deux qui est le trait de côte.

En premier lieu, l'étude granulométrique des sédiments de la partie aérienne de la plage de Bordj EL Kiffan et le suivi des variations des résultats obtenus en deux échantillonnages consécutifs, pendant la période hivernale, indiquent que teneurs en pélites sont faibles et diminuent de décembre à avril et d'Est en Ouest reflétant ainsi le fort hydrodynamisme dans la zone d'étude. La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables très grossiers et des graviers très fins (630 et 4000 μ m) pour les deux sorties.

La deuxième partie de notre travail, s'est basée sur l'étude de l'évolution historique du trait de côte de la plage des à une macro-échelle spatio-temporelle étant donné que l'étude s'est faite sur 37 ans. L'analyse des traits de côte historiques de la zone de Bordj El Kiffan a permis de déterminer ses tendances évolutives. La mise en place de différents ouvrages de protection (Brise-lames en T et L, cordons d'enrochement, promenade et rechargement artificiel) au niveau de la frange côtière de Bordj El Kiffan a induit des changements importants à savoir de fort taux d'accrétion et de faibles taux d'érosion où l'accrétion a pris l'avantage sur le recul mais aussi une érosion a été observée dans les zones adjacentes.

De plus, l'étude bathy-sédimentaire de la zone d'étude a révélé une topographie sous-marine descendant en pente douce d'une façon régulière avec présence de quelques morphologies sous-marines telles que les petites barres d'accumulations et les bassins de brise-lames. La répartition de la médiane a montré une dominance du sable fin au large de la zone d'étude et du sable grossier à l'intérieur des bassins des brise-lames. Les cartes du transport sédimentaire montrent la présence de courants de dérives littorales avec la dominance d'Est en Ouest qui sont probablement liés aux apports d'Oued El Hamiz, des courants tourbillonnaires à l'intérieur des bassins de brise-lames ainsi qu'un faible courant de retour.

Enfin, la dernière partie avait pour but d'exposer l'impact de l'implantation des ouvrages de protection sur la zone d'étude, il est distingué que les différentes méthodes de protection utilisées ont provoqué des effets positifs localement en ce qui concerne l'évolution du trait de côte, la dynamique sédimentaire et l'évolution des petits fonds. Par contre une légère érosion a été observée aux zones adjacentes à notre zone d'étude à savoir la Verte Rive et Lido. De plus toutes les études effectuées dans ce travail semblent donner des résultats qui concordent.

Finalement l'implantation des ouvrages de protection sur le littoral de Bordj El Kiffan assure certainement une protection locale du site mais elle a aussi engendré une accentuation des tendances érosives au niveau des zones adjacentes. Pour y remédier, l'ensemble du littoral doit être pris en compte en utilisant la gestion intégrée des zones côtières combinée à d'autres ouvrages souple de protection tels que les rechargements artificiels avec leur entretien. De plus il est nécessaire de faire des suivis saisonniers et annuels accompagnés par des levés bathymétriques et granulométriques tout en utilisant les SIG est les outils de simulations numériques afin de mieux percevoir les impacts de l'installation de ces ouvrages de protection.

Ce travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'étude, a permis de créer une base de données récente qui pourra servir pour une étude futur de la zone ou même pour les projets de fin d'étude qui traitent le même sujet.

