

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCE DE LA MER
Spécialité : GESTION ET PROTECTION DU LITTORAL**

Thème :

**Etude d'aménagement de la baie d'Alger zone située entre
Bordj El Kiffan (Le Lido) et Verte Rive**

Présenté par :

- **DJEMAI AMIRA.**

Soutenu Le 04 Juillet 2021 devant le jury suivant :

Mme HOUMA BACHARIF

Présidente (ENSSMAL)

Mme BOUDOUMA.Z

Examinatrice (LEM)

Mme KERAGHEL.M

Examinatrice (ENSSMAL)

Mr BELKESSA.R

Promoteur (ENSSMAL)

Mr OTMANI.H

Co-promoteur (ENSSMAL)

Année universitaire : 2020-2021

Remerciement

Un mémoire de fin d'étude est souvent seulement perçu comme l'aboutissement de cinq ans d'étude. Je le considère plutôt comme la clé qui permet d'ouvrir une porte sur une nouvelle expérience. Grâce à tous ceux que j'ai pu rencontrer au cours de toutes ces années, j'espère être mieux préparée à la vie professionnelle à venir.

Mes premiers remerciements vont au bon Dieu le tout puissant, pour m'avoir accordé la force, la volonté et la patience jusqu'à l'accomplissement de ce modeste travail.

*Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à **Monsieur le professeur***

***BELKESSA Rabah**, Promoteur du mémoire pour son suivi, ses conseils judicieux et ses discussions qui m'ont beaucoup durant toute la réalisation de mon projet de fin d'étude. Je tiens à le remercier pour sa confiance et pour l'autonomie qu'il m'a accordée. C'est un honneur pour moi d'avoir travaillé avec lui.*

*A Monsieur **OTHMATI Housseyn**, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de co-encadrer ce travail. Son disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, ses remarques pertinentes et leurs suggestions ont sans cesse permis l'amélioration de la qualité de ce document.*

*Je tiens également à présenter mon entière reconnaissance à Mme **HOUMA***

***BACHARI Fouzia**, professeur à l'ENSSMAL., d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire. Que Mme. **BOUDOUMA Zahia**, et Mme **KERAGHEL Mehdi**a, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce modeste travail.*

Je finis par un immense merci à mes parents qui m'ont soutenu pendant toutes mes études.

Dédicace

*Au nom de Dieu, le clément et le miséricordieux louange à **ALLAH** le tout puissant*

*A mes très chers **parents**, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères sœurs **Meriem et Doua** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mon cher frère **Imad Eddine** pour leur appui et leur encouragement,*

*A ma tante **LMGHITI Salma** qui m'ouvert sa maison et m'a serré dans ses bras et qui me rendait les jours de distance avec ma famille plus faciles pour moi.*

A mes chères copines :

RAZI Nouhaila

HOUTI Kawther

GHOZEL Kenza

BOUALEM Ahlem

DILMI Khadidja

Pour leur soutien, compréhensive et leur encouragement leur motivation

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude	2
I. Description et Situation géographique	3
1. Baie d'Alger :	3
2. La zone d'étude :	3
II. Contexte physique du site :	4
II.1 Caractéristique géologique et géomorphologique :	4
II.1.1 Cadre Géologique :	4
II.1.2 Cadre géomorphologique :	6
II.2 Caractéristiques climatiques :	6
1. Climat :	6
2. Vent :	7
II.3 Cadre Océanographique :	9
1. Les courants :	9
2. Les marées :	10
3. La houle	10
4. La distribution des sédiments :	15
II.4 Réseau hydrographique :	17
1. Oued El Harrach :	17
2. Oued El Hamiz :	17
III. La Problématique de la zone d'étude	18
1. Facteur d'érosion :	18
2. Les activités anthropiques :	19
Chapitre II : Matériels et méthodes	20
Introduction :	21
I. L'évolution de trait de côte :	21
1. Les facteurs d'évolutions du trait de côte :	21
2. Les méthodes d'observations utilisées :	21
3. Les outils de l'étude :	22
3. Méthodologie :	23
II. Etude bathymétrique :	26
1. Mode de levé topographique :	26
2. Mode de levé bathymétrique :	26
3. Traitement des données :	27
III. Etude de la réfraction de la houle :	28
1. Le principe de calcul de la réfraction de la houle	28
2. Les données de base :	28
IV. Etude hydro-sédimentaire :	30

Sommaire :

1. Présentation du modèle numérique Mike 21 :	30
2. Les données de base :	32
Chapitre III : Résultats et Discussion.....	34
I. L'étude de l'évolution de trait de côte :.....	35
Résultats cartographiques :.....	35
II. La bathymétrie :.....	42
1. La bathymétrie de la zone d'étude :	42
2. Profils bathymétriques :	43
III. Résultats de l'étude de la réfraction de la houle :.....	45
1. Les cartes de simulation :	45
2. Résultats obtenus à partir des points d'extraction :.....	48
3. Tableau représentatifs de la hauteur des houles par directions et par zones :.....	48
III. Résultats de l'étude hydro sédimentaire (Courantologie HD et le transport sédimentaire ST) : 51	
1. Les cartes de simulation des courants (HD) :	51
2. Tableau représentatif des différentes observations de courantologie dans chaque sous zone :.....	55
3. Les cartes de la simulation du transport sédimentaire (ST) :	55
4. Tableau représentatif des différentes observations du transport sédimentaire dans chaque sous zone :	59
Chapitre IV : Etude de protection et de gestion.	60
Introduction :.....	61
1. Variante 01 : Batterie de Brise-lames :.....	61
1.1. Objectifs et fonctionnement :	61
1.2. Dimensionnement :.....	62
1.3. Conception :	63
1.4. Description de la variante 01 :.....	64
1.5. Vérification sur le modèle numérique :	67
2. Variante 02 : Batterie d'épis en « L » :.....	72
2.1. Objectifs et fonctionnement :	72
2.2. Dimensionnement :.....	73
2.3. Description de la variante 02 : Batterie de cinq épis en « L » :	73
2.4. Vérification sur le modèle numérique :	77
3. Variante 03 : Batterie des six brise-lames en géotextile	82
3.1. Objectifs et fonctionnement :	82
3.2. Dimensionnement :.....	83
3.3. Description de la variante 03 : Batterie de six Brise-lames immergée en géotextile :84	
3.4. Vérification sur le modèle numérique :	85
4. Variante 04 : Batterie de trois brise-lames immergés en géotextile :.....	92

Sommaire :

4.1. Description de la variante 04 : Batterie de trois brise-lames immergés en géotextile	92
4.2. Vérification sur le modelé numérique :	92
I. Choix de la solution retenue :	98
Conclusion :	100
Chapitre V : Gestion intégrée des zones côtières (GIZC).....	101
Introduction :.....	102
I. La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) :	102
II. Approche de programme GIZC dans la zone d'étude :.....	103
Conclusion générale	106
Références	107
Annexes.....	110

Table des illustrations

Figure I.1 : Localisation de la baie d'Alger (Rabehi et al 2018)	3
Figure I.2 : Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure I.3 : Carte géologique de la baie d'Alger et la zone d'étude	5
Figure I.4 : Taux de précipitation au niveau de Dar El Beida	7
Figure I.5 : Taux de précipitation par saison au niveau de Dar El Beida	7
Figure I.6 : Rose des vents du site de Puetro Del estado de la période de 1958 à 2020	8
Figure I.7 : Vitesse du vent moyen par mois au niveau de Dar El Beida entre 2010 et 2019	9
Figure I.8 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998)	10
Figure I.9 : Position géographique du Simart Poin dans le large de la baie d'Alger	12
Figure I.10 : Amplitudes de Hs par direction dans la région de la Baie d'Alger (Puetro Del Estado, 1958-2020)	13
Figure I.11 : Secteur des houles dominantes dans la zone d'étude	14
Figure I.12 : Carte sédimentaire de la baie d'Alger (Maouche, 1987)	16
Figure II.1 : Photo aérienne de la zone d'étude en 1959	21
Figure II.2 : photo aérienne de la zone d'étude en 1972	21
Figure II.3 : Photo aérienne de la zone d'étude en 1980	22
Figure II.4 : Image satellitaire de la zone en 2000	22
Figure II.5 : Image satellitaire de la zone en 2010	22
Figure II.6 : Image satellitaire de la zone en 2016	22
Figure II.7 : Image satellitaire de la zone en 2020	22
Figure II.8 : Digitalisation du trait de côte a partir Google Earth Pro	23
Figure II.9 : trait de côte digitalisé et géo référencée sur ArcGis	23
Figure II.10 : Création de la couche Shore-line et Base-line sur ArcGis	24
Figure II.11 : Fenêtre du dialogue de création des transects sur l'extension DSAS/ logiciel ArcGis	25
Figure II.12 : Principe de la mesure bathymétrique avec le système Sondeur/GPS (Emilie, 2007)	26
Figure II.13 : Points d'extraction de la réfraction de la houle dans la zone d'étude	29
Figure II.14 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes Mike-21	30
Figure III.1 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1959_1972	34
Figure III.2 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 1972	34
Figure III.3 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1972_1980	35
Figure III.4 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1972 et 1980	35
Figure III.5 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1980_2000	36
Figure III.6 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1980et 2000	36
Figure III.7 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2000_2010	37
Figure III.8 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2000 et 2010	37
Figure III.9 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2010_2016	38
Figure III.10 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2010 et 2016	38
Figure III.11 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2016_2020	38
Figure III.12 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2016 et 2020	39
Figure III.13 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 2020	39
Figure III.14 : End point (mètre) Rate entre 1959_2020	39
Figure III.15 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 2020	40
Figure III.16 : Carte bathymétrique en 2D de la zone d'étude effectuée avec Mike 2	41
Figure III.17 : Carte bathymétrique du positionnement des profils dans la zone d'étude	42
Figure III.18 : Profil bathymétrique 1	42
Figure III.19 : Profil bathymétrique 2	43
Figure III.20 : Profil bathymétrique 3	43
Figure III.21 : Profil bathymétrique 4	44
Figure III.22 : Résultats de réfraction de la houle Nord 360° incidente à la plage Verte Rive	45
Figure III.23 : Résultats de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage Verte Rive	45
Figure III.24 : Résultats de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage Verte Rive	46
Figure III.25 : Carte bathymétrique et des sous-zones de la zone d'étude	47

Figure III.26 : Résultats de courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"	50
Figure III.27 : Résultats de courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"	51
Figure III.28 : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"	52
Figure III.29 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 360° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"	54
Figure III.30 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 315° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"	55
Figure III.31 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"	56
Figure IV.1 : Carte représentative de la premier Variante des Brise-lames	61
Figure IV.2 : Profil courant du brise-lame	62
Figure IV.3 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	63
Figure IV.4 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	64
Figure IV.5 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	64
Figure IV.6 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	65
Figure IV.7 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	65
Figure IV.8 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	66
Figure IV.9 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	66
Figure IV.10 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	67
Figure IV.11 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames	67
Figure IV.12 : Carte représentative de la deuxième variante des épis	70
Figure IV.13 : Profil musoir épi	71
Figure IV.14 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des épis	72
Figure IV.15 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des épis	73
Figure IV.16 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des épis.	73
Figure IV.17 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	74
Figure IV.18 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	74
Figure IV.19 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	75
Figure IV.20 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	75
Figure IV.21 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	76
Figure IV.22 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des épis	76
Figure IV.23 : Schéma de principe de brise-lames en géotextile	77
Figure IV.24 : Description des éléments d'effet de brise-lames, (D'après J. Viguier 2002)	78
Figure IV.25 : Carte représentative de la troisième variante des brise-lames immergée en géotextile	79
Figure IV.26 : Bathymétrie à l'état initial	80
Figure IV.27 : Bathymétrie Après la Variante 03	80

Figure IV.28 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	81
Figure IV.29 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	81
Figure IV.30 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	82
Figure IV.31 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	82
Figure IV.32 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	83
Figure IV.33 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	83
Figure IV.34 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	84
Figure IV.35 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	84
Figure IV.36 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement d'une batterie du Brise-lames immergée en géotextile	85
Figure IV.37 : Carte représentative de la deuxième variante des épis	86
Figure IV.38 : Bathymétrie à l'état initial	87
Figure IV.39 : Bathymétrie après variante 04	87
Figure IV.40 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	87
Figure IV.41 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	88
Figure IV.42 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	88
Figure IV.43 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	89
Figure IV.44 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	89
Figure IV.45 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	90
Figure IV. 46 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	90
Figure IV.47 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	91
Figure IV.48 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergée en géotextile	91
Figure V.1 : Pression naturelle et Anthropique dans la baie d'Alger	97

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970)	11
Tableau I. 2 : Coordonnées géographique du Simart Point	12
Tableau I.3 : Valeurs Maximales des hauteurs significatives (m) par direction entre 1958_2020 (www.puertoes.es)	13
Tableau I.4 : Hauteurs significatives et directions de la houle annuelle (LEM 2018)	15
Tableau I.5 : Houles maximales dans la région de Bordj El Kiffan (LEM, 2018)	15
Tableau I.6 : Caractéristiques générales de l'Oued El-Harrach et El Hamiz (ANRH, 2014)	17
Tableau II.1 : Caractéristiques de la houle cinquantennale dans le large de la zone d'étude (LEM, 2018)	28
Tableau III.1 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 360°	45
Tableau III.2 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 45°	45
Tableau III.3 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 315°	45
Tableau III.4 : Tableau représentatif des Observations de la hauteur des houles dans chaque sous-zone	47
<hr/>	
Tableau III. 5 : Résultats du calcul de la houle cinquantennale (LEM, 2018)	48
Tableau III.6 : Tableau des observations du courant de chaque houle incidente dans chaque zone.	52
Tableau III.7 : Tableau représentatif des différentes observations du transport sédimentaire	56
Tableau IV.1 : Efficacité des épis en fonction de leur longueur	68
Tableau IV.2 : tableau représentatif des différents aspects de chaque variante proposée	93
Tableau V.1 : Tableau représentatif des différentes pressions exercées sur baie d'Alger	98
Tableau V.2 : Récapitulatif des menaces et impacts sur l'écosystème de la zone étudiée	99

Liste des formules :

Formule (1) : Coefficient de réfraction de la houle.

Formule (2) : Longueur des brise-lames.

Formule (3) : La distance D à la ligne de rivage.

Formule (4) : L'espace entre les brise-lames.

Formule (5) : Hauteurs d'ascensions.

Formule (6) : Paramètres d'Iribarenne.

Formule (7) : Longueur d'onde de la houle au large.

Formule (8) : Formule d'Hudson (Carapace).

Formule (9) : Taille des enrochements de Sous-couche.

Formule (10) : Epaisseur des couches et des sous-couches.

Formule (11) : Espacement entre les épis.

Liste des abréviations :

LEM : laboratoire des Etudes Maritimes

Km²: kilomètre carré

Km : kilomètre

m/s : mètre sur seconde

SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observation

Hs : hauteur significative

Tp : la période du retour de la houle

Kr : coefficient de réfraction de la houle

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

MEDDTL : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

GPS : Global Positioning System

RTK : Real Time Kinematic

OTF : On The Fly (résolution de GPS)

TGO : Trimble Geomatic Office

UHF : Ultra High Frequency

SHOM : Service Hydrographique et Oceanographique de la Marine

SW : spectral waves

ST : Sand Transport

HD : Hydro Dynamic

FM : Flow model

MT : Mud Transport

DHI : Danish Hydraulic Institute

Σ_g : L'écart type

NSM : Net Shoreline Movement

EPR : End Point Rate

m³/s/m : mètre cube sur seconde sur mètre.

Introduction

Les littoraux sableux dominés par l'action des vagues sont des zones très dynamiques où l'aléa érosion menace les activités humaines et la sécurité des personnes. Comprendre et prévoir les évolutions du trait de côte est crucial pour informer et guider les gestionnaires du littoral. (Arthur ROBINET, 2017)

L'érosion des plages fait peser un risque sur les aménagements imprudemment implantés trop près d'elles. Pour l'écartier en s'opposant à l'attaque frontale des vagues, on a tendance à mettre en place des murs ou des enrochements parallèles au rivage.

Le remède ne fait souvent qu'aggraver le mal car, en renforçant par réflexion le pouvoir érosif des vagues, il peut accélérer le démaigrissement des estrans. Le fait est avéré, mais il est curieux de constater le recours à des ouvrages parce qu'ils assurent une protection efficace pour les constructions. Ils constituent cependant des éléments intrus qui déstabilisent et dénaturent l'environnement, tout comme les épis et les brise-lames. Les premiers, obstacles perpendiculaires ou obliques par rapport au rivage, destinés à freiner la dérive littorale et à l'obliger à déposer une partie de sa charge, sont capables d'arrêter l'érosion, mais ils l'aggravent dans le secteur adjacent qui reçoit alors moins de sédiments. Quant aux brise-lames, leurs effets induits sont sans doute moins nocifs, mais leur usage est limité aux littoraux où le marnage est faible, comme sur les côtes de la Méditerranée (Paskoff Roland, 1998)

La plage de la Verte Rive dans la région de Bordj El Kiffan, fait partie des stations balnéaires algériennes les plus fréquentées dans les années 80 et 90. Elle subit de nos jours une érosion conséquente du fait de son attraction urbanistique, surtout l'habitation côtière s'y trouvant souvent trop près de la mer

Pour cette problématique le laboratoire des études maritimes (LEM) en 2017 a proposé une étude de protection de cette zone dans le but de diagnostiquer les causes de la problématique et estimer ses conséquences dans lequel on a ajouté une étude d'évolution de trait de côte, deux autres variantes de protection et aussi une étude de gestion intégrée des zones côtières

Au cours de notre travail nous allons essayer de comprendre au mieux la dynamique de la plage de la Verte Rive, à travers l'application de la modélisation numérique afin de nous rapprocher plus des causes et des menaces liées à la vulnérabilité de cette zone, ainsi que pour mieux planifier une solution d'aménagement et de protection. Et pour cela notre travail a été structuré en cinq chapitres :

- Généralité sur la zone d'étude.
- Matériels et Méthodes.
- Résultats et discussion
- Etude de protection et de gestion.
- Gestion intégrée des zones côtières (GIZC).

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I. Description et Situation géographique

1. Baie d'Alger :

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne de forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180km², elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Matidja. Elle est délimitée par deux caps, Rais Hamidou (la Pointe de Pescale) à l'Ouest, Tamentfoust (cap Matifou) à l'Est ainsi que par la Méditerranée au Nord.

Les coordonnées de la baie d'Alger :

- Les longitudes : de 03°01'00''E à 03°14'30''E.
- Les latitudes : de 36°44'30''N à 36°49'15''N.

Le littoral de la baie d'Alger est caractérisé par la présence de côtes rocheuses à l'Ouest et des plages sableuses au centre et à l'Est. Ces dernières sont les plus sujettes à une érosion continue ces dernières années. Ceci est dû probablement à la perturbation des échanges sédimentaires, causée par des facteurs directs (vol de sédiments de plages, augmentation de l'hydrodynamisme, etc.) (Jungerius et Van der Meulen, 1988 ; Amarouche et al. 2017) ou indirects, comme la dégradation des dunes côtières meubles pour des fins d'urbanisation (Łabuz, 2004).

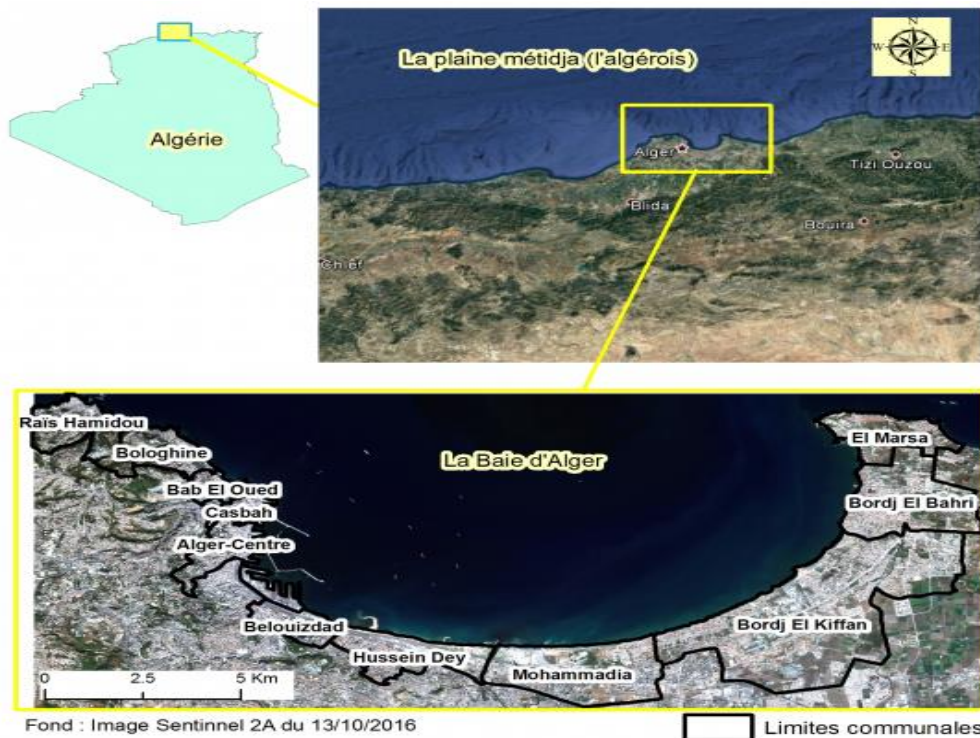


Figure I.1 : Localisation de la baie d'Alger (Rabehi et al., 2018).

2. La zone d'étude :

La zone d'étude située à Bordj El Kiffan, à 14 km du port d'Alger, à environ 1 km à l'est du lido et à 1km à l'ouest du Ford Stamboul. Cette zone est entre le Lido et Verte Rive. Au nord, elle est délimitée par la Méditerranée et au sud par des habitations et des terrains privés. Cette zone d'étale sur 2000m.



Figure I.2 : Situation géographique de la zone d'étude.

II. Contexte physique du site :

II.1 Caractéristique géologique et géomorphologique :

II.1.1 Cadre Géologique :

La figure 1.3 représente une carte géologique de la baie d'Alger Datant le 1964 publiée par le service de la carte géologique d'Algérie avec une échelle de 1/50 000.

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude

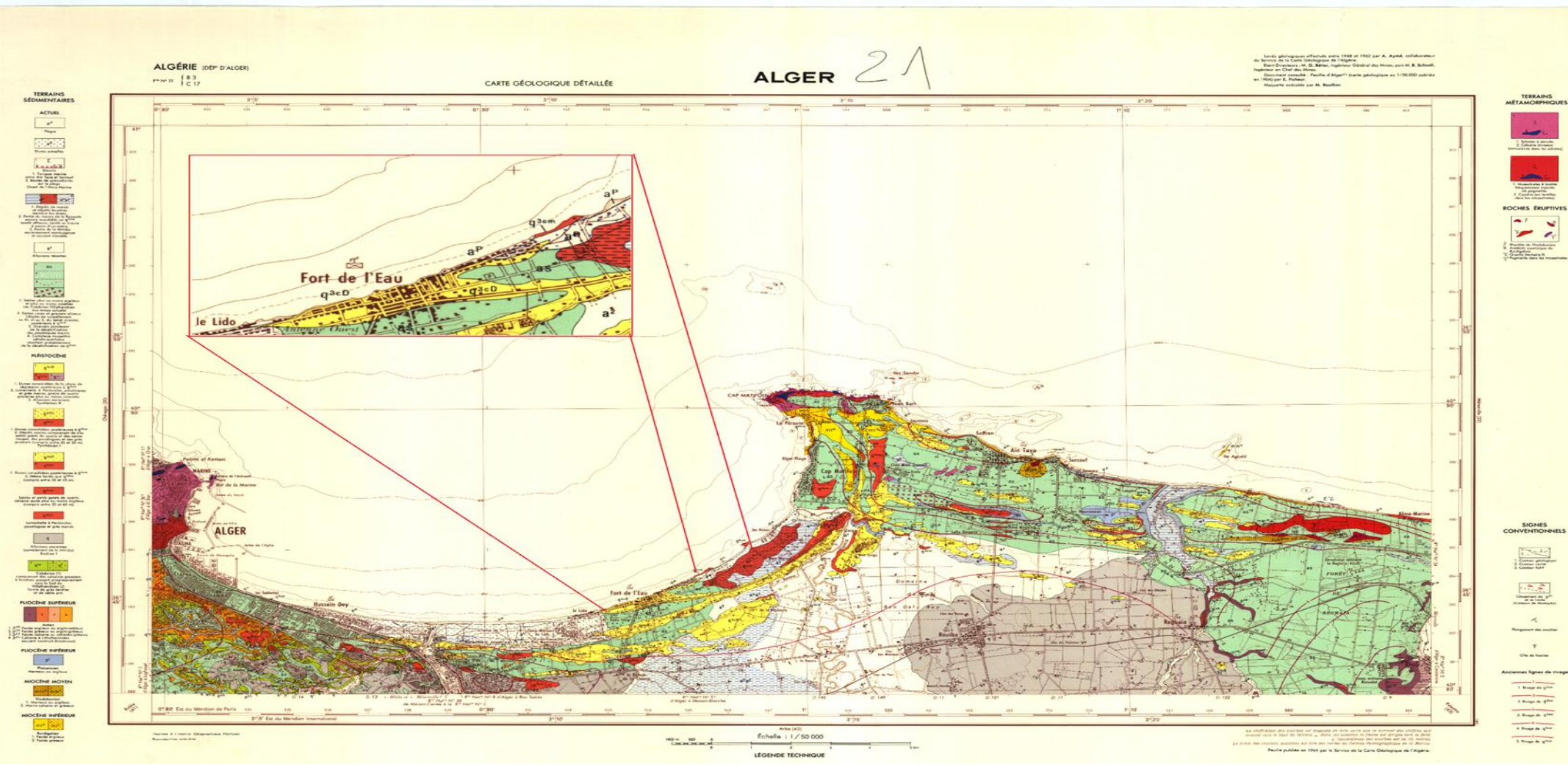


Figure I.3 : Carte géologique de la baie d'Alger et la zone d'étude.

1. La lithologie de la roche :

En se basant sur la zone d'étude sur la carte géologique d'Alger-1964. On observe que la zone d'étude est constituée principalement dans des dunes consolidées postérieures datant du quaternaire actuel qui occupe la majorité de cette zone.

On remarque aussi la présence des dunes actuelles et des dépôts de marais qui se trouvent derrière ces dunes dans le côté Est de la zone d'étude avec la présence de dépôts de roches sédimentaires consolidés riches en fossiles à l'Ouest.

2. La sismicité :

L'activité sismique de la région d'Alger est localisée essentiellement dans le bassin néogène de la Mitidja. Le récent séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 est l'expression de la sismicité parfois importante qui se manifeste dans cette région. Ce séisme a permis de mettre en évidence, et ce pour la première fois, l'activité de la faille marine de Zemmouri (Yelles et al, 2013).

Ce séisme a permis par ailleurs de mettre en évidence le soulèvement tectonique ayant affecté la zone côtière. Il a enfin démontré que le niveau de sismicité de la région marine algérienne peut parfois être important. (Yelles et al, 2013).

II.1.2 Cadre géomorphologique :

Partie Orientale : Caractériser par la présence d'un relief Rocheux « Cap Matifou » Pourvu de falaises mortes et vivantes à l'extrémité de la baie. Un ancien cordon littoral dunaire sous forme de petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage se développait entre le rive droit d'Oued El Harrach et Bordj El Bahri (Maouche, 1987).

II.2 Caractéristiques climatologiques :

1. Climat :

a) Climat de la zone d'étude

Dans la zone d'étude le climat est typiquement méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés.

Les précipitations sont abondantes dans le centre, où elles varient entre 600 et 800 millimètres. Une grande partie des précipitations se produisent entre octobre et avril.

Au contraire, les températures sur la côte sont uniformes : la moyenne quotidienne en janvier est d'environ 11/12 degrés, celle d'août (qui est le mois le plus chaud) de 25/26 degrés. L'été est ensoleillé, l'air est humide, mais il y a aussi la brise de la mer.

b) Précipitations :

En analysant le bilan enregistré depuis 10 ans (2010_2019) de la zone de Dar El Beida/Aéroport Houari Boumediene obtenu à partir du site de « www.rp5.ru », et en faisant sortir les moyennes de chaque mois au cours des années. On observe un taux de précipitation considérable durant l'hiver et l'automne (**novembre**), qui diminue durant le printemps et qui présente un minimum pendant l'été.

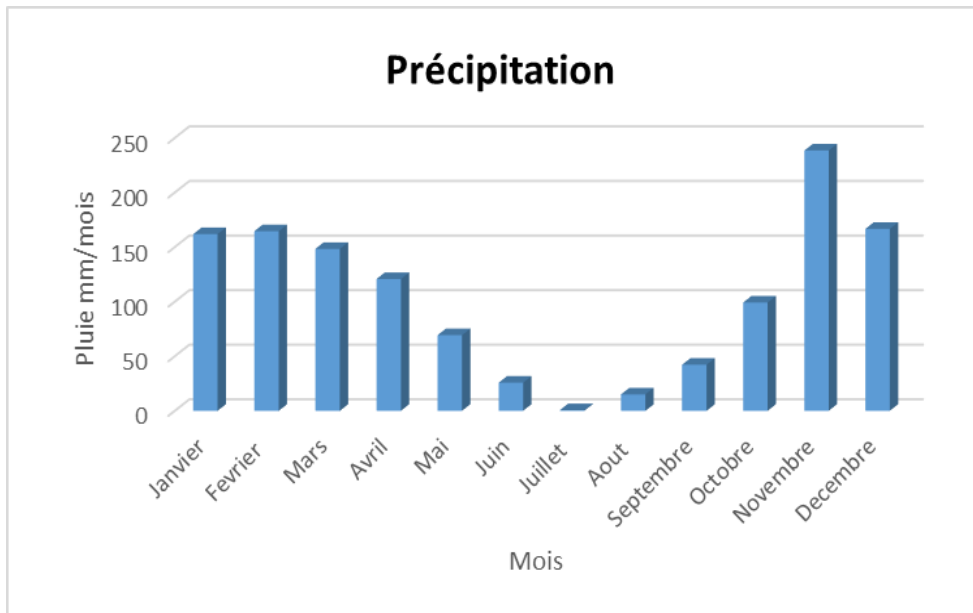


Figure I.4 : Taux de précipitation au niveau de Dar El Beida

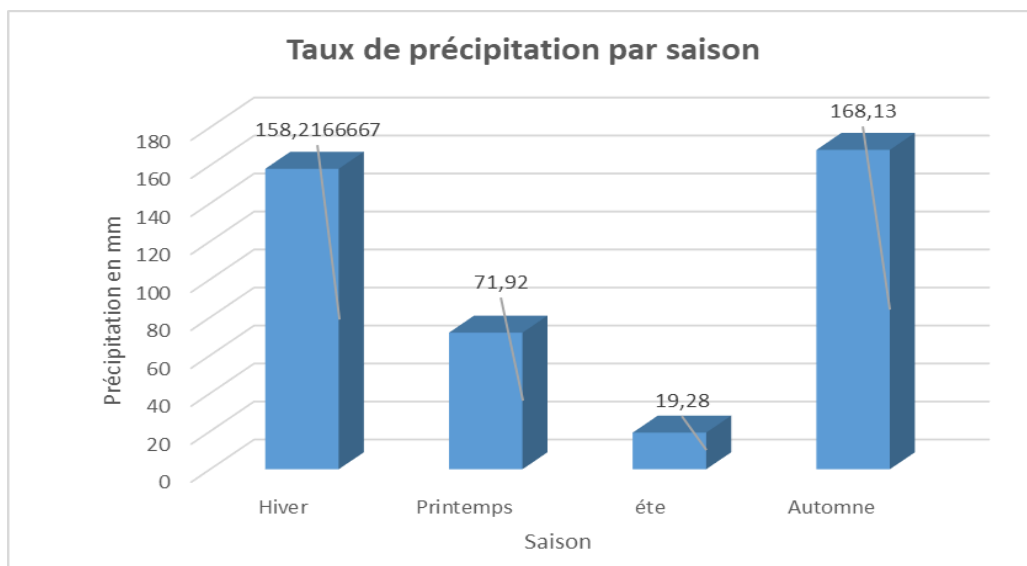


Figure I.5 : Taux de précipitation par saison au niveau de Dar El Beida

2. Vent :

Grace au site de Puerto Del estado « <http://www.puertos.es/en-us> » basé sur un modèle numérique et à partir d'un point de mesure dans le large de la baie d'Alger (dite Simart Point) **avec les coordonnées de Longitude : 3.00° E et Latitude : 37.00° N**. On a pu reconstituer les données du vent de 1958 à 2020 avec les résultats suivants :

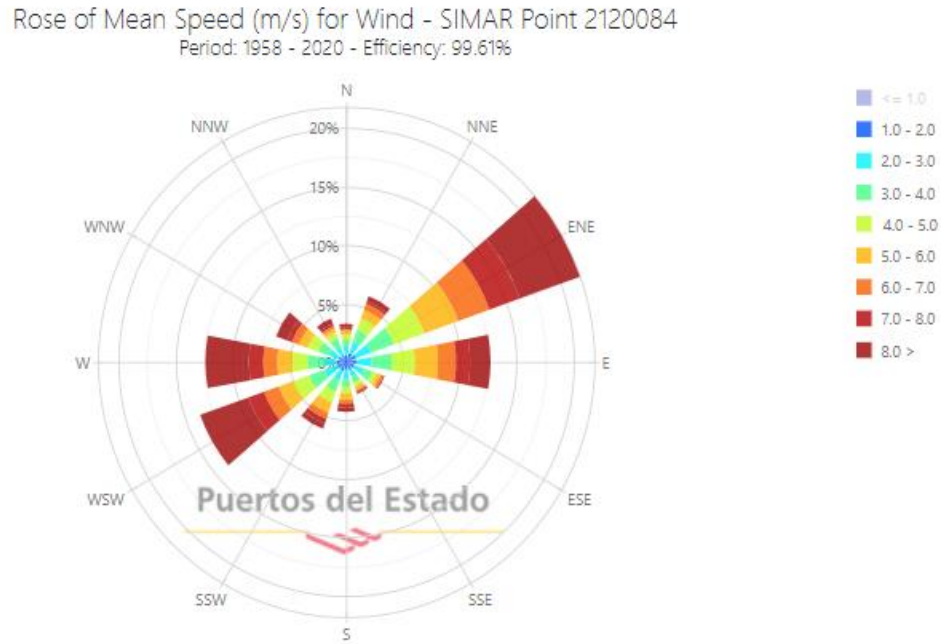


Figure I.6 : Rose des vents du site de Puerto Del estado de la période de 1958 à 2020

La rose des vents ci-dessus montre la prédominance des vents dans la direction d'Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest.

En Analysant les données climatologiques de 10 ans de la station de Dar El Beida obtenues à l'aide du site de « www.rp5.ru », représentant les enregistrements des vents ainsi que leur direction pendant 10 ans (2010-2019) et en faisant ressortir les moyennes de vitesse des vents par mois, On constate que les vents sont plus considérables durant le mois de Février et Mars ou on enregistre des vents de 3.26m/s (période hivernale) et un pic exceptionnel de 3.3m/s est observé durant le mois de juillet.

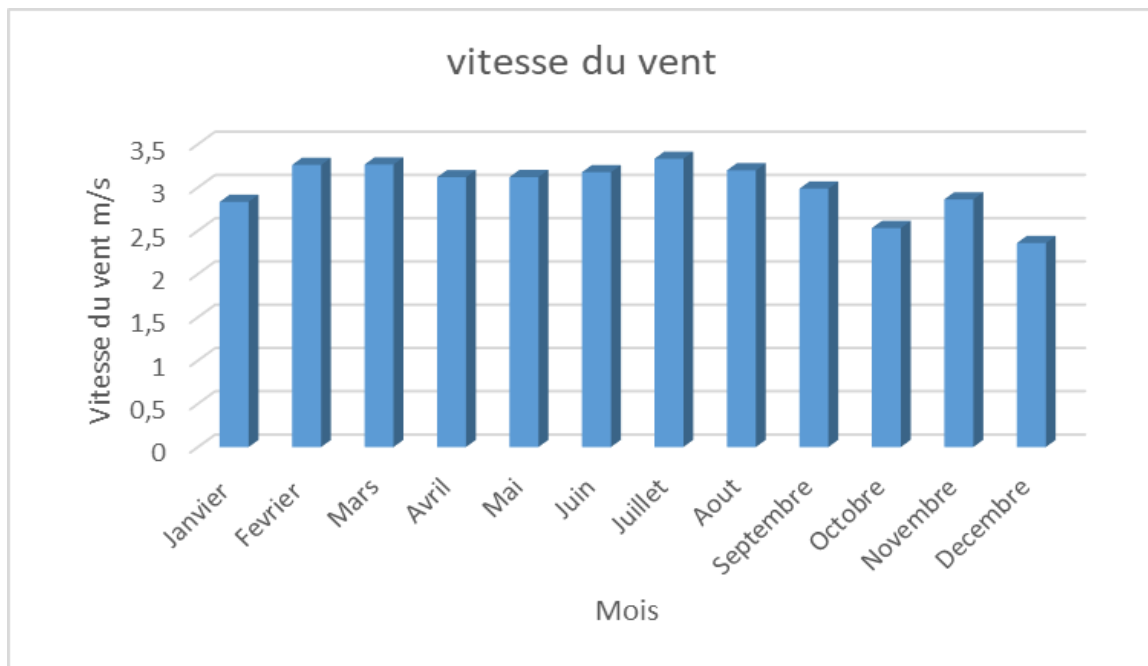


Figure I.7 : Vitesse du vent moyen par mois au niveau de Dar El Beida entre 2010 et 2019.

II.3 Cadre Océanographique :

1. Les courants :

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (Millot, 1987).

❖ **Le courant Algérien** : c'est un courant général (qui domine au large de la région d'étude), d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau). (Millot et al, 1990)

❖ **Le courant de retour** : correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu du 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 (Bachari Houma, 2009).

❖ **Les courants de dérive littorale** : Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (Millot, 1987). Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

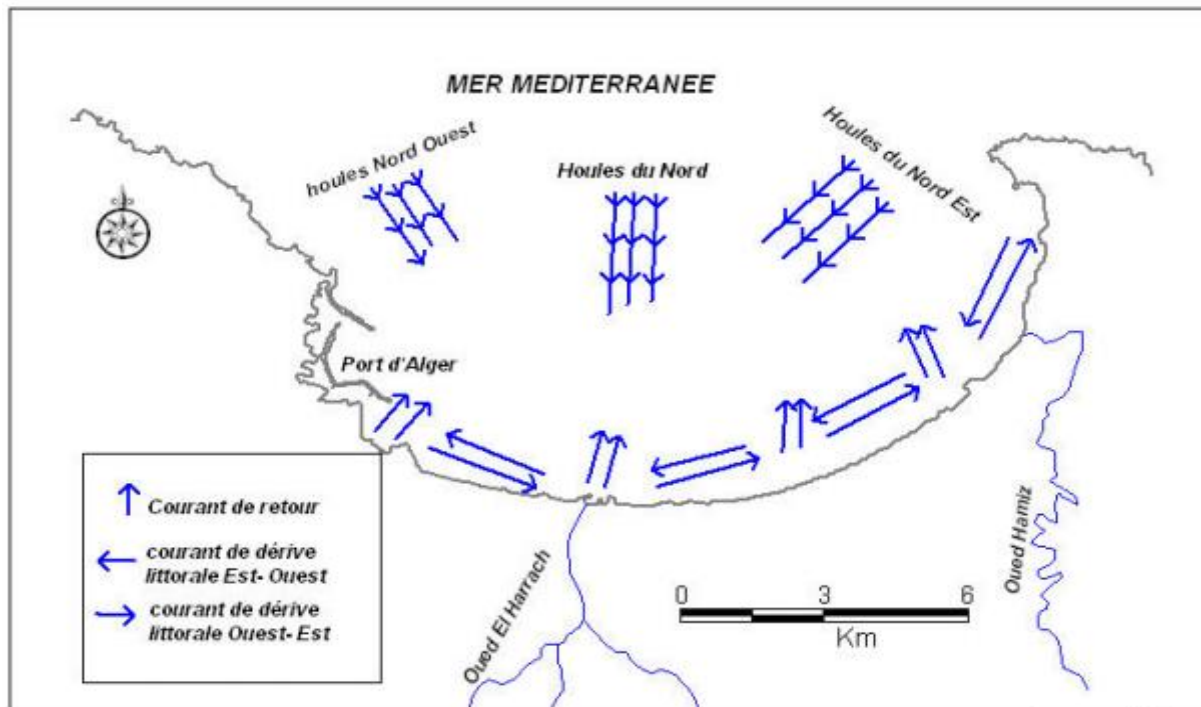


Figure I.8 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998)

2. Les marées :

Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomiques est de l'ordre de 30cm. Les variations du plan d'eau sont soumises plus à l'effet des vents (phénomène de seiche) qu'à l'attraction luni-solaire. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à dix (10) cm. La différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50cm (LEM, 1998.)

3. La houle

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui est formé par un champ de vent éloigné de la zone d'observation.

En effet, les principaux paramètres rentrant en jeu dans la formation de houle sont :

- La longueur sur laquelle le vent souffle unidirectionnellement et de façon relativement constante (appelé le Fetch)
- L'intensité du vent
- Le temps pendant lequel le vent souffle

Etant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972).

La houle n'est accompagnée d'aucun transport de matière. En revanche, à l'approche des côtes, elle peut subir des transformations due à l'influence du fond, qui dissipe son énergie (Sogreah, 1984). L'influence de cette énergie forme des plages, trie les sédiments du fond sur la

surface du rivage, transporte les sédiments vers la terre et exerce des forces sur les structures côtières. La connaissance de ces vagues et la force qu'elles génèrent est donc essentielle à la compréhension de la dynamique hydro-sédimentaire de la cote (Pope, 2008).

a) La déformation de la houle :

La hauteur de la houle ne peut pas prendre une valeur trop élevée, les vagues ne sont plus stables lorsque leur cambrure atteint une valeur limite. Cette valeur critique peut être atteinte soit par accroissement local du creux, soit par réduction de la longueur d'onde par suite de la diminution de la profondeur. Alors la vague est partiellement ou totalement détruite

b) Données de la houle au large :

Les données de la houle disponible sont les suivantes :

a. Les données sont reprises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Météorological Observation ». Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord de navires. Ces données s'étalent sur une période de huit (8) années (1963-1970). Une analyse statistique de ces données permet de définir les secteurs de la houle prédominant et leurs amplitudes respectives (LEM, 1996).

Tableau I.1 : Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970)

Période	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.60	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	2.20
Aout	8.80	27.10	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.10	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

Du tableau ci-dessous, on constate que :

- Les houles d'Ouest et du Nord-Est sont les plus fréquemment observées.
- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance de secteur Ouest.
- Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

- b) Les données obtenues par le site de Puerto Del estado depuis 1958 jusqu'à 2020 « <http://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx> » d'une Station au large de la baie d'Alger dite Simart Point avec les coordonnées suivantes :

Tableau I. 2 : Coordonnées géographique du Simart Point.

Nom	SIMAR Point : (2120082)
Longitude	3.00° E
Latitude	37.00° N



Figure I.9 : Position géographique du Simart Poin dans le large de la baie d'Alger.

Les données obtenues par modélisation par le site de Puerto Del Estado

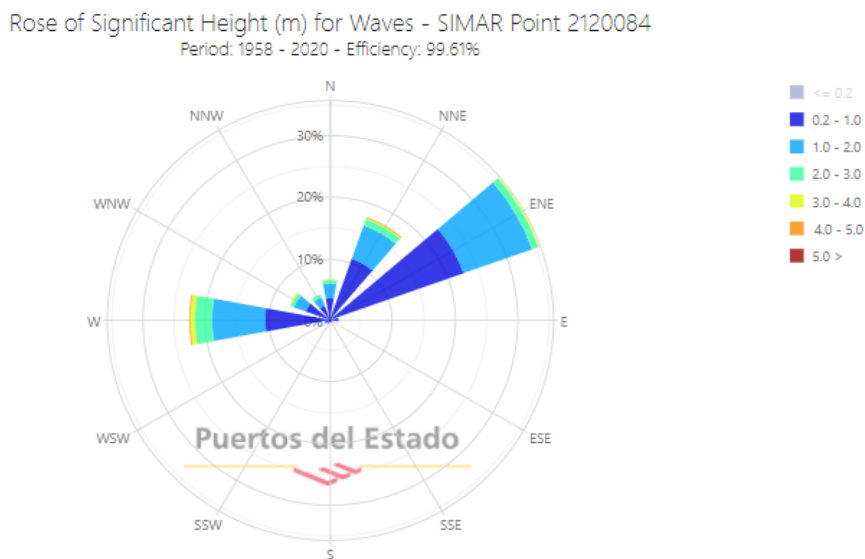


Figure I.10 : Amplitudes de Hs par direction dans la région de la Baie d'Alger (Puerto Del Estado, 1958-2020).

Commentaire :

On remarque que les directions avec les fréquences les plus élevées sont la direction de Nord-Est avec 40%, suivie par le secteur Ouest (23%) puis le secteur Nord-Nord-Est (18%).

Les directions les plus menaçantes sont les plus fréquentes, avec une prédominance de secteur Ouest avec des hauteurs significatives qui sont supérieure à 5m et le secteur Nord-Est avec des hauteurs significatives qui est entre 4m et 5m.

Tableau I.3 : Valeurs Maximales des hauteurs significatives (m) par direction entre 1958_2020 (www.puertos.es)

Mois	Hauteur significative (m)	Direction °	Période Pique (s)	Année	Jour	Heure
Mars	7,18	N°345	11,06	2007	8	15
Avril	5,91	N°266	11	2012	14	21
Mai	4,99	N°50	9,26	1992	4	19
Juin	3,84	N°58	8	1995	26	4
Juillet	3,21	N°268	8,27	2019	27	12
Aout	4,5	N°43	8,7	2006	4	9
Saison Estivale	4,94	N°50	9,38	/	13,83	13,33
Septembre	3,73	N°76	7,63	1989	6	1
Octobre	5,79	N°268	11,01	2020	2	21
Novembre	7,17	N°265	12,46	2010	9	6
Décembre	7,1	N°33	10,99	1980	29	7
Janvier	9,17	N°267	12,92	2015	31	12
Février	6,21	N°268	11,16	2016	14	10
Saison Hivernale	6,53	N°270	11,03	/	15,16	9,5

On remarque que :

En saison hivernale les maximums des hauteurs significatives des houles ont des valeurs de 7 à 9m qui sont essentiellement de secteur Ouest avec un pic durant le mois de janvier.

En saison Estivale les hauteurs significatives maximales durant cette période sont inférieures à celles de la saison hivernale avec des hauteurs entre 5 et 7m, de secteur Nord et Nord-Est avec une prédominance de secteur Nord-Est.

c) Choix de la période et du secteur des houles représentatives :

Trois directions sont considérées comme des directions menaçantes pour la zone d'étude :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte (Nord 360°)
- Deux directions incidentes de houles (Nord 345° et Nord 30°)

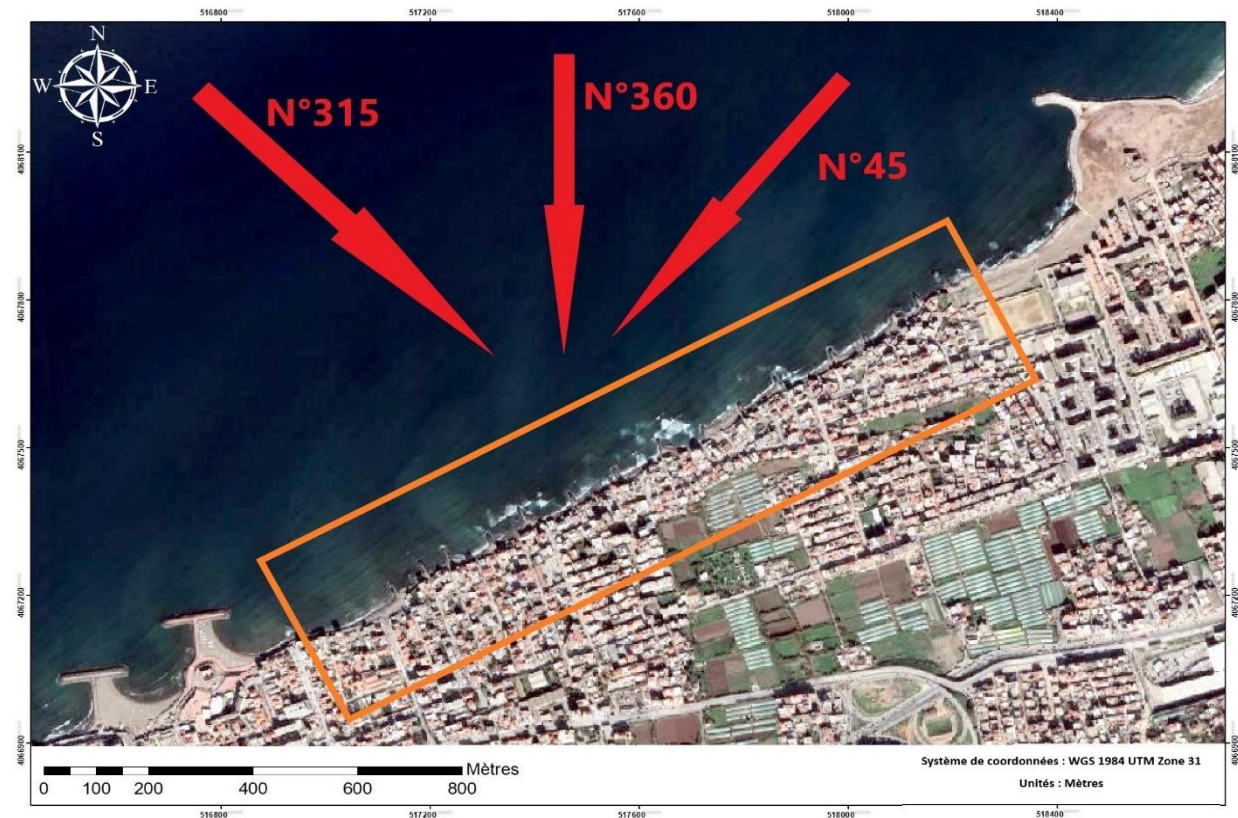


Figure I.11 : Secteur des houles dominantes dans la zone d'étude

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de la houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles cinquantennales.

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de forte amplitude (>10s), ont une probabilité d'apparition

relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes (LEM, 2018).

Tableau I.4 : Hauteurs significatives et directions de la houle annuelle (LEM 2018)

Période	Direction de Houle au large		
	N°345	N°360	N°30
8s	Hs=2.67m	Hs=2.67m	Hs=2.56m

Tableau I.5 : Houles maximales dans la région de Bordj El Kiffan (LEM, 2018)

Périodes de retour	Direction Houle au Large					
	N°345		N°360		N°30	
	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)
02 ans	10.88	4.9	10.88	4.9	10.91	4.93
05 ans	11.77	5.75	11.77	5.75	11.69	5.67
10 ans	12.37	6.38	12.37	6.38	12.23	6.23
20 ans	12.92	7.02	12.92	7.02	12.72	6.79
50 ans	13.58	7.87	13.58	7.87	13.32	7.53
100 ans	14.02	8.5	14.02	8.5	13.73	8.08

Les résultats des calculs de la réfraction des houles équivalentes seront utilisés pour l'étude Hydro-sédimentaire.

Les résultats issus du calcul de la réfraction de la houle ayant une période de retour de 50 ans seront utilisés comme données d'entrée au dimensionnement des ouvrages de protection.

Le secteur angulaire considéré, correspond aux limites naturelles imposées d'une part par la configuration géographique du site d'étude et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi trois directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large et l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (N°360)
- Deux directions de houle à incidence oblique (N°30 et N°345), houles représentatives des agitations du large pouvant pénétrer au fond de la baie d'Alger.

4. La distribution des sédiments :

Dans la baie d'Alger, la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. La distribution générale des faciès, établie par Maouche (1987), montre, d'après la composition globale des dépôts, trois types de faciès :

- **Faciès sableux** : Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires, et en prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie. (Belkessa, 1999 ; Maouche, 1987)
 - **Les sables fins** : sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
 - **Les sables moyens** : sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.
 - **Les sables grossiers** : sont prédominants dans le secteur est où ils sont mélangés aux faciès pélitiques (du Cap Matifou vers l'embouchure de Oued El Hamiz).
- **Faciès carbonates** : Ils sont réduits aux bordures rocheuses littorales et au fonds rocheux de la baie.
 - **bordure Ouest** : La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.
 - **bordure Est** : Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou. Où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.
 - **le haut-fond du Matifou** : Même nature que le Cap Matifou ; la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.
- **Faciès pélitiques** : Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction pélitique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds

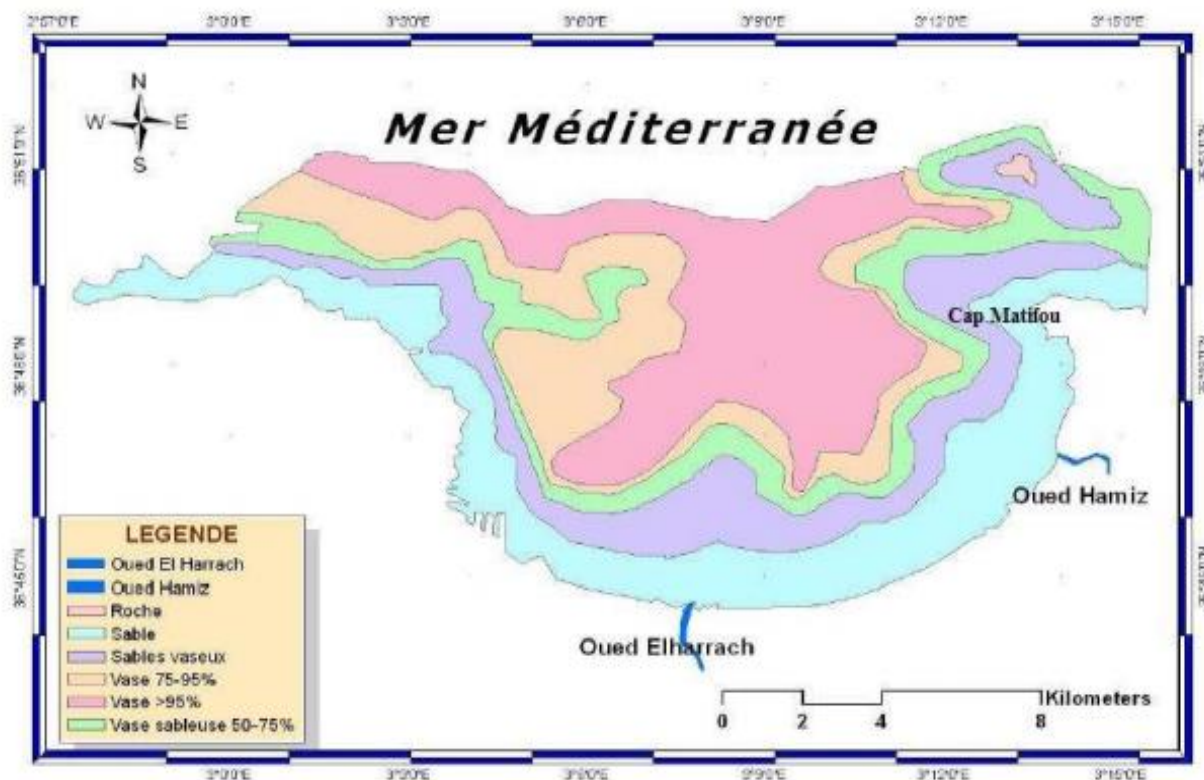


Figure I.12 : Carte sédimentaire de la baie d'Alger (Maouche, 1987)

II.4 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de 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. Durant l'été les lits de 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 ces deux cours d'eau qui prennent leurs sources dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de Métidja (LEM, 2009).

1. Oued El Harrach :

Le régime hydrographique de l'Oued EL Harrach se caractérise par un long étiage de six (6) mois et des crues d'Hiver et de Printemps soudaines et rapide.

Son bassin versant couvre une superficie de 970 km², son débit en période de pluie est de 1000 m³/seconde. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de forts dénivelés, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important (LEM, 1998).

2. Oued El Hamiz :

Oued El Hamiz se déverse à l'est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 1998), l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30ème) de mètre de large (LEM, 1996).

Tableau I.6 : Caractéristiques générales de l'Oued El-Harrach et El Hamiz (ANRH, 2014)

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Communes traversées	Mohamadia-Moradia-Husein-Dey-El Harrach-SidiMoussa-Birtouta-Saoula-OuledChbel-OuledFayt-BirMouradRais-GuideConstantine-Echefa-Blida...	Rouiba-Dar El Baida-Oued Essemar-Bordj El Bahri-El Hamiz-Eucalyptus-Bab Ezouar-Bordj El Kiffan-Ain Taya...
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (Km ²)	378	86
Apports liquides Al (Hm ³)	53	11
Apports solides As (m ³ /an)	107114	100226

III. La Problématique de la zone d'étude

Les communes littorales algériennes accueillent 10% de la population métropolitaine et près de 7 millions de lits touristiques sur seulement 4% du territoire en 2010. Cette très forte densité humaine correspond à un niveau élevé d'artificialisation des côtes. Selon le Conservatoire du Littoral, "il y a une pression démographique et d'urbanisation énorme qui s'abat sur la frange littorale et dans l'arrière-pays

Environ 25% du littoral situé à moins de 500m de la mer est urbanisé. L'essor du tourisme côtier est un facteur d'augmentation de la vulnérabilité face aux risques. La concentration de biens et d'activités sur le littoral exposé à l'érosion côtière présente des enjeux financiers considérables et dont la protection in situ comme leur relocalisation génère des coûts importants.

On considère que certaines activités humaines et aménagements du territoire peuvent avoir un rôle aggravant sur l'érosion côtière. Les nombreux équipements qui jalonnent la côte ont fortement contribué à modifier la morphologie du littoral.

Bodj El Kiffan était autrefois une commune à vocation agricole et touristique, mais la sur-occupation 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, ont fait autrefois la popularité de la commune. Par ailleurs, ces plages sont dans un état déplorable.

Notre zone d'étude est au cœur de cette problématique, donc il est essentiel de comprendre la cause de cette dégradation et de trouver des solutions adéquates.

1. Facteur d'érosion :

L'érosion du littoral est un phénomène mondial qui se traduit par le recul du trait de côte, ou le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et continental, suite à la perte de matériaux (sables, roches, sédiments). Il y a trois raisons essentielles à l'érosion côtière.

- La première est naturelle : il s'agit de l'épuisement du stock sédimentaire côtier. Autrement dit, la pénurie des sédiments charriés dans la mer par les fleuves venant du continent.
- La seconde tire son origine des activités économiques humaines : extraction des granulats marins et de galets sur les plages et dans le lit des cours d'eau, construction de barrages qui piègent les alluvions, ou encore bétonnage des côtes.

- La troisième est le changement climatique qui renforce l'érosion des côtes en augmentant le risque de submersion.

En cause : l'augmentation du nombre de tempêtes, qui attaquent les hauts de plage et peuvent emporter le cordon littoral en submergeant l'arrière-plage et l'accroissement de leur intensité. Mais aussi la montée du niveau des eaux avec la fonte des glaces des banquises et la dilatation thermique des eaux.

2. Les activités anthropiques :

Pourtant de nos jours, les activités de l'homme ont fortement modifié la dynamique du littoral et tendent à supplanter les causes naturelles :

- **La réduction des apports solides** des cours d'eau qui débouchent en mer, causée par la domestication des cours d'eau : Oued El Harrach et Oued El Hamiz
- **L'urbanisation du littoral** sous forme de constructions telles que murs de protection, stations balnéaires, immeubles, promenades en bord de mer et voies de communication. Ces infrastructures provoquent la réflexion de la houle et constituent un obstacle brutal au déferlement des vagues. L'énergie des vagues n'est plus dissipée le long des plages et le phénomène érosif est accentué.
- **La construction d'ouvrages portuaires** qui induit souvent un barrage au transport des sédiments le long de la côte, peut entraîner de graves déficits sédimentaires sur les plages situées en aval de l'ouvrage par rapport au sens de la dérive littorale.
- **La dégradation des herbiers de phanérogames marines** (Posidonies et Cymodocées), capables de freiner l'érosion de la côte, par leurs fonctions stabilisatrice des fonds et dissipatrice de l'énergie de la houle. Ce phénomène est dû à la pollution, à la turbidité de l'eau, à la pêche au chalut et aux mouillages sauvages.
- **La sur-fréquentation détériore** essentiellement les massifs dunaires
- **L'extraction de réserves souterraines** en eau douce destinées à la consommation humaine risque d'entraîner une subsidence et donc la remontée d'eau de mer dans la nappe phréatique et ce de façon irréversible.
- **La décharge des matériaux solides** sur les plages qui crée un déséquilibre intense.
- **La construction et l'urbanisation** sur la bande littorale et sur les dunes ce qui fait disparaître les plages et l'équilibre dunaire.

Chapitre II : Matériels et méthodes.

Introduction :

Dans le cadre de l'étude du projet de protection et d'aménagement du site en allant du dernier épi de Bordj El Kiffan à l'ouest jusqu'au Cap de Bateau cassé à l'est sur un linéaire de 2000m situé dans la wilaya d'Alger, de nombreuses études et investigations ont été réalisées sur terrain comme au laboratoire du LEM.

I. L'évolution de trait de côte :

Introduction :

Le trait de côte n'a pas une unique définition. Par exemple sur certaines cartes IGN, il s'agit des « laisses de pleine mer » tandis que pour le SHOM, il s'agit de la limite supérieure atteinte par la mer aux plus fortes marées. Cette dernière définition est aussi celle retenue dans le guide de gestion du trait de côte du MEDDTL «Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement » (MEEDDM, 2010).

La variabilité de la définition du trait de côte provient de la particularité morpho-dynamique du littoral : c'est une zone en mouvement, sans cesse changeante, qui n'admet pas de limite fixe. De plus, chaque façade maritime est différente en termes de conditions de marnage et de types de côte (rocheuse, meuble, artificialisée) ce qui induit des divergences de définition du trait de côte. Par exemple, sur la façade méditerranéenne où il n'y a quasiment pas de marnage, le trait de côte est souvent déterminé par les observatoires comme étant la limite supérieure de la zone du jet-de-rive (swash), ou le milieu de cette zone (Bulteau, Garcin, 2011).

1. Les facteurs d'évolutions du trait de côte :

La gestion de la zone côtière nécessite une bonne connaissance des processus responsables de la mobilité (érosion/accumulation) du littoral. Quatre types de processus interviennent dans la mobilité du trait de côte

- La baisse d'apport de sédiment d'origine continentale par les fleuves depuis la fin du dernier épisode glaciaire (Paskoff, 2005) ;
- Les processus marins (houle, marée, courants associés...);
- Les processus continentaux (vent, gel, hydrologie continentale, altérations physico-chimiques des roches...);
- Les processus anthropiques (ouvrages de défense...) qui agissent sur les matériaux et/ou déplacent les sédiments (sables, galets...) et diffractent les courants vers la côte

2. Les méthodes d'observations utilisées :

Pour cette étude on a utilisé une des méthodes les plus efficaces et les moins coûteuse qui est :

La méthode de suivi photographique : Il s'agit de prendre une série de clichés à partir d'un même point de vue (au sol ou aérien), à des intervalles réguliers qui peuvent varier de la saison au siècle Si le suivi est rigoureux et systématique, il permet une étude diachronique

avec identification des changements. Cet outil, plus qualitatif que quantitatif, est complémentaire des photographies aériennes verticales et possède un bon rapport coût/efficacité. Il est insuffisant pour estimer précisément les volumes de matériaux mobilisés et le suivi de différents compartiments sédimentaires, mais peut être porteur d'un message clair, car visuel, pour les décideurs (Bulteau, Garcin, 2011).

3. Les outils de l'étude :

- a) **Google Earth Pro** : C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (Spot, Quickbird, Ikonos,...). Ces images sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure. L'utilisation gratuite des images présentées par le logiciel n'est autorisée que par des captures d'écran ou une utilisation en ligne. Google Earth Pro permet d'imprimer des images en haute résolution, alors qu'il faut se contenter de la résolution de l'écran avec la version basique. (Ahfir et Meziane, 2016)
- b) **ArcGis 10.4.1** : Le logiciel ArcGis est un système d'information géographique développé par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute). C'est un outil pour manipuler, gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale (Teffahi, 2018).

Un système d'information géographique (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent.

- c) **DSAS v5** : (Digital Shoreline Analysis System) est une extension logicielle pour ArcGIS qui a été initialement développée au début des années 90 et a été continuellement perfectionnée.

Cette extension permet de faire des calculs automatisés de changement de rivage le long de la côte. L'utilisateur doit fournir les données du littoral et le logiciel aide l'utilisateur à créer des emplacements de mesure (transects) et effectue les calculs de changement de rivage à chaque emplacement. Le résultat est une représentation visuelle du changement de rivage le long d'un littoral. Cette représentation est beaucoup plus utile pour l'analyse qu'une moyenne globale. Des taux inhabituellement élevés d'érosion / d'accrétion sont facilement reconnaissables à partir de la carte résultante.

1. Les données disponibles :

- Photos aériennes de « INCT » correspondant aux dates 1959, 1972,1980.



Figure II.1 : Photo aérienne de la zone d'étude en 1959. Figure II.2 : photo aérienne de la zone d'étude en 1972.



Figure II.3 : Photo aérienne de la zone d'étude en 1980.

Ces photos aériennes ont subi une correction géométrique qui s'appelle « ortho-rectification » dans le but de les présenter comme si elles avaient été acquises depuis la verticale

- Des photos satellitaires des années de 2000, 2010, 2016, 2020

Obtenues à l'aide du logiciel de « Google Earth Pro » et géo-référencées à l'aide du logiciel ArcGis.

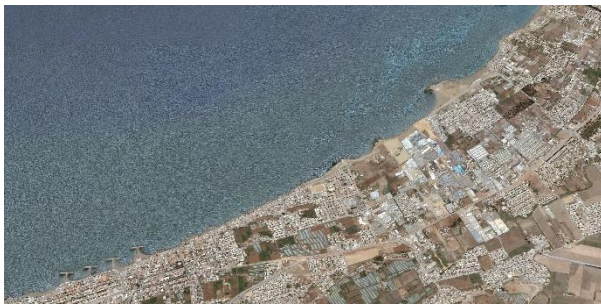


Figure II.4 : Image satellitaire de la zone en 2000



Figure II.5 : Image satellitaire de la zone en 2010

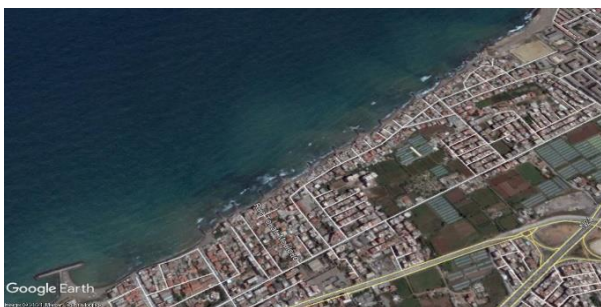


Figure II.6 : Image satellitaire de la zone en 2016



Figure II.7 : Image satellitaire de la zone en 2020

3. Méthodologie :

1. Digitalisation du trait de côte à partir Google Earth Pro :

Le trait de côte de chaque image correspondant à chaque date (2000, 2010, 2016, 2020), a été ensuite digitalisé et exporté à l'aide de l'outil « Ajouter un trajet » du logiciel Google Earth Pro.

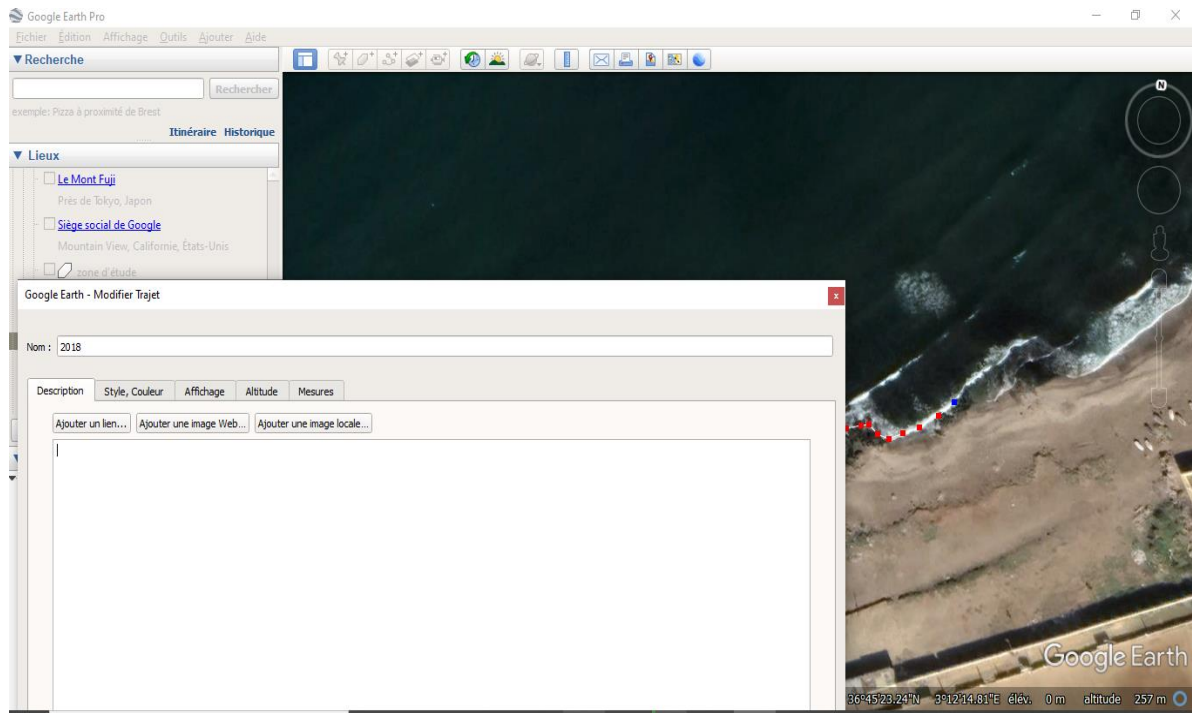


Figure II.8 : Digitalisation du trait de côte a partir de Google Earth Pro.

2. Le géo-référencement :

Le géo-référencement a pour but de rendre une image superposable à une carte ou à une autre image rectifiée ou non d'une même zone. Une image géo-référencée est donc une image brute associée à une fonction correspondance (image/ terrain). Il est alors possible de calculer pour chaque pixel ses coordonnées géographiques (Teffahi, 2018).

Dans notre cas le géo référencement se fera grâce au logiciel ArcGis après avoir digitalisé chaque trait de côte de chaque date encore une fois sur ce logiciel.

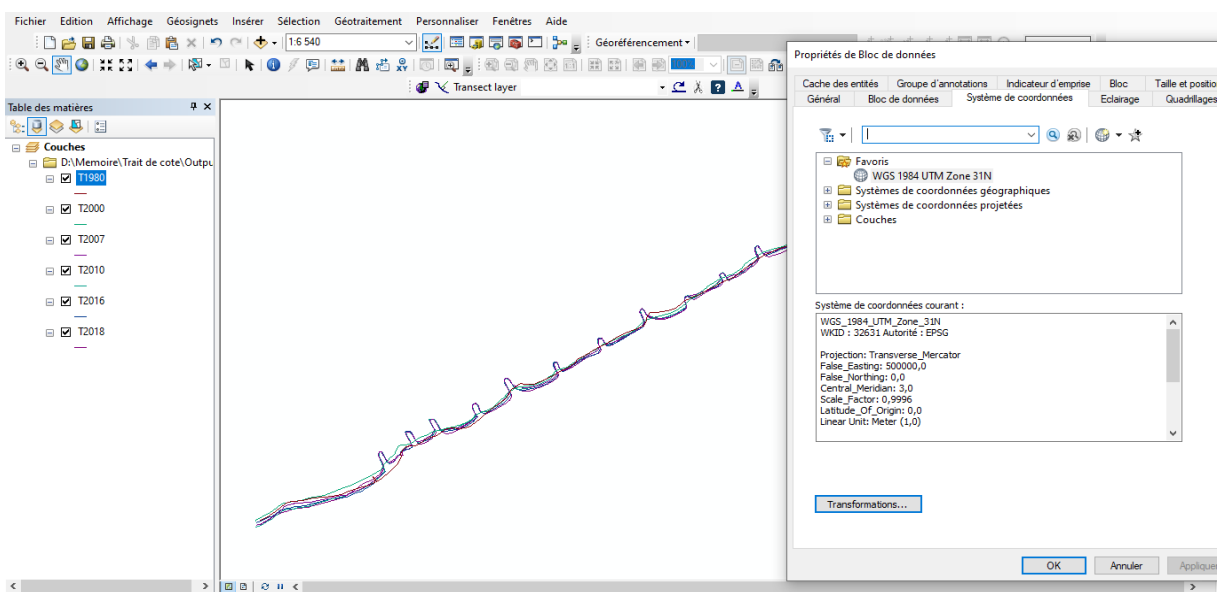


Figure II.9 : Trait de côte digitalisé et géo référencé sur ArcGis.

3. Création d'une géodatabase :

3.1. Création de la couche Shore-line :

Les traits de côte digitalisé à partir des images utilisées sont groupés en un seul fichier-forme dans une base de données à l'aide de l'outil « merge »

3.2. Création de la couche Base-line :

Une ligne de base parallèle en tout point au trait de côte, sera créé à l'aide de l'outil « Buffer » et servira comme une ligne de référence dans l'extension DSAS pour la génération des transects, ainsi que pour le calcul statistique de l'évolution du trait de côte.

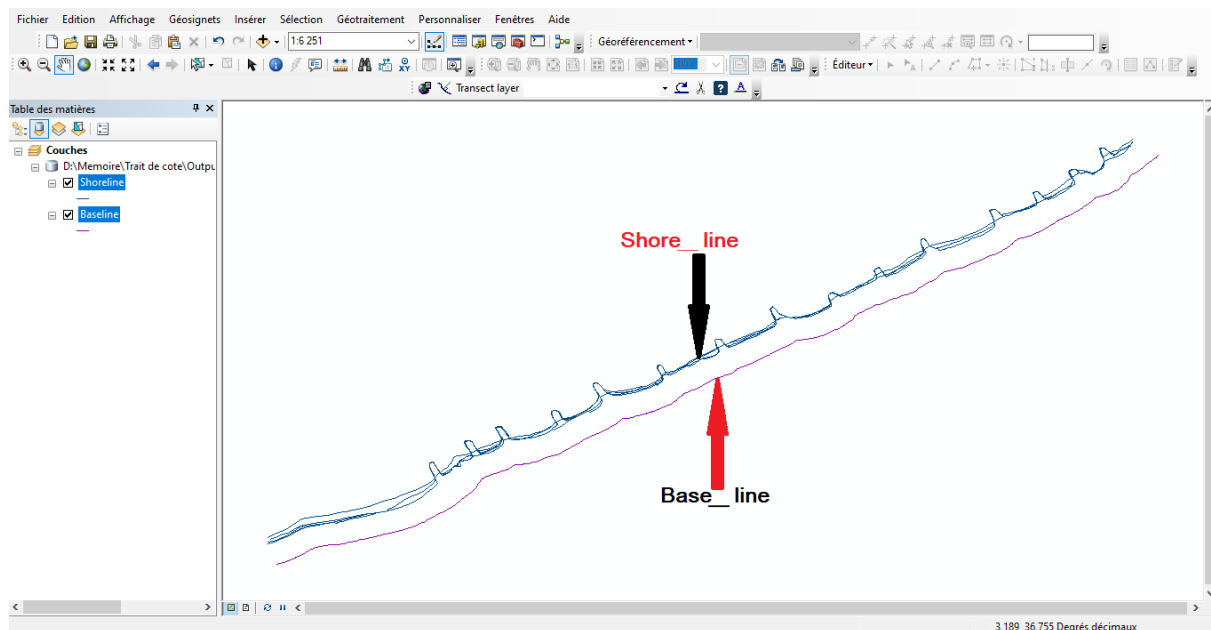


Figure II.10 : Création de la couche Shore-line et Base-line sur ArcGis.

4. Création des transects :

Grâce à la fenêtre de dialogue DSAS, la ligne de base "Base_line" et les lignes de cote regroupées "Shore-line" ont été sélectionnées comme "entrée".

Il spécifie également la distance entre les lignes transversales, leur longueur et la direction et certains des paramètres impliqués dans la création des transects.

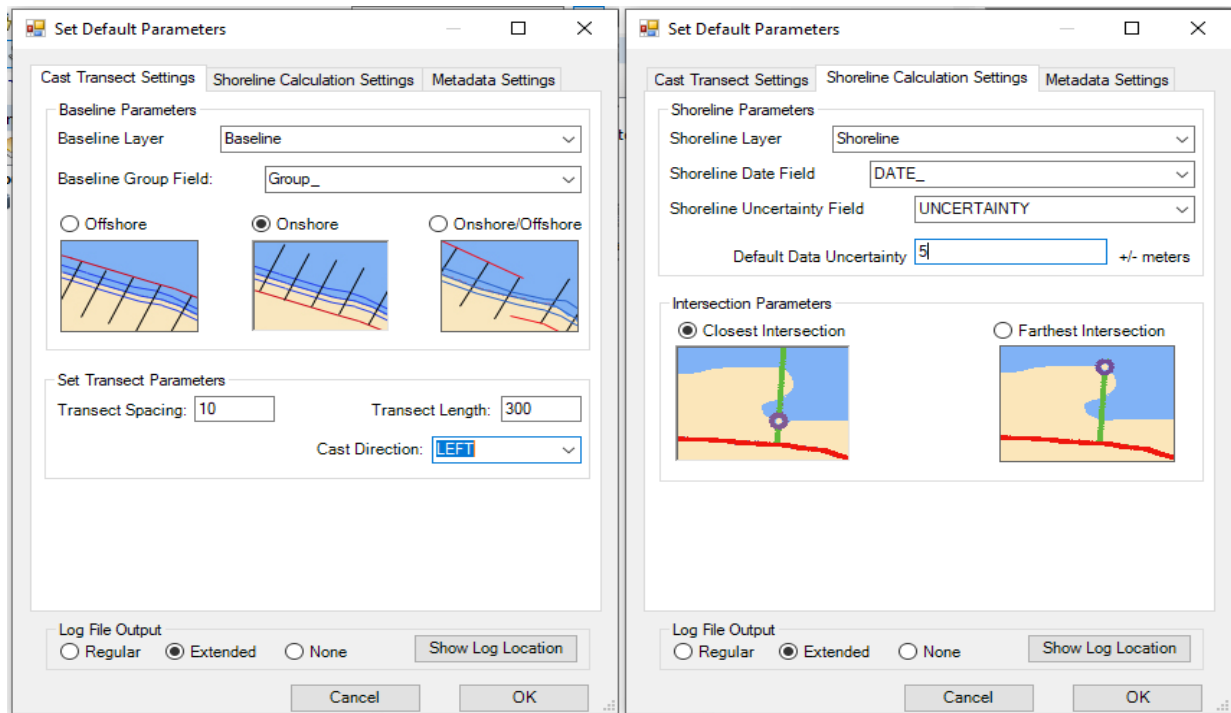


Figure II.11 : Fenêtre du dialogue de création des transects sur l'extension DSAS/ logiciel ArcGis.

II. Etude bathymétrique : Introduction :

Les cartes bathymétriques constituent un document fondamental et nécessaire pour connaître et interpréter les morphologies sous-marines.

La bathymétrie côtière est basée sur une campagne de mesure détaillée réalisée dans le cadre de cette étude en septembre 2017 par le L.E.M. Ces levés topo-bathymétriques ont été complétés au large par les données de la carte marine Shom et à l'Est de la zone d'étude.

1. Mode de levé topographique :

Le récepteur GPS (Global positioning System) cinématique en temps réel (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près.

Ce récepteur mobile, porté par le topographe au moment du levé, fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic), résolution des ambiguïtés en mode OTF. Il reçoit les données des satellites et de la station de référence simultanément et fournit instantanément la position tridimensionnelle du point à une précision inférieure à cinq centimètres (<5 cm), pour le transfert et le traitement des données ils sont réalisés sur logiciel TGO (Trimble Geomatic Office).

La visualisation de ces données permet de déceler les éventuelles anomalies et de détecter les zones non couvertes.

2. Mode de levé bathymétrique :

Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un récepteur GPS et d'un échosondeur.

Le récepteur GPS (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près. Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées). Donc pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

- Une antenne GPS, qui reçoit les données des satellites, est fixée sur le point de référence. Le récepteur 5700 émet ces données par liaison radio au récepteur mobile à l'aide d'un modem externe Pacific Crest et une antenne UHF.
- Le récepteur mobile placé à bord de l'embarcation fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic, résolution des ambiguïtés en mode OTF). Il reçoit les données des satellites de la station de référence et fournit instantanément la position tridimensionnelle de l'antenne GPS.
- L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS. Quel que soit la variation du plan d'eau, la longueur du support est constante, par conséquent tous les échos mesurés sont référencés par rapport à l'antenne GPS. La partie immergée du support ainsi que celle située hors de l'eau sont mesurées avant le début des levés.

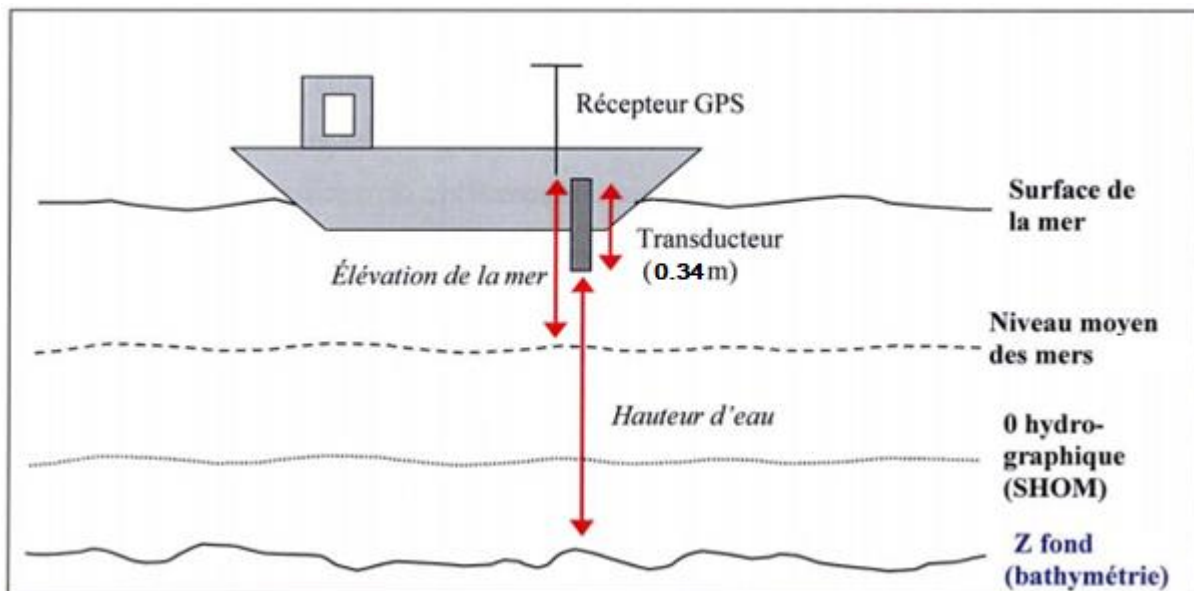


Figure II.12 : Principe de la mesure bathymétrique avec le système Sondeur/GPS (Emilie, 2007).

3. Traitement des données :

Après l'acquisition des données topo bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées (LEM), on a pu passer au traitement numérique de ces données à l'aide d'un logiciel qui s'appelle Surfer/Mike21 en utilisant des fonctions spécialisées.

Tout ça se fait après avoir les résultats de l'étude dans un fichier Excel qui contient les coordonnées X, Y et Z qui représente la bathymétrie.

III. Étude de la réfraction de la houle :

Introduction :

Lorsque la houle arrive près de la côte, les crêtes des vagues ont tendance à s'aligner avec les lignes d'iso-profondeur (isobathes), ce phénomène de réfraction se généralise à toutes les ondes qui se propagent dans un milieu inhomogène lentement variable.

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte. Les données de la houle à la côte serviront de données d'entrée pour le dimensionnement des ouvrages maritimes.

La propagation de la houle entre le large et la cote, étudiée avec le modèle numérique MIKE 21, est basée sur les données bathymétriques obtenues à l'aide des cartes nautiques du SHOM ainsi que la bathymétrie réalisée sur terrain dans le cadre de cette étude.

1. Le principe de calcul de la réfraction de la houle

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large.

Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large}} \quad \text{formule (1)}$$

Avec :

- K_r : coefficient de réfraction de la houle
- H_s : la hauteur significative des houles (m).

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la cote sont effectués par le modèle numérique Mike 21 pour différentes conditions de houle au large (hauteur, Période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages.
- Frottement sur le fonds.
- Déferlement.

2. Les données de base :

a) Données bathymétriques :

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°563 intitulée « Baie d'Alger- échelle : 1/30 000 » ainsi que celle issue de la compagnie

Chapitre II : Matériels et méthodes.

de reconnaissance sur site réalisée au mois de septembre 2017 Par le LEM dans le cadre de l'étude de protection et d'aménagement de Verte Rive 2000ml.

b) Données de houle au large :

Les données de Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO) consistent en des observations de navire sur la période de 1963 à 1970.

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles cinquantennales.

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes (>10s), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes.

Les résultats issus du calcul de la réfraction de la houle ayant une période de retour de 50ans seront utilisés comme données d'entrée au dimensionnement des ouvrages de protection.

Tableau II.1 : Caractéristiques de la houle cinquantennale dans le large de la zone d'étude (LEM, 2018)

Période de retour		N°345	N° 360	N°30
cinquantennales	Hs(m)	7.87	7.87	7.53
	Tp(s)	13.58	13.58	13.32

c) Choix du secteur angulaire :

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposé d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Trois directions ont été retenues tenant en compte des tableaux de fréquences par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles dans la zone d'étude

Une direction approximativement perpendiculaire à la cote 360°N

Deux directions de houle à incidence oblique 30°N et 315°N

d) Plan des points d'extraction :

Le plan des points d'extraction a été fait à l'aide du module numérique spectrale Mike 21-SW dans le but d'extraire les hauteurs de houle réfractée au point considéré, en introduisant les coordonnées de chaque point (24 points), afin d'obtenir les résultats graphiques de la réfraction.

La carte suivante est faite à l'aide du logiciel « ArcGis ».

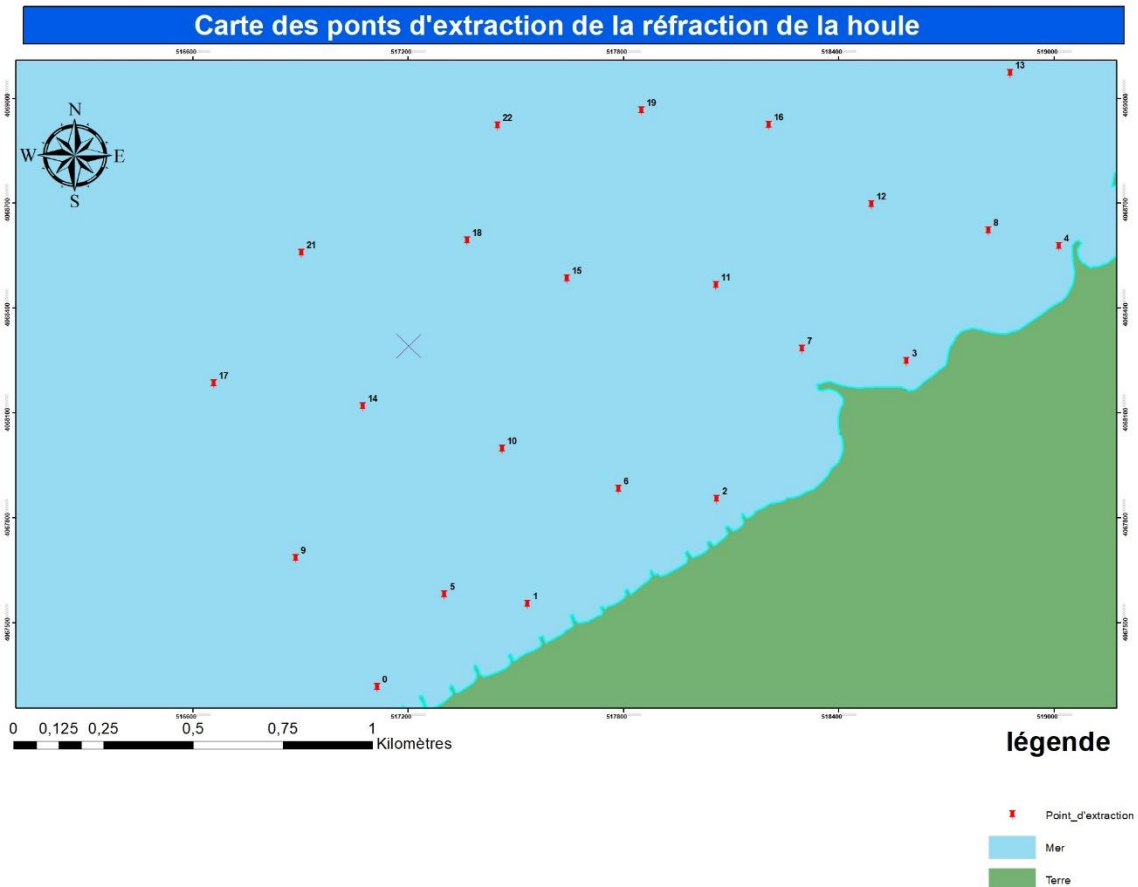


Figure II.13 : Points d'extraction de la réfraction de la houle dans la zone d'étude.

IV. Etude hydro-sédimentaire :

1. Présentation du modèle numérique Mike 21 :

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire résultant a été mise en œuvre ; celle-ci est effectuée avec la série FM de Mike 21 qui est un puissant système intégré combinant des modèles de houle, de courant et de transport sédimentaire dans un modèle morphologique entièrement dynamique. Les modèles combinés sont le SW, le HD FM le ST et le MT.

- **Modèle numérique spectral Wave (Mike 21-SW) :** Modèle spectral de vague de 3ème génération similaire au Swan, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague-vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle Mike 21-SW utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle Mike 21-NSW.
- **Modèle numérique hydrodynamique (Mike 21-HD) :** Traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vents et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc.... Il nous permet de simuler les courants côtiers dû à l'action

de la houle dans la zone de déferlement. Il fournit aussi les conditions hydrodynamiques aux autres modules de ce système tel que le Module Mike 21-ST.

- **Modèle numérique de transport de sable Mike 21-ST** : Le modèle Mike 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiment non cohésifs (Sable) sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues. Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houle et des courants combinés. Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Génération of Q3D Sédiment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré (DHI, 2014).
- **Le modèle MT (Mud Transport)** : est un module prévisionnel détaillé qui donne la concentration moyenne des sédiments calculée en fonction de la profondeur de la colonne d'eau dans des conditions de vagues et de courants, ainsi qu'en fonction de changements de la morphologie du fond. Le module MT est intégré dans le programme du système Mike 21 qui fournit des données hydrodynamiques d'entrée et un calcul de l'évolution du fond. Ce module peut être utilisé pour la dispersion des panaches.

Le principe général de la simulation par les codes de calcul MIKE est résumé dans le schéma suivant :

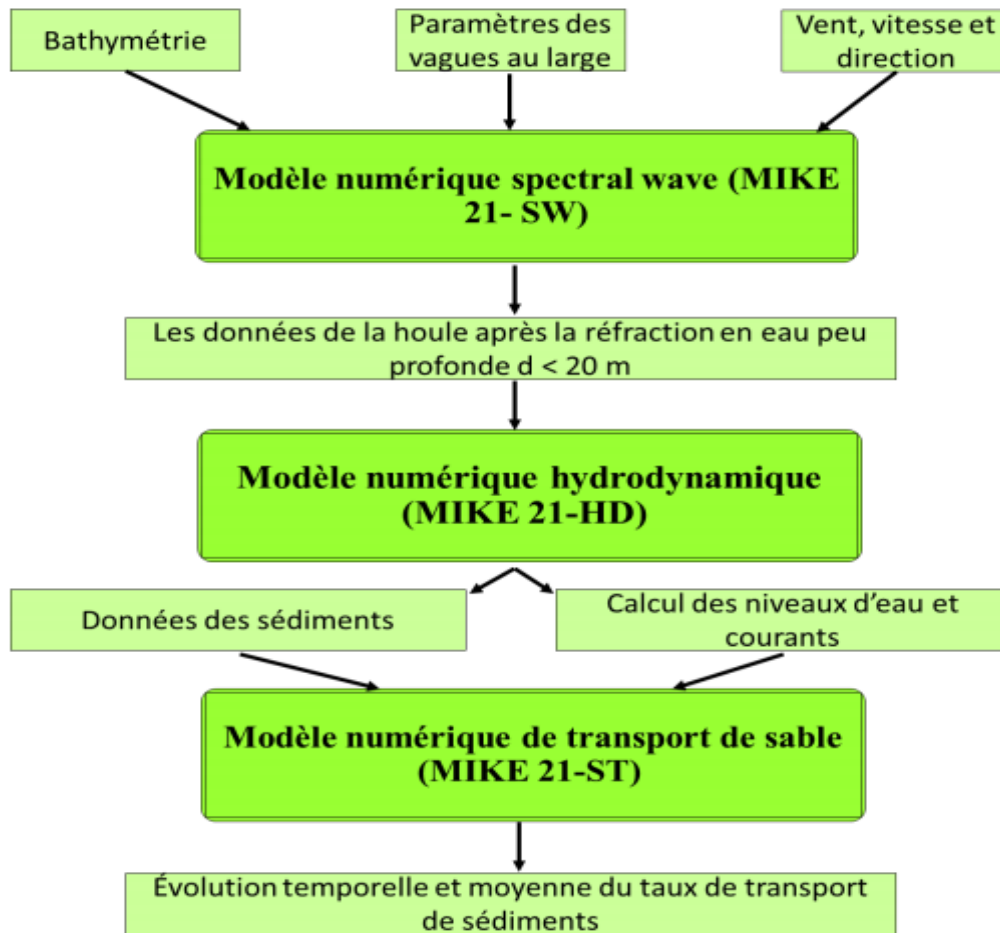


Figure II.14 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes Mike-21.

2. Les données de base :

2.1. Domaine de calcul :

Le domaine de calcul est centré sur la zone d'aménagement et de protection du site verte rive et ses abords immédiats. Il délimite une aire importante (5.0km x 3.2km) afin que les conditions aux limites soient en accords avec les phénomènes physiques (caractéristique de la houle au large et les courants littoraux induits) (figure I.11)

2.2. Données bathymétrique : (Voir la page 27)

2.3. Données de sédimentologie :

Les données sédimentologiques utilisées sont issues de l'analyse des résultats de la carte sédimentaire du littoral Algérien (1^{ère} tranche). Les résultats de cette expertise sédimentologie ont été utilisés comme données d'entrée dans notre modèle de calcul de transport sédimentaire ST de la suite de logiciel Mike 21 FM. Un sable de diamètre médian 0.250 mm, d'écart type σ 1.15 et de porosité 0.40 est considéré sur l'ensemble du modèle.

2.4. Données de houle :

Les caractéristiques de la houle considérée pour cette étude sont synthétisées dans le tableau n° II.1 (voir figure I.11)

Chapitre III : Résultats et Discussion.

I. L'étude de l'évolution de trait de côte :

Résultats cartographiques :

Une représentation cartographique de la zone d'étude en couleur a été établie pour le mouvement net « NSM » du trait de côte pour les six analyses périodiques tout c'est grâce à l'outil « symbolologie » d'ArcGis. Ces cartes illustrent les zones de forte régression ou l'évolution est supérieure à (-2m,) moyenne régression (entre -2m et 0m), Accumulation moyenne (0 à 0.5m) et accumulation forte (supérieure à 0.5m). Ces résultats sont superposés à une carte satellitaire géo-référencée de notre zone d'étude.

Où le NSM (Net Shoreline Movement) indique la distance entre les plus anciens et les plus récents traits de côtes pour chaque transect, et EPR (End Point Rate) calcule le rapport de la distance entre le trait de côte correspondant à la date la plus ancienne et à la date la plus récente.

a) L'intervalle de l'année 1959 à 1972 :

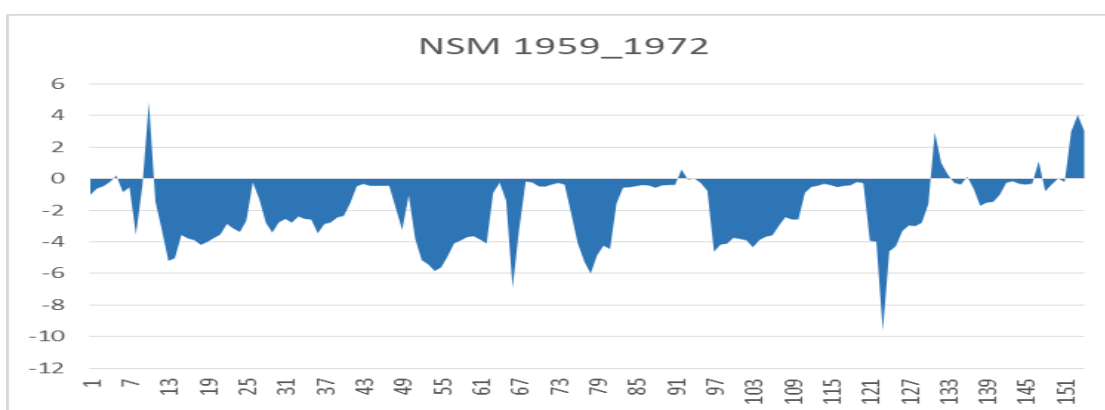


Figure III.1 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1959_1972

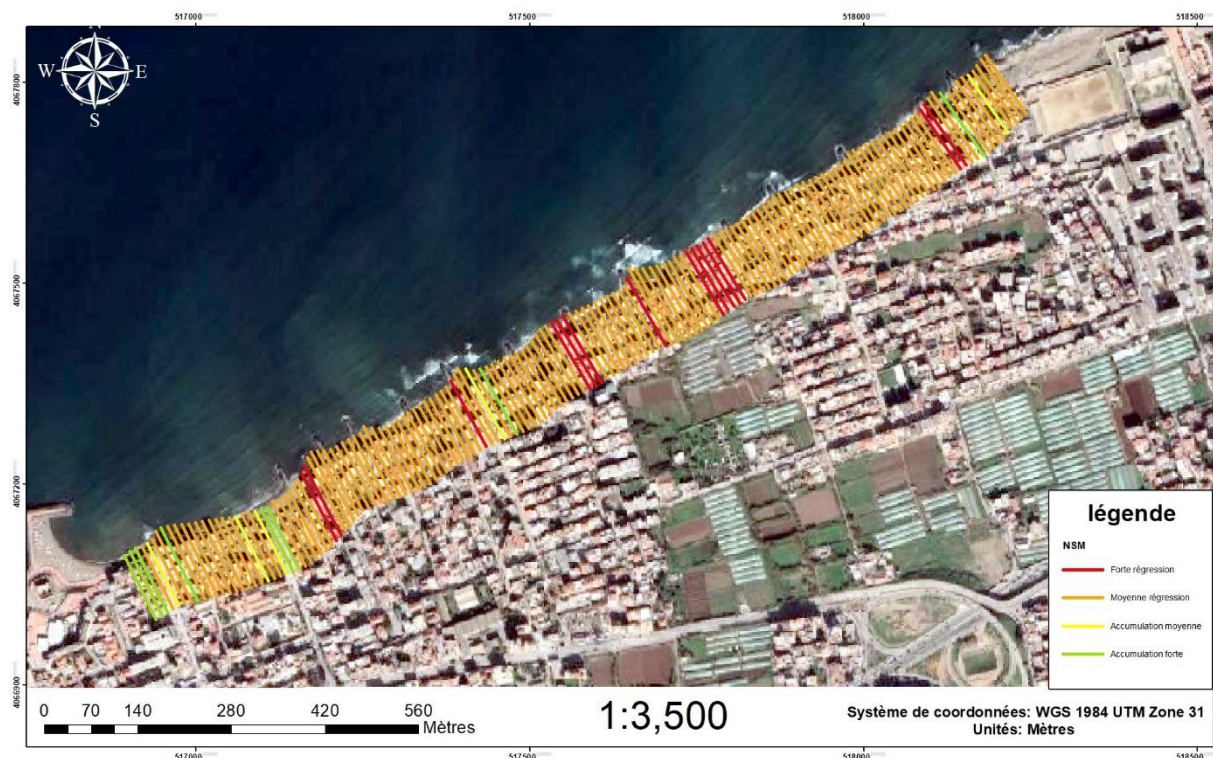


Figure III.2 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 1972.