La réalisation de ce projet a permis l'application des connaissances acquises pendant les cinq années de formation au niveau de l'ENSSMAL.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANRH (2014). Tableau des caractéristiques de Oued EL Harrach et Oued El Hamiz.
- APPL (2015). *Plage Sirène I - Agence de Promotion et de Protection du Littoral de la Wilaya d'Alger*. Consulté le Février 23, 2017, sur Agence de Promotion et de Protection du Littoral de la Wilaya d'Alger: <<http://www.appl.dz>>
- BOUKHROUF, M., & CHERIFI, E (2012). *Evaluation des fréquences de résonnance du sol de l'Est de la baie d'Alger par la méthode H/V-bruit de fond*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement. Alger:ENSSMAL, p.p 3-11.
- BRGM (2012). Etude générale pour la protection de la plaine orientale de Corse-Priconisation de gestion: Rapport d'activité. France.BRGM.
- CASTELLE, B. (2004). *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine*. Thèse de doctorat. Océanographie et Paléocéanographie. France : Université Bordeaux I, p.p. 32-78.
- CETMF (1994). Modélisation numérique et physique en sédimentologie côtière : deux approches finalement assez proches. Rapport d'activité. France: STCPVN.
- CETMF (1998, Avril). *Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de défense de littoral contre l'attaque de la mer*. [En ligne]. Disponible sur le web: <http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ER_PM_98-01_cle65c989-1.pdf>
- CLAUS-AUBY, Christine (2003). *La gestion de l'érosion des cotes: l'exemple de la cote aquitaine*. France: Presses universitaires de Bordeaux. 256p.
- Coastal Engineering Research Center.(1984). *Shore protection manual*. 4^e éd. Etats Unis: U. G. Office. 652p.
- DHI (2014). *Mike 21/3 Coupled Model FM*. [En ligne]. [Consulté le 13.03.2017]. Disponible sur le web: <www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf>
- Egis Eau;IAU-IDF; BRGM (2013). Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique:Phase 2 – Elaboration de plan d'actions. Rapport d'activité. Algérie: Egis Eau. pp. 287-302.

- EHRHOLD, Axel (1994). *Approche bidimensionnelle des transports sédimentaires à partir des variations granulométriques des sédiments superficiels: Exemple de la partie occidentale de la baie du Mont Saint-Michel*. [En ligne]. Disponible sur le web: <<http://archimer.ifremer.fr/doc/00285/39620/>>
- EID-Méditerranée, & SMNLR(2005, Mars). *Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Bassin Rhone Méditerranée et bassin de Corse(9)*. Rapport d'activité. France: EID-Méditerranée, & SMNLR .p.p. 8-15.
- FORNIER, J., BONNOS-CORTOIS, C., PARIS, R., Voldoire, O., & LE VOT, M. (2012). *Analyses granulométriques, Principes et méthodes*. France: Dinard. 99p.
- HIMMELSTOSS, E. (2009). *Digital Shoreline Analysis System: Installation guide*. [En ligne]. [Consulté le 05 03, 2016], sur U.S. Geological Survey. Disponible sur le web: <<https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version3>>
- IFFOUR, Y., & MADANI, A. (2016). *Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux, Plage des Hammadites Béjaia*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement . Alger: ENSSMAL.120p.
- IFREMER (1993). *Etude de la problématique des dispositifs de protection du littoral à impact réduit sur le littoral*. [En ligne]. France: IFREMER. Disponible sur le web: <<http://www.IFREMER.fr>>
- INCT (2017). Photographies aériennes de la zone de Bordj El Kiffan. INCT.
- JICA, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, & CGS. (2006). *Etude du microzonage sismique de la Wilaya d'Alger*. Rapport d'activité. Algérie. 319p.
- LECLAIRE, L. (1972). *La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléaires. (Precontinent algérien)*. Mémoire du muséum national d'histoire naturelle: Tome 191. Paris: Du Muséum. 391p.
- LEM. (1997). *Etude de protection de la station de Bordj El Kiffan: Dossier d'Appel d'Offres*. Rapport d'activité. Document non publié. Alger: LEM.
- LEM. (2009). *Etude de protection du site de "Lido" commune de Mohammadia, Collecte et analyses des données de base*. Rapport d'activité. Document non publié. Alger: LEM.

- LEM. (2012). Etude d'aménagement et d'embellissement du site « lido » lot 2, avant projet détaillé. Rapport d'activité. Document non publié. Alger: LEM.
- MAOUCHE, S. (1987). Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger. Thèse de Doctorat . Océanologie. France: Université de Perpignan. 214p.
- MIGNIOT, C. (1990). *Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral*. [En ligne]. (Consulté le 12 3, 2016), Disponible sur le web: <<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr>: http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/ER_PM_88-02_cle6a4afe-1.pdf>
- MIOSSEC, A. (2004). *Les littoraux entre nature et aménagement* . 3ed.France: Armond Colin. 189p.
- ONM (2017). Statistiques des données météorologiques de la station de Dar EL Beida de la période (2006-2016).
- PASKOFF, R. (1998). *Les littoraux: impacts des aménagements sur leur évolution* 2ed. Paris: Armond Colin. 256p.
- PASKOFF, R., & CLUS-AUBY, C. (2007). *L'érosion des plages les causes, les remèdes*. France: Institut océanographique. 184p.
- RAMOGE. (2002). La défense des plages dans la zone RAMOGE. : Réflexion sur l'érosion du trait de côte. Rapport d'activité. France.
- ROBICHAUD, A., CHELBI, M., & SIMARD, I. (2012). Erosion et infrastructures à risque à Sainte-Marie-Saint-Raphael Péninsule Acadienne, Nouveau-Brunswick. Rapport d'activité. Canada: Université de Moncton.
- SAMAT, O. (2007). *Efficacité et impacts des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales. Le cas du Languedoc et du Delta du Rhone*.Thèse de doctorat. Géographie physique et humaine, aménagement, urbanisme. France: Université d'Aix-Marseille I, 376 p.
- TAIEB ERRAHMANI, D. (2009). *Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger: ENSSMAL, p.p. 18-19.

THAN, V. (2015). *Modélisation d'érosion cotière: Application à la partie ouest du tombolo de Giens*. Thèse de doctorat. Ingénierie côtière. France: Université d'Aix-Marseille, 398p.

UQAR, & ZIP (2008). Atelier de formation et d'échanges: comprendre l'érosion côtière. CANADA. 22p.

ANNEXES

Tableau: Les poids cumulés et les taux de pérites pour les échantillons de la plage sous-marine