Commentaire :

On remarque que la période entre 1959 et 1970 se caractérise par une érosion moyenne étendue le long du linéaire côtier avec quelques petites zones de forte accumulation dans l'extrémité Est et Ouest. On conclut que la zone d'étude a subi une érosion durant cette période.

b) L'intervalle de l'année 1972 à 1980 :

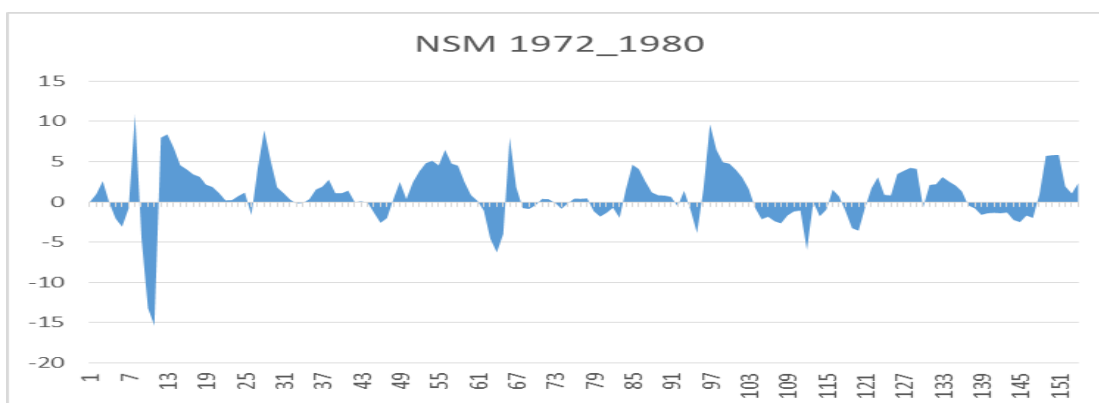


Figure III.3 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1972_1980

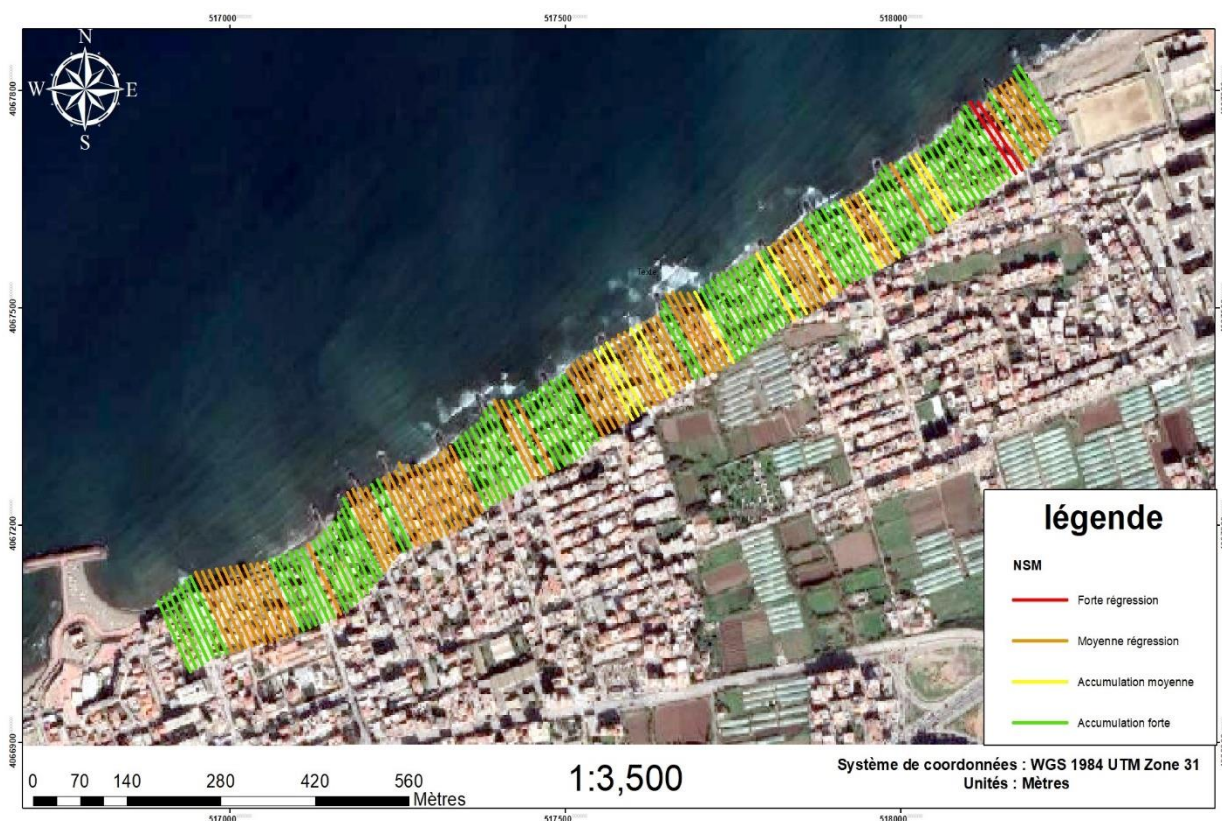


Figure III.4 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 1972 et 1980.

Commentaire :

On voit clairement que dans cette période de 1972 à 1980 il y'a une alternance des zones de forte accumulation, de moyenne régression et des petites zones d'accumulation moyenne.

c) L'intervalle de l'année 1980 à 2000 :

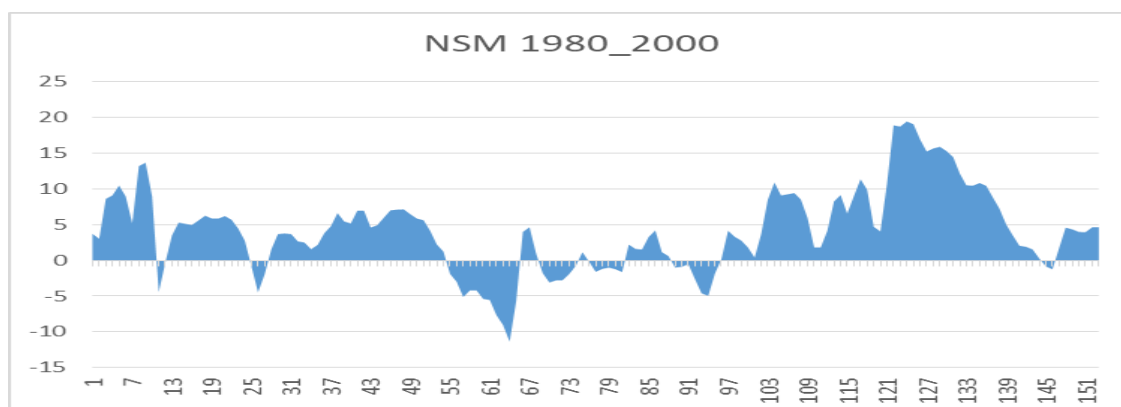


Figure III.5 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 1980_2000.

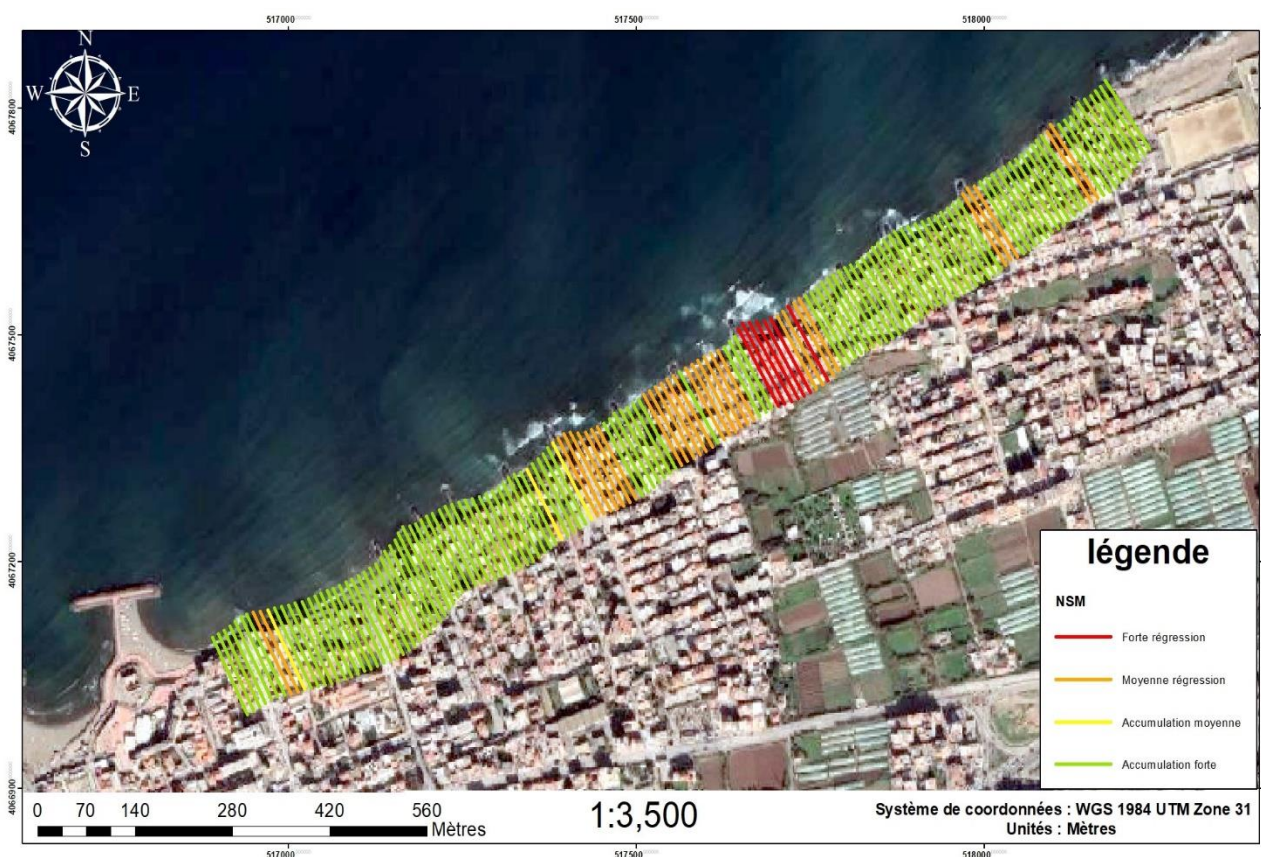


Figure III.6 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 1980 et 2000.

Commentaire :

On remarque que dans cette période l'évolution du trait de côte est dominée par l'accumulation. Cette accumulation coïncide avec l'implantation de 15 épis courts le long du linéaire de la plage. Ces derniers sont probablement l'origine de l'accumulation remarquable sur cette zone.

d) L'intervalle de l'année 2000 à 2010 :

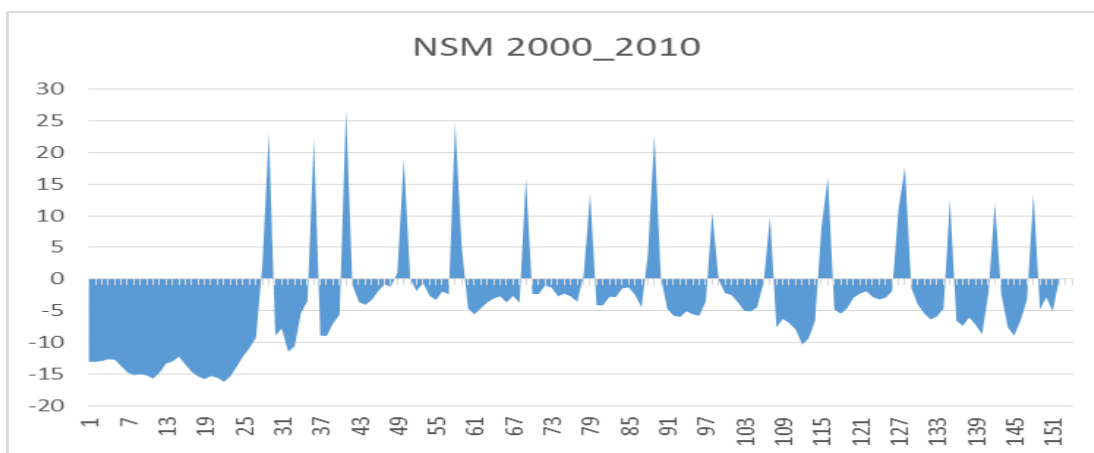


Figure III.7 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2000_2010.

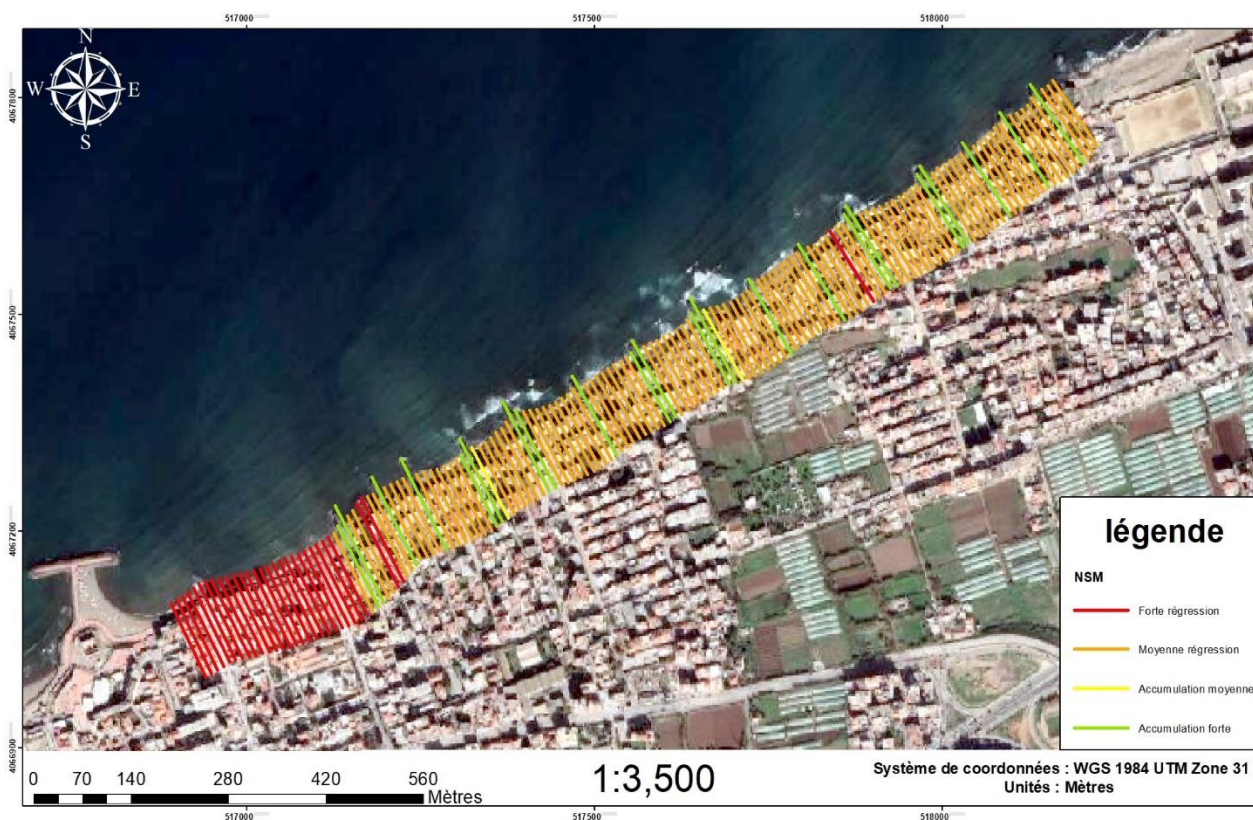


Figure III.8 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 2000 et 2010.

Commentaire :

La répartition des zones de régression durant cette période donne des doutes sur la fiabilité des épis courts implantés à long terme dans notre zone d'étude.

e) L'intervalle de l'année 2010 à 2020 :

Commentaire :

On remarque que durant cette période qui est représenté en deux cartes une de l'année 2010 à 2016 et l'autre de 2016 à 2020 que l'érosion est dominante tout le long de la côte. Ces résultats nous assurent que la zone d'étude est une zone d'érosion et que les courts épis qui se trouvent au niveau de notre zone d'étude ne sont pas utiles pour la protection ou il faut trouver une autre solution.

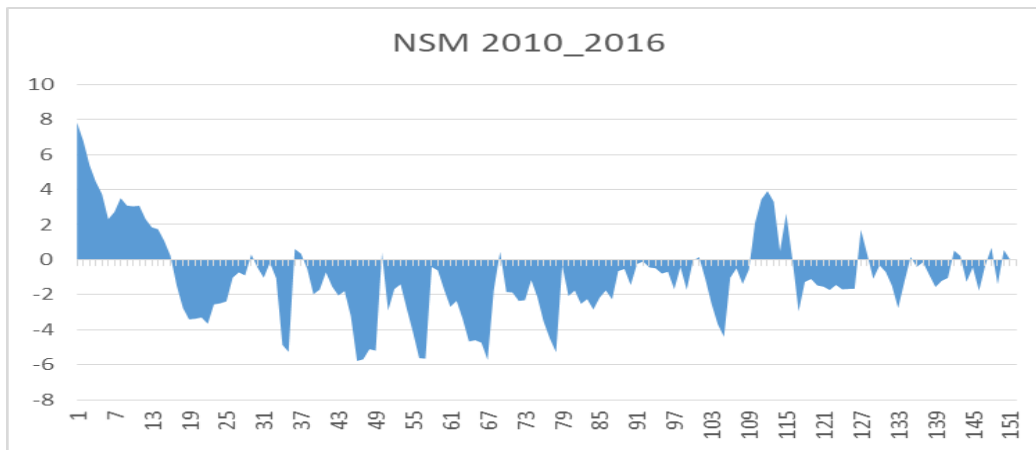


Figure III.9 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2010_2016.

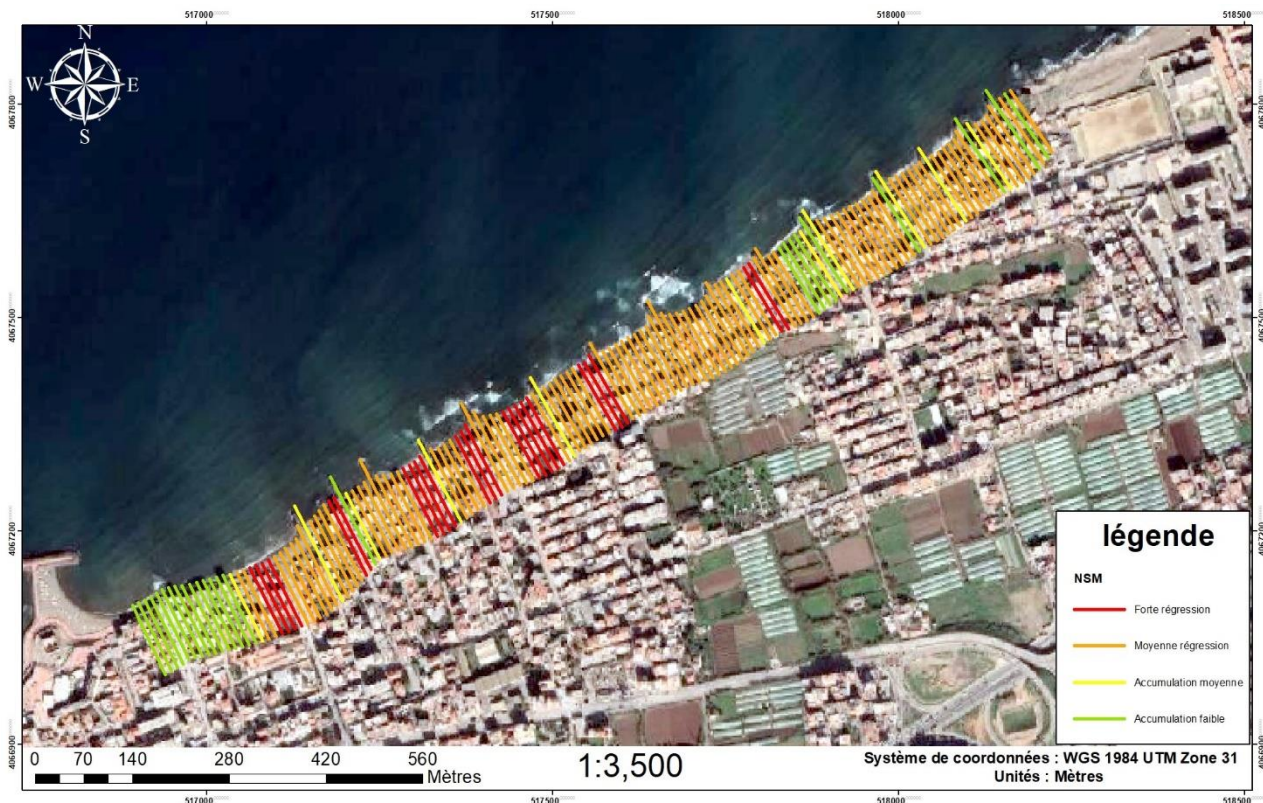


Figure III.10 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 2010 et 2016.

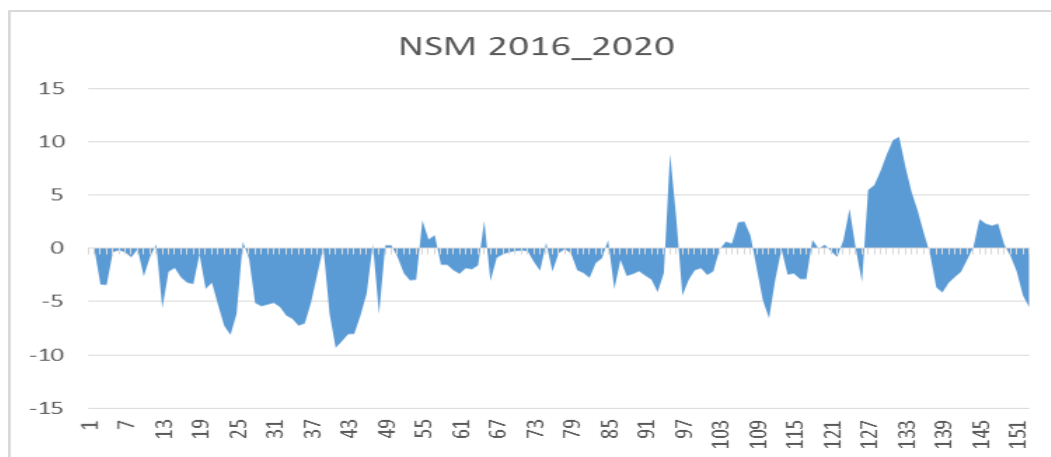


Figure III.11 : Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2016_2020.

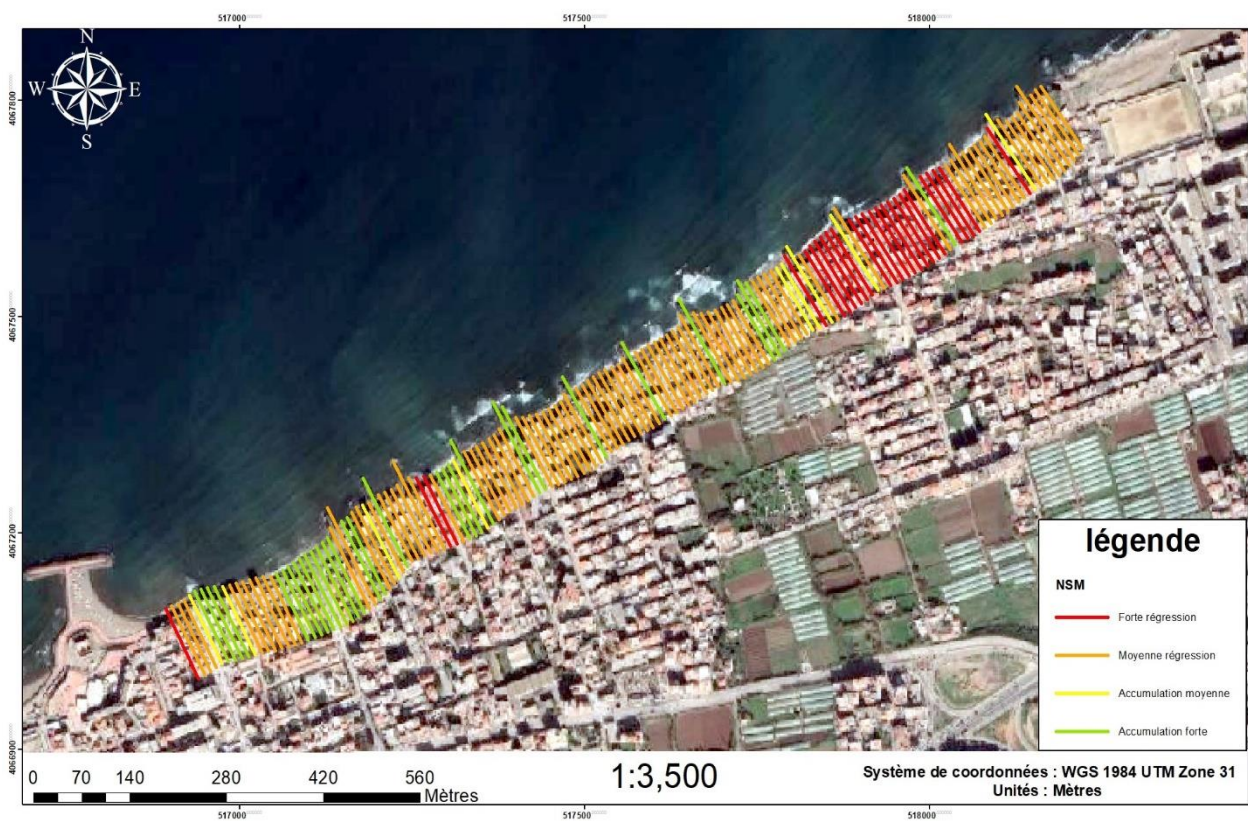


Figure III.12 : Résultats cartographiques de l'état d'érosion sur DSAS entre 2016 et 2020.

f) L'intervalle annuel de 1959 à 2020 :

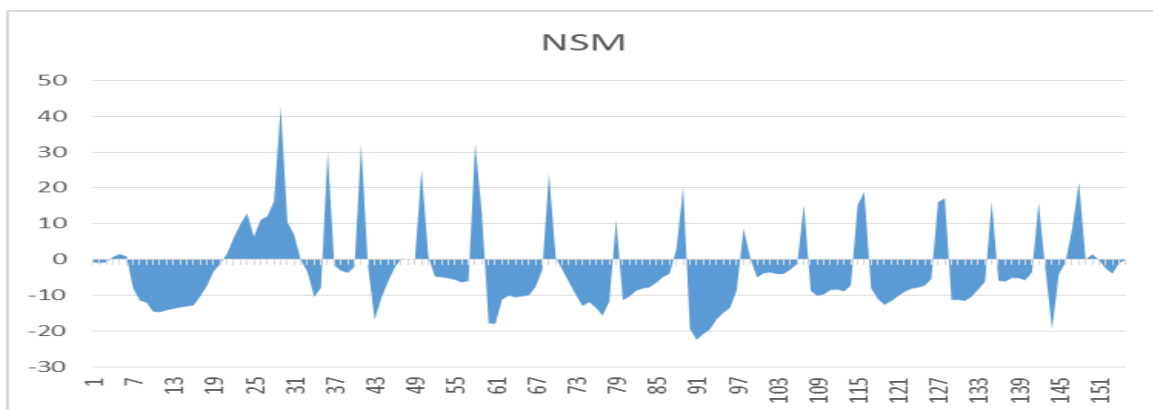


Figure III.13 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 2020.

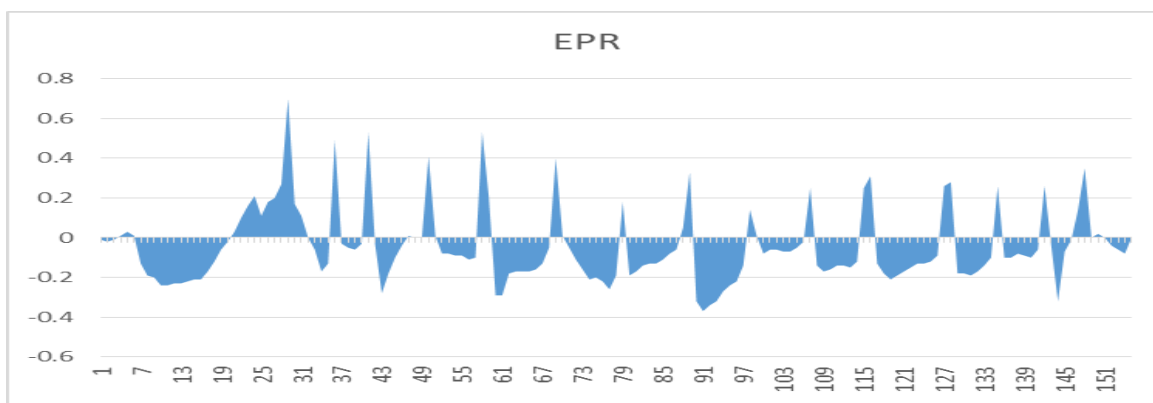


Figure III.14 : End point (mètre) Rate entre 1959_2020.

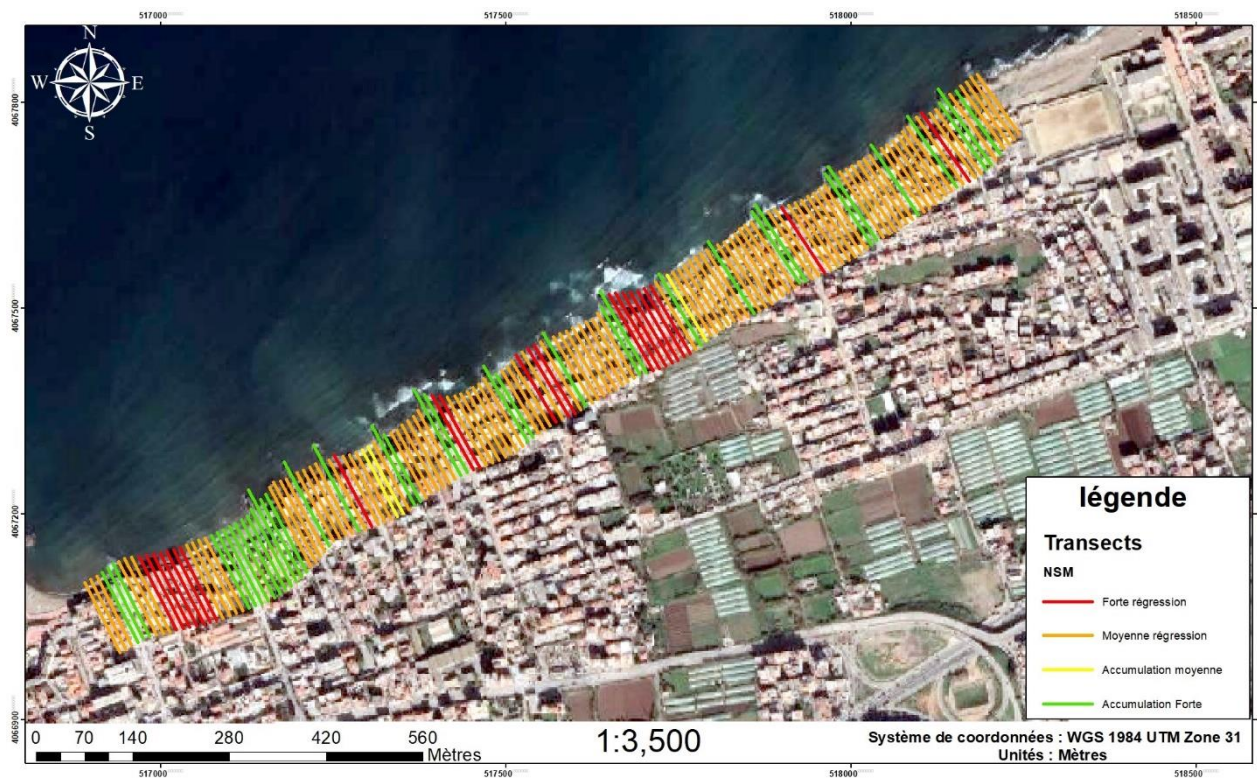


Figure III.15 : Résultats cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 1959 et 2020.

Commentaire :

On remarque que les graphiques de l'EPR sont superposables à ceux du NSM qui donnent approximativement les mêmes résultats que la représentation graphique Avec des reculs allant jusqu'à plus de -20m du côté Ouest de la zone d'étude. Des accrétions dans la partie Est qui dépassent les 40m sont aussi enregistrées.

II. La bathymétrie :

1. La bathymétrie de la zone d'étude :

Les cartes bathymétriques constituent un document fondamental et nécessaire pour connaître et interpréter les morphologies sous-marines.

Une carte bathymétrique près de la côte a été établie après interpolation des minutes du levé bathymétrique. Ce levé ouvre les fonds de la côte jusqu'à une profondeur d'environ -28m. (Figure 3.1)

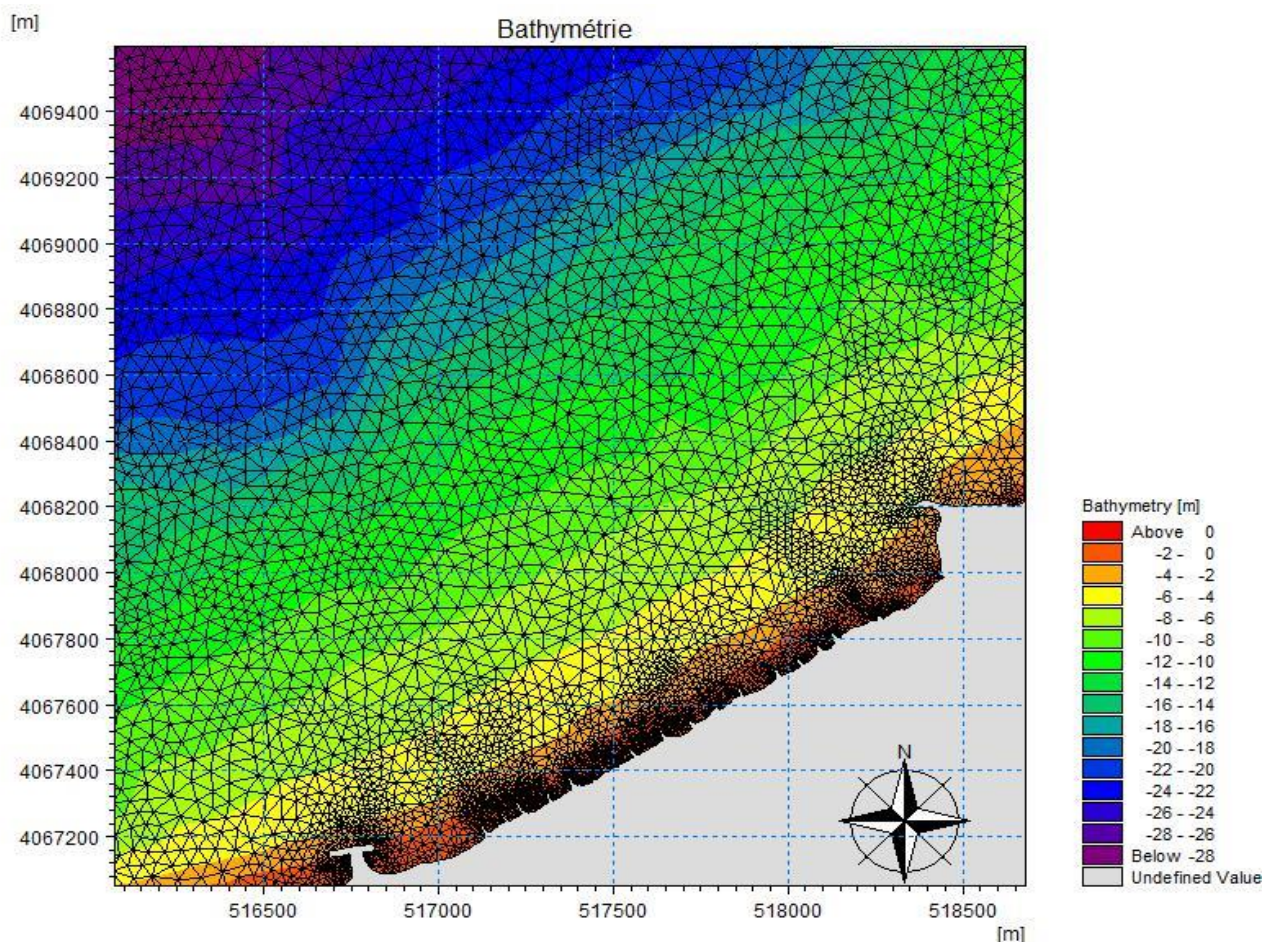


Figure III.16 : Carte bathymétrique en 2D de la zone d'étude effectuée avec Mike 21.

Commentaire :

La carte bathymétrique présente des isobathes relativement réguliers, espacés et parallèles à la ligne de rivage et montrent un espacement inter isobathe qui s'élargie vers le large. Cet aspect

traduit un fond marin qui s'adoucit en allant vers le large. On remarque un espacement régulier de ce dernier de l'est vers l'ouest.

2. Profils bathymétriques :

Dans le but de mieux étudier les caractéristiques morphologiques sous-marines et mieux visualiser et comprendre l'évolution du fond de notre zone d'étude, 4 profils bathymétriques ont été réalisés à l'aide du logiciel Global Mapper qui représente la morphologie sous-marine ; le positionnement de ces profils est représenté dans la figure III.17.

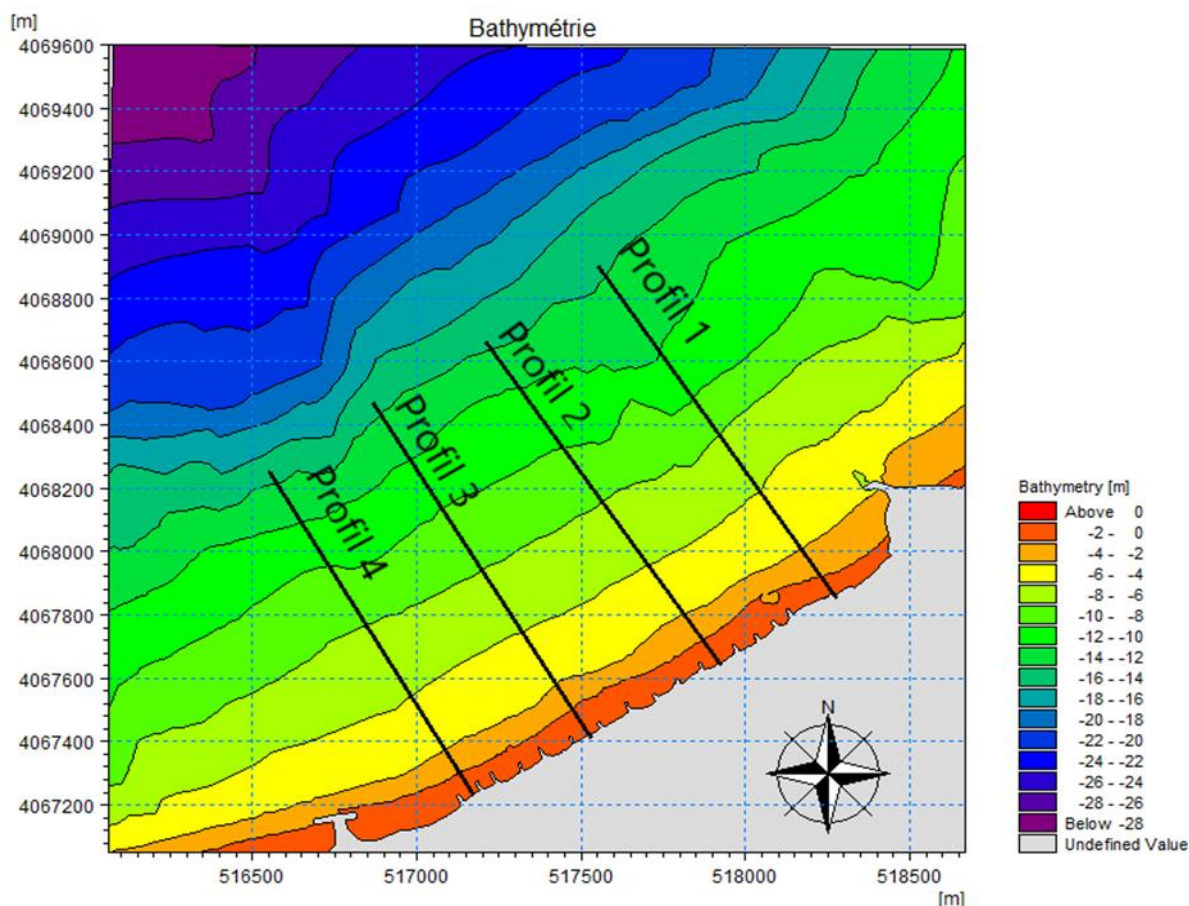


Figure III.17 : Carte bathymétrique du positionnement des profils dans la zone d'étude

Profil 1 :

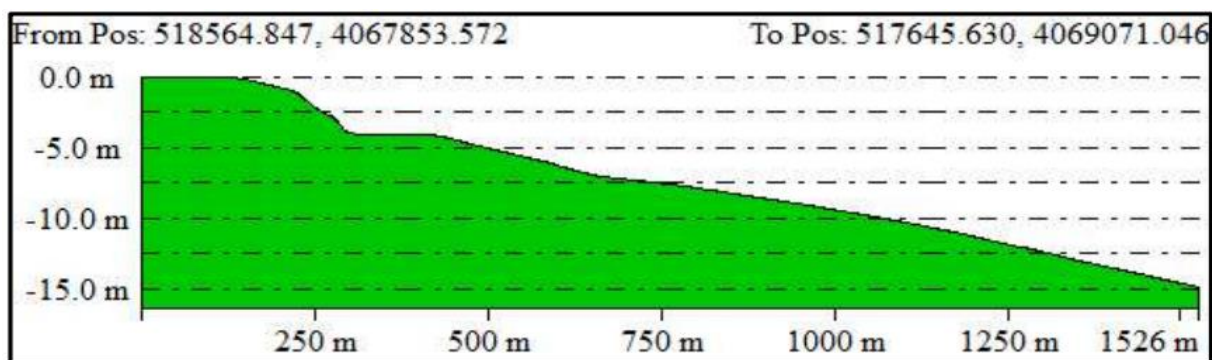


Figure III.18 : Profil bathymétrique 1.

Commentaire :

A partir de ce profil, on constate que le fond de la plage subit des déformations sur sa forme en général, la première déformation du fond est au niveau des premiers mètres (5m) avec une pente abrupte de 1.8%, puis à des profondeurs de -4.5m où on note qu'elle est plus douce.

Profil 2 :

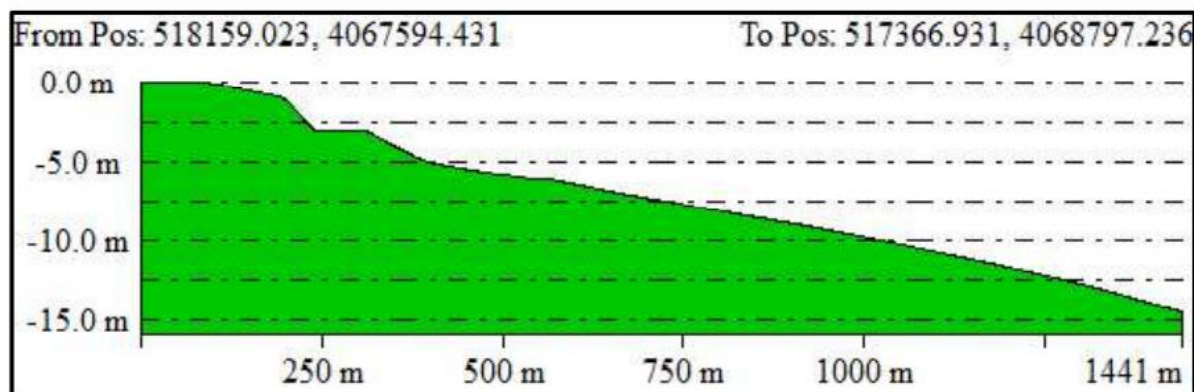


Figure III.19 : Profil bathymétrique 2.

Commentaire :

Similaire au profil précédant, le fond de la plage est déformé au niveau des premiers mètres de profondeur, cela nous informe qu'au niveau de -3m de profondeur, il y'a une possibilité de présence d'une forme rocheuse avec une pente abrupte entre 1 et 2% avec une rupture à -4.5m à 250m de la côte, ensuite la pente du fond à partir du -5m de profondeur devient plus douce.

Profil 3 :

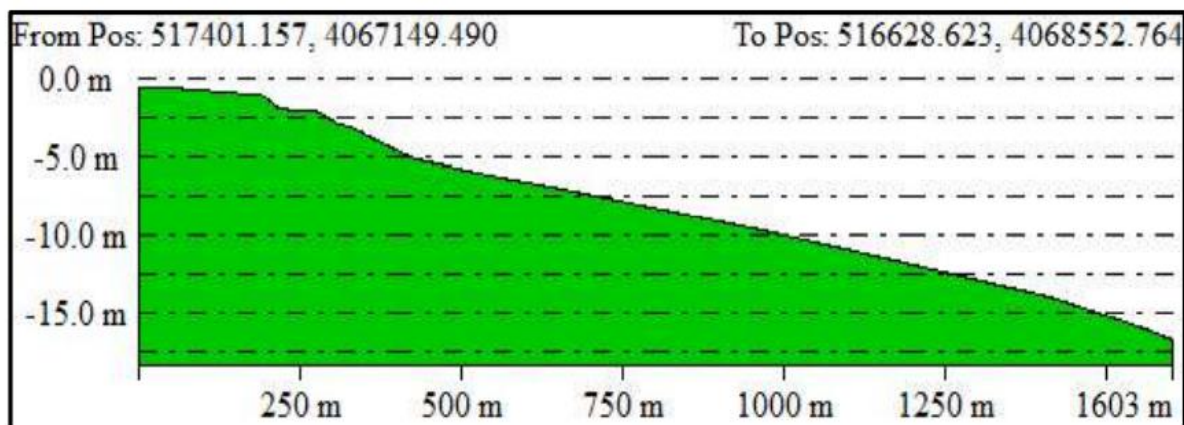


Figure III.20 : Profil bathymétrique 3.

Commentaire :

On remarque sur ce profil une petite déformation au niveau des premiers mètres, la pente commence par 1.16% puis s'adoucit à environ 0.86% à partir de -5m de profondeur.

Profil 4 :

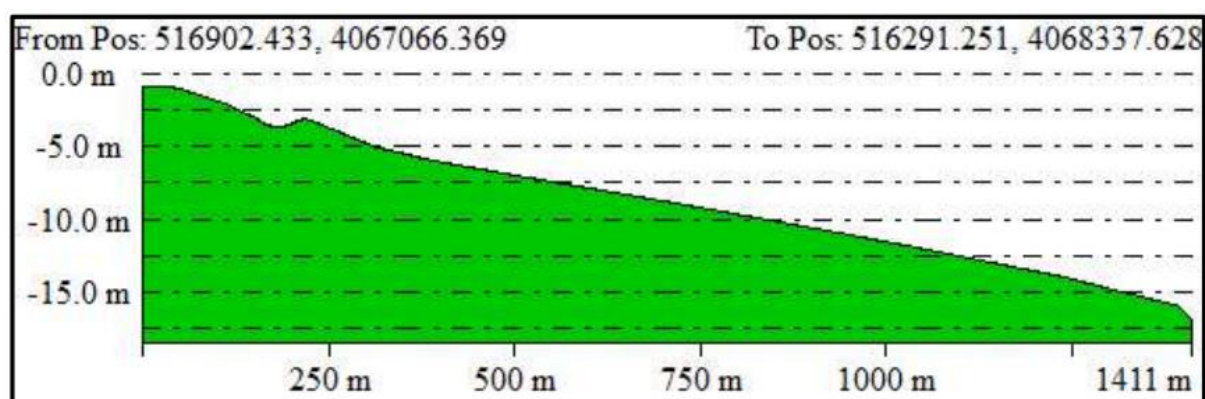


Figure III.21 : Profil bathymétrique 4.

Commentaire :

Comme les profils précédents, ce profil présente des déformations dans les premiers mètres de profondeur, avec la présence probable d'une forme rocheuse à -3.5m de profondeur. A 250m de la côte, la pente reprend l'allure douce de 0.86% jusqu'à une profondeur de -15m à 1411m du rivage.

III. Résultats de l'étude de la réfraction de la houle :

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte. Les données de la houle à la côte serviront de données d'entrée pour le dimensionnement des ouvrages maritimes.

La modélisation de la réfraction de la houle du large vers la côte est représentée avec des cartes où les valeurs de hauteurs de houles sont présentées.