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ϕ microm																		
5000	191.3	194.72	198.25	198.79	198.01	196.64	190.51	182.24	194.14	198.51	194.01	194.66	195.02	166.02	187.13	197.53	91.71	185.49
3150	190.77	194.11	197.45	198.79	197.37	195.56	189.12	182.03	192.76	198.5	188.41	194.17	194.76	165.45	186.06	196.72	91.64	184.7
2000	190.58	193.95	197.07	198.79	197.13	195.38	189.05	181.99	192.59	198.49	186.03	194.13	194.67	165.35	186.01	196.71	91.64	184.55
1600	190.55	193.86	196.93	198.79	197.09	195.25	189	181.88	192.54	198.49	185.97	194.06	194.65	165.32	185.96	196.71	91.64	184.54
1400	190.53	193.82	196.82	198.79	197.01	195.21	188.97	181.87	192.46	198.46	185.94	194.03	194.64	165.3	185.93	196.69	91.6	184.53
1250	190.5	193.76	196.82	198.79	196.98	195.16	188.95	181.83	192.42	198.42	185.88	194.01	194.62	165.26	185.88	196.68	91.59	184.52
1000	190.46	193.7	196.6	198.7	196.83	195.01	188.92	181.79	192.34	198.3	185.88	194	194.6	165.25	185.78	196.65	91.56	184.52
800	190.43	193.6	196.28	198.58	196.61	194.82	188.88	181.76	192.18	197.88	185.84	193.97	194.55	165.19	185.55	196.6	91.55	184.5
630	190.38	193.5	195.88	198.33	196.21	194.66	188.82	181.7	191.93	196.93	185.8	193.94	194.47	165.12	185.16	196.37	91.51	184.48
500	190.33	193.36	194.82	197.48	195.27	194.3	188.77	181.64	191.24	193.59	185.68	193.86	194.37	164.98	184.11	195.47	91.46	184.47
400	190.27	193.14	192.92	194.26	192.86	193.83	188.63	181.58	189.64	184.58	185.6	193.76	194.19	164.76	181.81	192.07	91.42	184.41
315	190.16	192.49	187.14	179.18	184.61	192.61	188.4	181.43	184.56	161.98	185.39	193.5	193.8	164.2	174.94	179.13	91.34	184.34
250	189.9	191.04	178.51	160.46	173.26	190.37	185.93	181.17	177.74	138.36	184.98	193.12	193.26	162.72	165.04	161.43	91.27	184.21
200	187.75	175.83	140.66	100.08	160.74	169.93	185.86	178.96	148.61	82.7	179.71	189.4	188.65	148.48	124.99	105.83	89.93	182.91
180	184.89	160.53	115.61	74.63	109.77	154.01	183.1	176.32	129.37	63.3	172.51	185.06	183.38	135.46	108.16	86.97	88.6	181.36
160	171.36	111.52	65.69	32.55	69.12	100.95	168.98	163.42	80.04	32.6	136.06	167.67	163.39	98.73	70.01	48.38	82.61	172.08
140	144.84	62.35	26.68	11.64	33.21	54.35	140.47	134.45	37.9	11.32	79.91	135.28	129.8	55.17	31.31	20.65	68.39	149.81
125	118.95	33.34	13.29	3.48	19.03	27.33	111.58	105.81	20.73	4.85	43.11	99.89	95.7	30.34	16.51	9.08	53.84	120.73
100	68.37	9.12	2.49	0.49	5.68	7.34	59.72	53.32	5.41	0.78	14.05	46.38	42.22	9.45	3.36	1.45	21.94	69.43
80	25.09	3.9	0.67	0.18	2.53	3.1	23.47	22.45	1.84	0.34	5.38	15.84	14.05	4.07	1.31	0.6	8.48	27.83
63	5.92	1.66	0.15	0.1	1.16	1.24	6.12	5.6	1.08	0.18	1.87	4.07	3.64	1.6	0.61	0.32	3.62	7.16
50	1.94	0.75	0.00	0.00	0.57	0.57	2.32	2	0.58	0.09	0.69	1.56	1.36	0.72	0.31	0.17	1.22	2.67
poids initial	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	170	190	200	170.00	200
poids analysé (g)	191.3	194.72	198.25	198.79	198.01	196.64	190.51	182.24	194.14	198.51	194.01	194.66	195.02	166.02	187.13	197.53	91.71	185.49
Pérites (%)	4.35	2.64	0.88	0.61	1.00	1.68	4.75	8.88	2.93	0.75	3.00	2.67	2.49	2.34	1.51	1.24	46.05	7.25

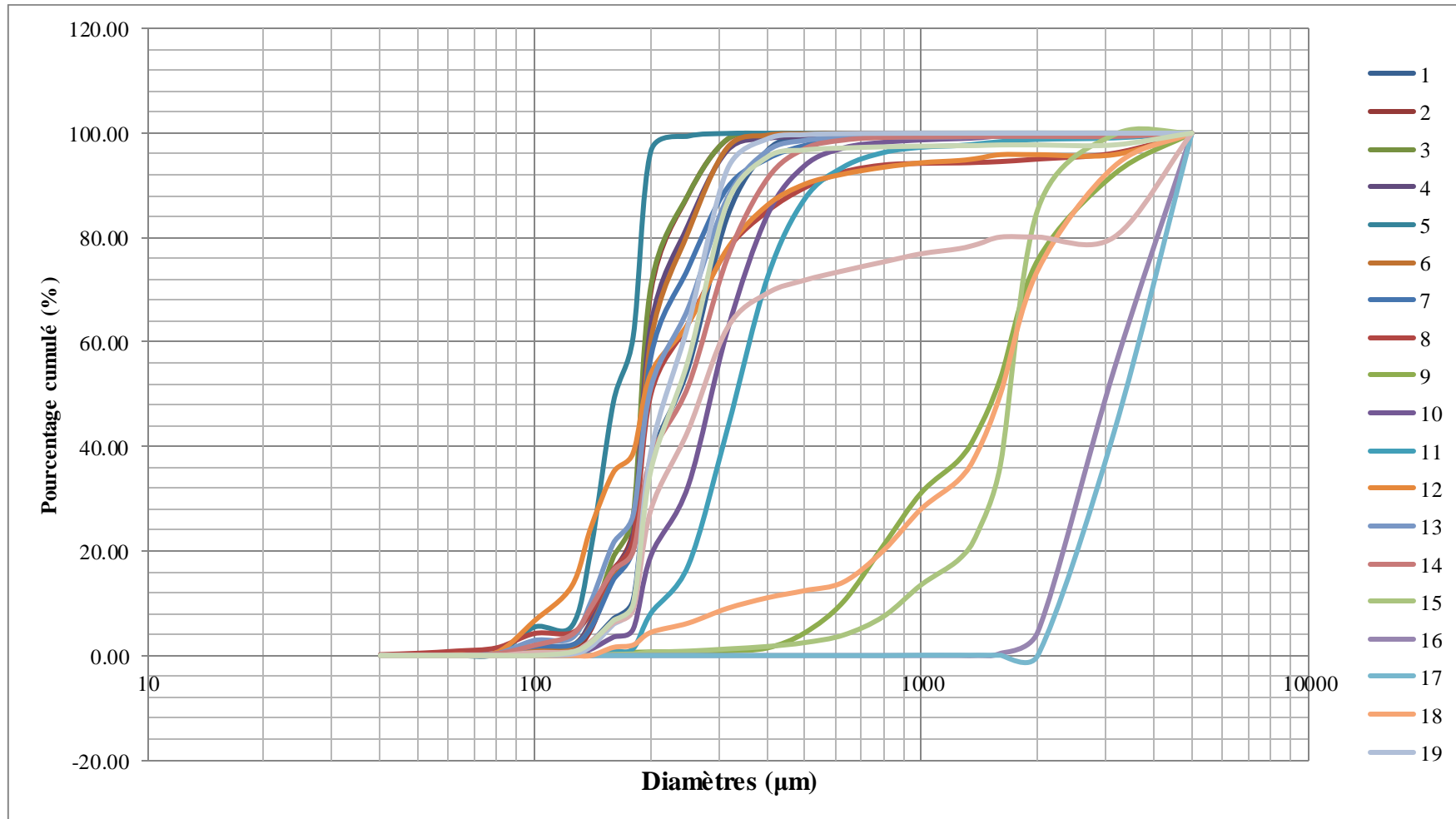


Figure: Exemple des courbes granulométriques de l'échantillonnage 1

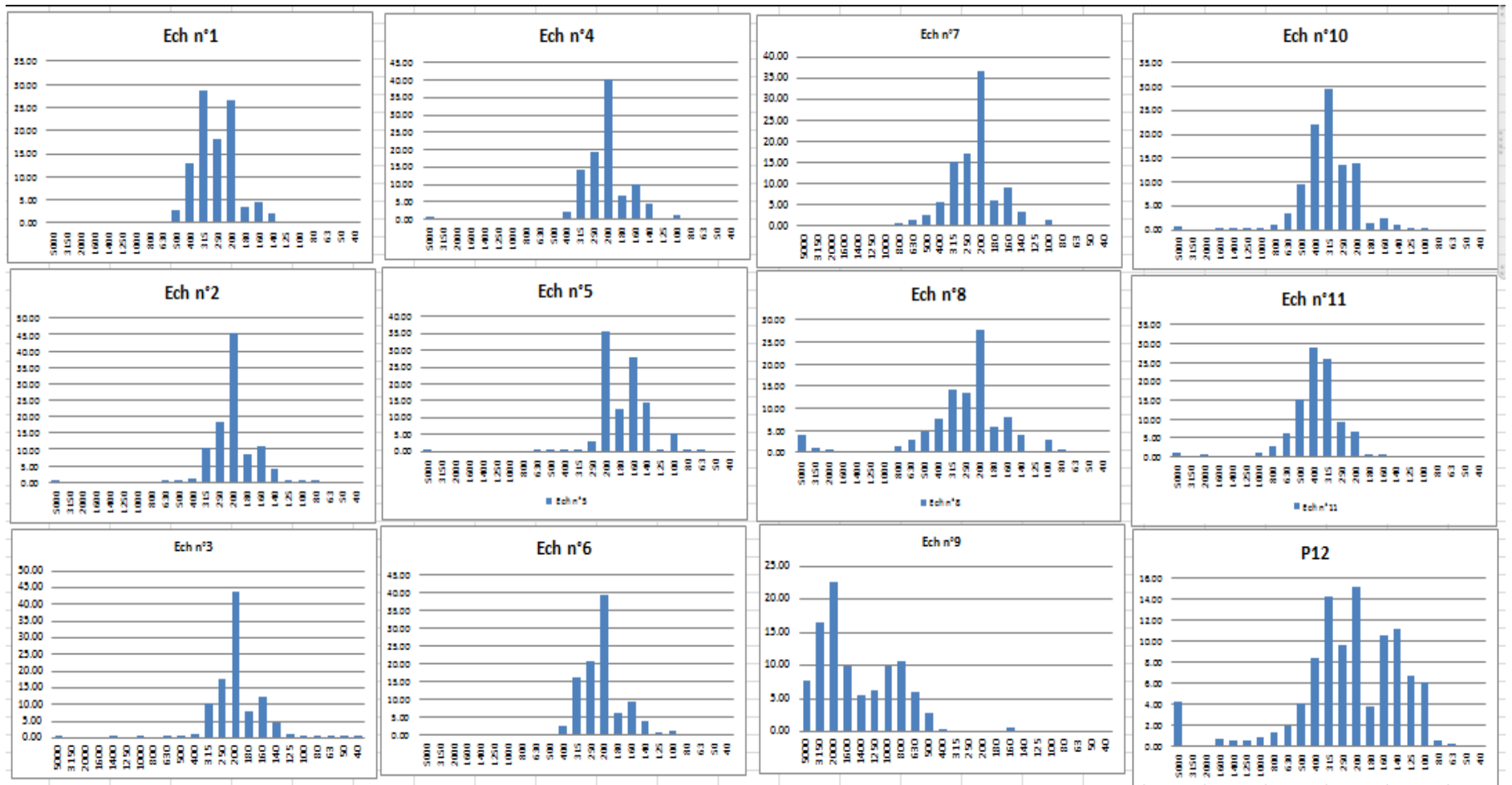


Figure: Exemple des histogrammes de l'échantillonnage 1

Tableau 14: Poids cumulés et taux de pélites de l'échantillonnage 2

Stations	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	
φmicrom																				
5000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3150.00	40.14	8.22	13.37	0.23	58.21	10.52	145.37	1.21	2.39	20.69	0.29	0.13	0.09	0.00	0.05	0.03	0.00	13.65	4.60	
2000.00	93.30	9.81	65.51	6.86	73.09	13.19	147.01	1.84	3.14	30.82	0.33	0.26	0.17	0.02	0.18	0.06	0.00	19.15	6.36	
1600.00	123.01	10.55	68.79	24.57	75.84	15.02	147.24	2.23	3.34	37.01	0.39	0.35	0.18	0.02	0.21	0.07	0.01	24.35	8.36	
1400.00	135.20	10.88	69.97	36.20	78.21	16.36	147.42	2.45	3.53	40.86	0.45	0.41	0.18	0.04	0.23	0.07	0.02	28.31	9.18	
1250.00	146.61	11.25	70.64	47.03	81.62	18.62	147.64	2.71	3.73	44.75	0.52	0.48	0.18	0.07	0.24	0.09	0.04	32.75	10.55	
1000.00	158.62	11.94	71.10	58.99	89.32	24.06	148.50	3.08	4.16	51.12	0.69	0.66	0.19	0.11	0.25	0.11	0.05	44.86	13.57	
800.00	168.39	12.88	72.44	67.39	98.75	33.03	150.80	3.81	5.26	59.69	1.19	0.98	0.20	0.28	0.27	0.19	0.08	72.21	19.53	