1. Les cartes de simulation :

- Pour la houle incidente Nord 360° vers la plage de Verte Rive « Bordj El Kiffan »

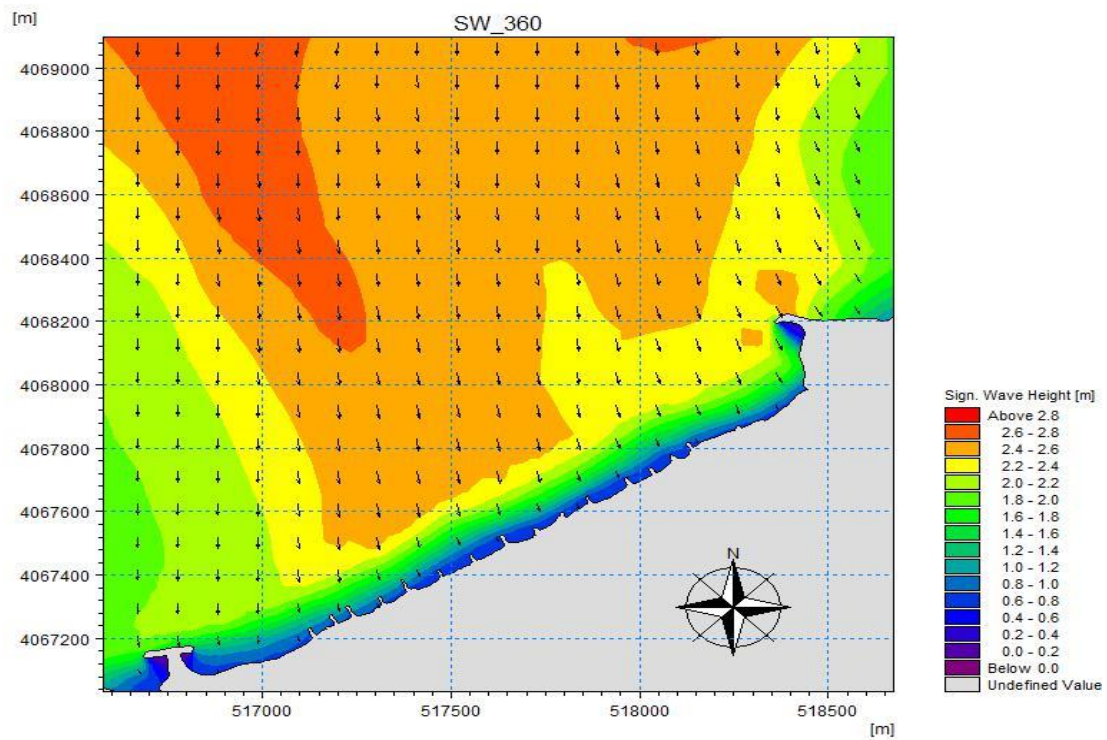


Figure III.22 : Résultats de réfraction de la houle Nord 360° incidente à la plage Verte Rive.

- Pour la houle incidente Nord 315° vers la plage de Verte Rive « Bordj El Kiffan »

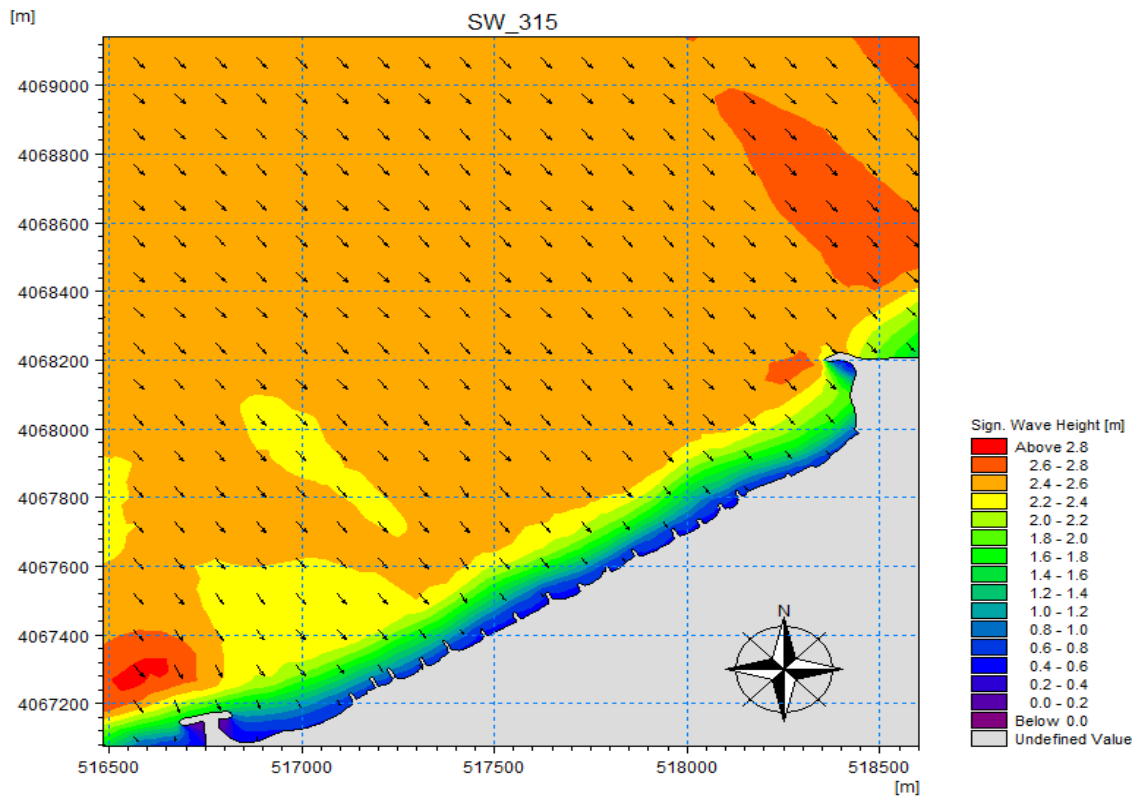


Figure III.23 : Résultats de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage Verte Rive.

- Pour la houle incidente Nord 45° vers la plage de Verte Rive « Bordj El Kiffan »

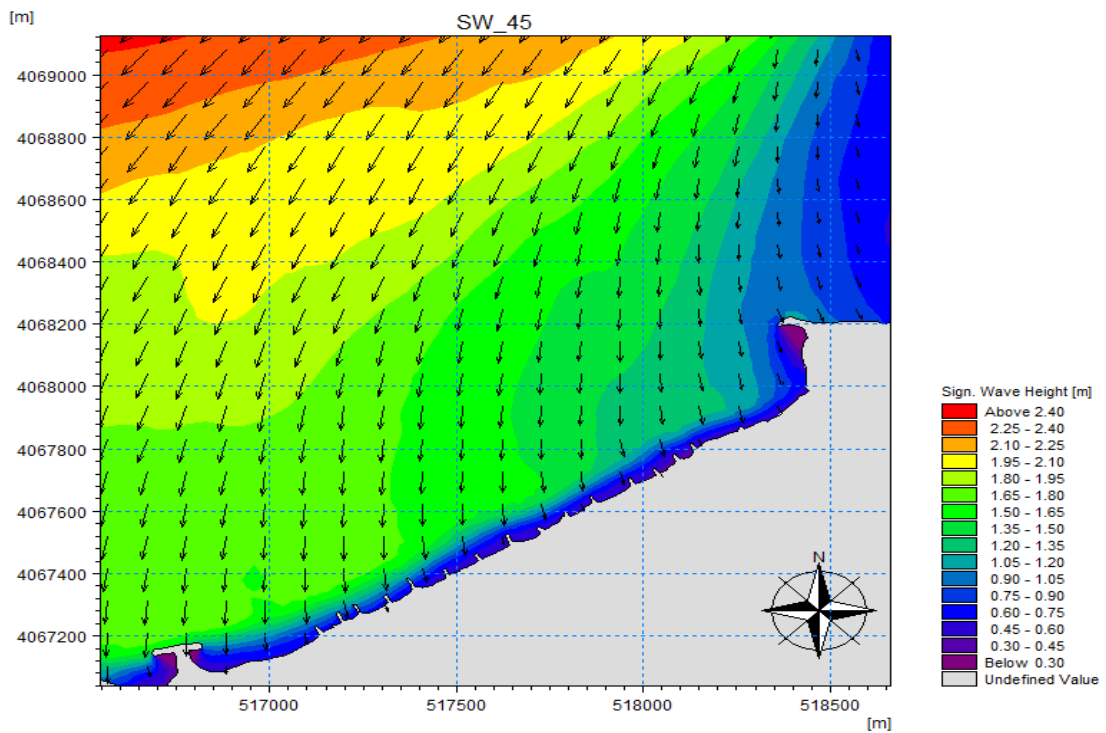


Figure III.24 : Résultats de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage Verte Rive.

2. Résultats obtenus à partir des points d'extraction :

Tableau III.1 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 360°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Angle incidente (°)	Kr	Réfraction
-3	N360°	2.67	1.646	344.9	0.6164794	38%
-1	N360°	2.67	0.9	338.5	0.33707865	66%

Tableau III.2 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 45°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Angle incidente (°)	Kr	Réfraction
-3	N45°	2.56	1		0.390625	61%
-1	N45°	2.56	0.8		0.3125	69%

Tableau III.3 : Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 315°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Angle incidente (°)	Kr	Réfraction
-3	N315°	2.67	1.74	322	0.659090909	34%
-1	N315°	2.67	0.9	324	0.340909091	66%

3. Tableau représentatifs de la hauteur des houles par directions et par zones :

Pour la comparaisant de la hauteur incidente de la houle près de la côte on a devisé la zone d'étude en 4 sous-zones (1, 2, 3 et 4) qui sont représentées dans la figure III.25.

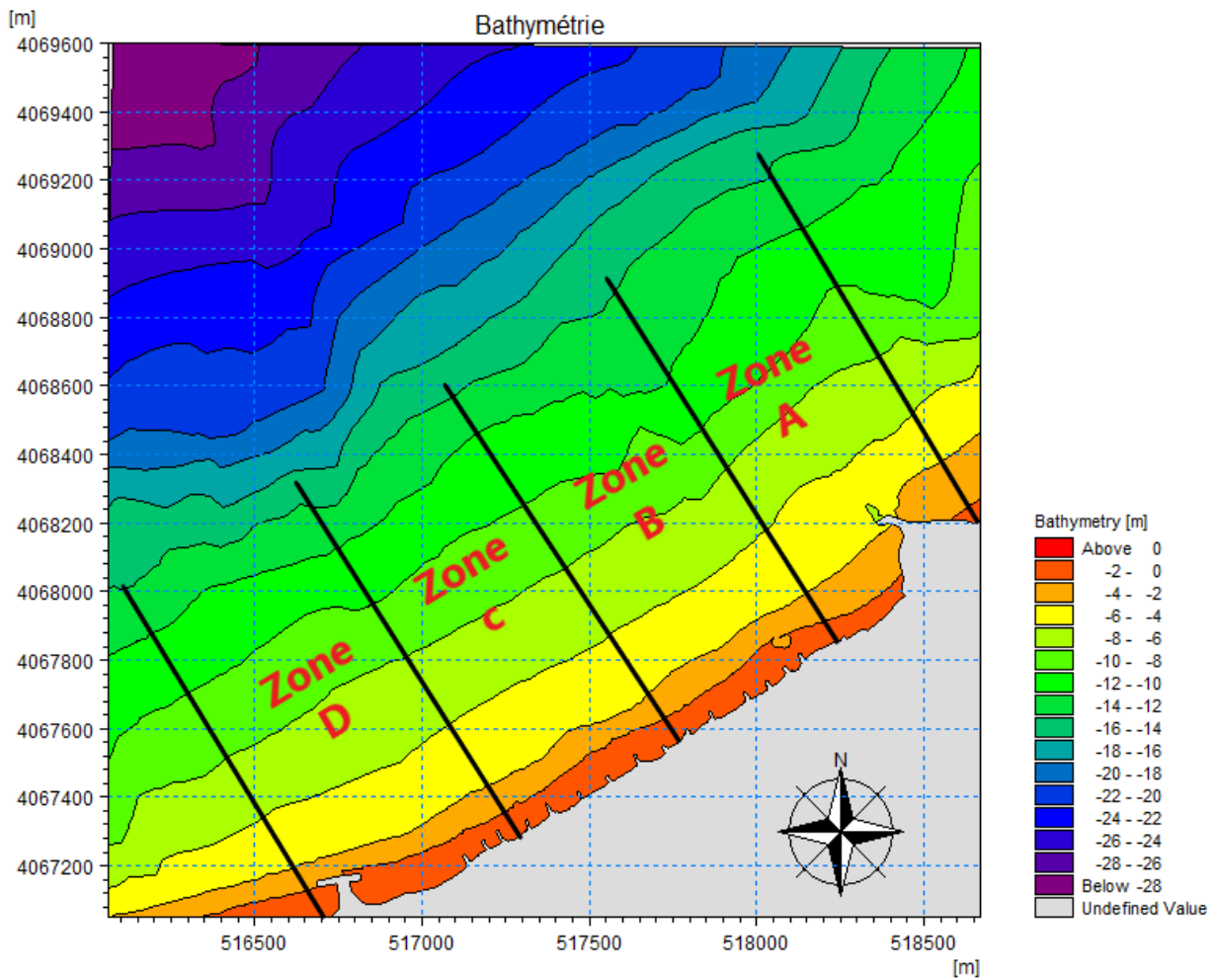


Figure III.25 : Carte bathymétrique des sous-zones de la zone d'étude.

Les couleurs suivantes représentent :











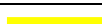
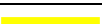


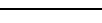

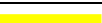



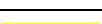
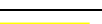

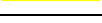
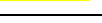
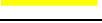






















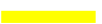

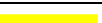

-  : Très faible modification de l'énergie de la houle.
-  : Une faible modification de l'énergie de la houle.
-  : Une moyenne modification de l'énergie de la houle.
-  : Une forte modification de l'énergie de la houle.

Tableau III.4 : Tableau représentatif des Observations de la hauteur des houles dans chaque sous-zone.

Zone	Hs	Dir N360°	Dir N315°	Dir N45°
Zone A	0.3m_ 1.05m			
	1.05m_1.95m			
	1.95m_2.4m			
	>2.4m			
Zone B	0.3m_ 1.05m			
	1.05m_1.95			
	1.95m_2.4m			
	>2.4m			
Zone C	0.3m_ 1.05m			
	1.05m_1.95m			
	1.95m_2.4m			
	>2.4m			
Zone D	0.3m_ 1.05m			
	1.05m_1.95m			
	1.95m_2.4m			
	>2.4m			

Commentaire :

On remarque que la houle dans les trois directions retenues arrive frontalement vers la zone d'étude.

- **La houle N360°** : La hauteur significative des vagues (Hs) varie globalement entre 0.30 et 2.8m, ces houles gardent environ 70% de leur énergie à -5 mètres de profondeur près de la côte et environ 40% de leur énergie du large à -1m de profondeur.

La hauteur de la houle varie au voisinage de la côte comme suite :

A l'est (sous zone 1) près du rivage la hauteur Hs est entre 0.8m et 1.8m dans la partie centre qui englobe la sous zone 2 et 3 la hauteur de Hs est entre 0.4m et 1.4m et dans la partie Ouest la hauteur de la houle près du rivage varie entre 0.3m et 1.5m.

- **La houle N315°** : La hauteur significative des vagues (Hs) varie globalement entre 0.30 et 2.8m, ces houles gardent environ 85% de leur énergie a -5m de profondeur près de la côte et environ 45% de leur énergie du large a -1m de profondeur.

La hauteur de la houle varie au voisinage de la côte comme suite :

A l'est de la zone d'étude (sous zone 1) près de la ligne de rivage la hauteur Hs est entre 0.4m et 2.4m, l'énergie est forte surtout au niveau de l'ouvrage de protection qui se trouve dans cette zone. Au centre de la zone d'étude (sous zone 2 et 3) la hauteur de la houle Hs est entre 0.2m au niveau du rivage et 2m qui est atteinte à -4m de profondeur près de la cote. Dans la partie Ouest de la zone d'étude (sous zone 4), la hauteur de la houle varie entre 0.2 au niveau de trait de côte et 2m près de l'ouvrage de protection qui se trouve dans cette zone.

- **La houle N45°** : La hauteur significative des vagues (Hs) varie globalement entre 0.30 et 2.4m, ces houles gardent environ 60% de leur énergie a -5m de profondeur près de la côte et environ 37% de leur énergie du large à -1m de profondeur.

La hauteur de la houle varie au voisinage de la côte comme suite :

A l'est de la zone d'étude (sous zone 1) près de la ligne de rivage la hauteur H_s est entre 0.3m et 0.9m, l'énergie est forte surtout au niveau de l'ouvrage de protection qui se trouve dans cette zone. Au centre de la zone d'étude (sous zone 2 et 3), la hauteur de la houle H_s est entre 0.6m au niveau du rivage et 1.6m qui est atteinte -4m de profondeur près de la cote, dans la partie Ouest de la zone d'étude (sous zone 4), la hauteur de la houle varie entre 0.3m et moins quand les vagues dépassent l'ouvrage de protection et se diffractent et 2m près de l'ouvrage de protection qui se trouve dans cette zone.

On conclue que les houles provenant de la direction $N45^\circ$ sont les plus réfractées, elles présentent un coefficient de réfraction K_r compris entre 0.50 et 0.80.

Par contre, les houles de la direction $N315^\circ$ et $N360^\circ$ gardent presque la totalité de leur énergie du large avec un coefficient de réfraction entre 0.70 et 1.10.

Ces déformations sont dues essentiellement à l'orientation du trait de côte par rapport le nord et aux directions des houles dominantes. D'autre part, cela est dû à la forme bathymétrique de la zone d'étude qui favorise l'arrivée de la houle à la côte en forte énergie.

Tableau III. 5 : Résultats du calcul de la houle cinquantennale (LEM, 2018).

			Profondeur 1m		Profondeur 3m		Profondeur 5m		Profondeur 10m		Profondeur 15m	
Direction (degré)	Période de retour	H_s large (m)	H_s	K_r	H_s	K_r	H_s	K_r	H_s	K_r	H_s	K_r
$N45^\circ$	8	7.53	1.78	0.23	2.92	0.38	2.78	0.37	4.79	0.63	5.59	0.74
$N360^\circ$	8	7.87	1.55	0.19	2.18	0.27	2.22	0.28	2.46	0.31	2.43	0.30
$N315^\circ$	8	7.87	1.82	0.23	3.02	0.38	2.88	0.36	5.16	0.65	6.56	0.83

III. Résultats de l'étude hydro sédimentaire (Courantologie HD et le transport sédimentaire ST) :

1. Les cartes de simulation des courants (HD) :

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan »

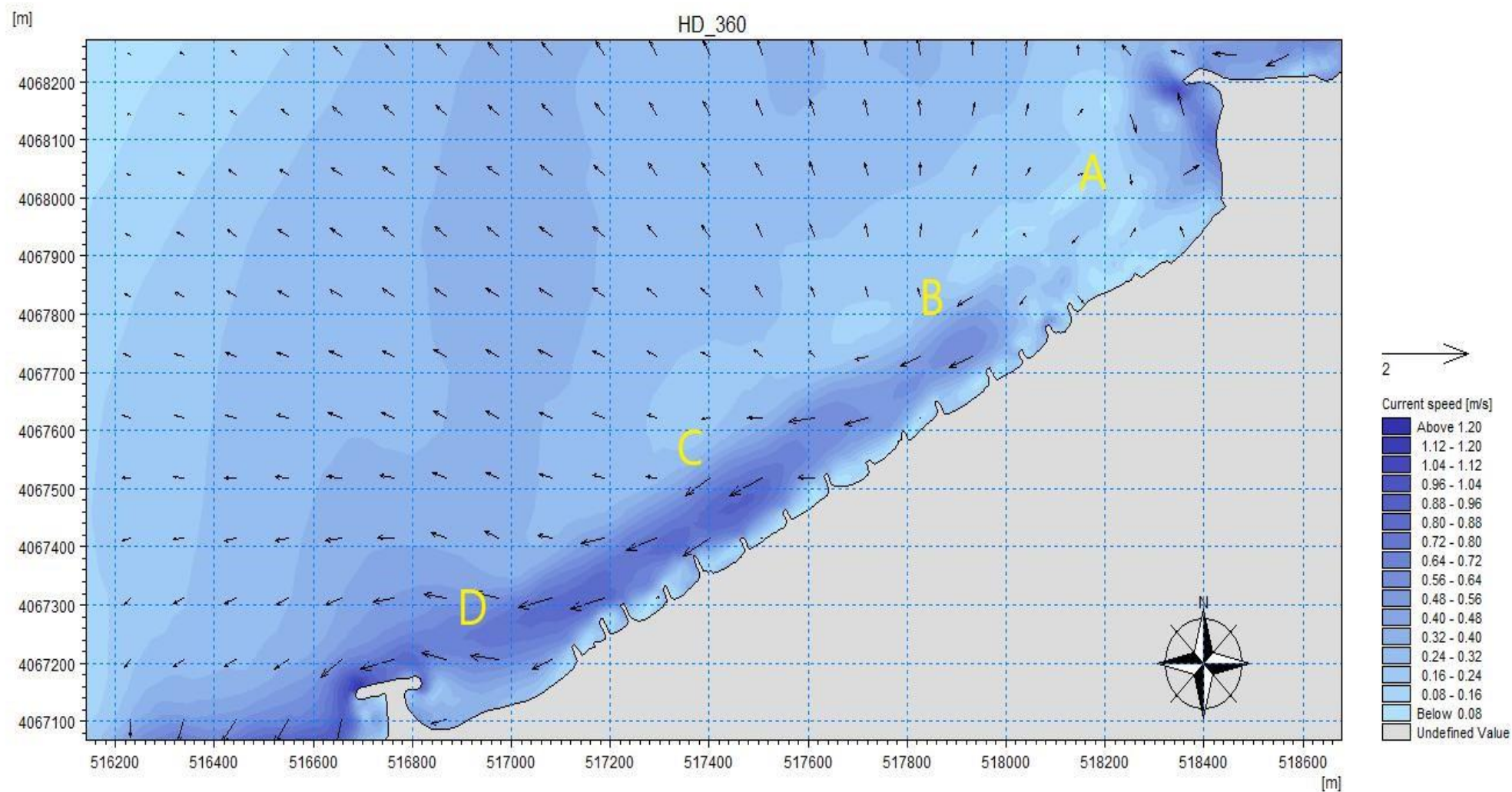


Figure III.26 : Résultats de courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan »

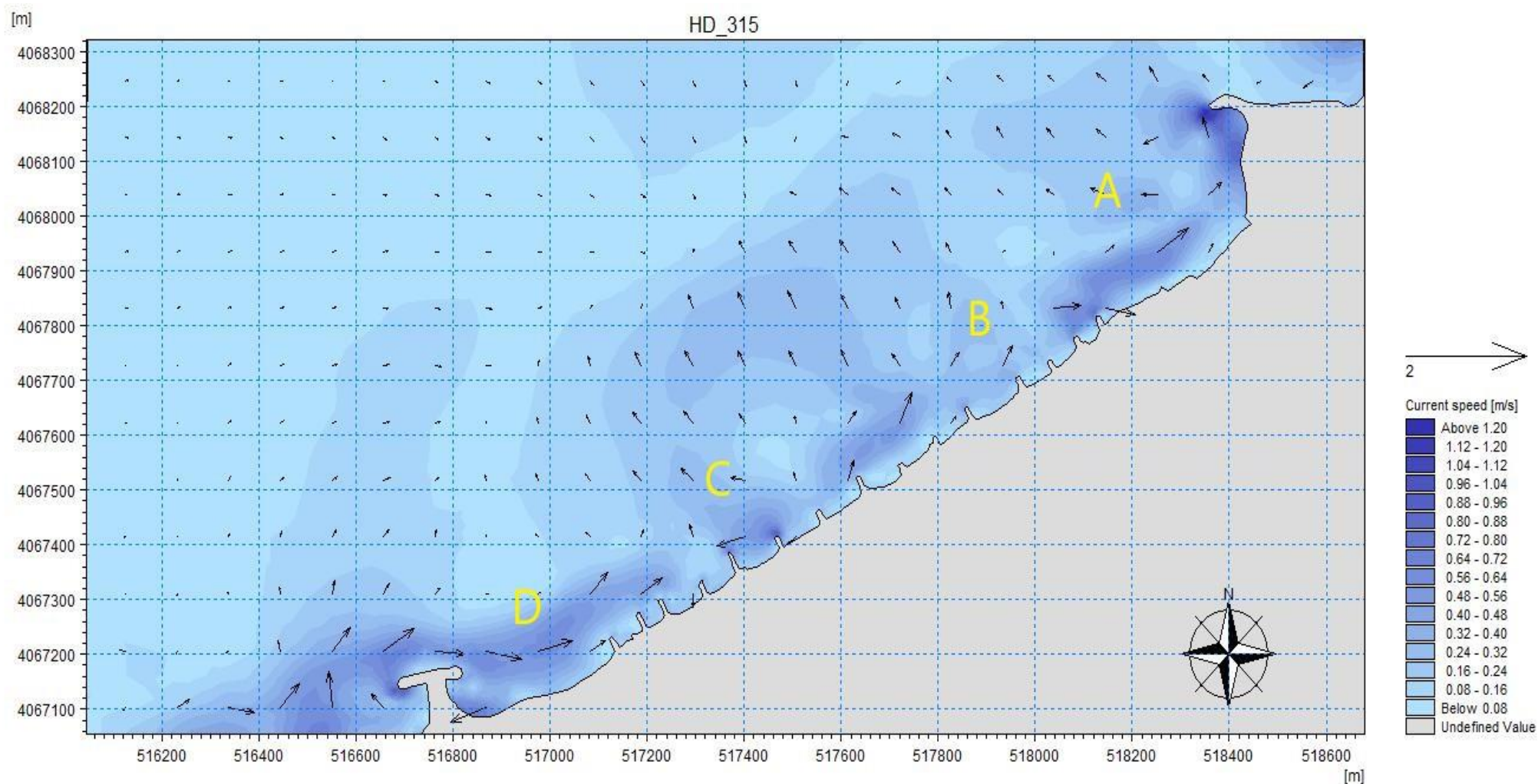


Figure III.27 : Résultats de courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"

Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"

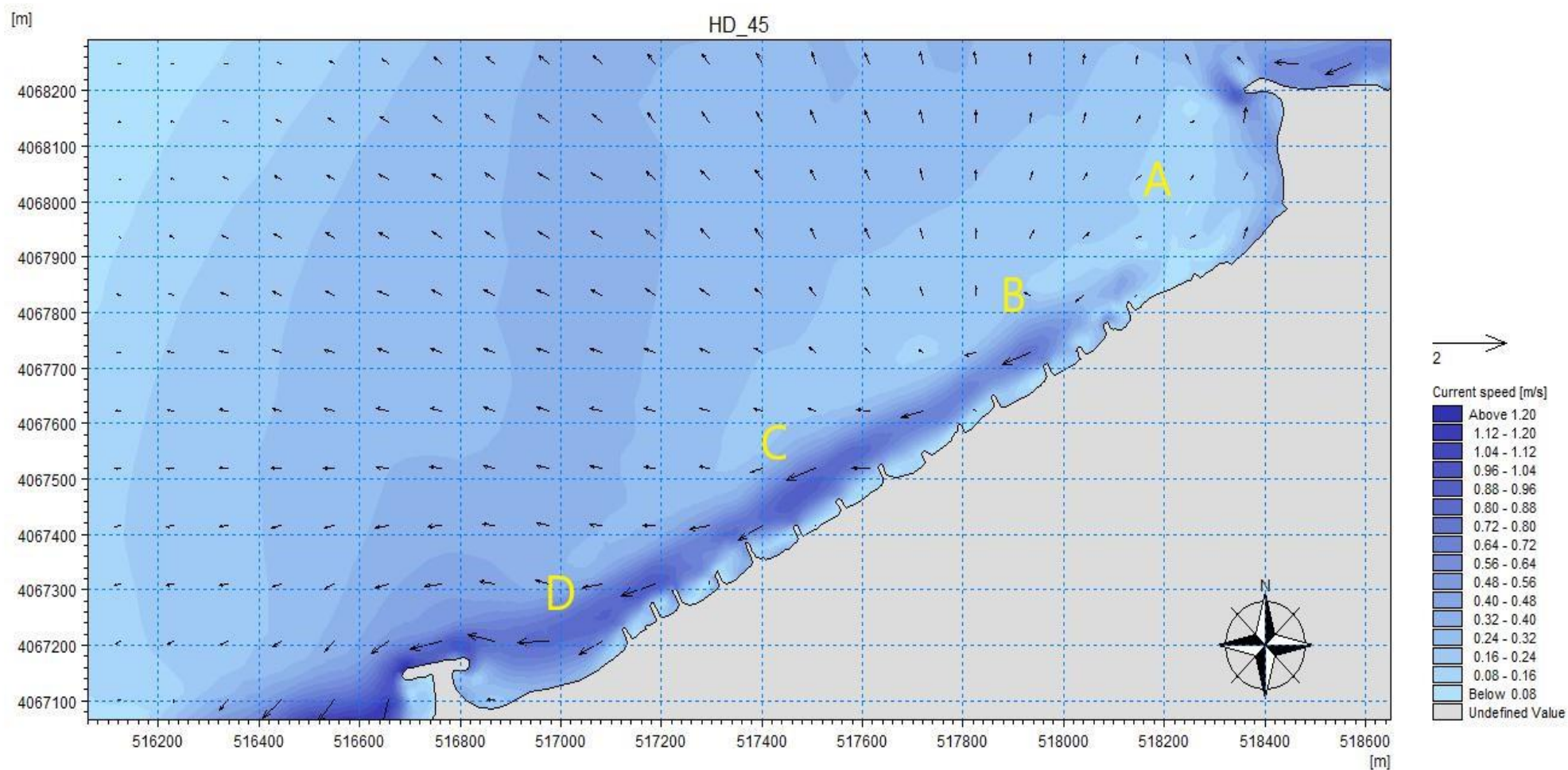


Figure III.28 : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive " Bordj El Kiffan"

2. Tableau représentatif des différentes observations de courantologie dans chaque sous zone :

Tableau III.6 : Tableau des observations du courant de chaque houle incidente dans chaque zone.

Directions / Sous-zone	N360°	N315°	N45°
Zone A	-Sens : Est-Ouest -Présence d'un courant sous forme tourbillonnaire à l'aval de l'ouvrage de protection.	-Sens : Ouest-Est. - Présence d'un courant sous forme tourbillonnaire à l'aval de l'ouvrage de protection. résultant d'un courant de retour vers le large.	- Sens : Est-Ouest - le cyclone se trouve en faible intensité dans l'aval de l'ouvrage.
Zone B	- Sens : Est-Ouest - Faible vitesse.	-Sens : Ouest-Est. - Présence du courant de retour vers le large.	-Sens : Est_Ouest - Vitesse très important entre 0.88 et 0.96m/s.
Zone C	-Sens : Est-Ouest -Vitesse important entre 0.88 et 0.96m/s.	-Sens : Ouest-Est -Présence d'un courant de retour vers le large avec vitesse plus important.	- sens : Est-Ouest. -Vitesse très importants qui est entre 0.88 et 0.96m/s.
Zone D	-Sens : Est_Ouest - Présence d'un courant giratoire dans la partie amont de l'ouvrage et d'un autre inverse au premier dans la partie aval.	-Sens : Ouest_Est -Présence d'un courant giratoire dans la partie amont de l'ouvrage avec une vitesse important entre 0.64 et 0.72m/s.	- Sens : Est-Ouest. - présence d'un courant giratoire au niveau de la partie avale de l'ouvrage. - vitesse moins important que les Zones B et C.

Commentaire :

A partir des résultats de l'étude de courantologie on conclue que les courants dans les directions Nord 360° et Nord 45° sont les plus important avec une vitesse qui atteintes les 0.90m/s surtout dans les sous zone B, C et D même si la direction de ces deux courants est similaire d'Est en Ouest.

On remarque que le courant provenant de la houle de secteur Nord 315° est moins important que l'autre secteur avec une vitesse faible qui ne dépasse pas 0.56m/s, la direction de ce courant est de secteur Ouest_Est contrairement aux deux autres directions.

On conclue qu'il existe une relation entre le sens du courant et l'angle d'incidence formé par les houles inductrices avec la côte, ce qui correspond également aux courants généraux observés au niveau de la baie d'Alger, régis principalement par le courant Algérien.

3. Les cartes de la simulation du transport sédimentaire (ST) :

Pour la Houle Incidente Nord 360° à la plage Verte Rive « Bordj El Kiffan »

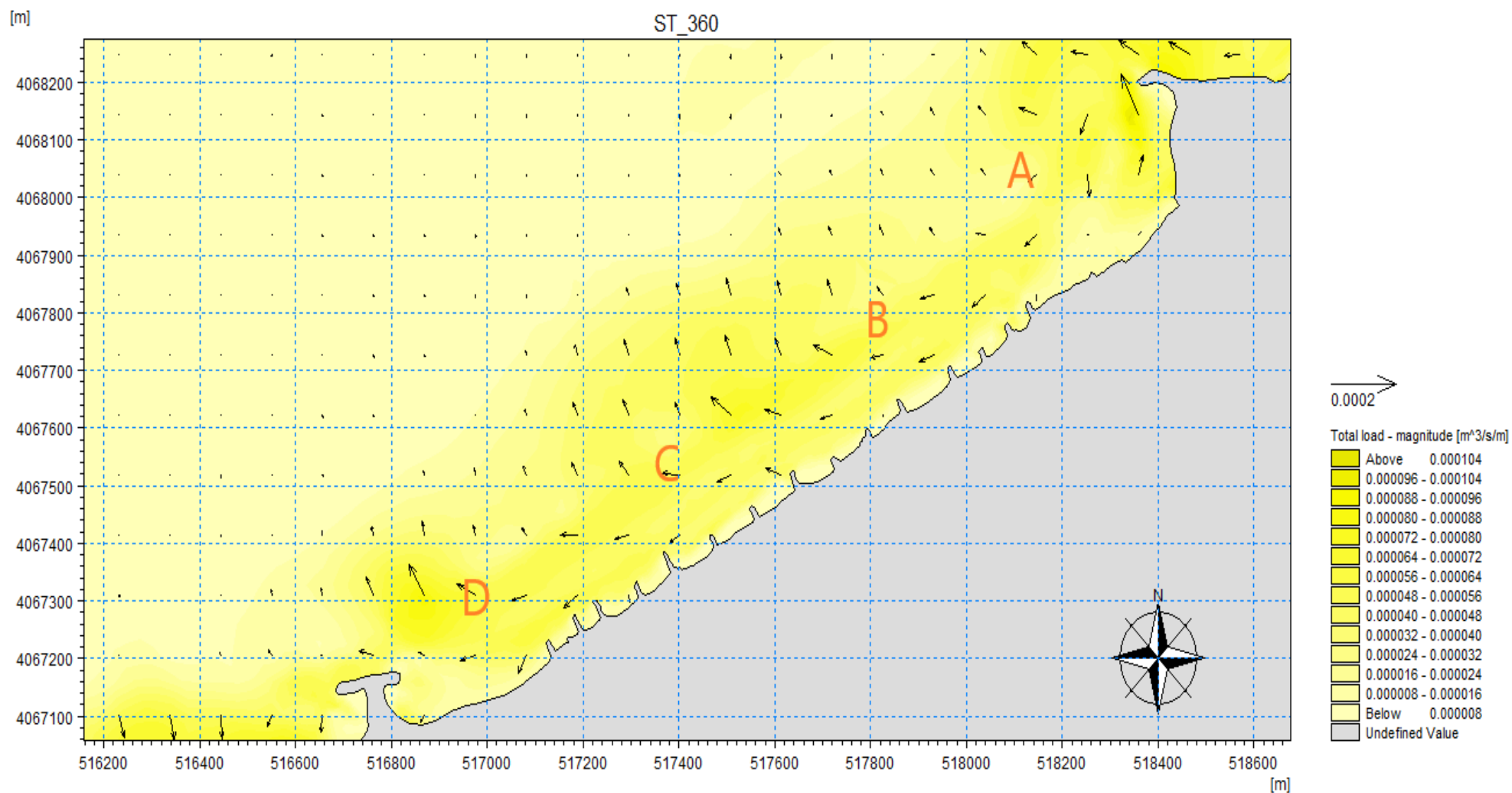


Figure III.29 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 360° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"

Pour la Houle Incidente Nord 315° à la plage Verte Rive « Bordj El Kiffan»

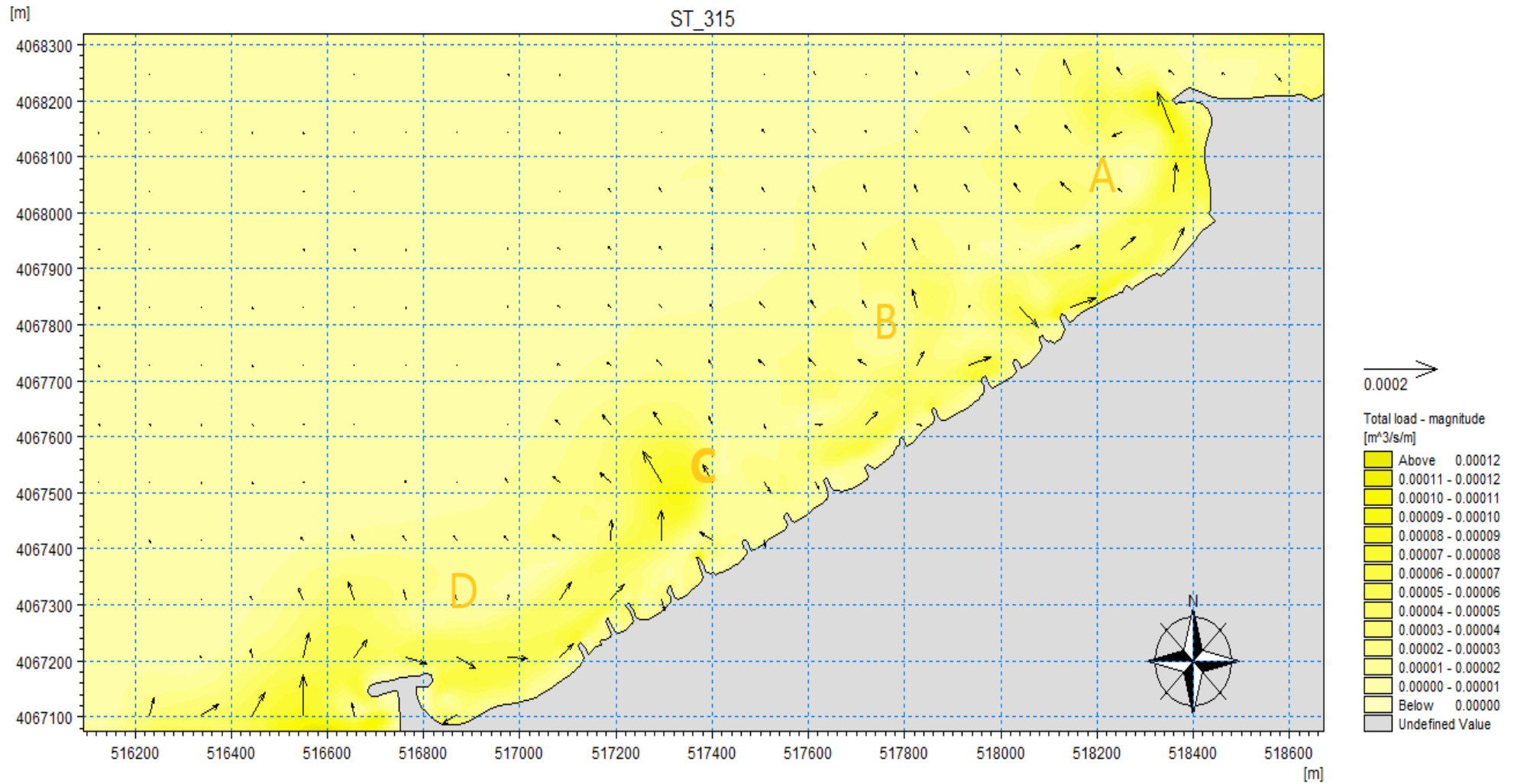


Figure III.30 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 315° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"

Pour la Houle Incidente Nord 45° à la plage Verte Rive « Bordj El Kiffan »

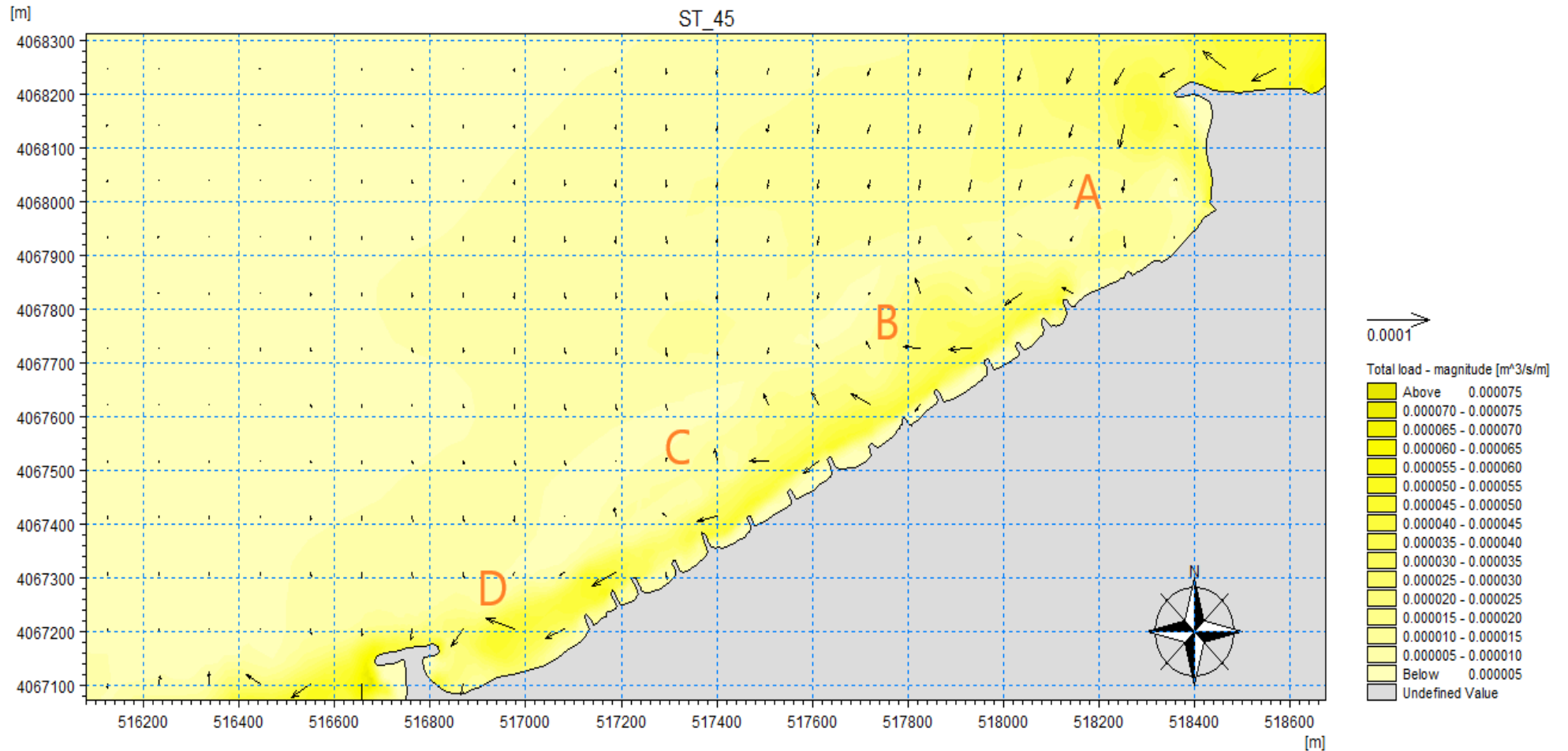


Figure III.31 : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Verte Rive "Bordj El kiffan"

4. Tableau représentatif des différentes observations du transport sédimentaire dans chaque sous zone :

Tableau III.7 : Tableau représentatif des différentes observations du transport sédimentaire.

Direction / sous zone	N 360°	N 315°	N 45°
Zone A	-Sens : Est-Ouest - La présence d'un courant sous forme tourbillonnaire dans la partie Aval de l'ouvrage	-Sens : Ouest-Est - présence des sédiments transportés vers le large	-Sens : Est-Ouest - La présence d'un courant sous forme tourbillonnaire dans la partie Aval de l'ouvrage
Zone B	-Sens : Est-Ouest - vitesse faible entre 0.000008 et 0.000016 m ³ /s/m	-Sens : Ouest-Est - Présence des sédiments transportés vers le large	-Sens : Est-Ouest - Présence des sédiments transportés vers le large
Zone C	-Sens : Est-Ouest -Vitesse similaire à celle du Zone B	-Sens : Ouest-Est -Transport de quelque quantité de sédiments vers le large en faible concentration	-Sens : Est-Ouest - Transport de grande quantité des sédiments
Zone D	-Sens : Est- Ouest - Vitesse plus important dans l'amont du l'ouvrage entre 0.000088 et 0.000096m ³ /s/m.	-Sens : Ouest-Est - Présence d'un courant giratoire du transport de sédiment dans la partie amont d'ouvrage. - transport de quelque sédiment vers le large.	-Sens : Est-Ouest - Présence d'un petit d'un courant giratoire de sédiment dans l'amont du l'ouvrage de Protection - transport de faibles quantités des sédiments vers le large.

Commentaire :

Le mouvement des particules solide va suivre le mouvement des champs de courant qui est un mouvement de convergence. La capacité du transport solide des courants littoraux représente la capacité de ces derniers à mettre en mouvement les particules sédimentaires. De manière générale,

Après ces résultats on constate bien que sédiments transpostés le plus remarquable est celui du secteur Est-Ouest résultent par les houles incidentes N 360° et N 45° contrairement à celui du N 315°.

Les résultats du transport de Secteur Est-Ouest coïncident avec le transport dominant tout au long de la Baie d' Alger qui est probablement lie aux apports solides amenés par Oued El-Hamiz qui se trouve à quelques kilomètres à l'est de la zone, qui se voie entre la source principale comparé à Oued El-Harrach qui se trouve à la partie Ouest de notre zone d'étude.

Il est clair dans les résultats que les taux de transports sont relativement faible surtout dans le secteur Ouest-Est qui ne dépassent pas 0.000008 et 0.000024m³/s/m. (houle incidente N 315°).

Au finale, on conclue qu'il y'a une relation entre le sens du transport sédimentaire et son taux de transport avec l'angle d'incidence formé par les houles inductrices avec la côte.

Chapitre IV : Etude de protection et de gestion.

Introduction :

Un aménagement de protection et de gestion du littoral est souvent composé d'une combinaison d'ouvrages de types différents et s'accompagne de méthodes d'entretien des hauts de plage.

Les solutions de protection :

Prenant en compte les différentes études et analyses effectuées sur la zone d'étude que nous avons menées au niveau de la zone de Verte Rive qui nous ont permis de proposer 4 variantes de protection (2 faites par L.E.M) selon le constat de lieux, et en harmonie avec toutes les zones adjacentes, ces 4 variantes sont :

- Batterie de 6 brise-lames (proposer par L.E.M) ;
- Batterie de 5 épis en « L » (proposer par L.E.M) ;
- Batterie de 6 géotubes immergés à -3m de profondeur ;
- Batterie de 3 géotubes immergés à -3m de profondeur ;

1. Variante 01 : Batterie de Brise-lames :

1.1. Objectifs et fonctionnement :

Les ouvrages parallèles au rivage disposés sur l'avant plage, généralement appelés brise-lames ("offshore breakwater"), ont pour fonction de s'opposer directement à la houle ainsi qu'à la circulation des courants perpendiculaires à la ligne de rivage. Ils s'opposent donc également aux mouvements solides dans le profil de la plage.

Ils atténuent fortement l'agitation de la houle devant la plage et bloquant tout ou partie des sables transportés du littoral et engraisse la partie à l'arrière du brise-lames en créant un tombolo (LEM, 2018).

Les brise-lames peuvent être émergents ou complètement immergés :

- Les ouvrages émergents engendrent, entre eux et la côte, une zone de calme relatif favorable à la sédimentation.
- Les ouvrages immergés limitent les volumes d'eau qui les franchissent et contraignent à déferler les houles qui dépassent une cambrure limite.

Les grands principes de fonctionnement des brise-lames sont les suivants (LEM, 2018) :

- Ils créent un gradient longitudinal des hauteurs des agitations.
- Les courants sont orientés de la zone agités vers la zone abritée.
- Les sables sont transportés vers la zone abritée où ils s'accumulent.

Cette accumulation de sable à l'arrière du brise-lames s'appelle un tombolo.

Les différents paramètres qui interviennent dans le dimensionnement de brise-lames concernent :

- sa longueur L,
- sa distance D à la ligne de rivage,
- la profondeur h de son implantation,
- son orientation δ par rapport à la ligne de rivage,
- éventuellement la distance E entre les ouvrages.

1.2. Dimensionnement :

Il n'existe pas actuellement de critères bien définis quant aux caractéristiques optimales des brise-lames, mais un certain nombre de règles de dimensionnement basées sur la théorie de LCHF (Laboratoire de Conception Hydraulique Française) qui régissent leur dimensionnement :

a) Longueur des brise-lames :

La longueur du brise-lames est le paramètre qui conditionne le plus directement la longueur de rivage protégée.

La longueur du brise-lames est liée à deux autres longueurs qui sont la distance à la plage et la longueur d'onde de la houle. Selon les auteurs, différentes formules sont proposées pour choisir la longueur globale à donner à un brise-lames.

$$L > 1.2 (D + 0.3\lambda) \quad (2)$$

Qui correspond à la relation qui est en accord avec le fait que la formation des tombolos dépend de la distance relative et de la longueur d'onde relative au pied de l'ouvrage (λ).

b) La distance D à la ligne de rivage :

La distance à la cote doit être choisie à ce que la houle incidente annuelle déferle en deca du brise-lame. Le LCHF recommande une relation simplifiée ne faisant pas intervenir la longueur d'onde/

$$0.6 D < L < 1.2 D. \quad (3)$$

c) Longueur relative des brise-lames :

Il n'y a formation d'un tombolo derrière un brise-lames que si sa longueur relative par rapport à sa distance à la côte est suffisamment grande :

$$\frac{L}{D} \geq a \quad (3)$$

d) L'espace entre les brise-lames :

Pour une longueur globale donnée, une série de brise-lames peut avoir une efficacité aussi intéressante qu'une brise lame vis à vis de la protection du littoral, tout en limitant les risques de formation de tombolos.