630.00	174.29	14.31	73.55	73.70	107.34	44.05	157.40	4.98	7.76	67.83	2.47	1.58	0.25	0.71	0.37	0.50	0.09	116.70	27.88	
500.00	179.89	18.72	76.65	83.65	119.63	62.82	161.67	8.21	16.10	77.85	6.81	3.01	0.59	2.65	0.84	2.06	0.36	156.23	43.84	
400.00	184.84	38.98	84.60	99.13	136.13	91.89	170.71	15.68	38.14	89.68	21.16	5.92	3.30	9.84	3.58	9.49	2.73	173.94	71.97	
315.00	190.56	113.81	108.63	129.35	163.47	140.00	184.46	36.04	87.98	108.52	71.45	14.59	27.03	39.14	21.99	44.82	22.39	183.72	116.85	
250.00	193.60	158.71	129.23	151.00	179.04	167.90	191.74	58.01	119.42	122.46	112.21	24.47	65.35	72.54	49.97	79.58	53.96	187.45	141.83	
200.00	196.89	194.31	167.26	184.36	194.12	194.97	198.42	94.11	166.81	152.55	173.41	72.81	155.03	156.53	141.42	155.04	144.93	192.79	179.84	
180.00	197.31	196.44	176.14	189.75	195.72	197.15	198.93	108.86	175.41	162.13	182.18	99.77	169.83	172.66	159.93	169.39	163.88	194.59	185.60	
160.00	197.84	198.29	188.74	196.10	197.39	199.01	199.45	143.53	187.56	178.44	192.19	157.46	188.38	191.07	184.44	187.89	186.62	196.58	192.62	
140.00	198.10	198.98	195.59	198.83	198.19	199.69	200.00	174.14	195.01	191.75	195.96	165.20	196.05	198.16	195.35	195.51	196.06	197.82	195.50	
125.00	198.18	199.21	197.78	199.58	198.47	199.98	200.00	190.87	198.03	197.25	196.75	195.57	198.46	199.49	198.07	197.48	198.51	198.38	196.71	
100.00	198.21	199.42	198.98	199.91	198.67	200.00	200.00	199.32	199.08	198.98	196.94	198.55	199.46	199.86	199.19	197.78	199.16	198.57	197.31	
80.00	198.21	199.55	199.14	199.98	198.68	200.00	200.00	200.00	199.27	199.20	196.94	198.84	199.67	199.90	199.45	197.79	199.19	198.59	197.53	
63.00	198.21	199.65	199.20	200.00	198.68	200.00	200.00	200.00	199.39	199.24	196.94	198.90	199.77	199.93	199.53	197.84	199.36	198.61	197.65	
50.00	198.21	199.71	199.24	200.00	198.68	200.00	200.00	200.00	199.43	199.30	196.94	199.20	199.85	199.98	199.69	197.89	199.45	198.61	197.80	
40.00	198.21	199.78	199.24	200.00	198.68	200.00	200.00	200.00	199.48	199.30	196.94	199.26	200.00	200.00	199.72	197.89	199.60	198.61	197.80	
poids initial	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
poids analysé (g)	198.26	199.75	199.30	200.00	198.70	200.00	200.00	200.00	199.48	199.30	196.94	199.26	200.00	200.00	200.00	197.95	199.60	198.61	197.80	
% Pélites	0.87	0.13	0.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.26	0.35	1.53	0.37	0.00	0.00	0.00	1.03	0.20	0.69	1.10	