En considérant que la limite d'expansion de la houle se situe sur la ligne de rivage, J.

Charpentier préconise la formule :

$$E < 0.83 D + 1/2L \quad (4)$$

1.3. Conception :

1.3.1. La côte d'arase :

Correspond à la hauteur d'ascensions (Z) de l'ouvrage et donnée par la formule d'Hudson suivante :

- Hauteurs d'ascensions :

$$Z = 0.67 \cdot HD \cdot I_r^{0.51} \cdot \sqrt{\frac{\ln(P)}{2}} \quad (5)$$

- Paramètres d'Iribarenne :

$$I_r = \frac{\tan(\infty)}{\sqrt{\frac{H_d}{L}}} \quad (6)$$

- Longueur d'onde de la houle au large :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (7)$$

Avec :

- P : Probabilité de franchissement.
- ∞ : Pente du talus de la carapace avec l'horizontale.
- T : Période de la houle.
- g : accélération de la pesanteur $m \cdot s^{-1}$.

HD : Corresponds à la hauteur de la houle de projet obtenue à l'aide de la simulation sur Mike 21 avec les houles cinquantennales (houle de tempête de fréquence), les résultats permettent d'avoir une hauteur d'ouvrage assez importante pour éviter le franchissement.

1.3.2. Carapace :

La carapace est certainement celui qui a fait l'objet des études les plus approfondies. Toutefois, son comportement sous l'action de la houle n'est pas totalement connu et bien des incertitudes subsistent.

- Masse médiane de la carapace (Formule d'Hudson) :

$$m_{50} = \frac{HD^3 \times \rho_s}{k_D \times \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3 \times \cot \text{Tng}(\alpha)} \quad (8)$$

- ρ_s : masse volumique des matériaux en kg/m^3 .
- ρ_w : masse volumique de l'eau en kg/m^3 .

1.3.3. Sous-couche :

$$\frac{m_{50(\text{sous-couche})}}{m_{50(\text{carapace})}} = \frac{1}{10} \text{ a } \frac{1}{15} \quad (9)$$

1.3.4. Epaisseur :

Epaisseur des couches et des sous-couches en mètres :

$$e = n \times c \times m_{50}^{1/3} \quad (10)$$

- n : Nombre de rangées
- c : Coefficient de couche dépendant de la forme des blocs 1.15 pour les enrochements.
- m_{50} : Volume des blocs en tonne.

1.4. Description de la variante 01 :

Il a été proposé dans notre cas six brise-lames d'une longueur de $L=150\text{m}$ espacés entre eux d'une largeur de $E=85\text{m}$ et implantés à une distance de $D=100\text{m}$ du trait de côte, soit en moyenne à une profondeur entre (-2.5m) et (-3.5m) , le long des 2000m de linéaire de la plage de Verte Rive, orientés vers les houles les plus fréquentes et menaçants soit de secteur Nord.

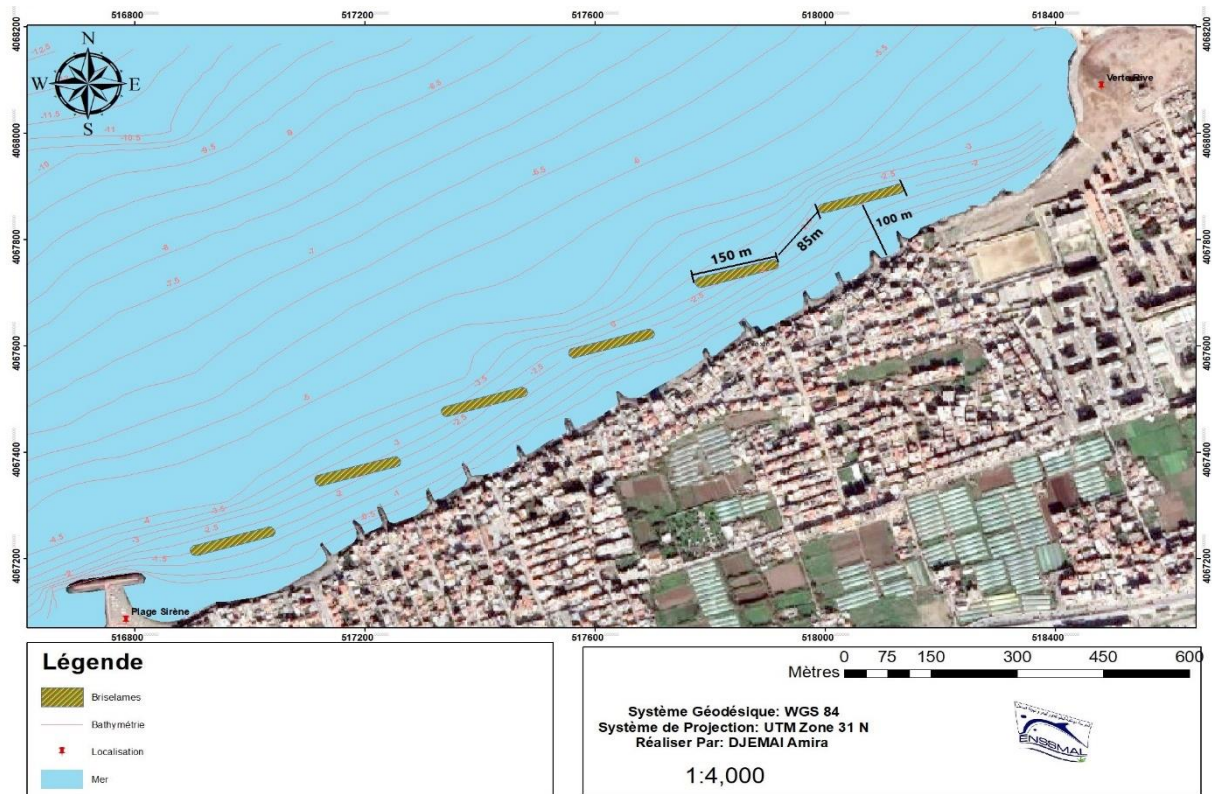


Figure IV.1 : Carte représentative de la première Variante des Brise-lames.

Les six brises lames seront constitués de : (voir figure IV.2)

- Un noyau en TVC de type 0-500Kg arasé à +1.20m, ayant une largeur de crête de 6m et une pente de 3/2.
- Une sous-couche d'enrochement de 0.5-2T ayant une épaisseur de 1.70m côté extérieure et une sous-couche d'épaisseur de 0.85m côté intérieur, la cote d'arase est à +2.45 avec une pente de 3/2.
- Une carapace d'enrochement de 3-5T côté mer, ayant une épaisseur de 2.60m, et d'enrochement de 1-3T d'épaisseur de 2.20m côté terre, la cote d'arase est à 2.45m avec une pente de 3/2

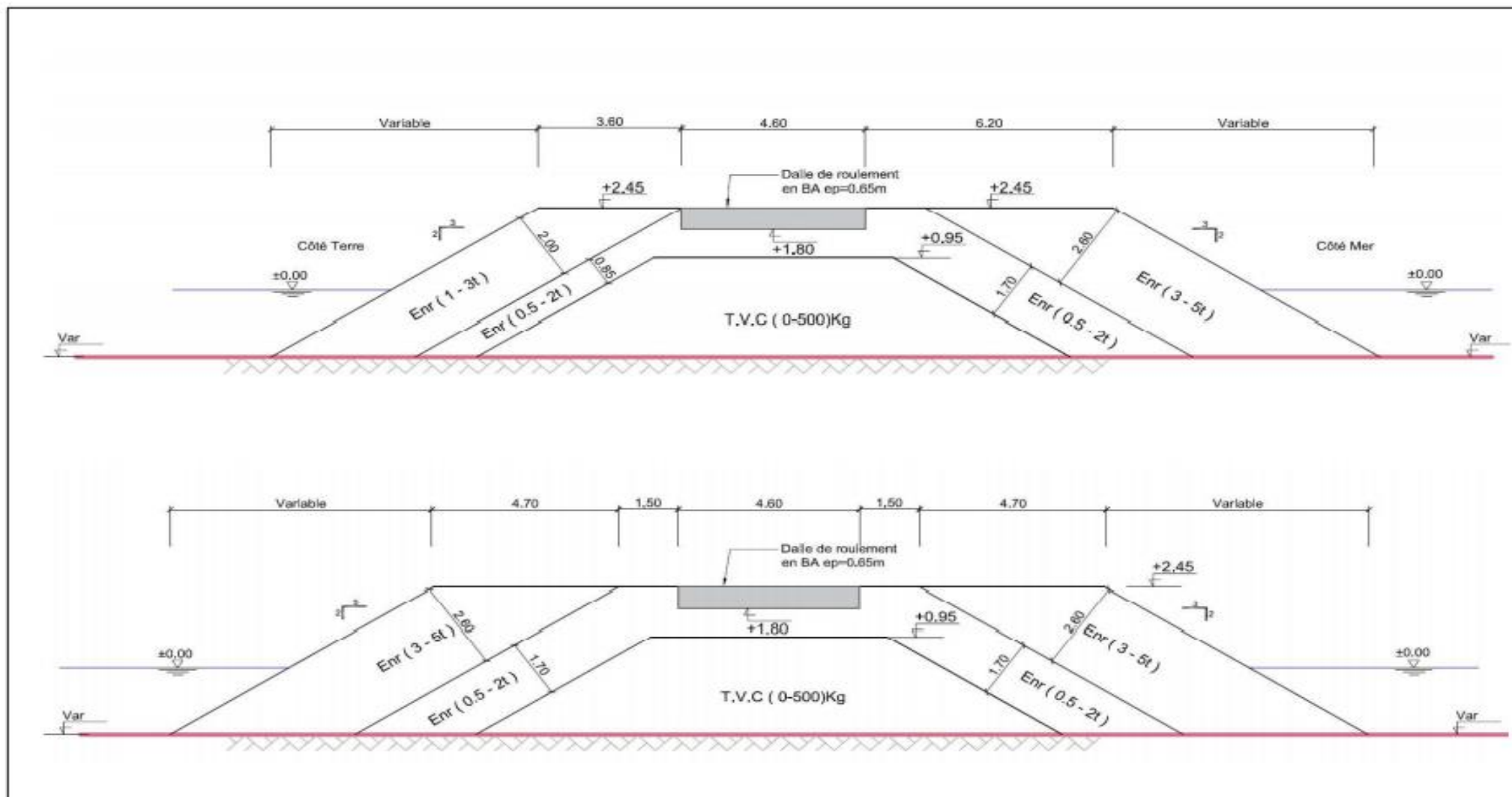


Figure IV.2 : Profil courant du brise-lame.

1.5. Vérification sur le modèle numérique :

La variante 1 a été vérifiée en termes d'efficacité de dissipation de l'énergie de la houle et piégeage des sédiments sous Mike 21. Les Ouvrages ont été intégrés dans la grille de calcul en prenant compte des dimensionnements calculés, Avec les mêmes étapes spécifiées dans le chapitre précédent.

Résultats cartographique des simulations :

a) Réfraction de la houle :

_ Pour la houle incidente N°360 :

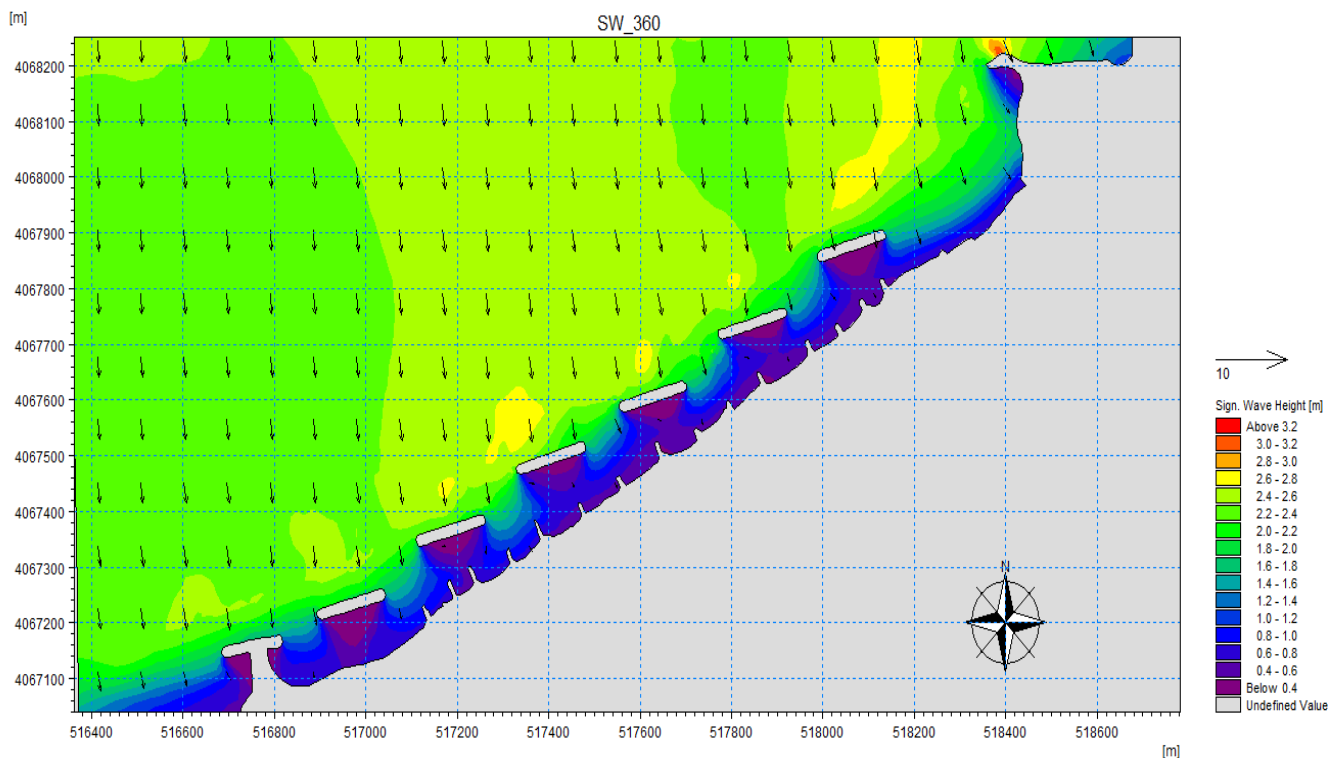


Figure IV.3 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°315 :

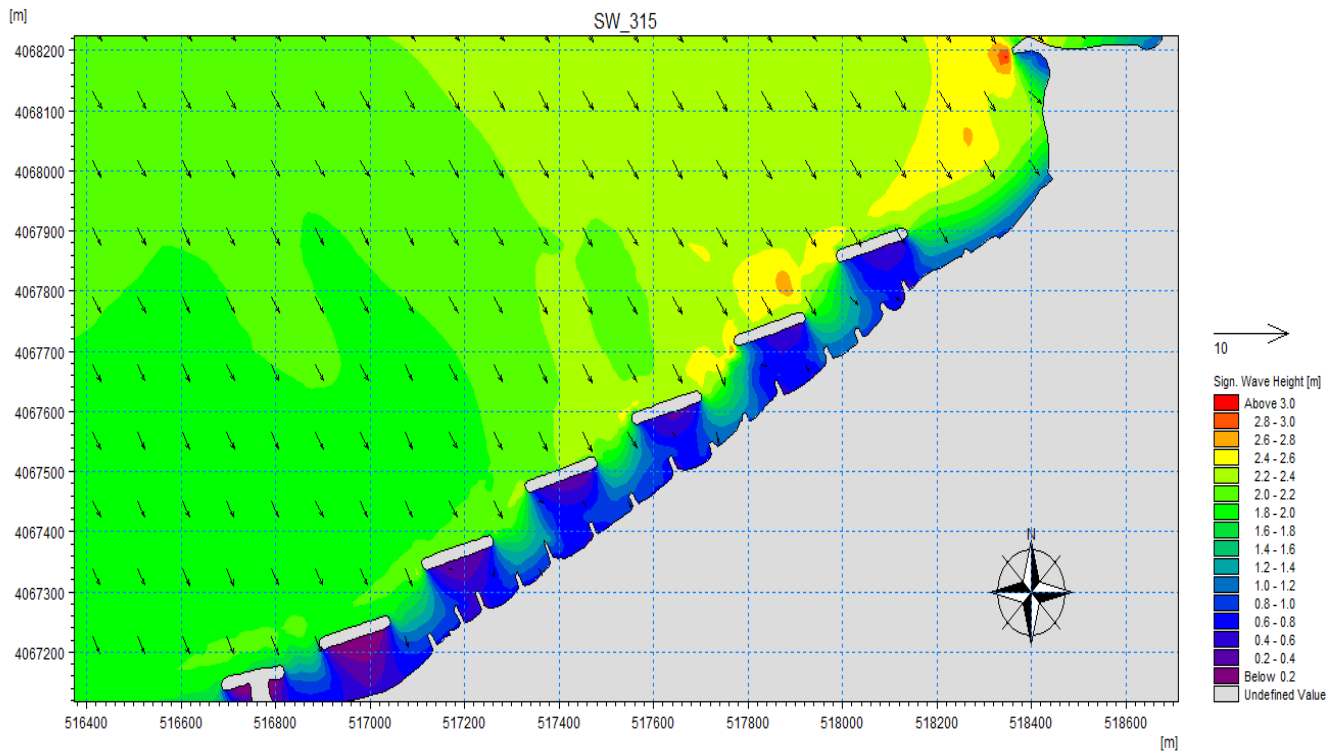


Figure IV.4 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°45 :

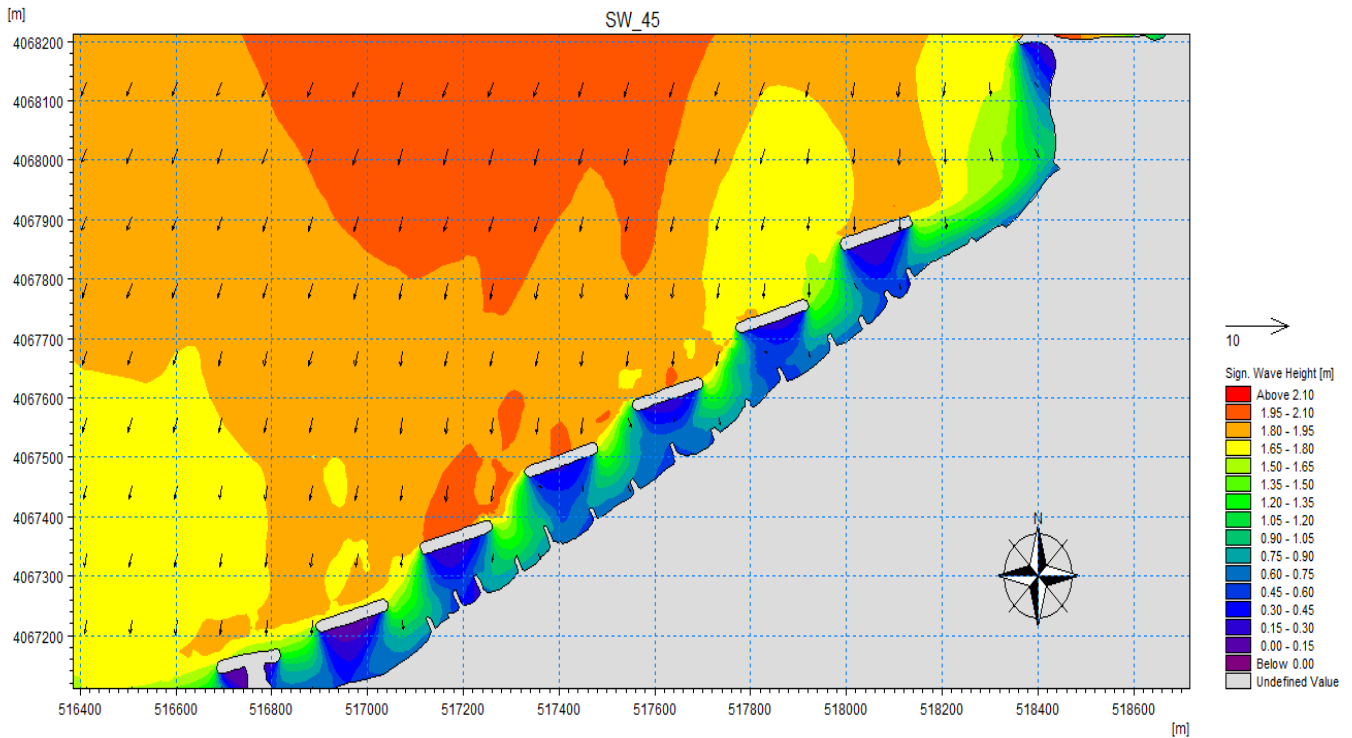


Figure IV.5 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d’une batterie de Brise-lames.

b) La Courantologie :

- Pour la houle incidente N°360 :

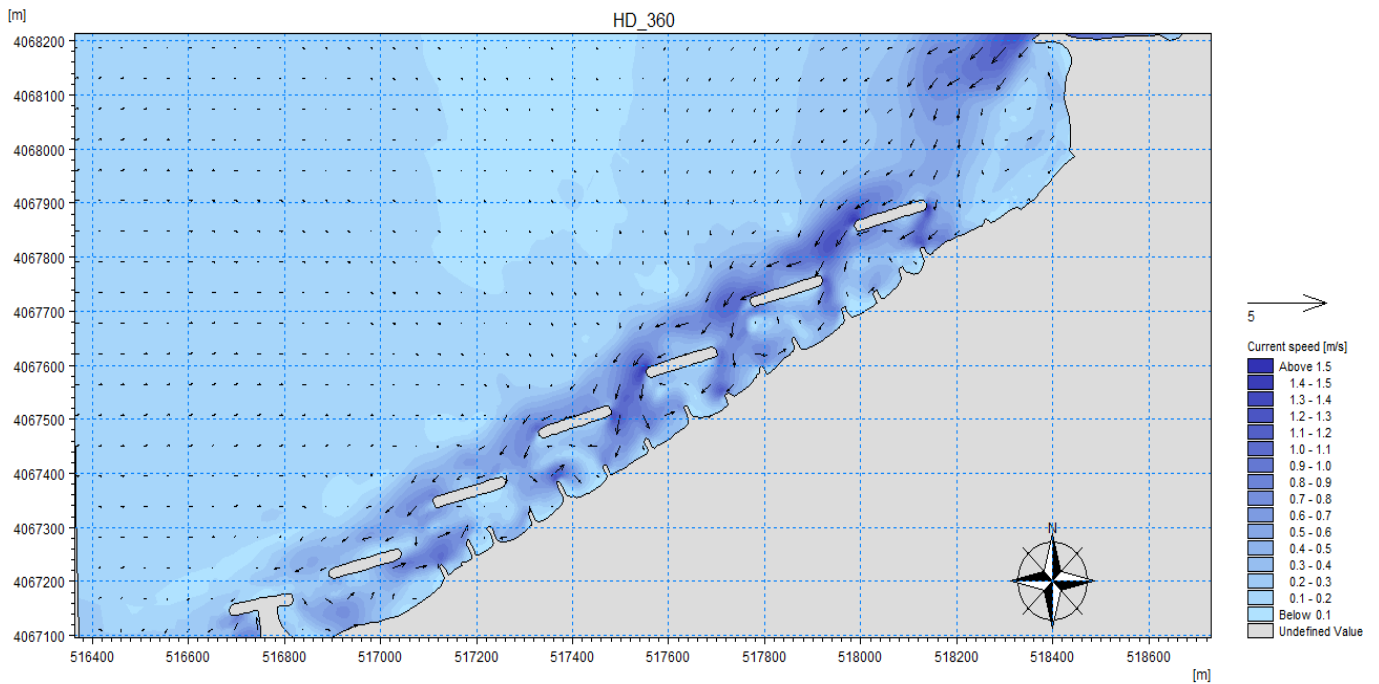


Figure IV.6 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d’une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°315 :

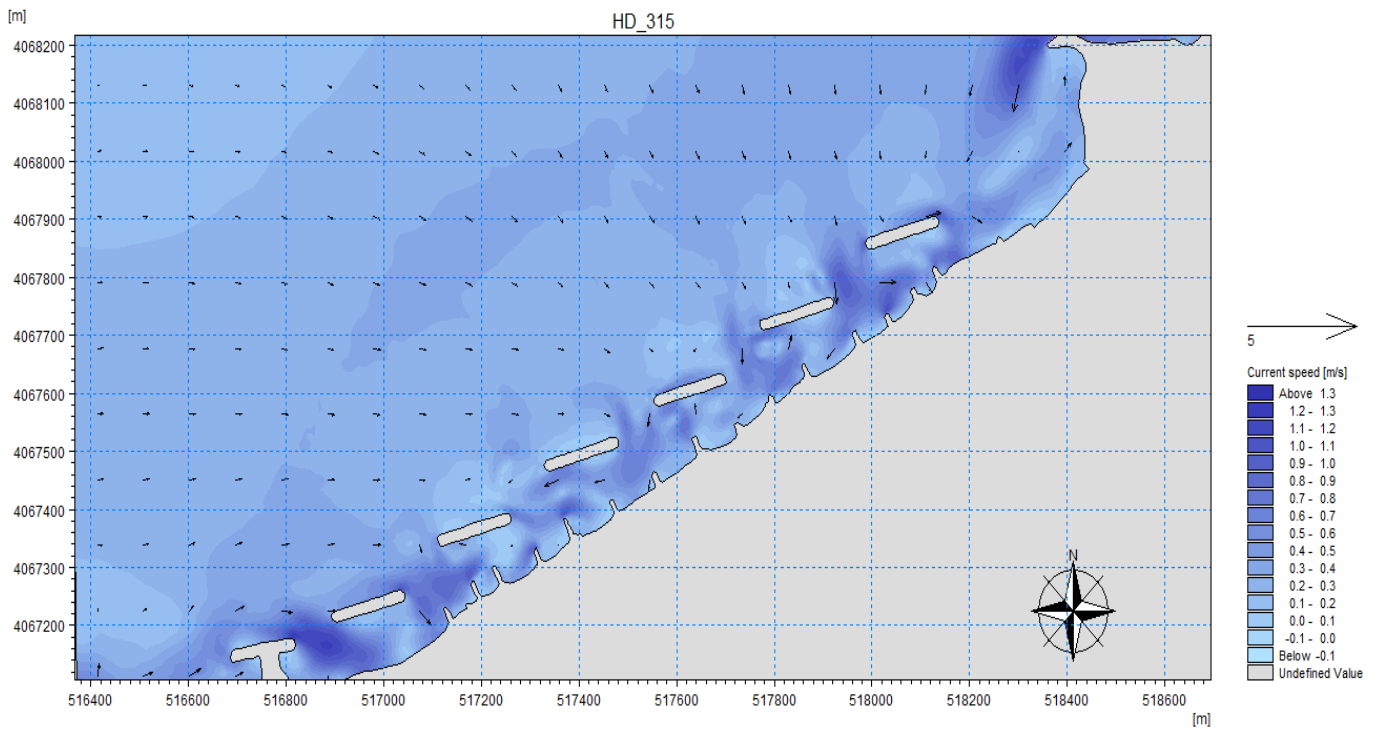


Figure IV.7 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°45 :

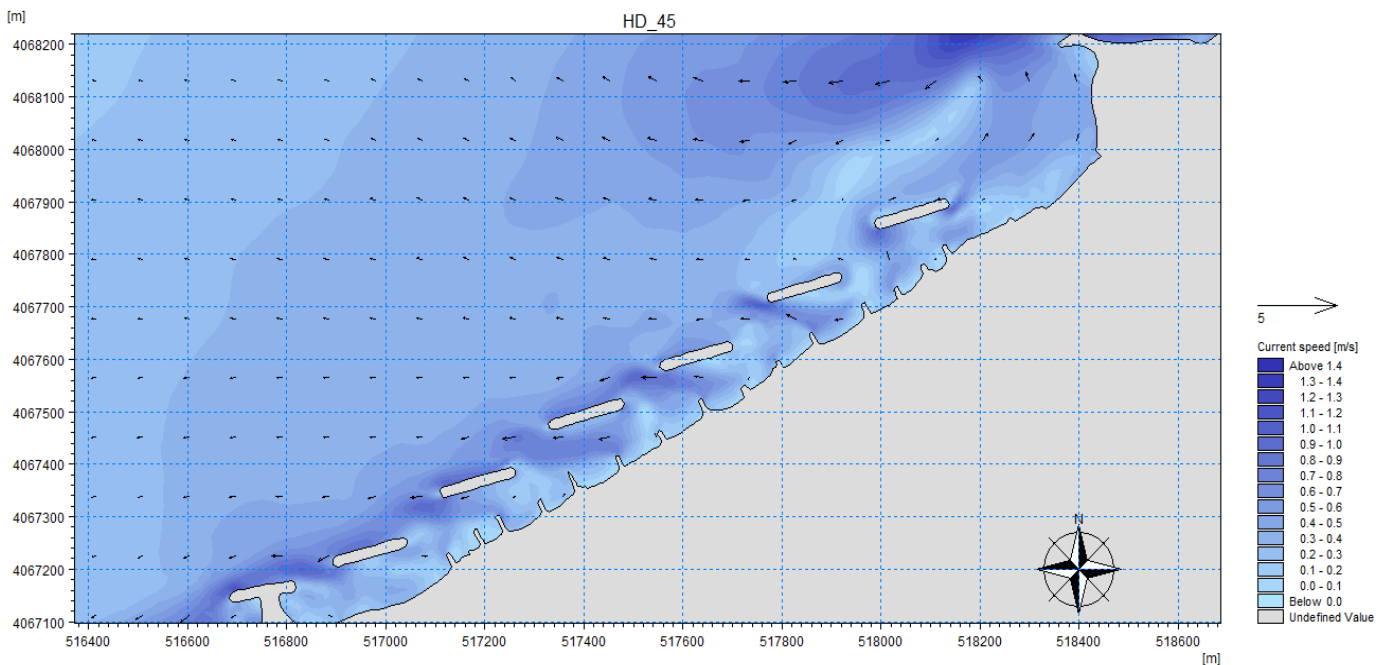


Figure IV.8 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

c) Résultats du transport sédimentaire :

- Pour la houle incidente N°360 :

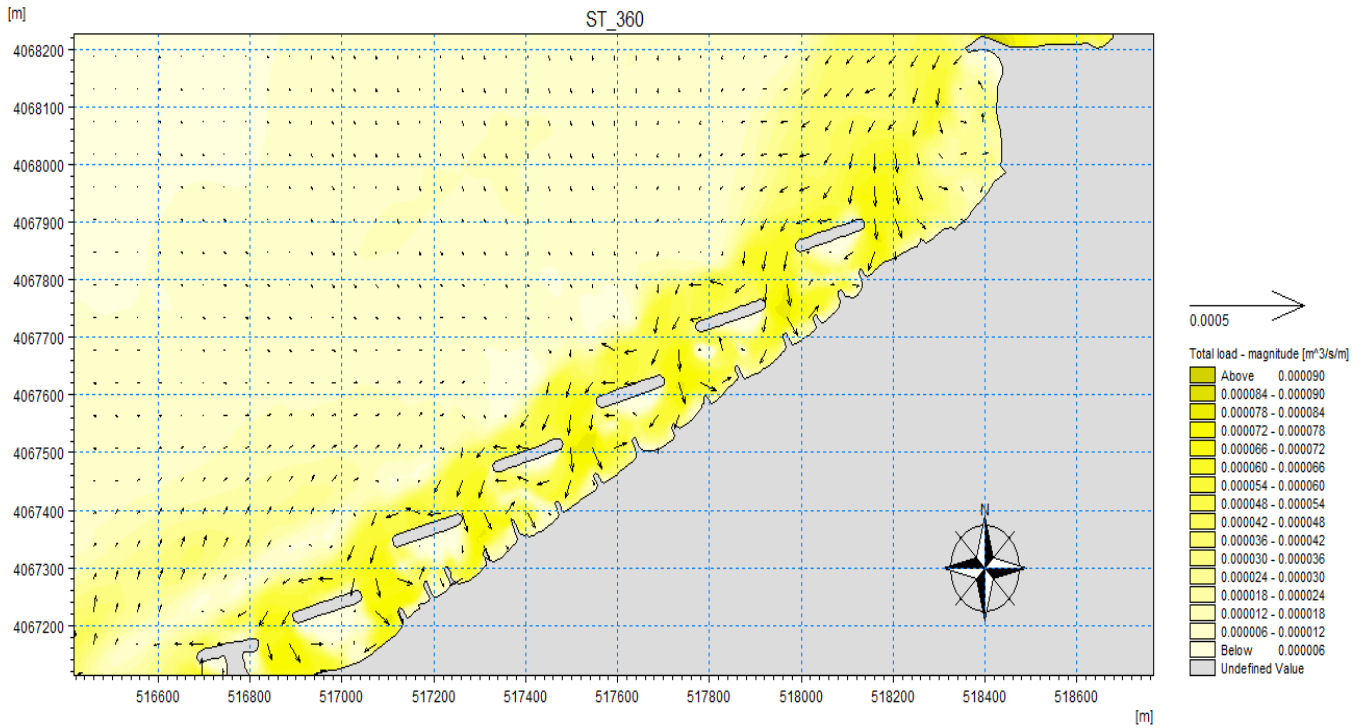


Figure IV.9 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°315 :

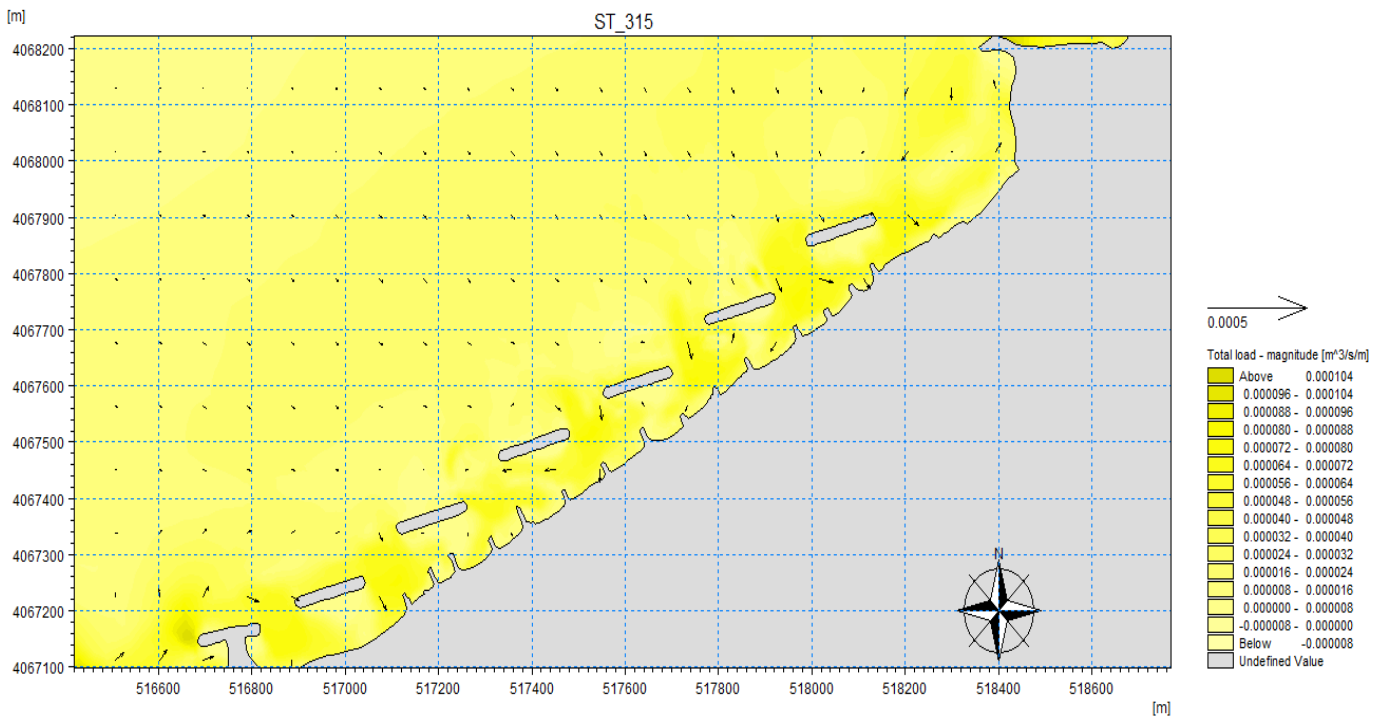


Figure IV.10 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

- Pour la houle incidente N°45 :

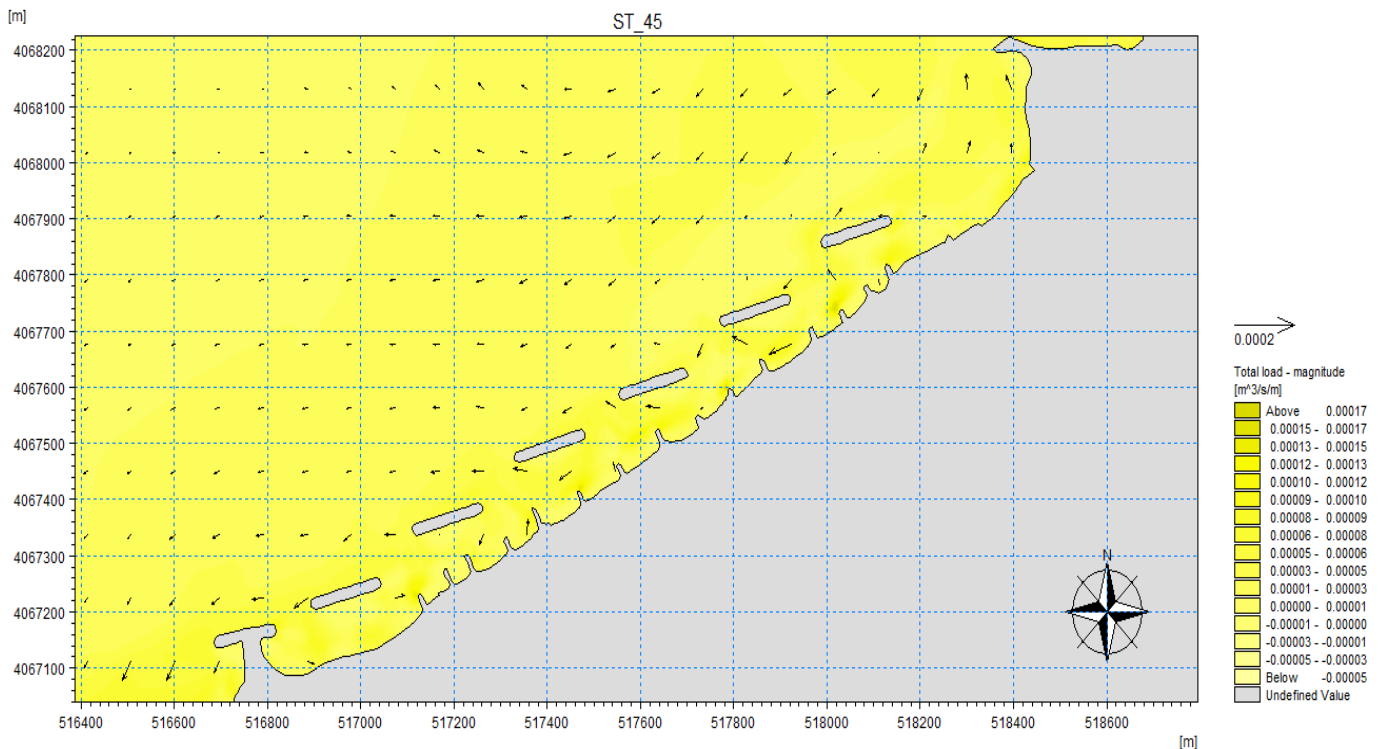


Figure IV.11 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames.

d) Commentaire :

- Pour la réfraction de la houle (SW) :

On remarque clairement que la série des brise-lames a une efficacité importante dans l'atténuation de l'énergie de la houle. Les houles dans les trois secteurs se voient être grandement diminuer avec une hauteur significative entre 1.8 et 1.5m à l'amont de l'ouvrage et entre 0.2m et 0.8m de hauteur de la houle à l'arrière de l'ouvrage.

- Pour la courantologie (HD) :

On remarque dans les trois directions ont une atténuation de vitesse des courants par rapport à l'état initial à l'arrière de l'ouvrage qui atteint 0.8m/s dans les directions N°360 et N°315 en gardant le même sens du courant avec une formation de mini tourbillons à l'arrière de l'ouvrage.

- Pour le transport sédimentaire (ST) :

On remarque la présence des mêmes mini tourbillons des courants à l'arrière de l'ouvrage qui sont causés par l'entrée des sédiments au niveau des espacements entre les brise-lames, on voit clairement la présence des zones de dépôt derrière l'ouvrage.

2. Variante 02 : Batterie d'épis en « L » :

2.1. Objectifs et fonctionnement :

Un épi est un ouvrage en enrochement relativement court qui avance dans la mer depuis la plage et dont la fonction principale est d'interrompre le transit littoral de sédiments afin de

constituer ou de retenir des plages à un niveau plus élevé (et souvent, par-là même, de protéger un ouvrage de défense contre la mer existant).

Les épis sont adaptés sur des littoraux soumis à un transit littoral important, ce qui est le cas pour le site du « Verte Rive » ou comme on l'a vu dans le volet étude hydro-sédimentaire dans ce rapport la résultante du transit littoral est presque nulle entre les transits Sud-Ouest (LEM, 2018).

Les épis vont engendrer naturellement une accrétion au vent du transit littoral et une érosion sous le vent du transit littoral. Cependant, la longueur des ouvrages influencent ces phénomènes d'avancée ou de recul de plage.

2.2. Dimensionnement :

- La longueur :

La longueur des épis est essentiellement déterminée par le degré d'interruption du transport littoral souhaité, par le type de profil de plage recherché et par la nouvelle ligne de rivage attendue.

D'après les travaux du CERC, une corrélation a été établie entre la profondeur d'eau au musoir de l'épi par rapport au niveau moyen des basses mers. Et le pourcentage du transport sédimentaire interrompu.

Tableau IV.1 : Efficacité des épis en fonction de leur longueur.

Profondeur au musoir	0m à 1.2m	1.2m à 3.0m	>3.0m
Épis hauts	50% du transit	75% du transit	100% du transit
Épis bas		50% du transit	75% du transit

- Espacement des épis :

L'espacement entre deux épis consécutifs dépend de l'obliquité de la houle dominante. Entre deux épis, la ligne de rivage tend vers un équilibre dans lequel elle est parallèle aux crêtes des houles dominantes.

En notant α l'angle entre la direction de propagation de la houle dominante et la normale à la plage, qui est aussi celui entre les lignes de crêtes de la houle dominante et le trait de côte, A la distance entre la racine de l'épi et le trait de côte moyen recherché, la longueur L de l'épi, et l'espacement E entre deux épis doivent vérifier la relation suivante, obtenue à partir d'une approche théorique simplifiée.

$$E < (L - A) \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (11)$$

2.3. Description de la variante 02 : Batterie de cinq épis en « L » :

Les épis en « L » de 115m de longueur espacés de 220 mètres, a -2m de profondeur orienté vers le transit dominants afin d'avoir une efficacité d'un épi à celle de la moitié d'un brise-lame (Voir figure IV.12).

Profil musoir et profil courant côté mer :

- Un noyau en tout venant de carrière TVC (0-500kg) arasé a +1m.

- Une sous couche en enrochement naturels de catégorie (0.5-2t) avec une épaisseur de 1.70m et une pente 3/2.
- Une carapace en enrochement naturels de catégorie (3-5t) avec une épaisseur de 2.60m et une pente de 3/2 arasée à 3.30m.

Profil courant côté intérieur :

- Un noyau en tout venant de carrière TVC (0-500kg) arasé a +1m.
- Une carapace en enrochement naturels de catégorie (200-500kg) avec une épaisseur de 1.95m et une pente de 3/2.
- Cet épi est également constitué d'une dalle de roulement en béton armé, de 0.65m d'épaisseur et de 7m de large.

Profil courant de la promenade :

- Un noyau en tout venant de carrière TVC (0-500kg) arasé a +1m.
- Une carapace en enrochement naturels de catégorie (200-500kg) avec une épaisseur de 1.95m et une pente de 3/2.
- Cet épi est également constitué d'une dalle de roulement en béton armé, de 0.65m d'épaisseur et de 7m de large.

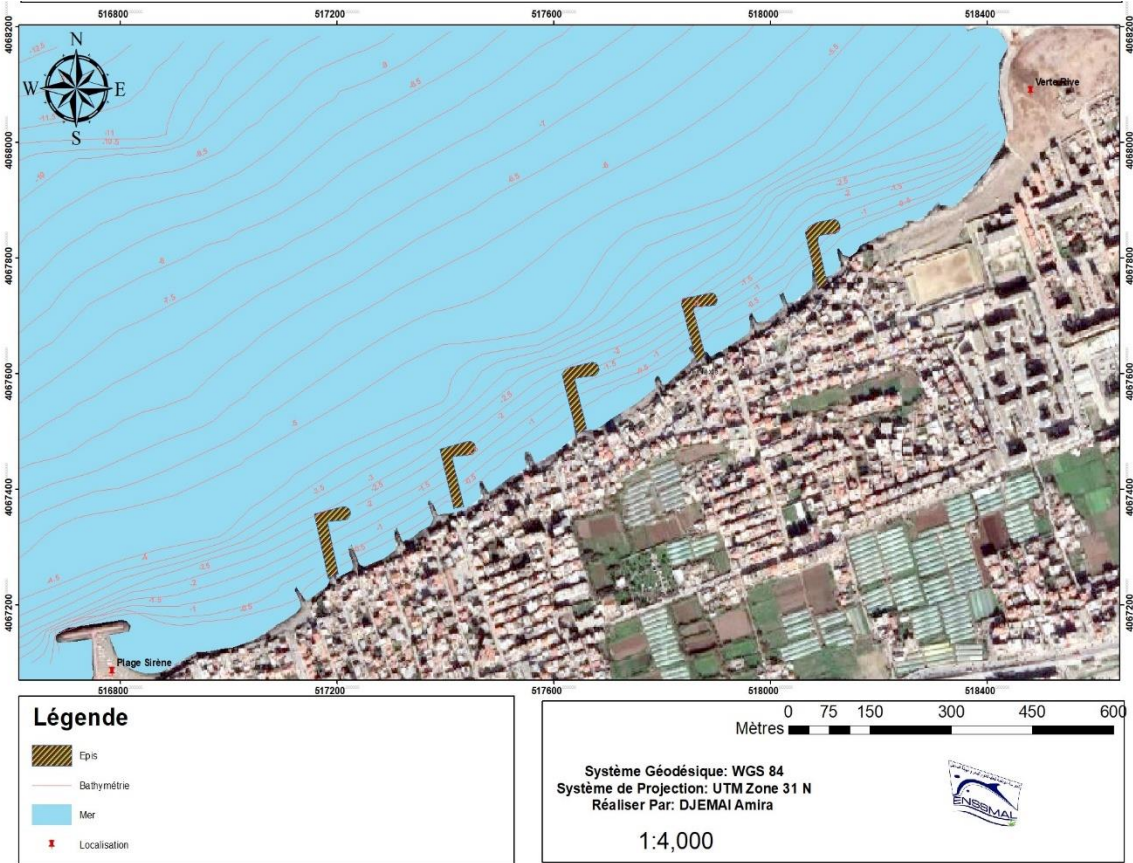


Figure IV.12 : Carte représentative de la deuxième variante des épis.

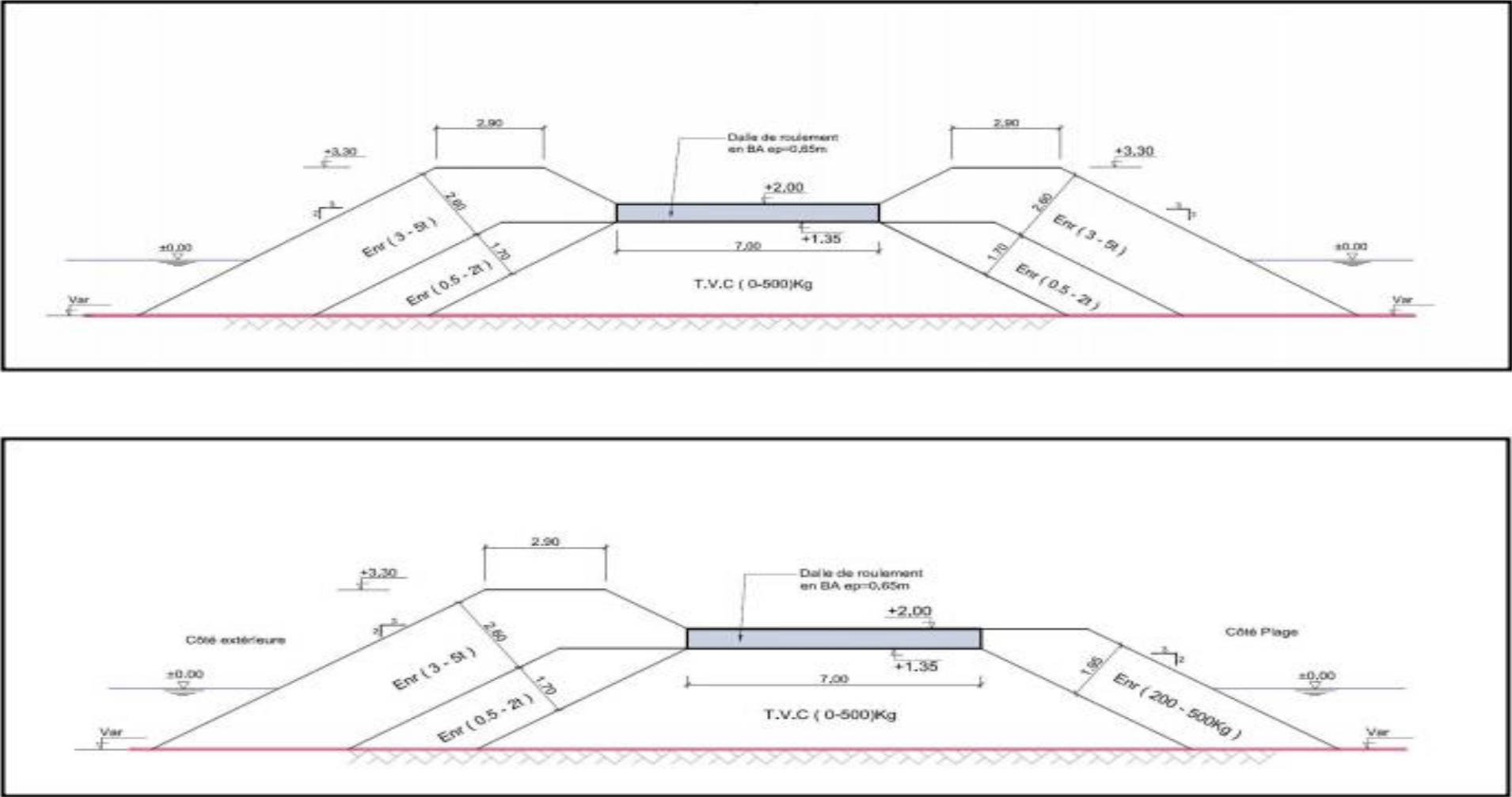


Figure IV.13 : Profil musoir épi.

2.4. Vérification sur le modèle numérique :

La variante 2 a été vérifiée en termes d'efficacité de dissipation d'énergie de la houle et piégeage des sédiments sous Mike 21. Les Ouvrages ont été intégrés dans la grille de calcul en prenant compte des dimensionnements calculés, Avec les mêmes étapes spécifier dans le chapitre précédent.

Résultats cartographique des simulations :

a) Résultats de la réfraction de la houle :

- Pour la houle incidente N°360 :

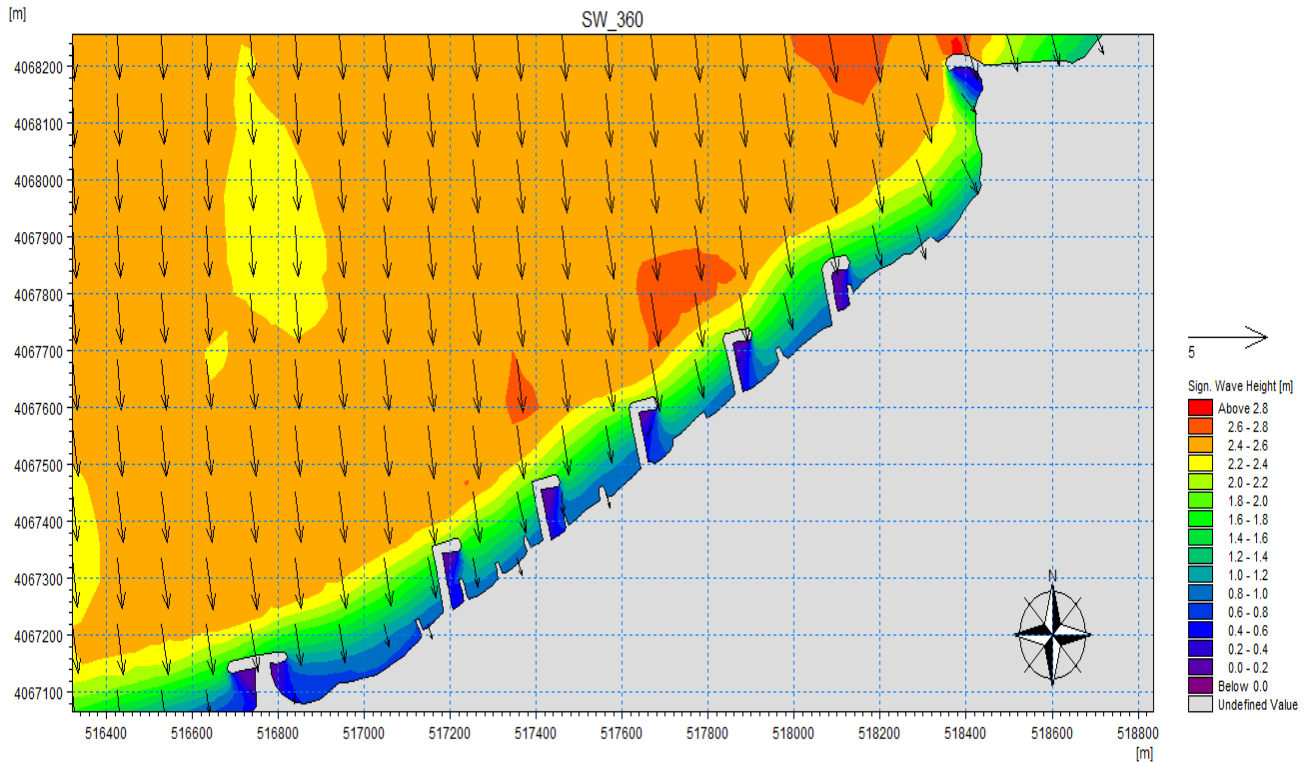


Figure IV.14 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°315 :

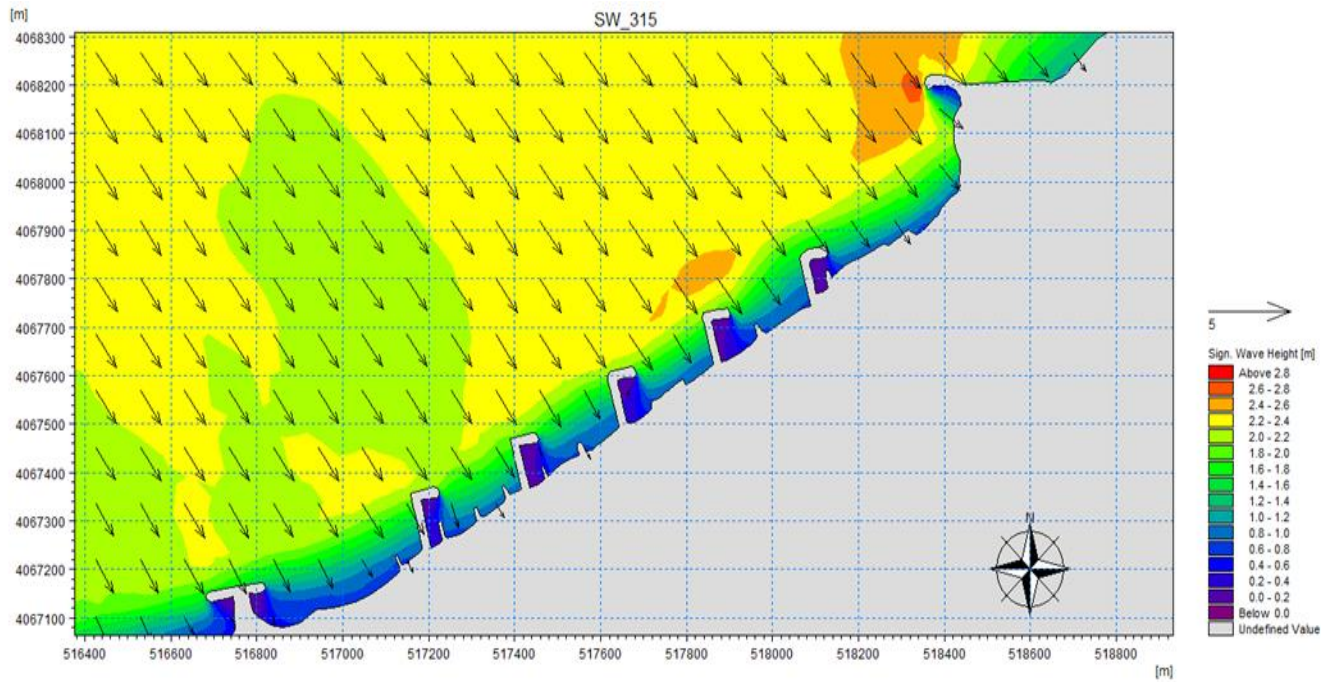


Figure IV.15 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°45 :

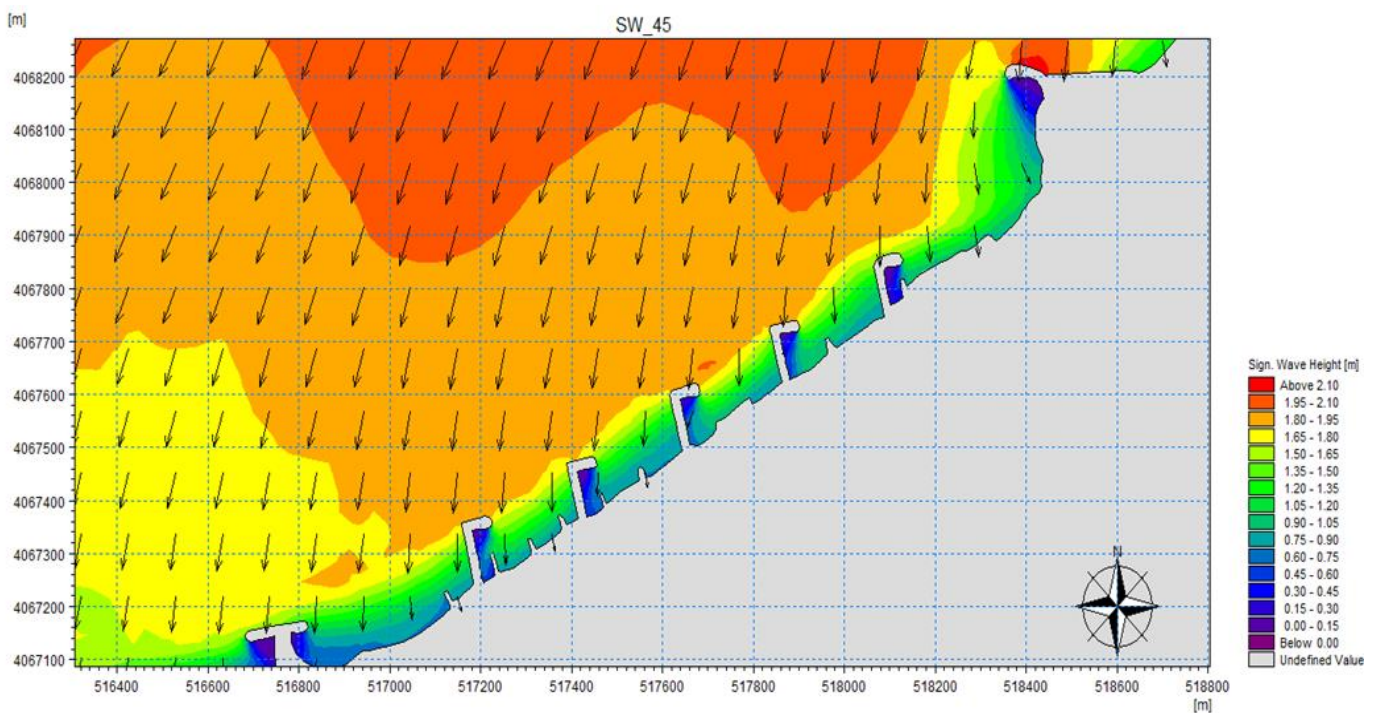


Figure IV.16 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

b) La courantologie :

- Pour la houle incidente N°360 :

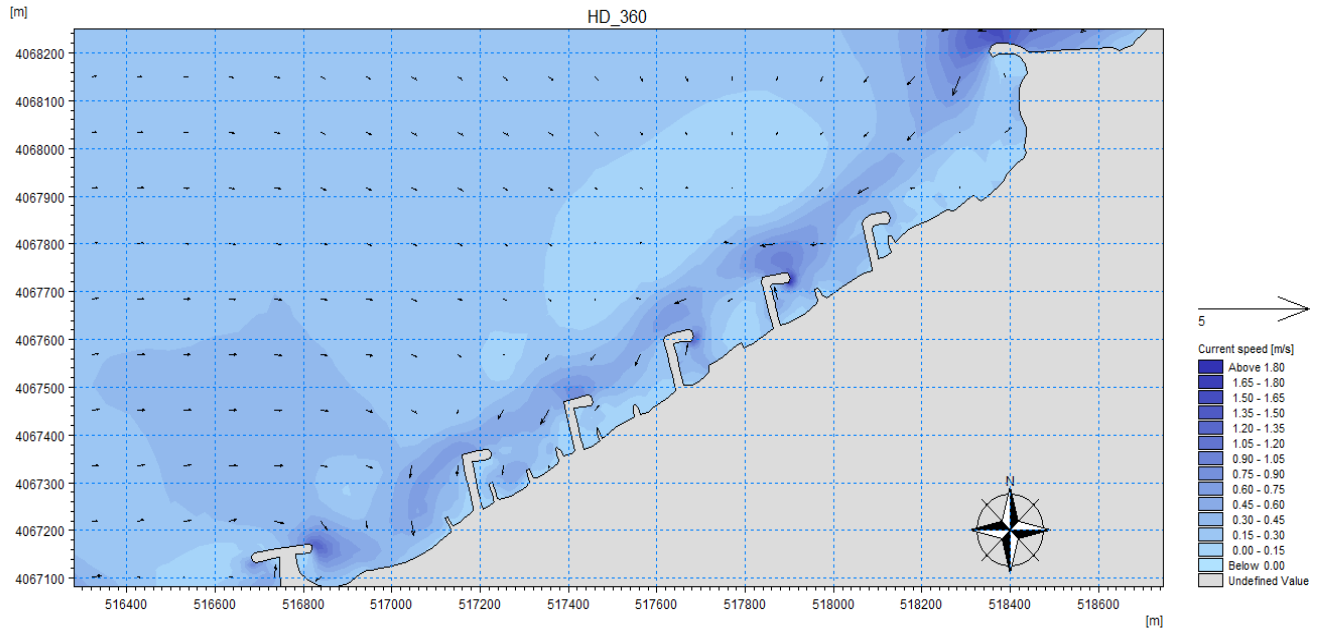


Figure IV.17 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°315 :

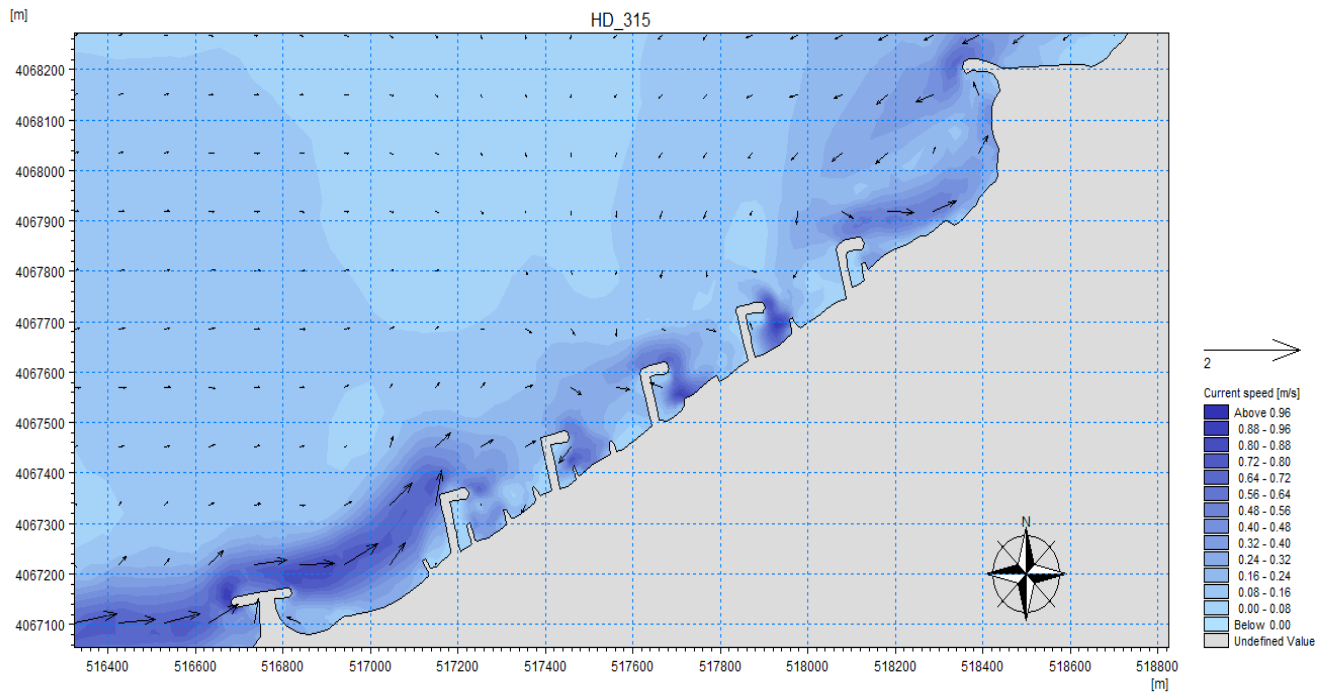


Figure IV.18 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°45 :

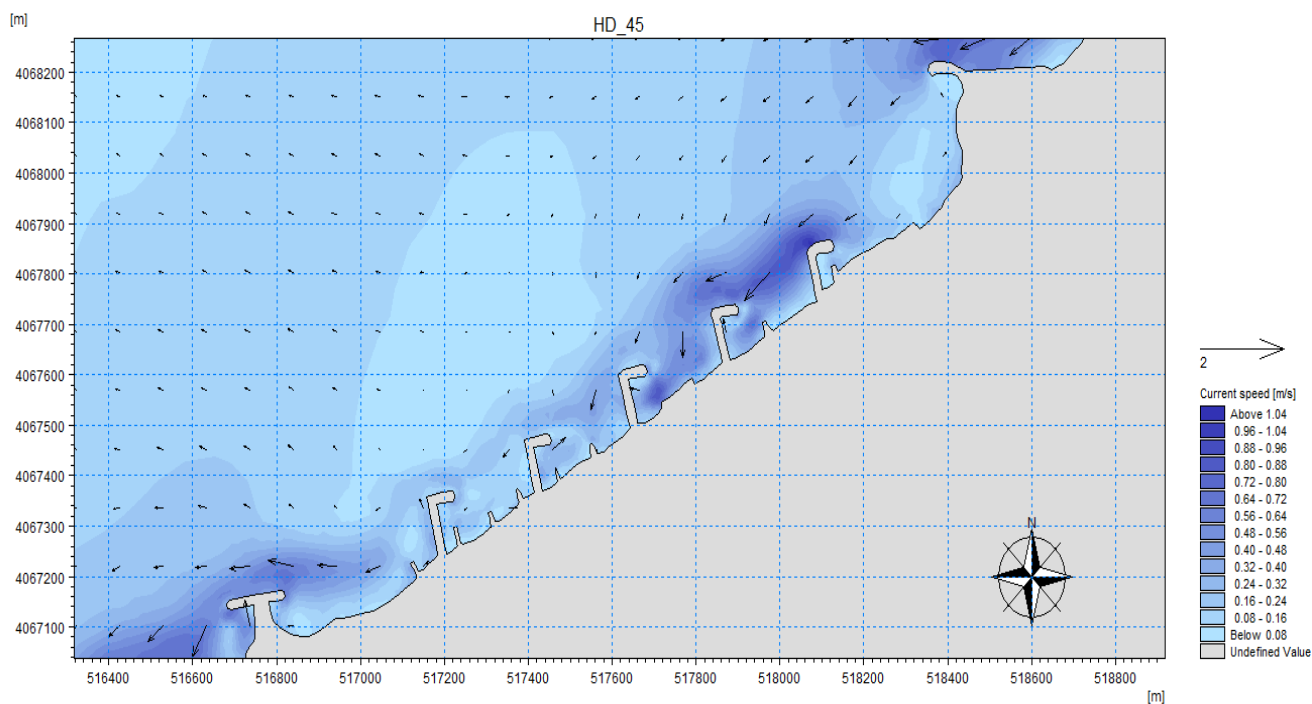


Figure IV.19 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

c) Résultats du transport sédimentaire :

- Pour la houle incidente N°360 :

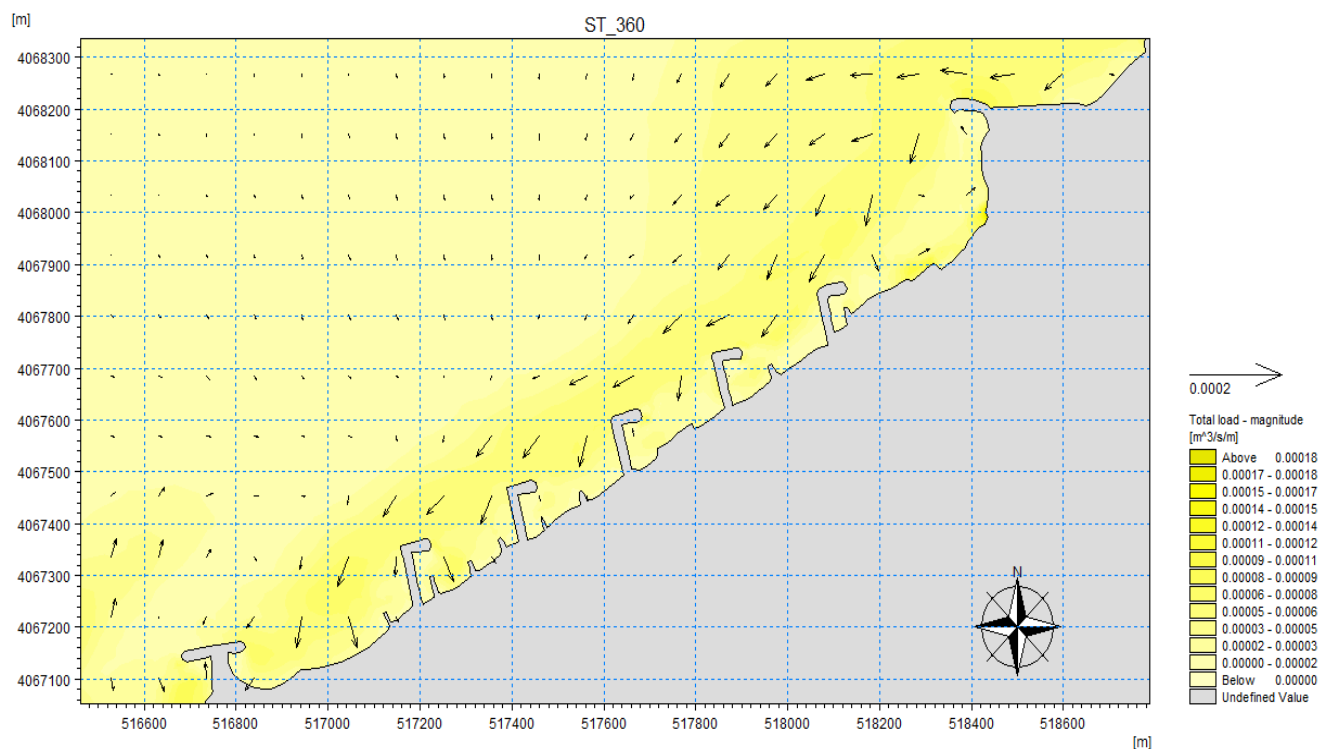


Figure IV.20 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°315 :

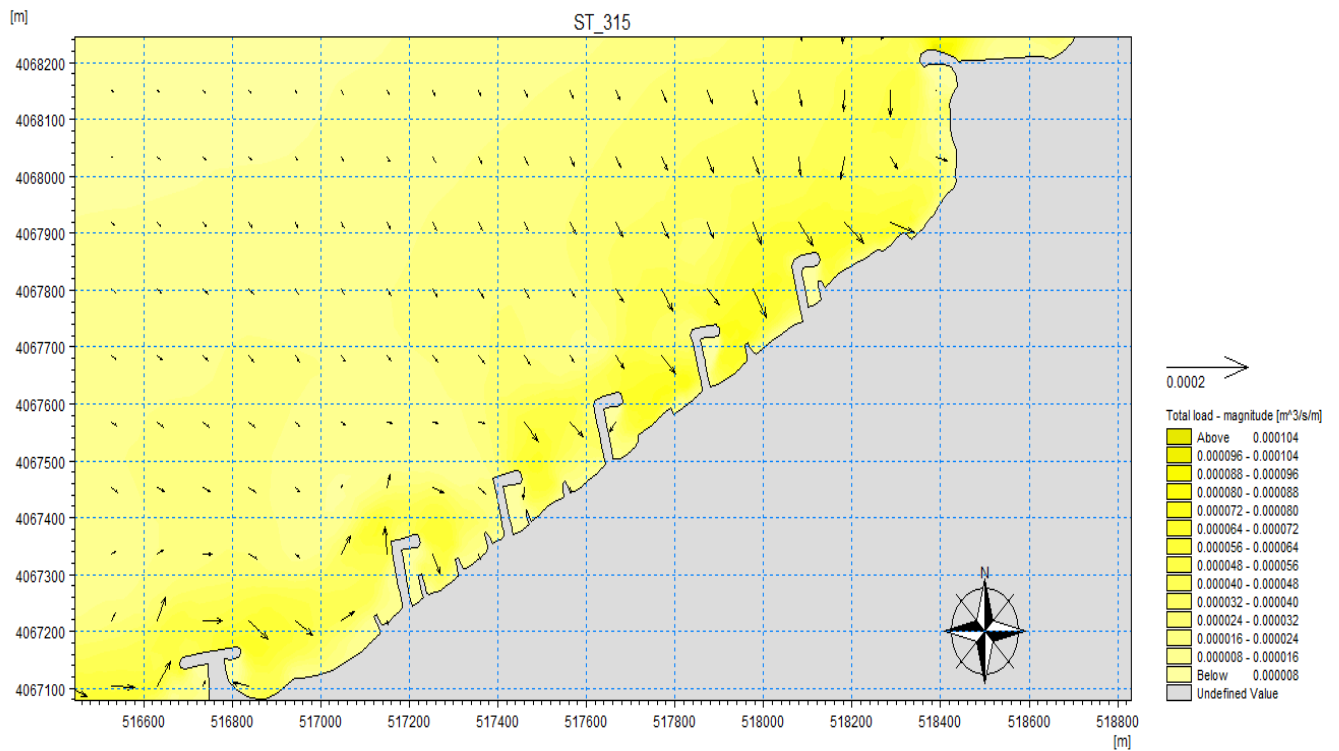


Figure IV.21 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

- Pour la houle incidente N°45 :

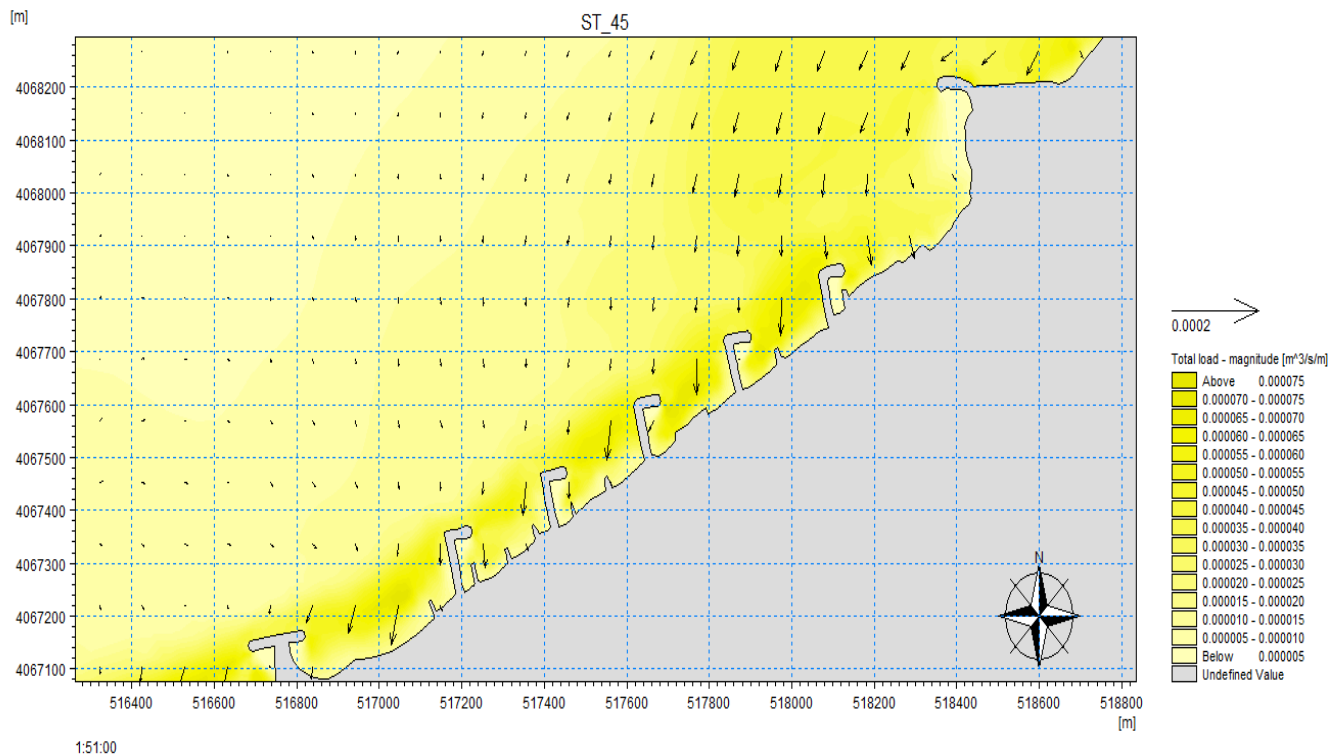


Figure IV.22 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

d) Commentaire :

- Pour la réfraction de la houle (SW) :

On remarque clairement que la diminution de l'énergie de la houle commence avant son arrivée à l'ouvrage qui passe de 2m à 1.2m avec une intensité faible à l'amont de l'ouvrage où il y'a la présence des petites zones calmes dans les trois directions du Nord à l'intérieur des épis en « L ».

- Pour la Courantologie (HD) :

Il est très remarquable qu'il y'a une atténuation des courants longitudinaux dans la zone des épis dans les trois directions jusqu'à une moyenne de 0.30m/s donc une faible régénération de l'eau contrairement à la Variante des brise-lames.

- Pour le transport sédimentaire (ST) :

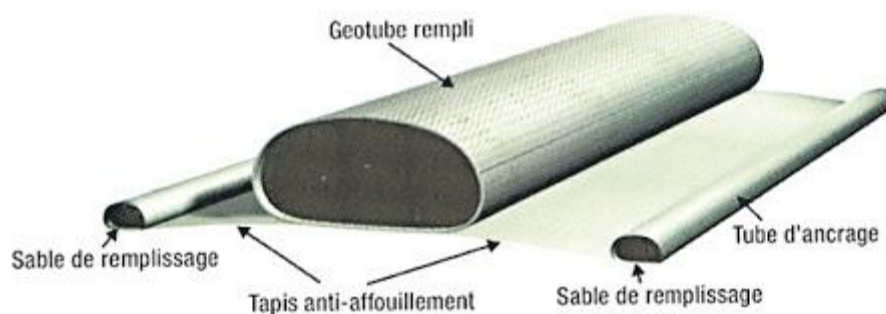
On remarque la présence des zones de dépôts au niveau de l'amont des épis en « L » où le transport sédimentaire dans cette partie atteint $0.00009\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ avec des entrées de sédiments au niveau de l'ouverture.

3. Variante 03 : Batterie des six brise-lames en géotextile

3.1. Objectifs et fonctionnement :

L'utilisation des géotextiles pour la protection du littoral suit les techniques déjà mise en place pour les protections classiques en enrochements (brise-lames, épis, perrés) (FARNOLE et Lebunetel, 2011).

Les géotubes sont de longues structures tubulaires remplies par injection hydraulique directement sur le site. Considérée comme une solution légère, économique et réversible (Koffler et al. 2009), elle consiste à pomper du sable à l'aide d'une drague et à remplir les tubes posés sur un tapis anti affouillement. Le remplissage des tubes se fait au niveau des cheminées raccordées à la pompe dont le débit doit être contrôlé et selon un protocole préétabli. Cette étape très délicate doit tenir compte des caractéristiques du géotextile, de la granulométrie et du comportement physique du sédiment injecté dans le tube. L'objectif consiste à atteindre une forme de l'enveloppe qui réponde au dimensionnement préétabli (Farnole, Lebunetel, 2011).



TAPIS ANTI-AFFOUILLEMENT UTILISÉ CONJOINTEMENT AVEC GEOTUBE

Figure IV.23 : Schéma de principe de brise-lames en géotextile.

3.2. Dimensionnement :

De manière générale, le dimensionnement des tubes s'effectue en termes de géométrie de l'ouvrage (longueur, largeur et hauteur) et en fonction des contraintes hydrodynamiques auquel il doit résister.

En gardent le même dimensionnement de longueur, largeur et espacement proposés dans les premières variantes des brise-lames avec une hauteur de 1.5m du tube en géotextile.

Pour une batterie de brise lames (dans notre cas en géotextile), l'écartement entre brise lames est un facteur essentiel. Il n'y a pas de lois bien établies, cependant il existe quelques principes généraux dans le cas d'un brise-lames implanté dans la zone de déferlement.

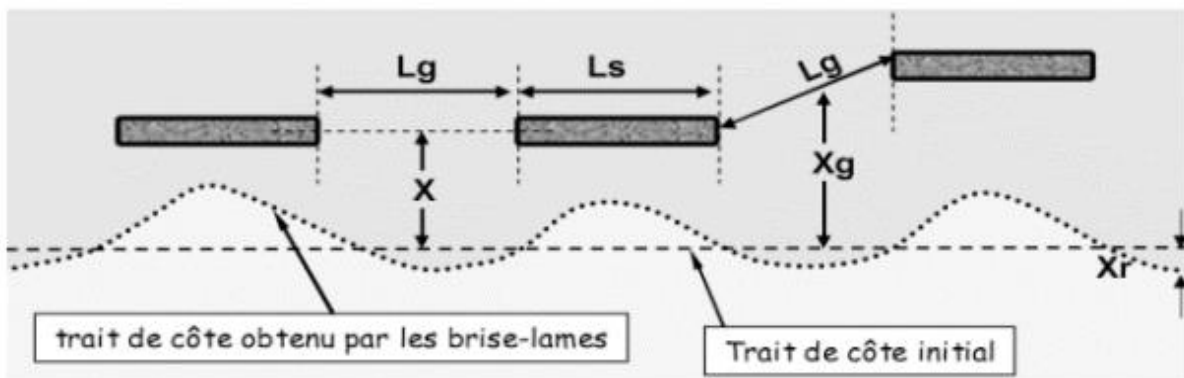


Figure IV.24 : Description des éléments d'effet de brise-lames, (D'après J. Viguier 2002).

- L_s : longueur du brise-lames (m),
- L_g : longueur d'ouverture entre 2 brise-lames,
- X : distance entre brise lames, et le trait de côte initial,
- X_g : distance entre le centre de l'ouverture et le trait de côte initial ($X_g = X$ si les brise-lames sont alignés),
- X_r : recul du trait de côte face à l'ouverture entre deux brise-lames.

Il existe une influence de la longueur de brise lames sur la formation du dépôt de sédiments, dénommé tombolo qui se forme derrière le brise lames et qui va dépendre essentiellement du rapport L_s/X :

- Pour $L_s / X \geq 1 \Rightarrow$ le tombolo se rattachera au brise lames au fur et à mesure que le rapport s'accroîtra.
- Pour $L_s / X < 1 \Rightarrow$ le tombolo ne se rattachera pas au brise lames et en sera d'autant plus éloigné que ce rapport diminuera.
- Pour $L_s / X < 0.3 \Rightarrow$ le brise lames n'aura pratiquement pas d'effet sur la plage.

Pour les côtes méditerranéennes, et selon les expériences préconisées par le Centre des Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (Cetmef) des tombolos peuvent être obtenus à l'abri de brise-lames non submersibles lorsque : $0.6 X < L_s < 1,3 X$.

La longueur de l'ouvrage est souvent comprise entre 0.6 et 1.3 fois sa distance à la côte. Dans le cas d'une batterie de brise-lames, il convient de prendre en considération :

- $L_g / X \geq 1,3$: L'écartement des brise-lames est trop grand, un recul très important du trait de côte se produira face à l'ouverture.
- $0.8 \leq L_g / X \leq 1,3$: Un recul du trait de côte peut se produire face à l'ouverture, (un apport de sable initial permet de limiter voire supprimer ce recul).
- $L_g / X \leq 0,8$: Pas de recul du trait de côte face à l'ouverture mais le linéaire d'ouvrage par rapport au linéaire protégé augmente.

3.3. Description de la variante 03 : Batterie de six Brise-lames immergée en géotextile :

Nous avons proposé dans notre cas six brise-lames immergées en géotextile d'une longueur de $L=150\text{m}$ espacés entre eux d'une largeur de $E=85\text{m}$ et implantés à une distance de $D=100\text{m}$ du trait de côte, soit en moyenne à une profondeur entre (-2.5m) et (-3.5m) où la hauteur des tubes est de 1.5m , le long des 2000m de linéaire de la plage de Verte Rive. Ces géotubes sont vers les houles les plus fréquentes et qui menacent notre site.

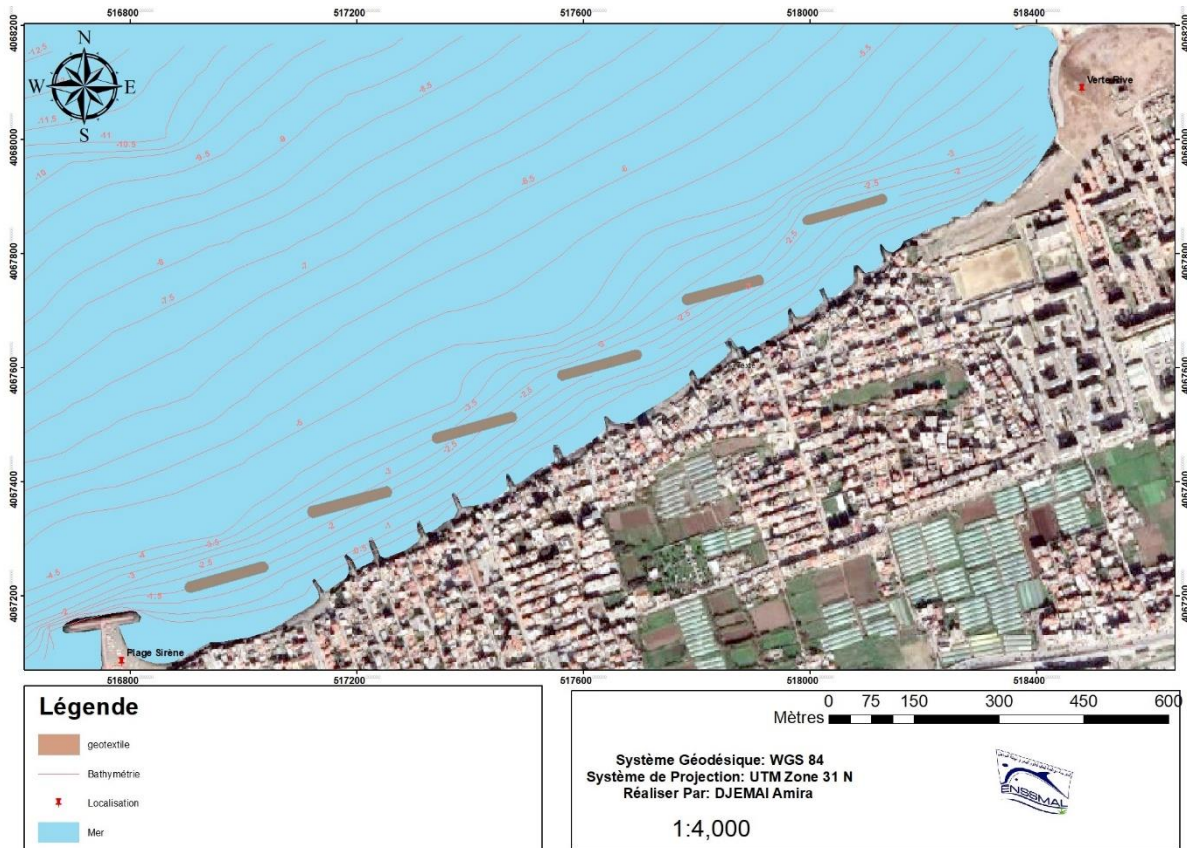


Figure IV.25 : Carte représentative de la troisième variante des brise-lames immergées en géotextile.

3.4. Vérification sur le modèle numérique :

La variante 3 a été vérifiée en termes d'efficacité de dissipation d'énergie de la houle et piégeage des sédiments sous Mike 21. Les Ouvrages ont été intégrés dans la grille de calcul en prenant compte des dimensionnements calculés, Avec les mêmes étapes spécifier dans le chapitre précédent.

Résultats cartographiques des simulations : l'emplacement des géotextiles est représenté sur les cartes.

a) Comparaison entre la bathymétrie avant et après les brise-lames immergées en géotextile :

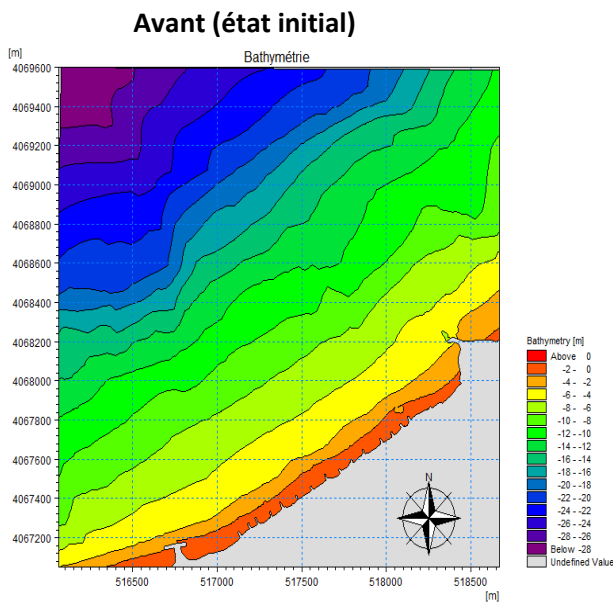


Figure IV.26 : Bathymétrie à l'état initial
(Voir annexe)

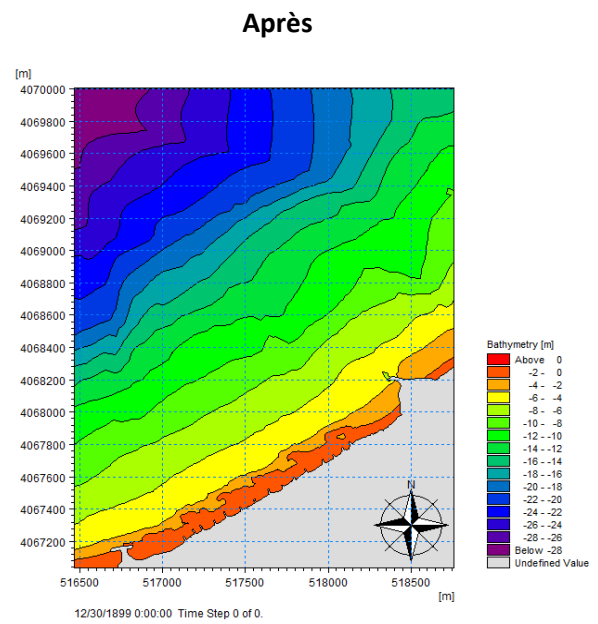


Figure IV.27 : Bathymétrie Après la Variante 03.
(Voir annexe)

b) Réfraction de la houle :

- Pour la houle incidente N°360 :

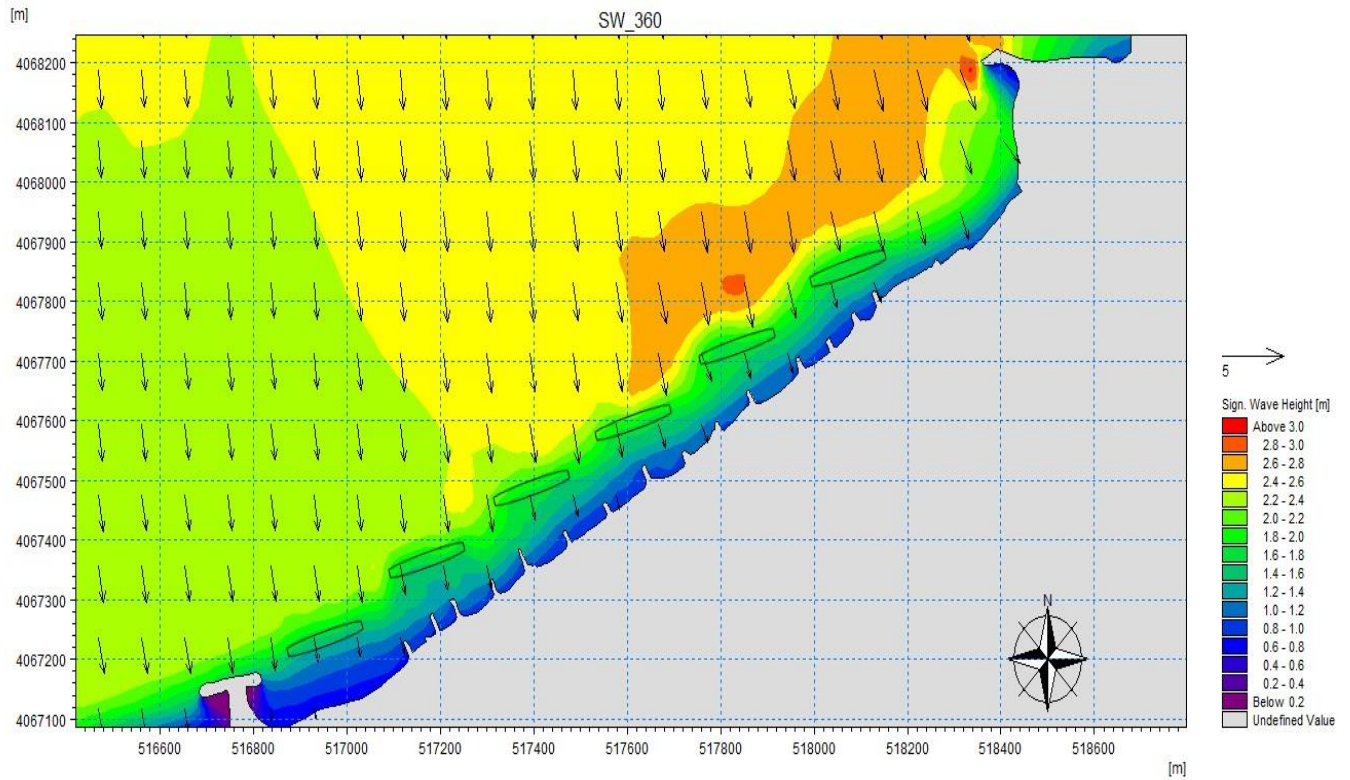


Figure IV.28 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°315 :

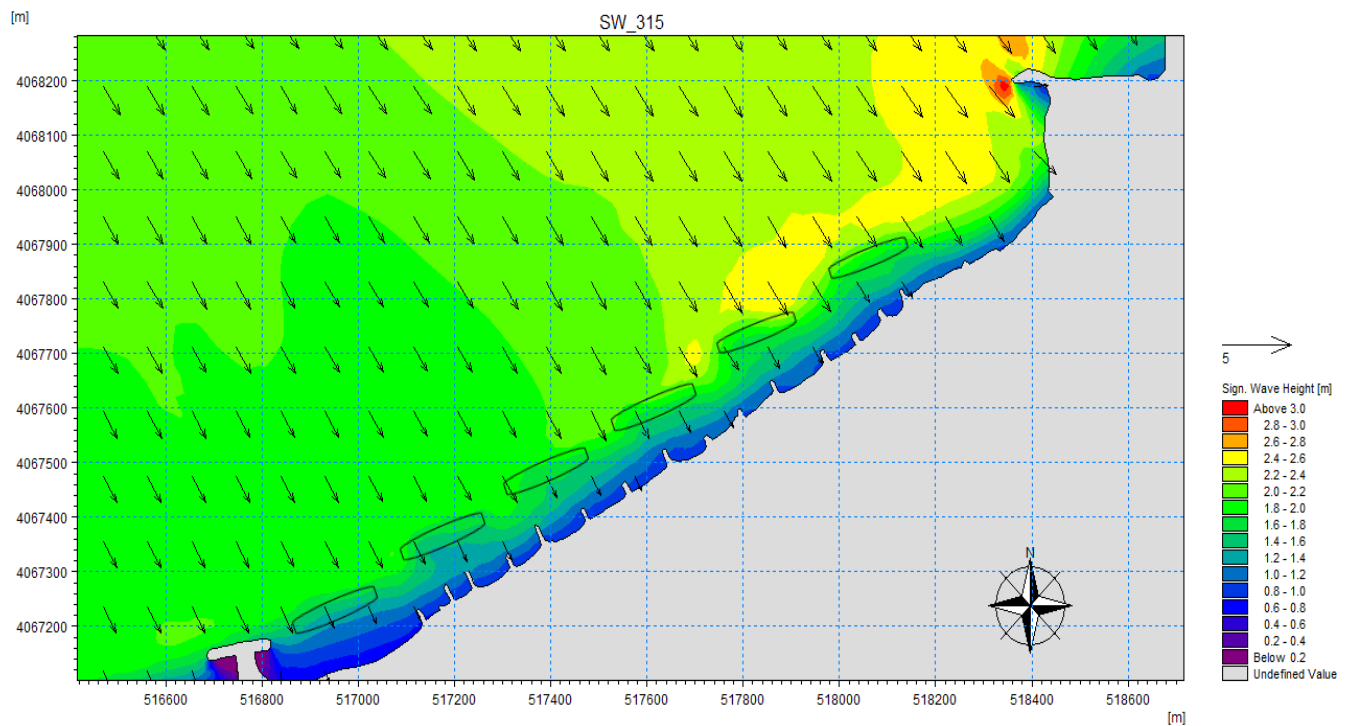


Figure IV.29 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

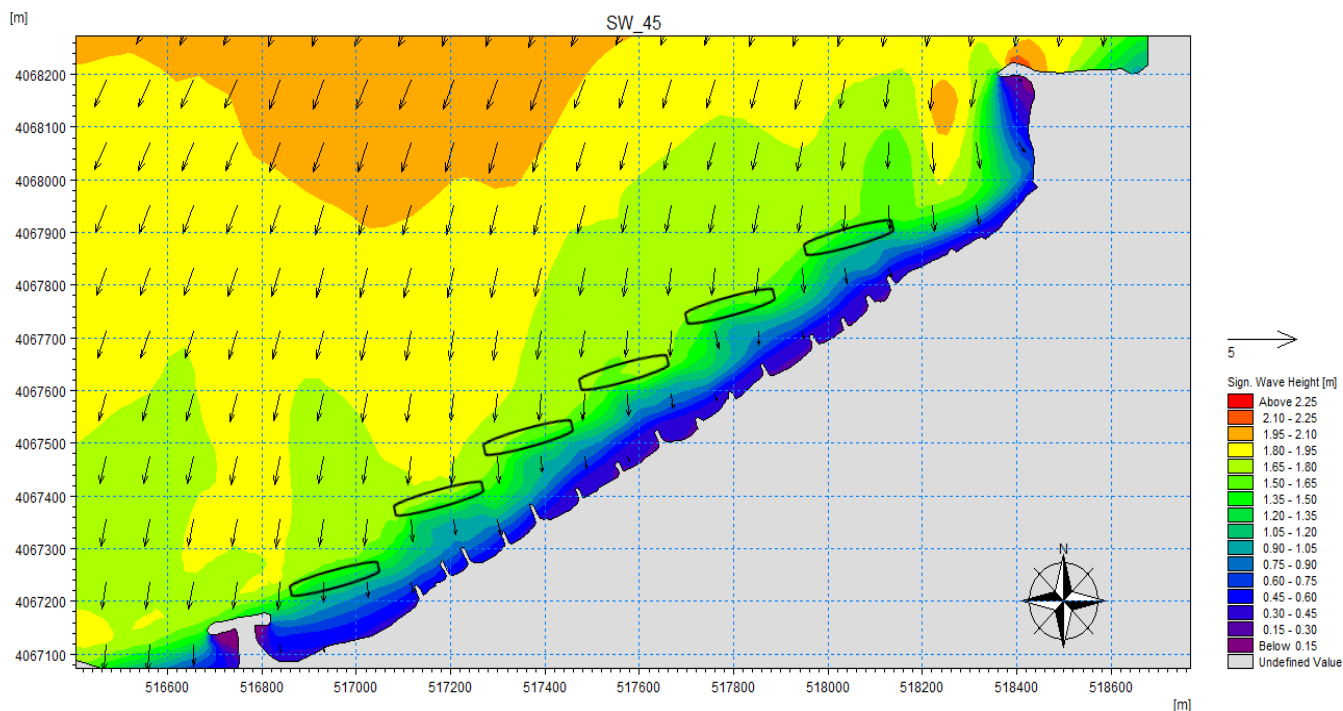


Figure IV.30 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

c) La courantologie :