Tableau: Exemple de résultats obtenus par le DSAS pour la période de 1980-2017

Transect Id	EPR (m/an)	SCE (m)	NSM (m)
1	0	0	0
2	-0.32	25.53	-11.63
3	-0.36	25.17	-13.38
4	-0.41	24.86	-14.95
5	-0.44	24.65	-16.26
6	-0.49	25.05	-17.91
7	-0.51	26.79	-18.81
8	-0.48	28.87	-17.76
9	-0.27	31.67	-9.74
10	0.04	30.17	1.31
11	0.21	33.62	7.64
12	0.29	38.26	10.77
13	0.35	42.78	12.95
14	0.39	42.21	14.27
15	0.44	34.18	16.15
16	0.48	33.07	17.73
17	0.51	32.11	18.9
18	0.54	33.35	19.96
19	0.58	36.68	21.41
20	0.61	42.73	22.34
21	0.62	43.99	22.9
22	0.64	45.08	23.35
23	0.65	46.14	23.77
24	0.66	47.14	24.24
25	0.68	48.69	24.92
26	0.71	48.21	25.93
27	0.74	47.63	27.06
28	0.77	47.25	28.28
29	0.8	46.94	29.31
30	0.8	46.67	29.43
31	0.8	46.32	29.27
32	0.79	45.74	29.02
33	0.8	45	29.2
34	0.82	44.65	29.95
35	0.84	45.59	30.82

Résumé :

La zone de Bordj El Kiffan se situe dans la partie centrale de la baie d'Alger. Elle a connu une artificialisation de son rivage traduite par la forte urbanisation à partir des années 1980, cela combiné aux agents naturels a provoqué son recul. Pour en remédier, la solution préconisée par le laboratoire d'études maritimes est la combinaison de plusieurs méthodes de protection.

Dans le but de connaître, comprendre et de déterminer l'impact de l'implantation de ces ouvrages de protection, une étude d'évolution historique du trait de côte était menée avec l'utilisation des SIG comme moyen de suivi, accompagnée d'étude granulométrique, bathymétrique, hydrodynamique et sédimentaire de la partie marine de la zone d'étude en s'appuyant sur la modélisation numérique par le modèle couplés de Mike 21, afin de confirmer les résultats obtenus précédemment.

Mots- clés :

Ouvrages de protection - ArcGis - Bordj El Kiffan - Bathymétrie - Dynamique sédimentaire - Granulométrie - Urbanisation - Sédimentologie - Système d'Information Géographique(SIG) - Trait de côte - Mike 21 - Surfer- Modélisation numérique

Abstract:

The area of Bordj El Kiffan is located in the central part of the bay of Algiers. It experienced an artificialisation of its shore translated by the strong urbanization from the 1980s; this combined to the natural agents caused its retreat. To remedy this, the solution advocated by the maritime laboratory is the combination of several methods of protection. In order to know, understand and determine the impact of the implementation of these protective structures, a historical evolution of the coastline was carried out with the use of GIS as a means of monitoring, accompanied by a Granulometric, bathymetric, hydrodynamic and sedimentary studies of the marine part of the study area, based on numerical modeling by the coupled model of Mike 21, in order to confirm the results obtained previously.

Keywords:

Geophysical Information System (GIS) - Coastline - Mike 21 - Surfing - Digital modeling - ArcGis - Bordj El Kiffan - Bathymetry - Sedimentary dynamics - Granulometry - Urbanization – Sedimentology

ملخص:

تقع منطقة برج الكيفان في الجزء الأوسط من خليج الجزائر . عرفت تحضر أدى إلى تطور سريع لشواطئها في 1980، هذا بالإضافة للعوامل الطبيعية تسبب في تراجعها. لعلاج هذا، الحلول التي اوصى بها مختبر الدراسات البحرية هو مزيج من عدة أساليب للحماية.

من أجل معرفة وفهم وتحديد الآثار المترتبة على تنفيذ هذه الأعمال العلاجية، أجريت دراسة تاريخية لتطور الخط الساحلي مع استخدام نظام المعلومات الجغرافية كوسيلة مراقبة، يرافقه دراسة حجم، الأعماق، الهيدروديناميكية والرسوبية البحرية لجزء من منطقة الدراسة استنادا على النماذج العددية من بينها النموذج المدمج مايك 21 من أجل تأكيد النتائج التي تم الحصول عليها سابقا.

الكلمات الدالة:

هياكل الحماية - ArcGIS - برج الكيفان - قياس الأعماق - ديناميات الرسوبية - حجم الجسيمات - التمدن - الرسوبية - نظام المعلومات الجغرافية - خط الساحل - Surfer- 21 Mike - النمذجة العددية