- Pour la houle incidente N°360 :

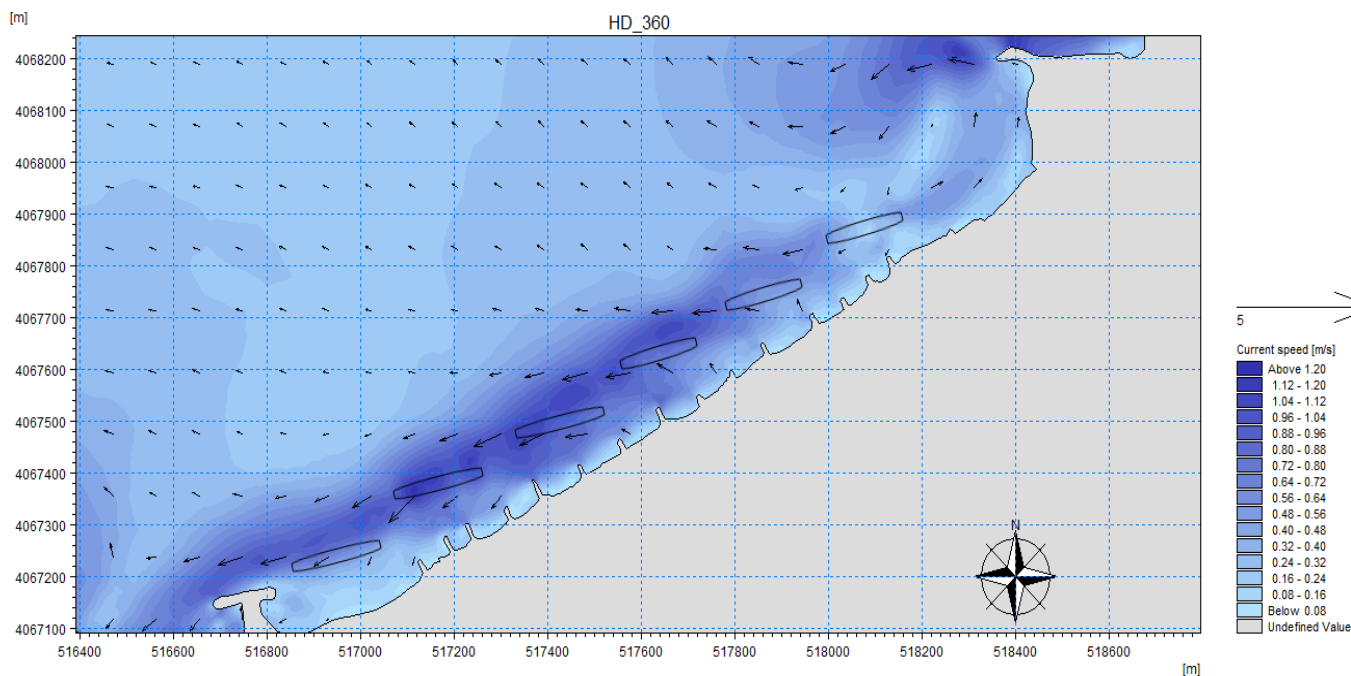


Figure IV.31 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°315 :

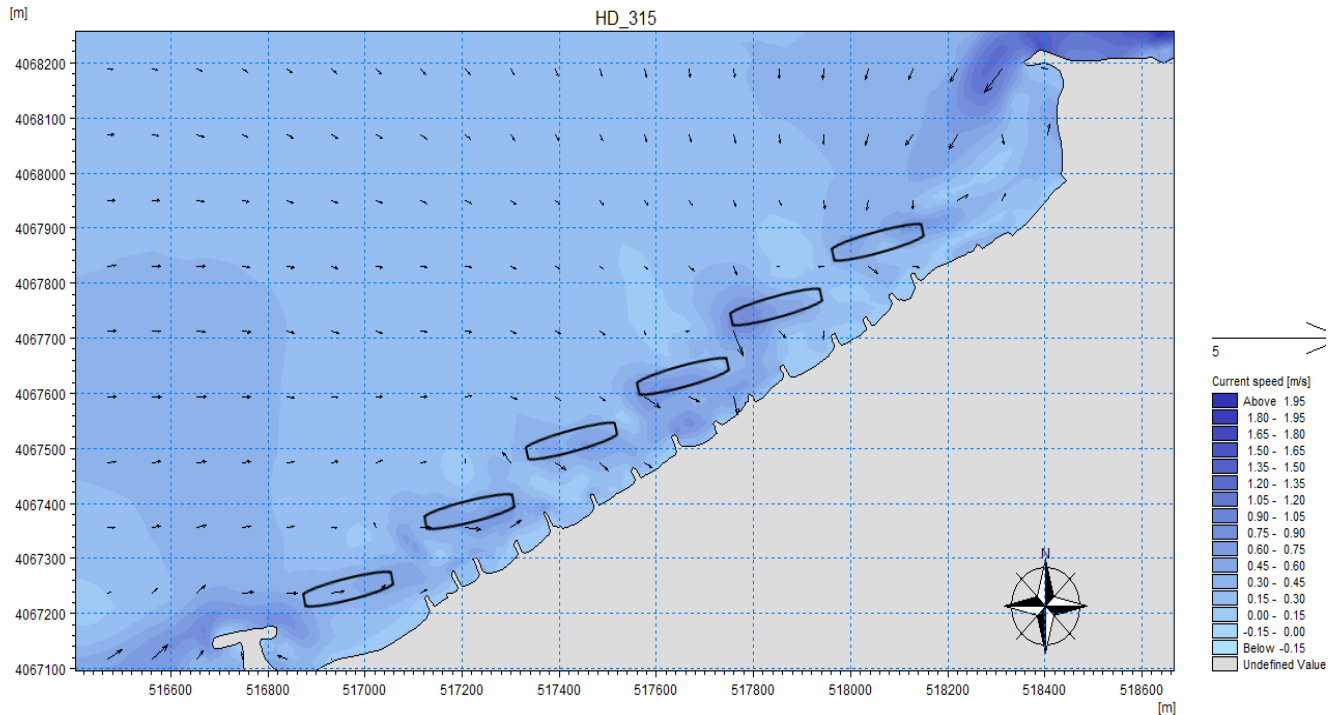


Figure IV.32 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

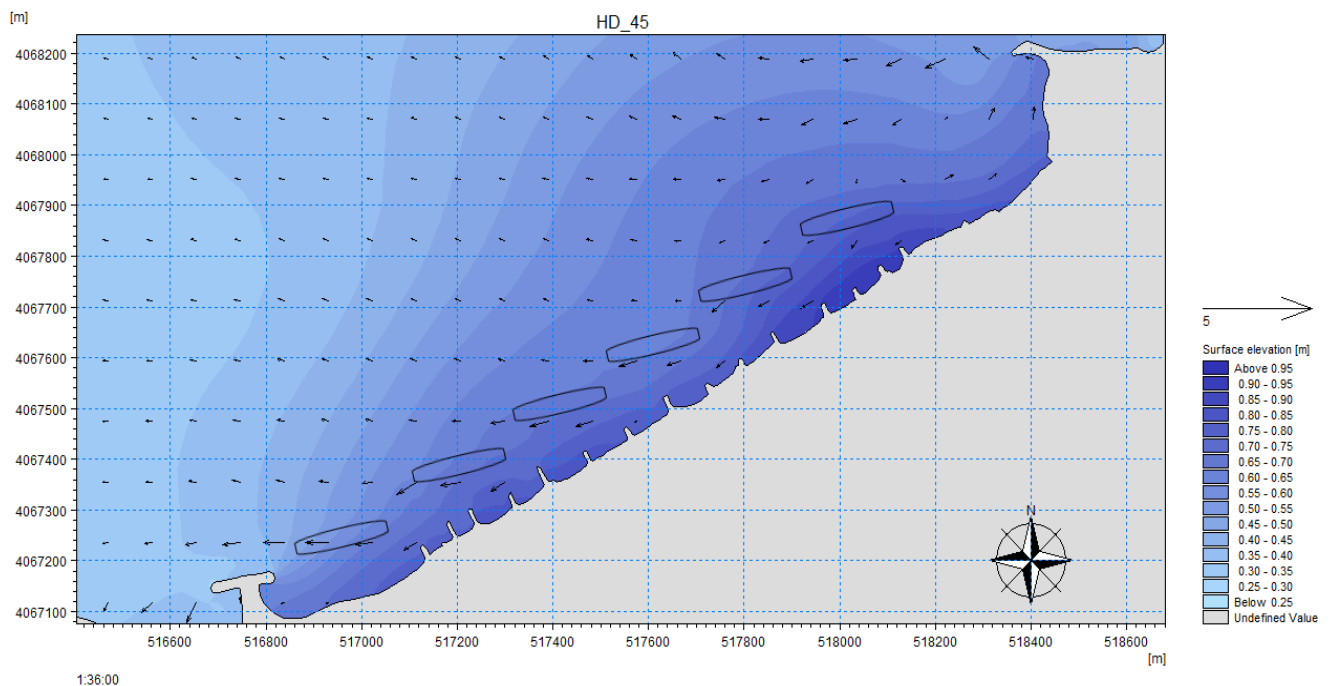


Figure IV.33 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

d) Résultats du transport sédimentaire :

- Pour la houle incidente N°360 :

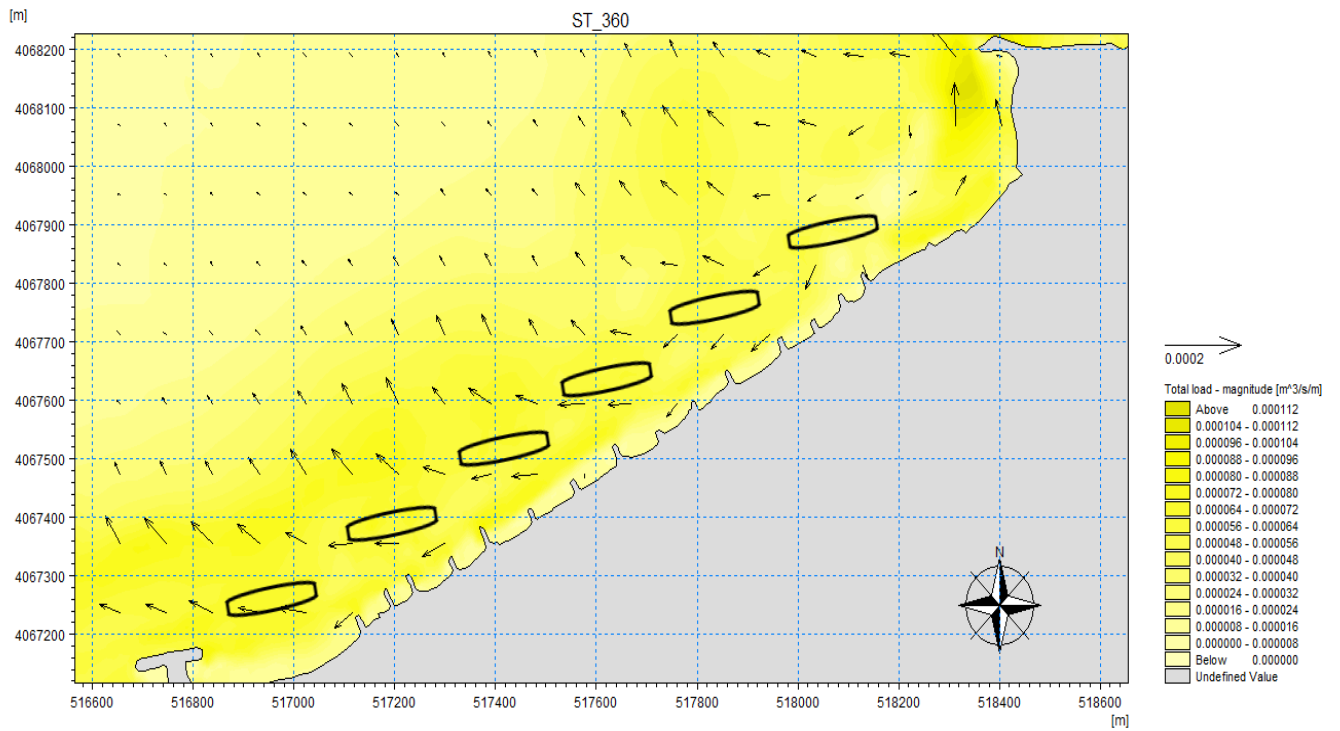


Figure IV.34 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°315 :

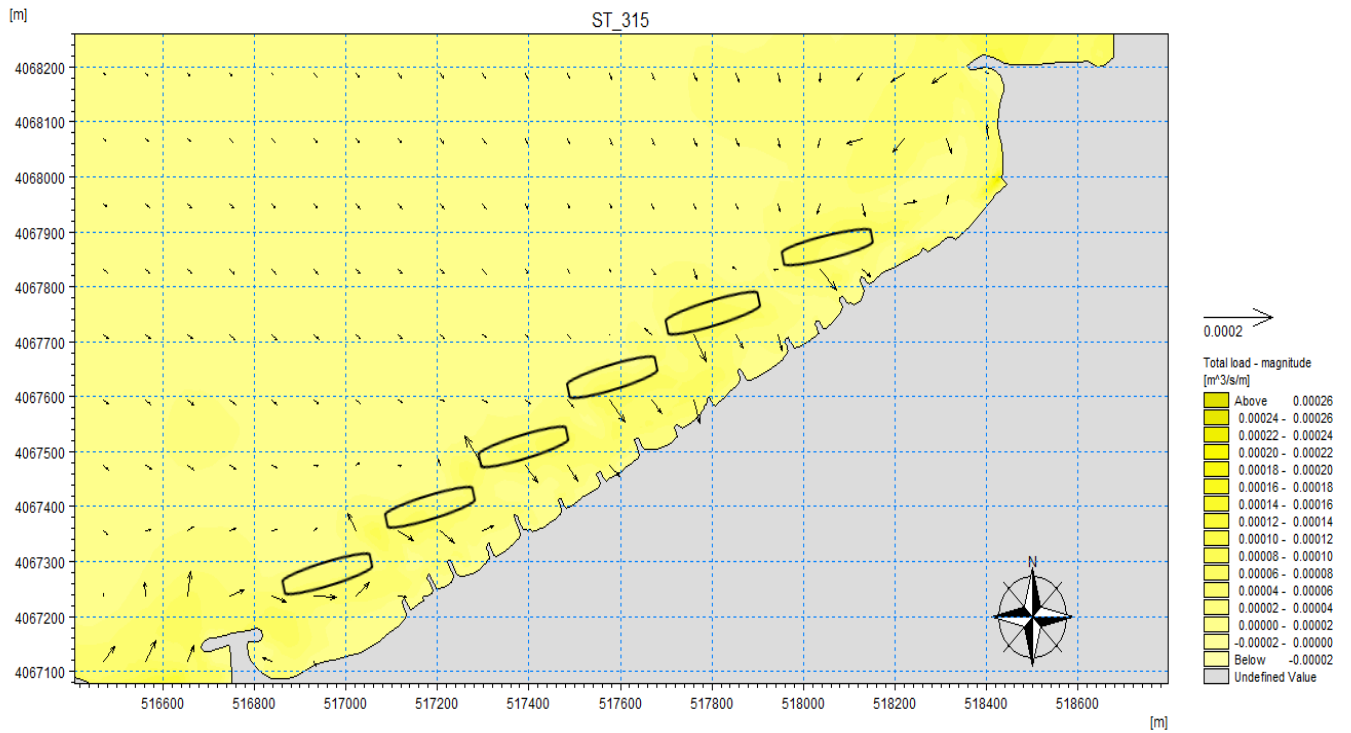


Figure IV.35 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

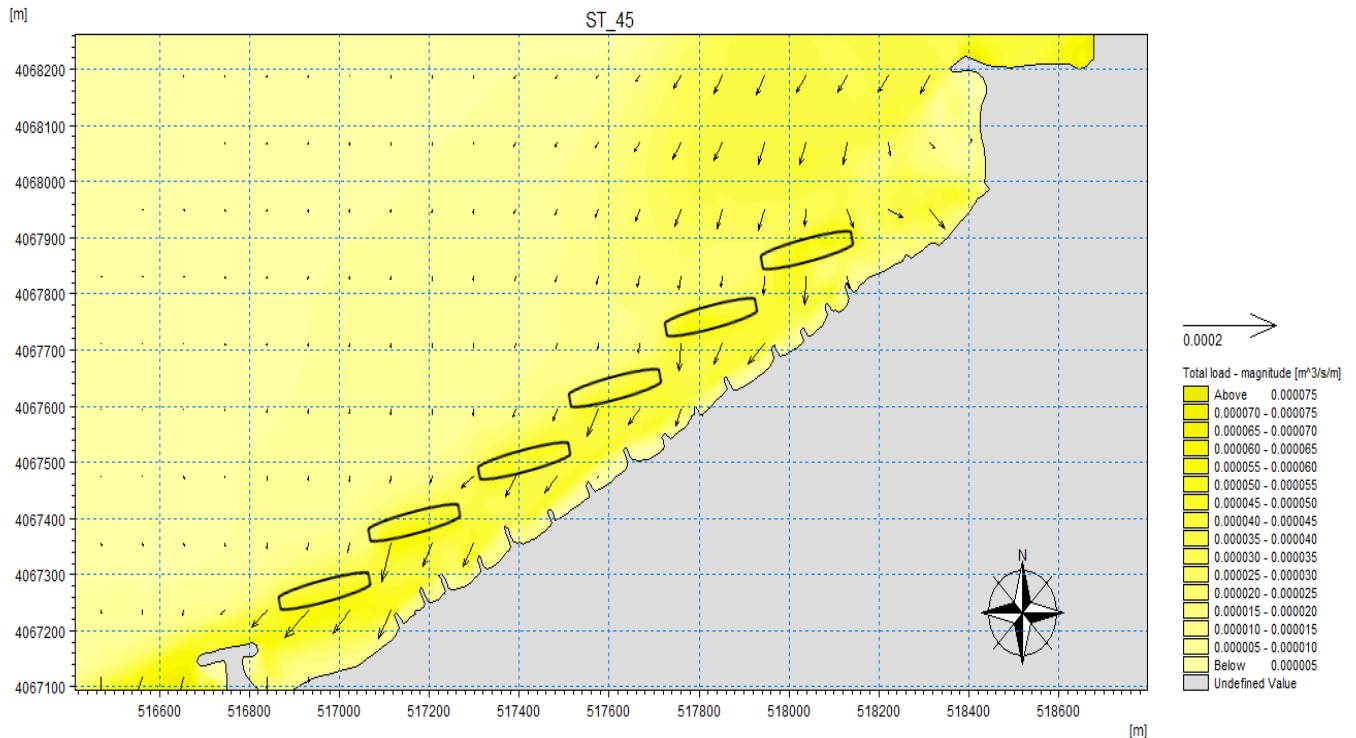


Figure IV.36 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de Brise-lames immergées en géotextile.

Commentaire :

- **Pour la bathymétrie :**

On remarque clairement un changement de la bathymétrie de la zone d'étude après l'introduction des données des brise-lames immergés en géotextile dans le logiciel de Mike 21.

- **Pour la réfraction de la houle (SW) :**

On remarque une diminution remarquable de la houle dans les trois directions dominantes après avoir passé l'ouvrage où elle arrive près de la côte avec une longueur d'onde de 0.4m, une réfraction de houle remarquable au niveau de l'espacement entre les ouvrages.

- **Pour la courantologie (HD) :**

On remarque dans les trois directions une atténuation de vitesse des courants par rapport l'état initial à l'arrière de l'ouvrage qui atteint 0.7m/s dans les directions N°360 et N°315 en gardent le même sens du courants

- **Pour le transport sédimentaire (ST) :**

On voit clairement la présence des zones de dépôt derrière l'ouvrage avec la présence des mêmes mini tourbillons des courants à l'arrière de l'ouvrage qui sont causés par l'entrée des sédiments au niveau des espacements entre les brise-lames.

4. Variante 04 : Batterie de trois brise-lames immergés en géotextile :

Afin de minimiser les coûts et augmenter la protection de notre zone d'étude, on a proposé une quatrième variante qui est constitué d'une batterie de trois brise-lames immergées en géotextile ou la longueur et l'espacement des géotextiles est double par rapport à la variante précédente.

4.1. Description de la variante 04 : Batterie de trois brise-lames immergés en géotextile

Nous avons proposé dans notre étude comme quatrième solution trois brise-lames immergés en géotextile d'une longueur de $L=300\text{m}$ espacés entre eux d'une largeur de $E=180\text{m}$ et implantés à une distance de $D=100\text{m}$ du trait de côte, soit en moyenne à une profondeur entre (-2.5m) et (-4m) où la hauteur des tubes est de 1.5m, le long des 2000m de linéaire de la plage de Verte Rive. Ces géotubes sont vers les houles les plus fréquentes qui menacent notre site.

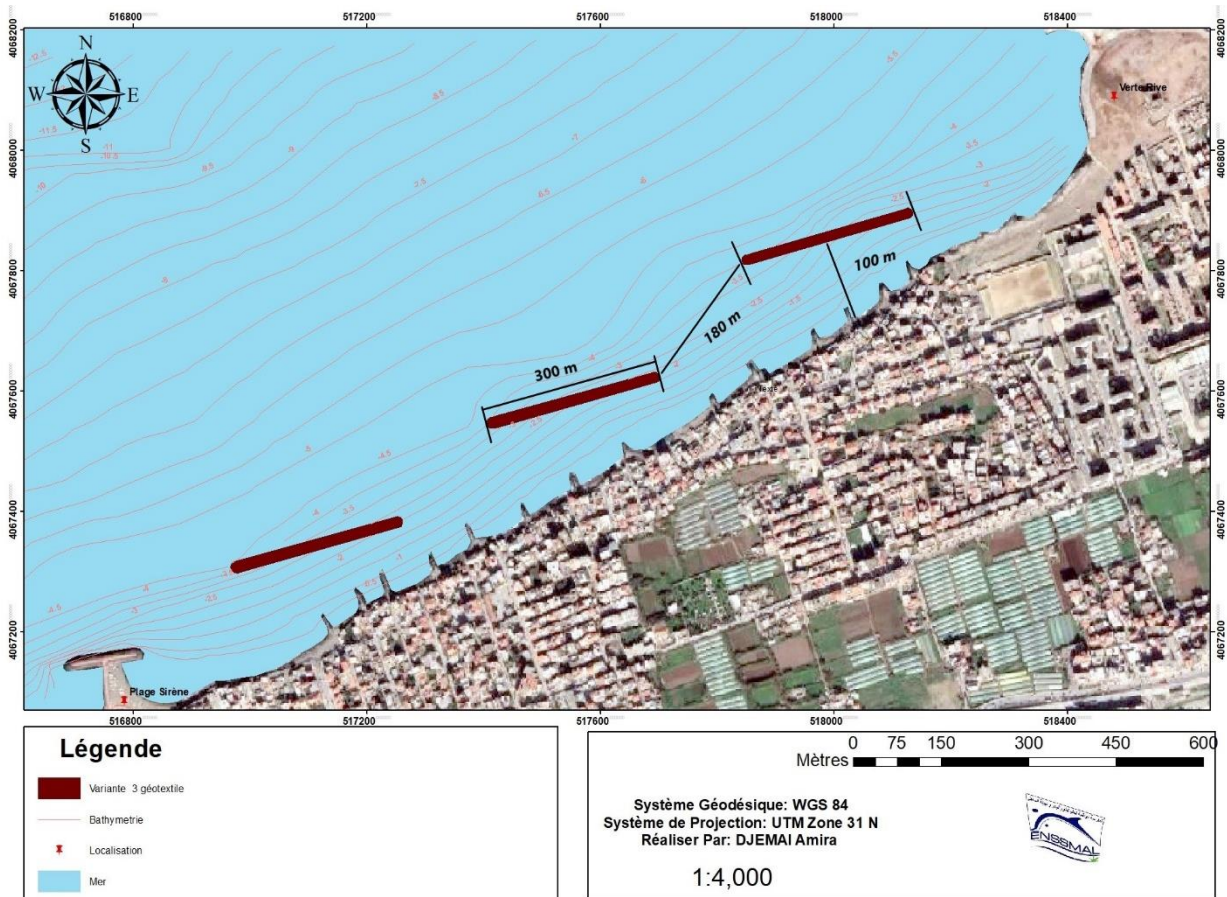


Figure IV.36 : Carte représentative de la quatrième variante de trois brise-lames immergés.

4.2. Vérification sur le modelé numérique :

La variante 04 a été vérifiée en termes d'efficacité de dissipation de l'énergie de la houle et piégeage des sédiments sous Mike 21. Les Ouvrages ont été intégrés dans la grille de calcul en prenant compte des dimensionnements calculés, Avec les mêmes étapes spécifier dans le chapitre précédent.

Résultats cartographique des simulations : ou l'emplacement des géotextiles est montré sur les cartes

4.2.1. Comparaison entre la bathymétrie avant et après la variante 04 : (Voir annexe)

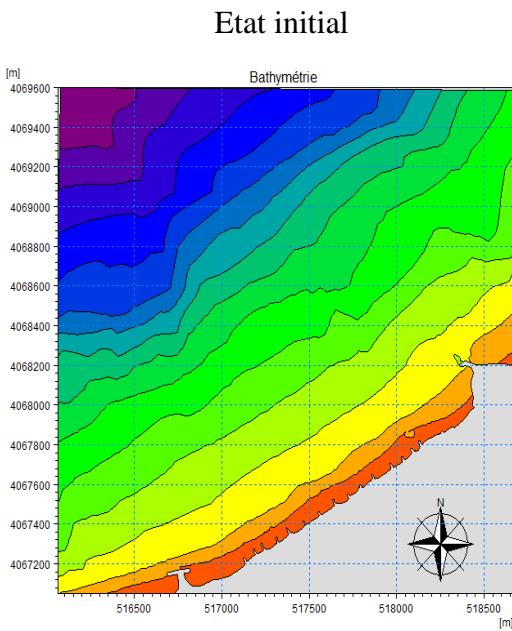


Figure IV.38 : Bathymétrie à l'état initial.

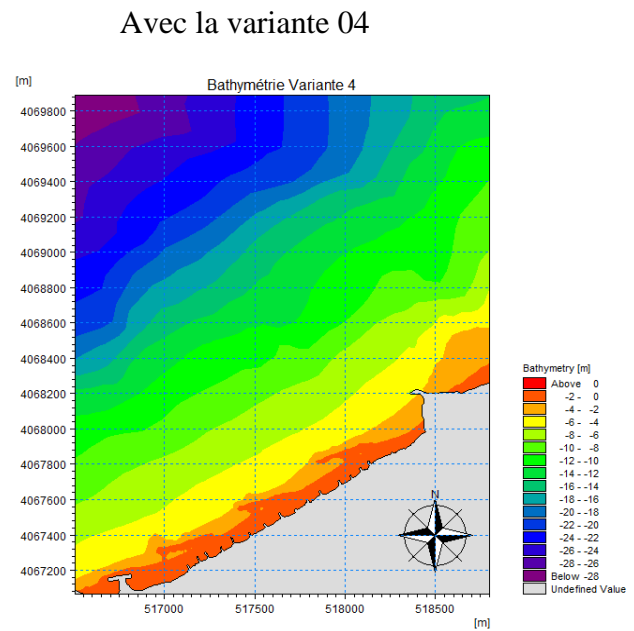


Figure IV.39 : Bathymétrie après variante 04.

4.2.2. Résultats de la réfraction de la houle :

- Pour la houle incidente N°360 :

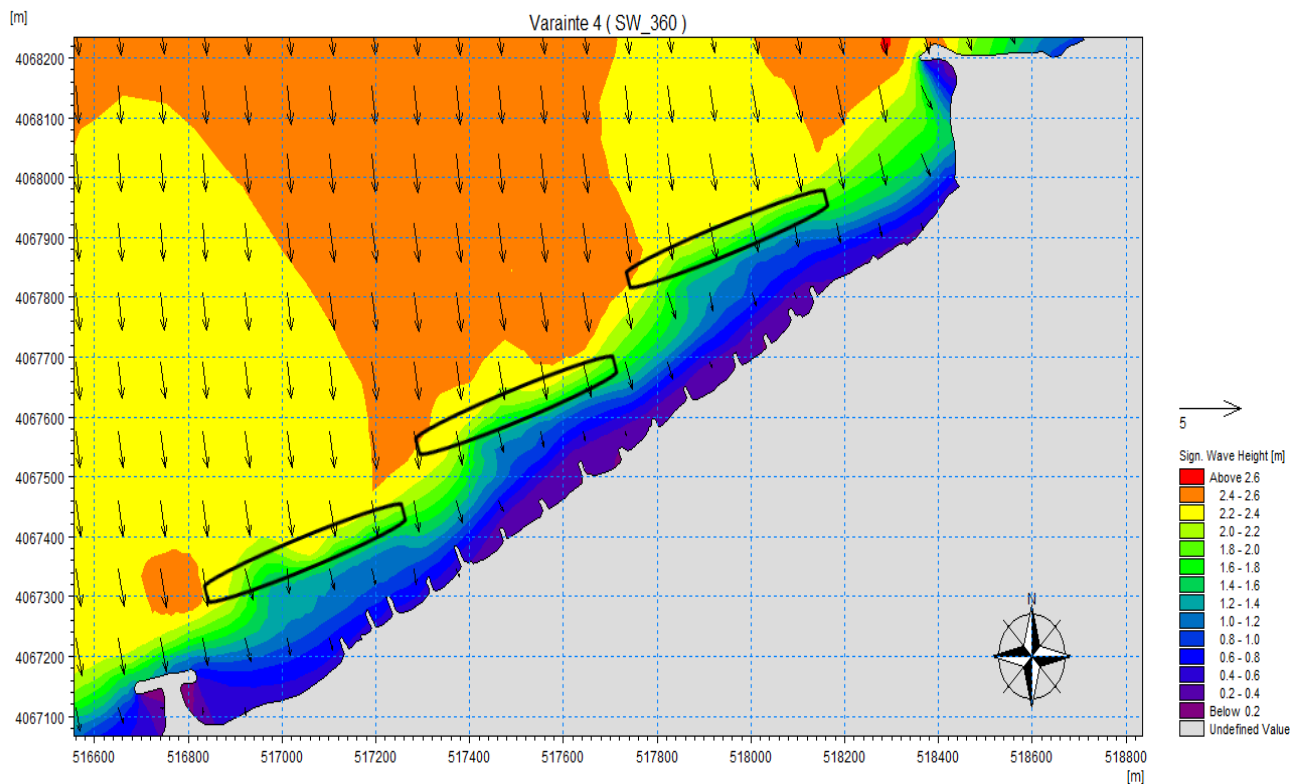


Figure IV.40 : Résultats de la réfraction de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kif-fan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°315 :

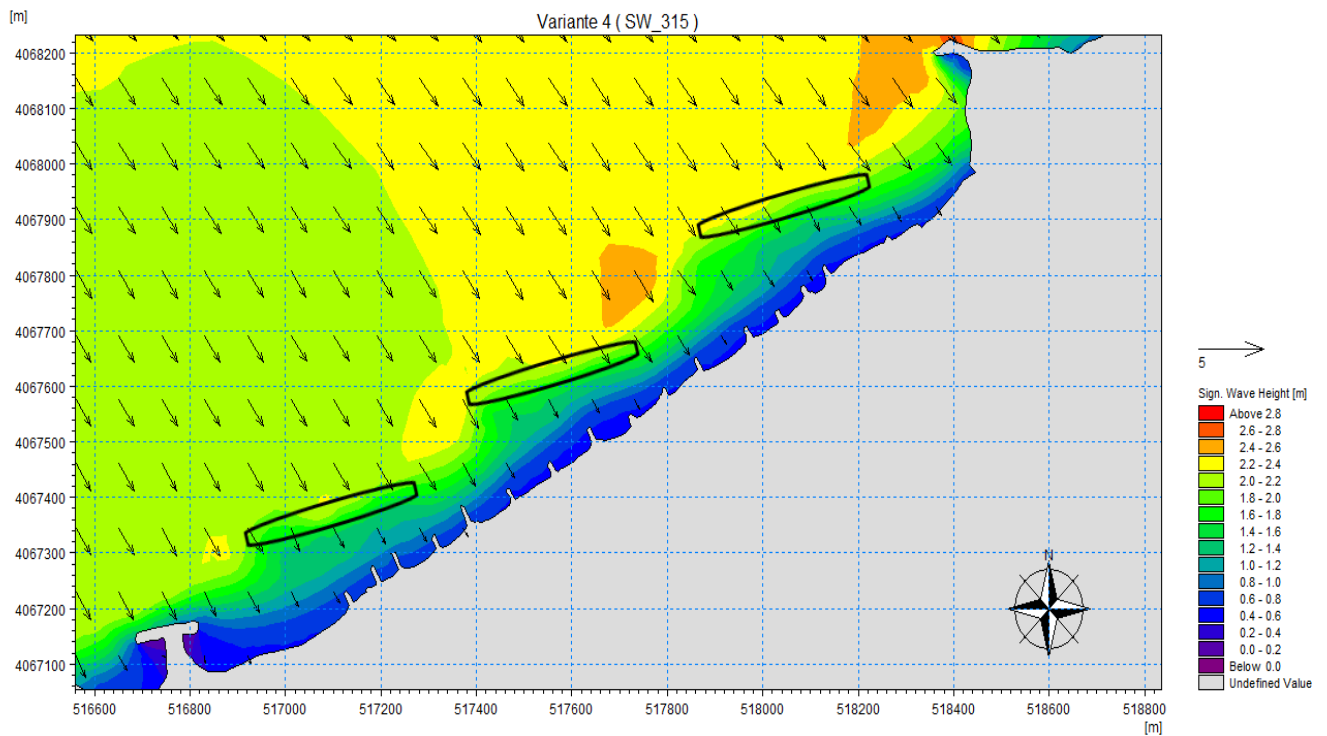


Figure IV.41 : Résultats de la réfraction de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

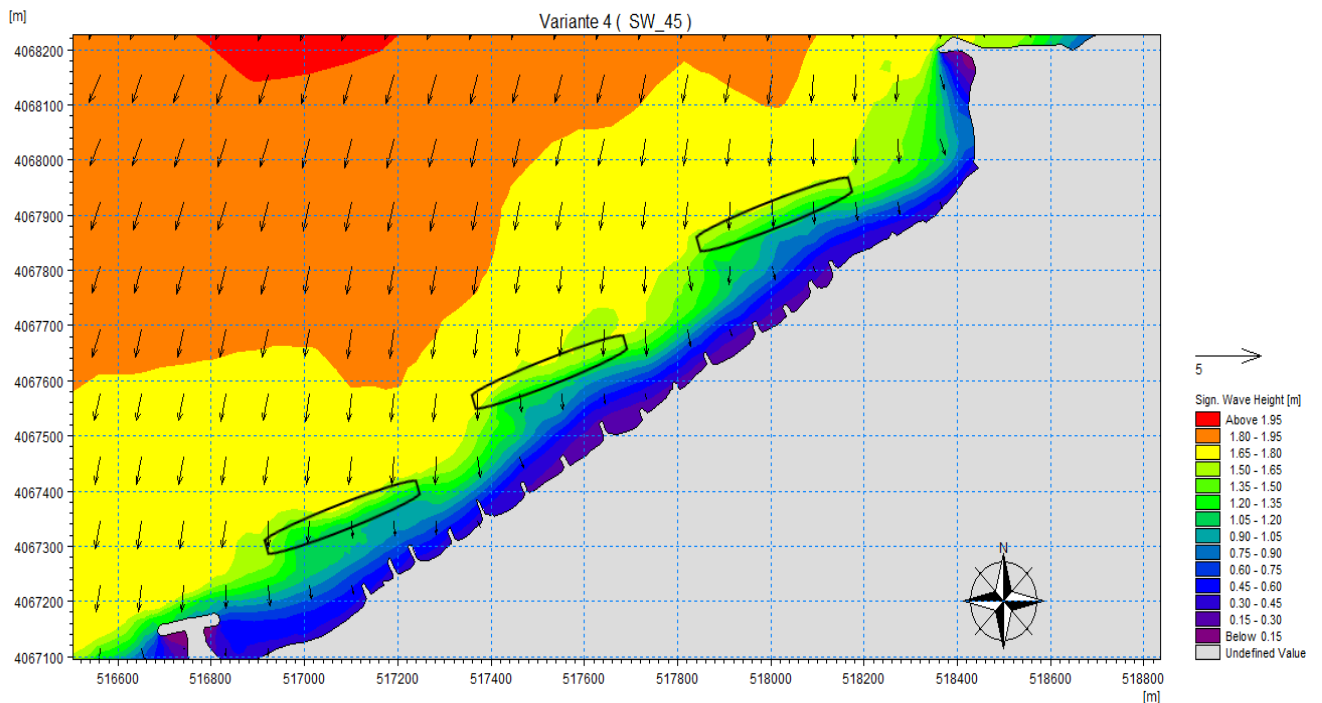


Figure IV.42 : Résultats de la réfraction de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

4.2.3. La courantologie :

- Pour la houle incidente N°360 :

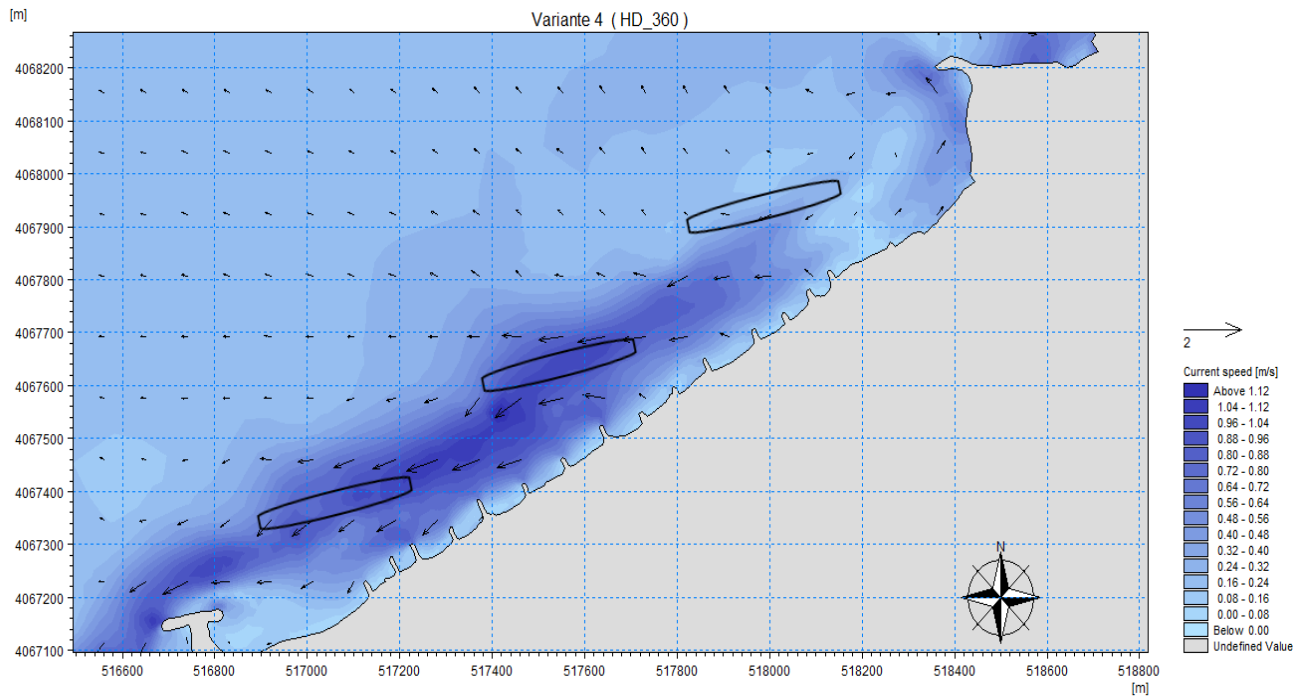


Figure IV.43 : Résultats de la courantologie de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°315 :

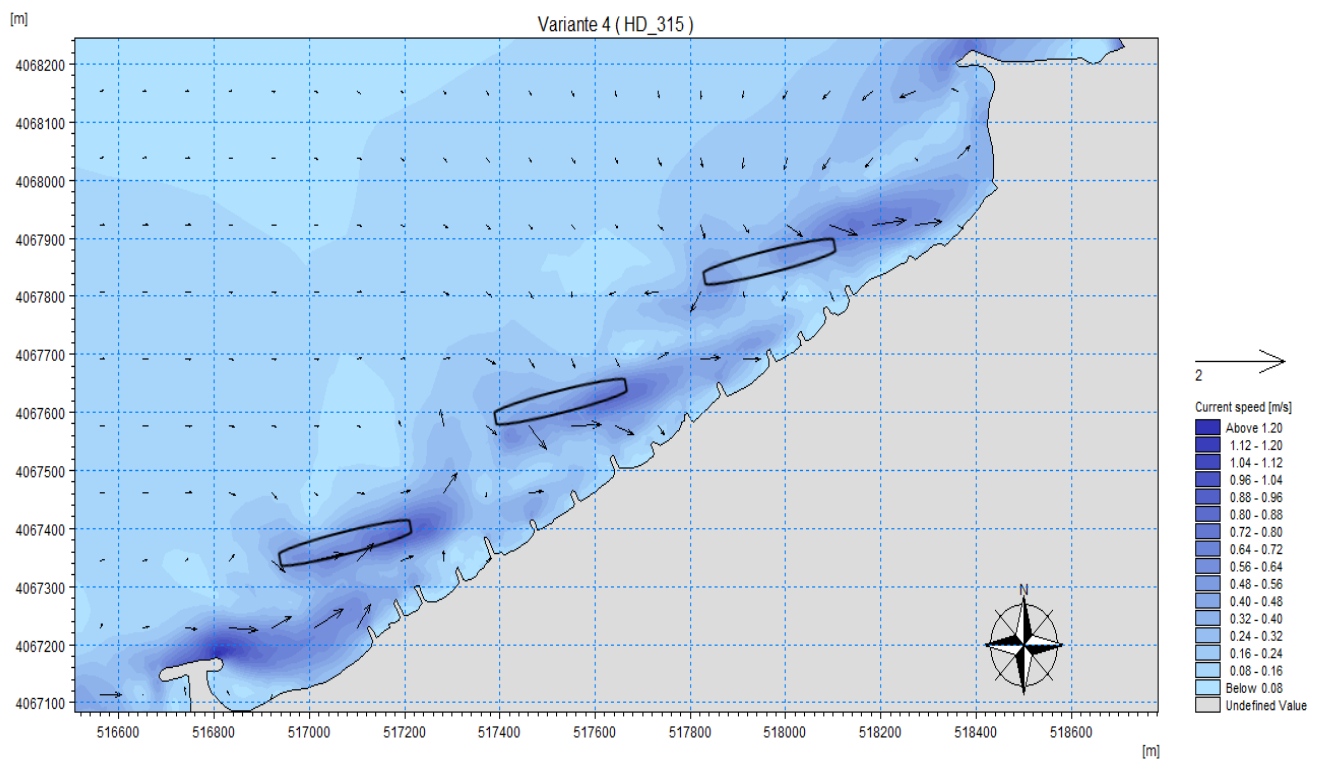


Figure IV.44 : Résultats de la courantologie de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

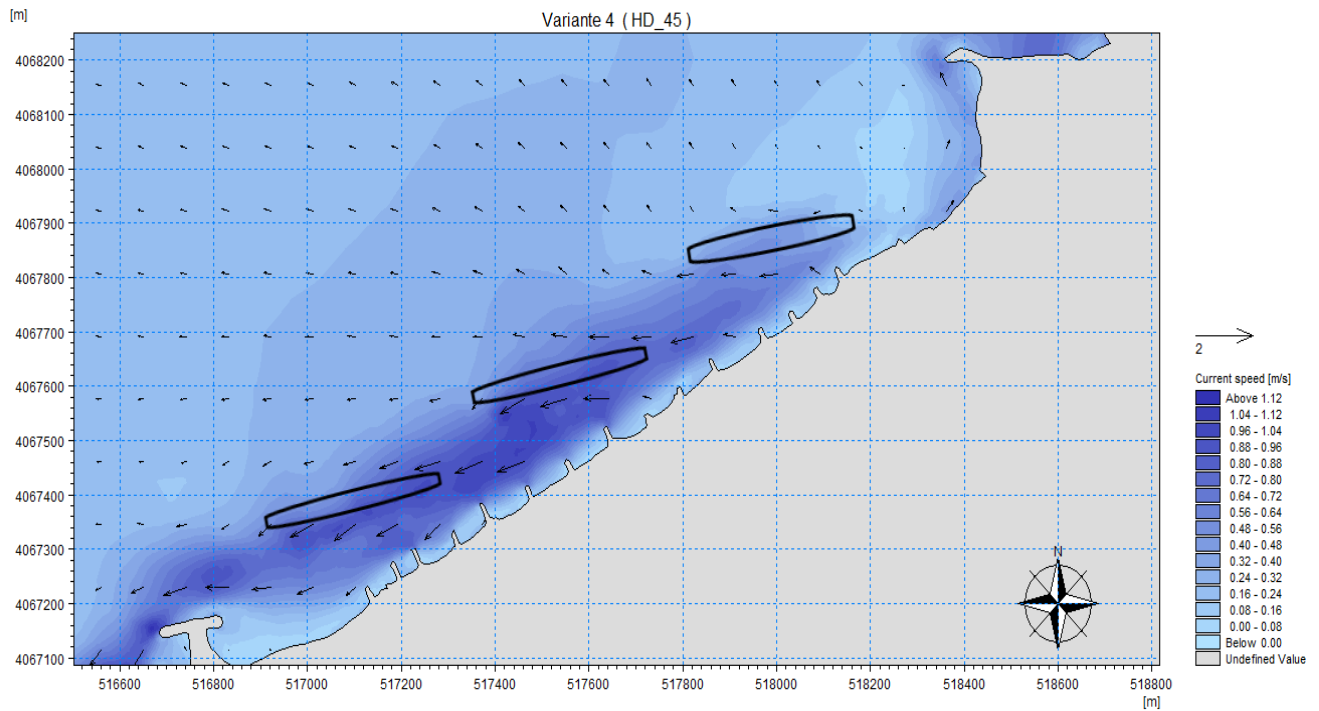


Figure IV.45 : Résultats de la courantologie de la Houle N°45 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

4.2.4. Résultats du transport sédimentaire :

- Pour la houle incidente N°360 :

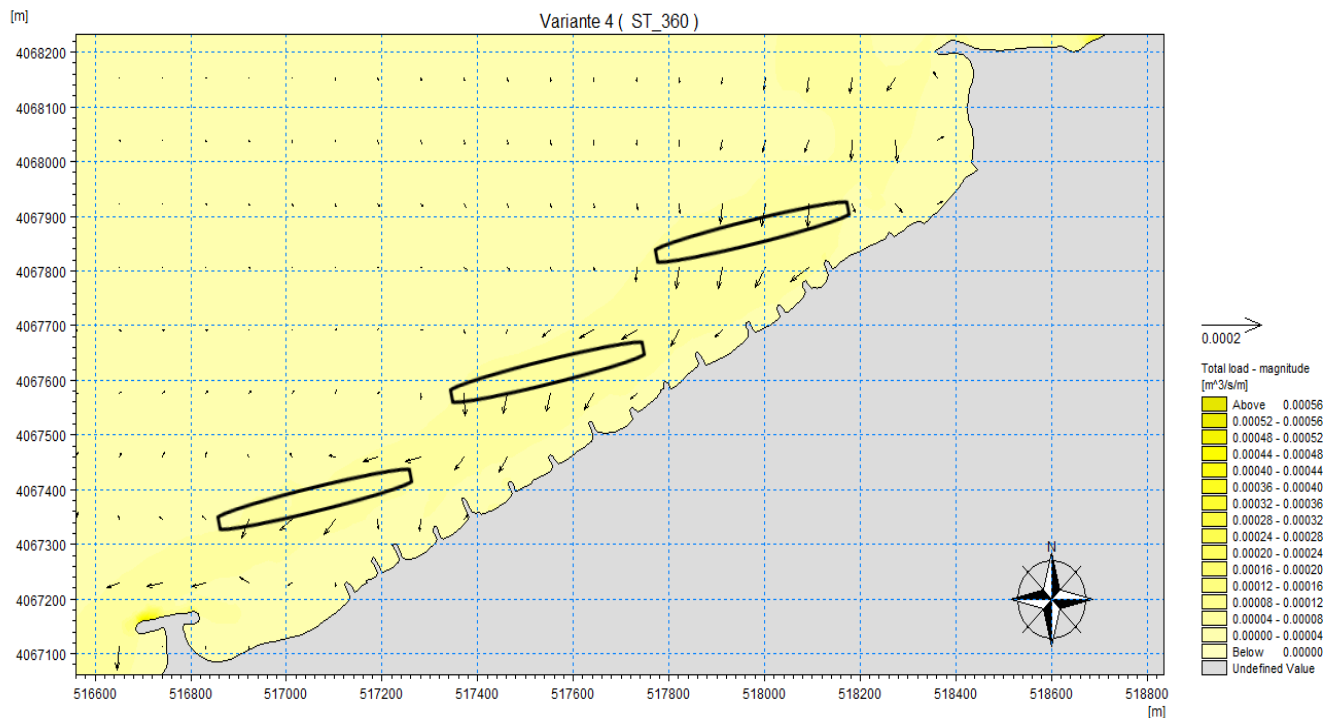


Figure IV.46 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°360 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile

- Pour la houle incidente N°315 :

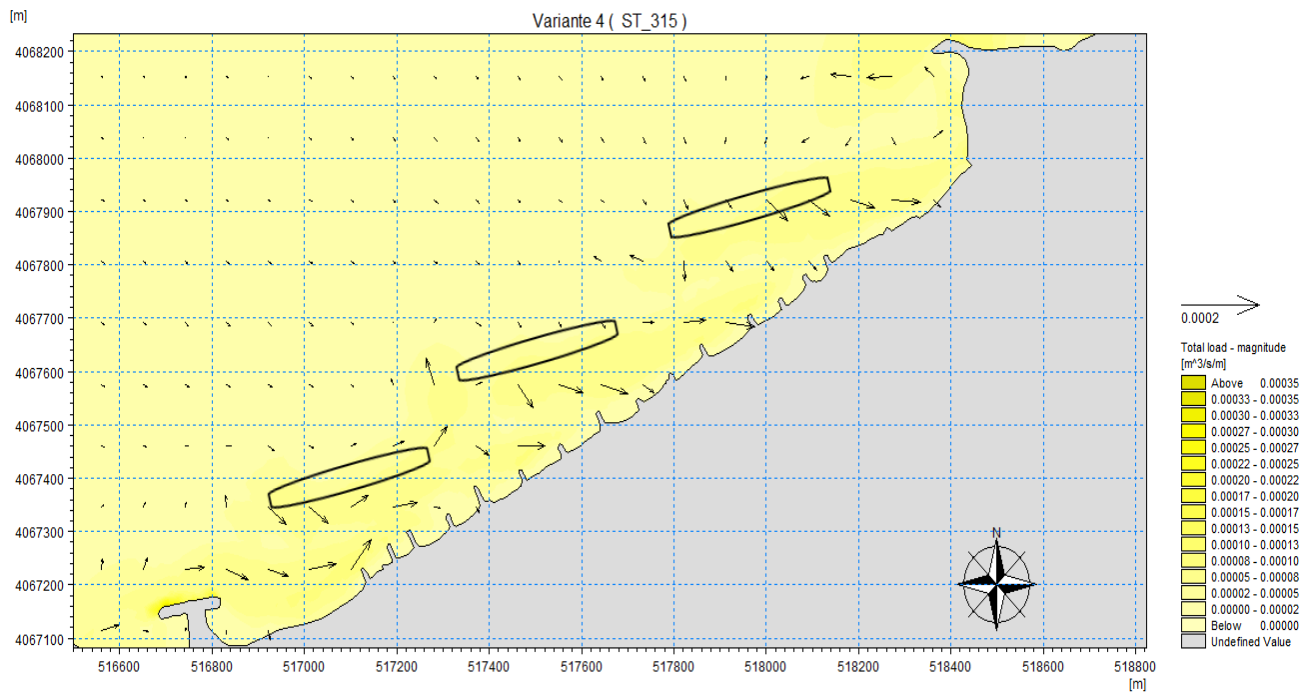


Figure IV.47 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d’une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

- Pour la houle incidente N°45 :

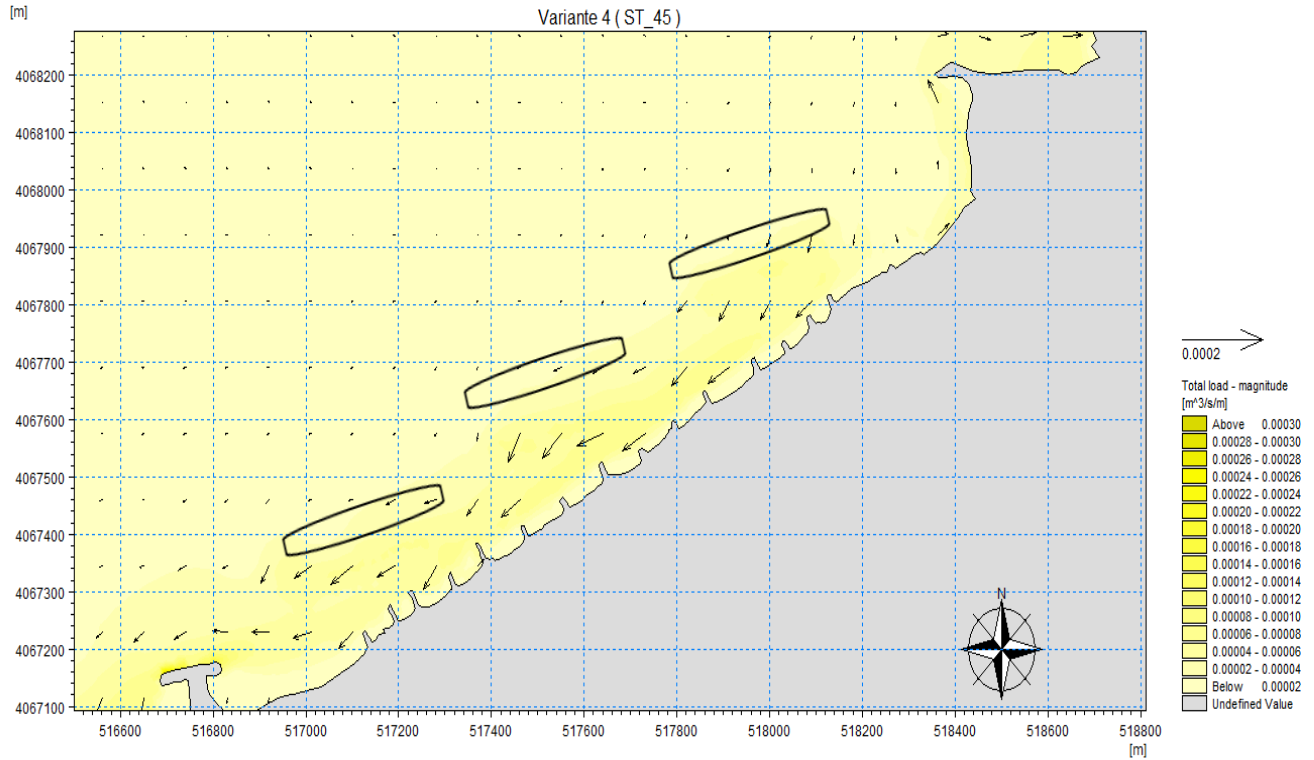


Figure IV.48 : Résultats du transport sédimentaire de la Houle N°315 incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d’une batterie des trois Brise-lames immergées en géotextile.

Commentaire :

- Pour la bathymétrie :

On remarque clairement un changement de la bathymétrie de la zone d'étude au niveau de l'emplacement de la quatrième variante et ces environs après l'introduction des données des brise-lames immergées en géotextile dans le logiciel de Mike 21.

- Pour la réfraction de la houle (SW) :

On remarque une diminution remarquable de la houle dans les trois directions dominantes après avoir passée l'ouvrage ou elle arrive près de la côte avec une longueur d'onde de 0.3m, une réfraction de houle remarquable au niveau de l'espacement entre les ouvrages ou la longueur d'onde de la houle est plus importante qu'avant l'ouvrage.

- Pour la courantologie (HD) :

On remarque que la courantologie dans la variante 04 est plus importante que la troisième variante ou la courantologie atteint les 0.9m/s dans la quatrième variante en gardant les mêmes sens pour chaque direction de houle incidente.

- Pour le transport sédimentaire (ST) :

Il est très remarquable que le transport sédimentaire au niveau de cette variante est moins important que la troisième variante. Dans ce cas le transport garde le même sens que l'état initial avec la formation de zones d'accumulation moins importantes que la troisième variante sauf dans la direction de N°315 ou le sens est d'Ouest-Est.

I. Choix de la solution retenue :

Après La modélisation et simulations des quatre variantes de protection proposée, il ressent que la variante retenue de notre zone d'étude sera issue des analyses des différents aspects (physique, économique, environnementale...) du tableau représentatif suivant :

Tableau IV.2 : tableau représentatif des différents aspects de chaque variante proposée.

Variantes	Type	Coût		Aspect visuelle	Aspect environnementale	Impact	Avantages	Inconvénients
		(Million DA)	Classement					
Variante 01	Enrochements	371.77M	D	Change Aspect visuel de la zone d'étude	- Formation des nouveaux écosystèmes peuplés (faune, flore).	- Lorsque Les vagues chargées en énergie, rencontrent un mur de protection, elles frappent la structure et retournent vers le large, emportant avec elles une certaine quantité de sédiments présents à sa base On assiste alors à un type d'érosion nommé« affouillement ».	- Une bonne atténuation de la houle. - Possibilité de gagné sur mer et formation du tombolo	- Formations des petits courants tourbillonnants causés par l'orientation des brise-lames. - Les brise-lames peuvent causer des problèmes de navigations pour les embarcations de plaisance car ils sont à 100m de la côte.
Variante 02	Enrochements	346.55M	C	Change l'aspect visuel de la zone d'étude	- Formation des nouveaux écosystèmes peuplés (faune, flore).	- Le même cas que la 1èr variante. - Affouillement peut progressivement menacer la stabilité de la structure	- Engraissement des sédiments en bloquant une partie du transit sédimentaire. - Protection du linéaire de la plage.	- Une érosion en amont du l'ouvrage causé par le blocage des sédiments à l'aval.
Variante 03	Tissu géosynthétique	73.5M	A	L'aspect visuel reste le même	- Possibilité de formation et l'adaptation des écosystèmes peuplés sur l'ouvrage.	- Le taux de remplissage a un impact sur le comportement et la forme du tube, le taux de remplissage est faible, plus le tube sera instable.	- Une bonne atténuation de la houle. _ Possibilité de formation du tombolo.	- Les agressions physiques en dehors des efforts hydrodynamiques peuvent causer des déchirures au niveau de l'ouvrage.
Variante 04	Tissu géosynthétique	67.2M	B	L'aspect visuel reste le même	-Possibilité de formation et l'adaptation des écosystèmes peuplés sur l'ouvrage.	- Le taux de remplissage a un impact sur le comportement et la forme du tube, le taux de remplissage est faible, plus le tube sera instable.	-Une bonne atténuation de la houle. - Possibilité de formation du tombolo.	- Les agressions physiques en dehors des efforts hydrodynamiques peuvent causer des déchirures au niveau de l'ouvrage.

Conclusion :

En prenant compte des maximums des paramètres physiques, économiques et le volet environnemental, nous préconisons que la solution est celle de la troisième variante (variante 03) est dans les résultats semblent être les plus intéressants (surtout au niveau du transport sédimentaires qui est mieux que la quatrième variante) en terme de ratio qualité de protection et du cout de construction

Chapitre V : Gestion intégrée des zones côtières (GIZC)

Introduction :

Le développement durable est la notion qui définit le besoin de transition et de changement dont a besoin notre planète et ses habitants pour vivre dans un monde plus équitable, en bonne santé et en respectant l'environnement.

Le développement durable vient du rapprochement de deux mots, qui mis bout à bout définissent un modèle d'organisation de la société.

- Par développement on entend l'amélioration des performances (économiques, sociales etc...) d'une société.
- Le terme durable caractérise une chose qui tient dans la durée, qui est stable et résistant.

La combinaison des deux mots donne la définition du développement durable : l'amélioration des performances d'une société pour la rendre stable dans le temps.

I. La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) :

La gestion intégrée des zones côtières est un processus dynamique qui réunit gouvernement et société, science et décideurs, intérêts publics et privés en vue de la préparation et de l'exécution d'un plan de protection et de développement des systèmes et ressources côtières (Cicin-Sain et Knecht 1998).

La GIZC est un concept qui va de pair avec celui du développement durable. Les deux notions sont, d'ailleurs, étroitement liées puisque les initiatives GIZC visent à mettre en pratique le développement durable dans les zones côtières. De nombreux pays côtiers ont ainsi commencé à appliquer les principes de la GIZC pour tenter de freiner la dégradation de leurs zones côtières. Ceci est notamment le cas en Méditerranée, zone particulièrement vulnérable du fait de son enclavement et des pressions naturelles et anthropiques auxquelles elle est exposée).

En 2008, l'Algérie a signé le Protocole relatif à la Gestion intégrée des zones côtières (GIZC) de la Méditerranée, entré en vigueur le 23 mars 2011.

Dans son article 18.1, ce Protocole requiert que « Chaque Partie renforce ou élabore une stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières ainsi que des plans et programmes côtiers de mise en œuvre conformes au cadre régional commun et dans le respect des objectifs et principes de gestion intégrée du présent Protocole ... ».

Conformément à cette exigence, le ministère chargé de l'environnement algérien a donc initié, en partenariat avec le Centre d'activités régionales/Programme d'actions prioritaires (CAR/PAP) du Programme des Nations-Unies pour l'environnement/Plan d'action pour la Méditerranée (PNUE/PAM), un processus d'élaboration d'une Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières (SN GIZC) pour l'Algérie. Ce processus a été supervisé par le comité interministériel constitué dans le cadre de cette activité.

Parallèlement à cette démarche, le MREE et le CAR/PAP ont également lancé un projet de plan côtier pour deux municipalités littorales : Réghaia et Heraoua. Une telle initiative permettait de mettre directement en application les principes de la stratégie à un niveau territorial approprié.

II. Approche de programme GIZC dans la zone d'étude :

Le linéaire côtier étudié occupe 17.5 km environ, Le Lido, Ardis, Oued El Harrach, Sablette, Station El Hamma et le port d'Alger à l'Ouest jusqu'à Bateau cassé, Stamboul Oued El Hamiz, plage El Marsa et le port de Tamanfoust à l'Est, il englobe, le Lido, Sirène, Verte Rive, Bateau Cassé et Stamboul. L'évaluation de cette portion côtière nous a permis de ressortir les menaces potentielles et les pressions environnementales examinées (aussi bien anthropiques que naturelles) exercées.

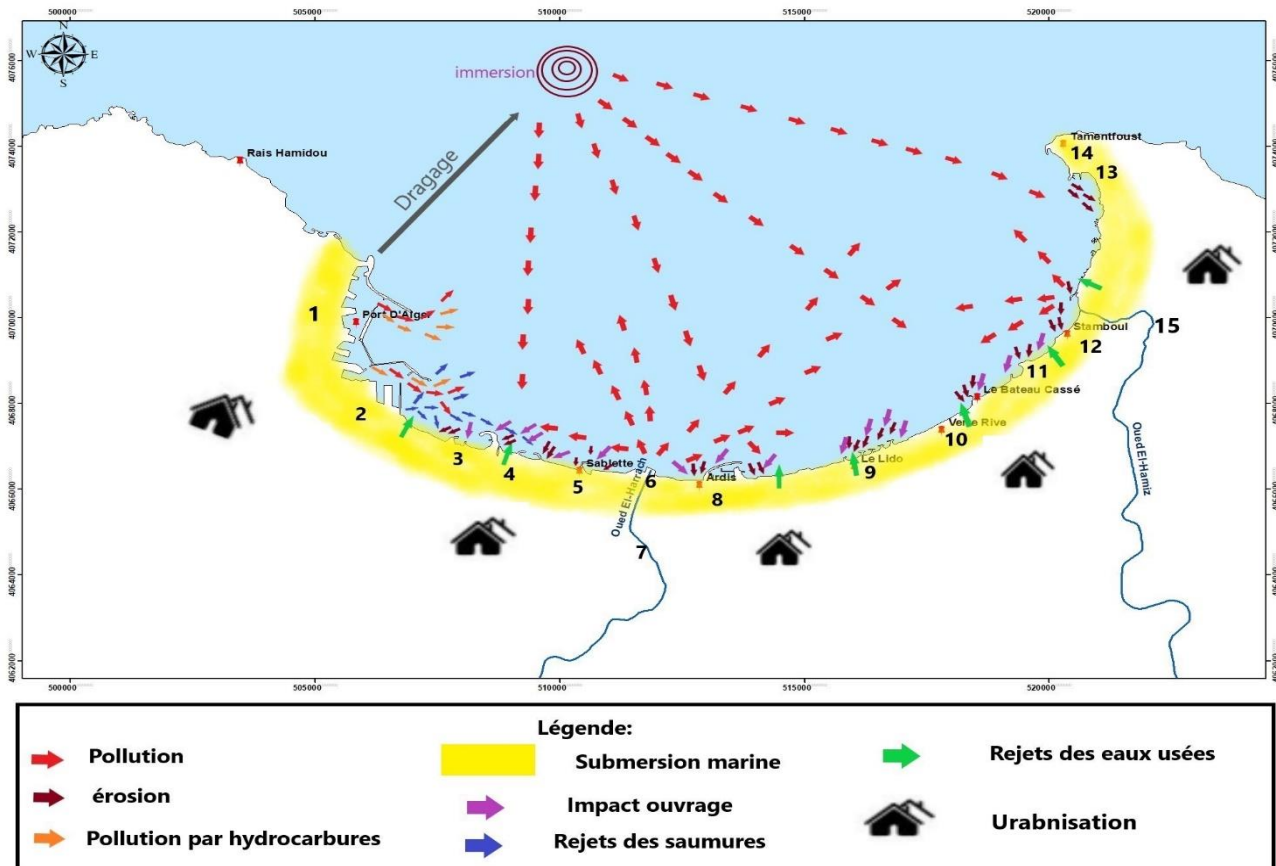


Figure V.1 : Pression naturelle et Anthropique dans la baie d'Alger.

En effets plusieurs paramètres interviennent dans l'évolution de cette zone et dégradent d'une manière directe ou indirecte le milieu et les ressources qui recèlent. Les différentes pressions aussi bien anthropiques que naturelles qu'on peut recenser au niveau de ces zones sont présentées dans le tableau suivant

Gestion intégrée des zones côtières (GIZC)

Tableau V.1 : Tableau représentatif des différentes pressions exercées sur baie d'Alger

Site	Type	Type d'impact	Site d'impact	Degré d'impact	Observation
1	Port d'Alger	- Pollution. - Pollution par hydrocarbures.	Station El Hamma Site 3 Site 4	5	Qte/5ans= 1millions m ³ Particules fine très pollués Deux passe d'entrer = sortie facile des polluants.
2	Station Hamma	- Concentration du sel. - Urbanisation.	Site 3 Site 4 Site 5	3	Reçoit la pollution du port (métaux lourds, hydrocarbures)
3	Sablette 1	- Erosion - Urbanisation	Site 2 Site4	2	Reçoit la pollution d'Oued El-Harrach et du port (dragage) Impact physique sur le littoral.
4	Sablette 2	- Erosion - urbanisation	Site 3 Site5	2	
5	Sablette 3	- Erosion. - Rejets des eaux usées. - Urbanisation	Site 4 Urbanisation	2	
6	Jetée d'oued El-Harrach	- Pollution - Erosion	Site4 Site 8	3	LA présence d'une jetée d'oued El-Harrach engendre une érosion au niveau de l'autre site surtout site 5.
7	Oued El-Harrach	- Pollution - Urbanisation	Site 1,2,3,4,5,8,9,10,11,12,13,14	5	Oued El Harrach : pollution de plus en plus importante.
8	Ardis	- Erosion - Urabnisation	Site 6 et 9	2	La zone d'Ardis proche d'Oued El-Harrach : zone impactée
9	Le lido	- Erosion. - Rejets des eaux usées. - Urbanisation	Site 8 et Site 10 Urbanisation.	2	Subit de la pollution qui vient d'Oued El-Hamiz, Ouest El-Harrach et les Rejets des eaux usées
10	Verte Rive	- Erosion - Rejet des eaux usées. - urbanisation	Site 9 et Site 11	2	Subit de la pollution qui vient d'Oued El-Hamiz, Ouest El-Harrach et les rejets des eaux usées
11	Bateau cassé	- Erosion. - Ubanisation	Site 10 et Site 12	2	Subit de la pollution qui vient d'Oued El-Hamiz, Ouest El-Harrach et les rejets des eaux usées
12	Stamboul	- Erosion - Urabnisation - Rejets des eaux usées	Site 11	2	Reçoit la pollution d'oued El-Hamiz et les rejets des eaux usées
13	Plage El Marsa	- Erosion - Urbanisation		3	Zone érodé causé par le port de Tamanfoust Reçoit la pollution d'oued El-Hamiz
14	Port Tamanfoust	- Erosion - Pollution par les hydrocarbures - Urbanisation	Plage El Marsa	3	Le port est protégé par la jetée qui se trouve au niveau du Cap Matifou.
15	Oued El-Hamiz	- Pollution - Urbanisation.	Site 13, 14, 12, 11, 10.	4	Oued El-Hamiz très pollué débouche sur les plages de la commune de Bordj El Bahri. les eaux polluées traversent plusieurs localités à forte densité démographique.

Gestion intégrée des zones côtières (GIZC)

Plusieurs paramètres interviennent dans l'évolution de cette zone et dégradent d'une manière directe ou indirecte le milieu et les ressources qui le recèlent.

Différentes pressions aussi bien anthropiques que naturelles peuvent être clairement remarquées dans notre zone, ainsi que les solutions prévues dès aujourd'hui sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Tableau représentatif de quelque solution, ces résultats et ces indicateurs

Objectifs	Solution	Résultats de la solution	Indicateurs
Lutte contre l'érosion	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation des plages - La construction d'ouvrages en haut de plage - Stratégie globale pour la gestion du littoral. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt du recul du trait de côte - Restauration de Plage 	<ul style="list-style-type: none"> - Recul de trait de côte 0.42m/an - Extraction de sable m3 /an.
Lutte contre Pollution	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une épuration des eaux avant leur rejet direct. - Éviter les transferts aux milieux aquatiques. - Collecte des déchets solides. - Police urbaine pour la protection de l'environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité des eaux. - Amélioration de l'état et l'aspect visuels des plages. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rejet des eaux usées - Rejet des déchets Solides. - Plage interdite à la Baignade. - L'Apparition des maladies à cause de la pollution. - Pollution par hydrocarbures.
Elimination de toute construction illégale	<ul style="list-style-type: none"> - Démolition de toute construction illégale - Déplacer les constructions illégales vers les autres régions 	<ul style="list-style-type: none"> - Des zones côtières préservées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de construction/ surface
Tourisme durable	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de développement touristique durable - Gestion des flux touristiques 		<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de touristes / linéaire côtier

Conclusion générale

Notre étude nous a permis de constater que la diversité des facteurs à l'origine des phénomènes auxquels fait face le littoral de la zone de Verte Rive le rendait sensible à toutes autres interventions qui très souvent ne représentent que des solutions temporaires à un problème d'ordre régional.

Les résultats de notre étude ont montré que la plage verte Rive est soumise à un régime de houles fréquent qui est menaçant de secteur Nord et la plus menaçante est de secteur Nord-Est.

La première étude, consistait à étudier l'évolution de trait de côte de notre zone d'étude ou on a conclu que Verte Rive correspond à une zone de recul. La deuxième étude consistait en une étude bathymétrique de la zone d'étude, effectuée sur terrain, c'est l'étude de base, elle a pour but de tracer une série de levés bathymétriques afin d'élaborer des cartes et des profils bathymétriques reflétant la topographie sous-marine.

L'ensemble des données obtenues à travers les études précédentes ont, par la suite fait l'objet d'un ensemble d'études numériques par le logiciel Mike21, qui ont permis de mieux comprendre notre zone d'étude.

En premier lieu, nous avons effectué une étude de réfraction de la houle, qui avait pour but d'exploiter les caractéristiques de la houle au large afin de définir les caractéristiques de la houle à la côte. Par la suite, nous avons réalisé une étude hydro-sédimentaire qui consistait principalement en une modélisation numérique ; cette étude permet de calculer l'incidence des ouvrages sur la circulation hydrodynamique et de vérifier que les modifications de la trajectoire des courants sont acceptables pour l'ouvrage de protection et de voir l'évolution du transport sédimentaire.

La synthèse des études réalisées à travers ce mémoire, ont permis de proposer quatre variantes de protection pour la plage de Verte Rive. La première variante, consiste en une batterie de six brise-lames ; la seconde une série d'épis en « L » vers le transit dominants ; et dans le but de minimiser le coût et de protéger notre zone d'étude on a proposé une troisième variante qui consiste en une batterie de six géotextiles immergées à une profondeur de -3m et de 150 mètres de longueur ; la quatrième variante est aussi une batterie de géotextiles mais avec 3 géotextiles de 300 mètres de longueur.

Après une étude approfondie, et une comparaison entre les quatre variantes de protection suivant les critères d'atténuation de la houle, le piégeage de sédiments, d'impact environnemental et le coût, le choix final s'est porté sur la variante n°3 pour les raisons suivantes, c'est la variante la plus efficace, la plus économique et la plus harmonieuse avec le paysage.

Pour clôturer ce travail, une étude de Gestion intégrée des zones côtières (GIZC) a été effectuée.

La gestion intégrée des zones côtières est d'une importance primordiale pour assurer la durabilité des écosystèmes côtiers. Où on est focalisé sur les différentes menaces et acteurs qui impactent notre zone d'étude et la baie d'Alger en générale. Au finale, on a conclu avec un tableau récapitulatif des différentes menaces et impacts sur l'écosystème de notre zone avec les solutions proposées.

Références

- **Ahfir.Y,Meziane.I, (2016).** Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa, Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj. *Mémoire d'ingénieur, spécialité aménagement du littoral*,DALLY BRAHIM ,ENSSMAL,p.p144-148.
- **Ait Saadi.Z, Mansouri.F, (2020).** Travaux de protection du rivage marin de la résidence Sahel Club des Pins. *Mémoire d'ingénieur,spécialité aménagement du littoral*,DALLY BRAHIM ENSSMAL. P : 133.
- **Amarouche.K, Bachari.N-I, Houma.F, Boughrira.A, (2017).** Development of a numerical code to simulate the hydrodynamic energy potential, applied at Bou Ismaïl bay. *Revue des Energies Renouvelables*, 20, 3, 377-388.
- **Ammour.L, (2020).** Etude de l'extension du port de Dellys (Recours à la modélisation numérique, l'étude Hydro-Bathy Sédimentaire et l'étude de l'agitation du bassin portuaire). *Mémoire d'ingénieur,spécialité gestion et protection du littoral*, DALLY BRAHIM,ENSSMAL,p133.
- **Bachari Houma.F, (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat, spécialité science de l'univers et environnement, PARIS, Université du Val de Marne Paris XII.
- **Bejaoui.B, Brahim.M, Mouelli .I-B, (2002).** Modélisation de l'évolution du trait de côte et de la protection du littoral dans le golfe de Tunis. *Bull. INSTM*. Tunisie
- **Boughanmi.O,Houes.H, Ennour.S, (2019).** Aménagement d'un brise-lames en tubes géo-synthétiques pour la régénération de la façade maritime d'un hôtel de luxe à Tabarka. *12^{èmes} Rencontres Géosynthétiques*. Tunisie
- **Bulteau.T, Garcin.M, Oliveros.C, Lenôtre.N, (2011).** Synthèse des travaux menés sur l'observation de l'évolution du trait de côte. *Rapport BRGM/RP-59396-FR*.
- **Cicin-Sain.B, Knecht.R-W, (1998).** Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices. *Island Press*, Washington DC.
- **Farnole.P, Lebunetel.J, (2011).** Les digues sous-marines en géotextiles pour la protection des plages : avantages et inconvénients. *Revue Paralia*.
- **Haddouche.C, Baouz.Y, (2019).** Etude de protection de la plage de Verte Rive. *Mémoire d'ingénieur, spécialité aménagement du littoral*,DALLY BRAHIM,ENSSMAL,p.p144-148.
- **Jungerius.P-D.Van der Meulen .F, (1988).** Erosion processes in a dune landscape along the dutch coast. *CATENA*, 15, 217-228.
- **Łabuz.T-A, (2004).** Coastal dune development under natural and human influence on Swina Gate Barrier (Polish coast of PomeranianBay). *Coastline Reports*, 2, 129-138.

- **Larbi.N, (2017).** Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK). *Mémoire d'ingénieur*, spécialité aménagement du littoral, DALLY BRAHIM, ENSSMAL .
- **Lebunetel.J, Farnole.P, (2011).** Impact de digues ISC sur la dynamique littorale : Etude de cas des plages de Saint-Hilaire de Riez en Vendée. *Revue Paralia*, 4, 9-1.
- **Leclaire.L, (1972).** La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro Baléares (Précontinent Algérien). *Tome XXIV. Edition de Muséum*, Paris, France, 391 P.
- **LEM, (1998).** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de Sable sur la baie d'Alger (document non publié) : LEM.
- **LEM, (2018).** Etude d'avant-projet sommaire de protection et d'aménagement (document non publié) : LEM.
- **Mouche.S, (1987).** Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologie, géochimique et traitement statistique. *Thèse de 3ème cycle*, MONACO, Univ. Perpignan, p214.
- **Maouche.S, Morhange.C, Meghraoui.M, (2009).** Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean, *Marine geologie* 262, p.p96-104.
- **MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer), (2010).** LA gestion du trait de côte. *Quae. 978-2-7592-0360-4*, p290.
- **Millot .C, (1987).** Circulation in the western Mediterranean sea. *Oceanologica Acte. Vol 10; .n°2*, p.p143- 149.
- **Millot.C, Taupier-Letage.I, Benzohra.M, (1990).** "The Algerian eddies." *Earth-Science Reviews*, Volume 27, Issue 3, p.p203-219.
- **Paskoff.R, (1998).** La crise des plages ; pénurie de sédiments. *Mappemonde* 52, p.p11-15.
- **Pope, (2008).** Coastal Engineering Manual (CEM) *Enginner Manual, 1110-2 -1110 (change2)*, US Army Coprs Of Engineers research and developement centre US, Washington, D.C.
- **Rabehi.W, Mahi.H, Guerfi.M, (2018).** Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger Approche socio-économique et physique de la côte. *Méditerranée*. Algérie
- **Robinet.A, (2017).** Modélisation de l'évolution long-terme du trait de côte le long des littoraux sableux dominés par l'action des vagues .*Thèse doctorat* ,spécialité physique de l'environnement, BORDEAUX, université de Bordeaux École Doctorale Sciences Et Environnements.
- **Samir.B (2016).** Risk assessment of heavy metal in surface sediments from Algiers harbor (Ageria). Vol. 5, *International Journal of Science and Knowledge*.

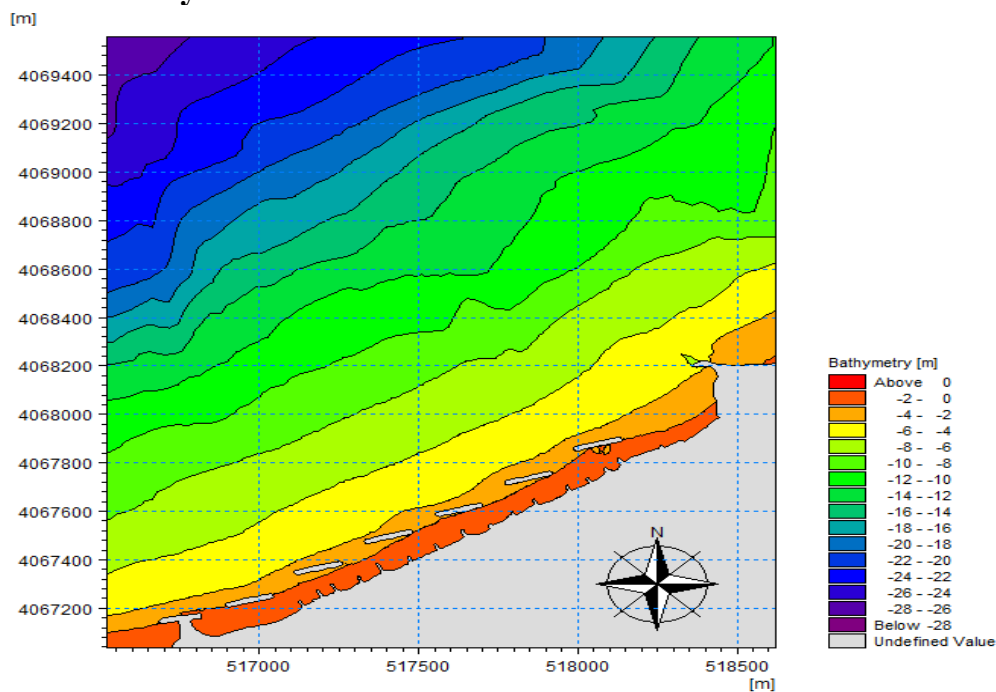
- **Sogreah,(1984).** Protection du littoral nord de Port-Barcarès. *Rapport pour la commune de PortBarcarès*, p48.
- **Teffahi.N, (2018).**cours de cartographie 4^{ème} année aménagement du littoral, *ENSSMAL*. Algérie.
- **Yelles-Chaouche.A,Roger.J,Deverchere.J,Bracene.R,Domzig.A,Hebert.H,Kheroubi.A, (2009).** The 1856 Tsunami of Djidjelli (Eastern Algeria) : Seismotectonics, Modelling and Hazard Implications for the Algerian Coast, *Pure and applied geophysics* 166,p.p 283-300.
- **Yelles-Chaouche.A, Boudi.A, Djellit.H, Bracene.R, (2006).** La tectonique active de la région nord-algérienne (consulté le 12/05/2021) Disponible sur le site web : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631071305003317>

Annexes

Tableau des Points d'extraction de la réfraction de la houle :

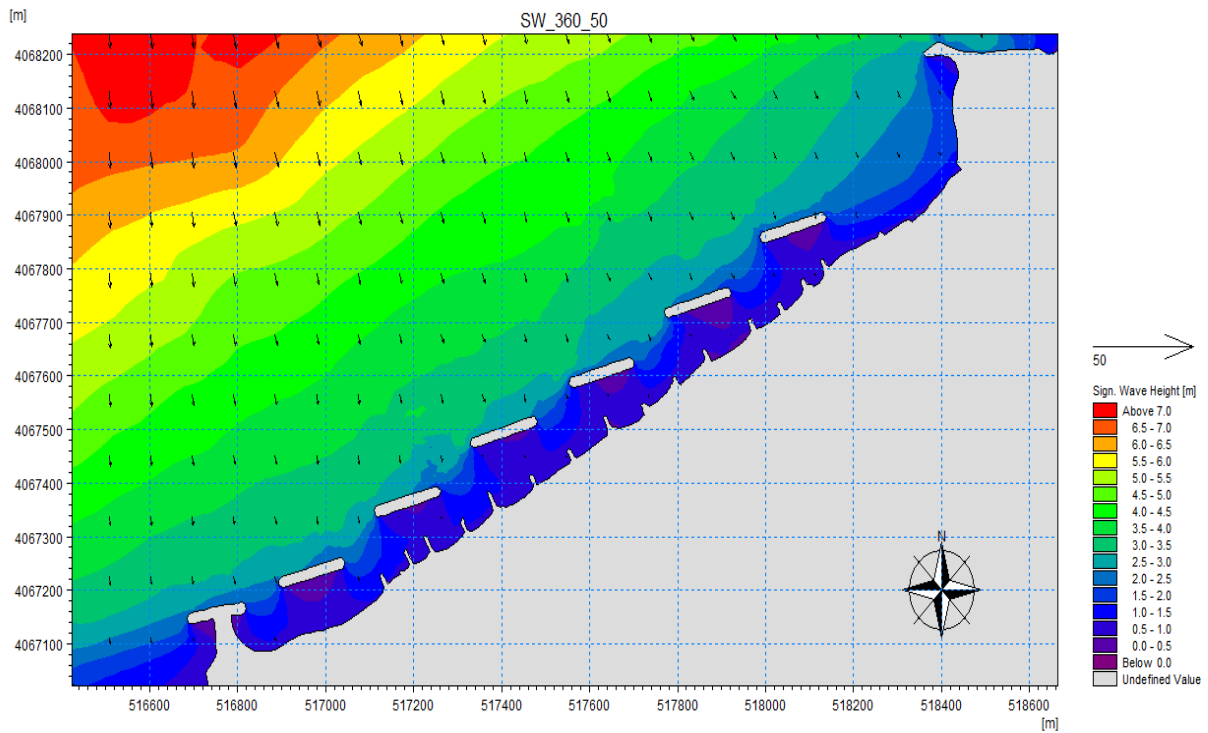
X	Y	Z
517113	4067312	-2.21
517533	4067550	-2.59
518060	4067850	-2.78
518589	4068245	-2.47
519014	4068574	-2.48
517301	4067577	-4.67
517786	4067879	-4.89
518298	4068281	-5.22
518817	4068620	-4.59
516886	4067681	-7.51
517462	4067994	-7.49
518058	4068463	-7.65
518491	4068694	-7.32
518878	4069070	-7.36
517074	4068116	-10.04
517643	4068482	-9.99
518206	4068921	-10.23
516658	4068181	-12.53
517365	4068590	-12.54
517850	4068963	-12.51
518359	4069260	-12.44
516903	4068556	-15
517450	4068920	-15
517793	4069240	-15.24

La bathymétrie de la zone d'étude avec les brise-lames

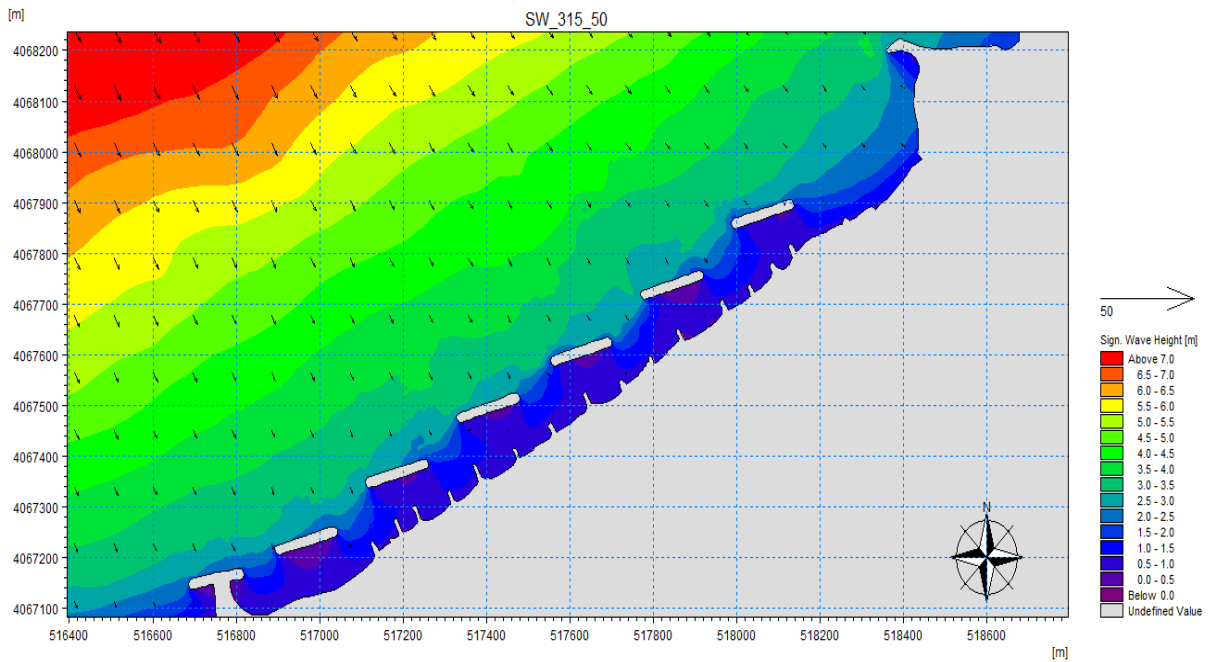


La réfraction des houles cinquantennales (cas d'une batterie des brise-lames) :

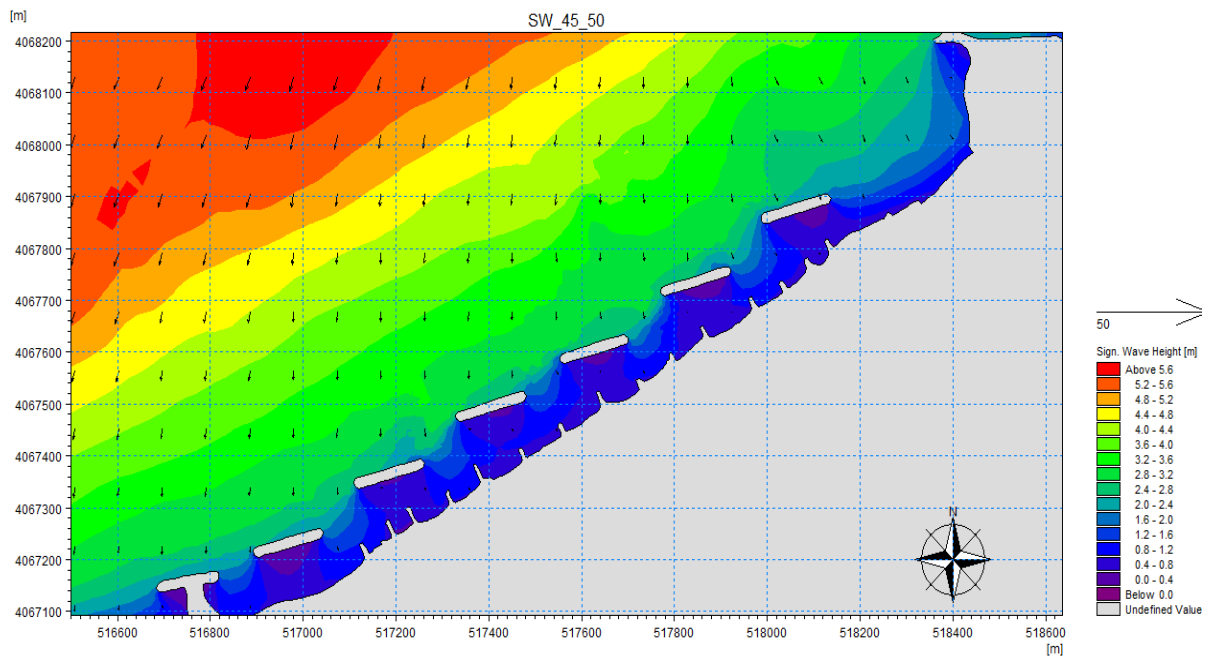
Pour la houle incidente N°360 :



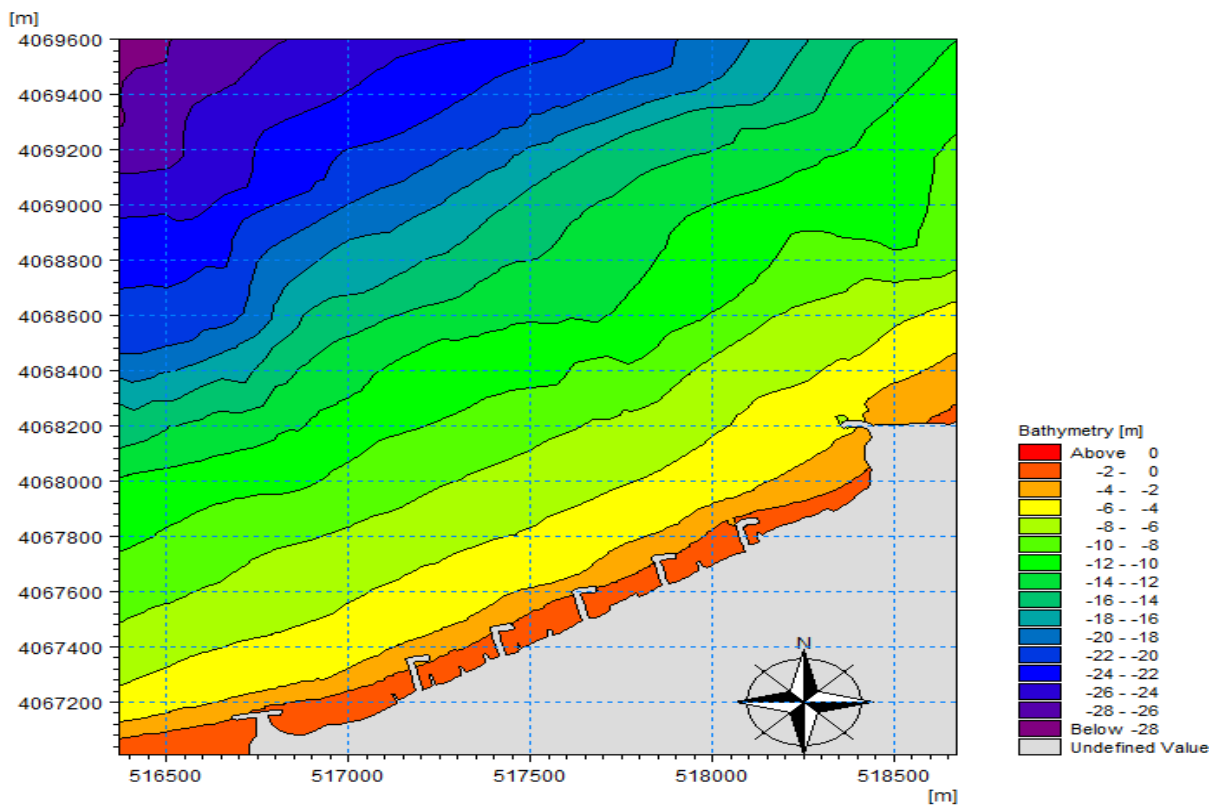
Pour la houle incidente N°315 :



Pour la houle incidente N°45 :

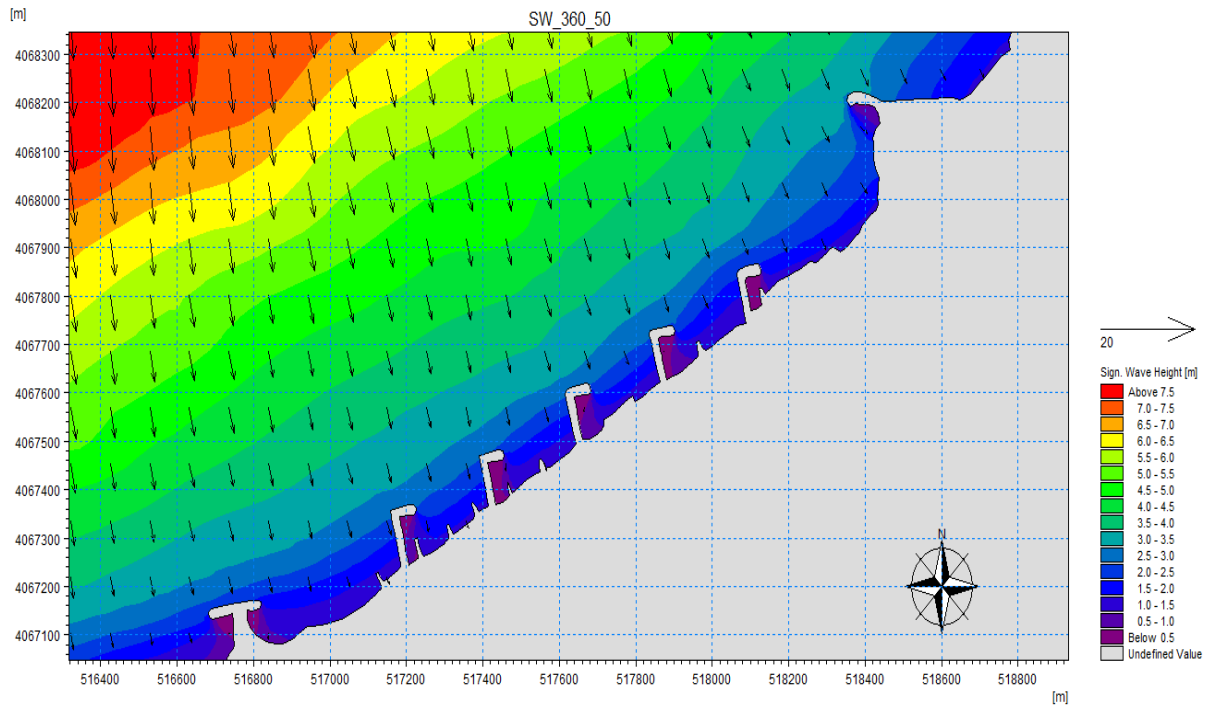


La bathymétrie de la zone d'étude avec les épis :

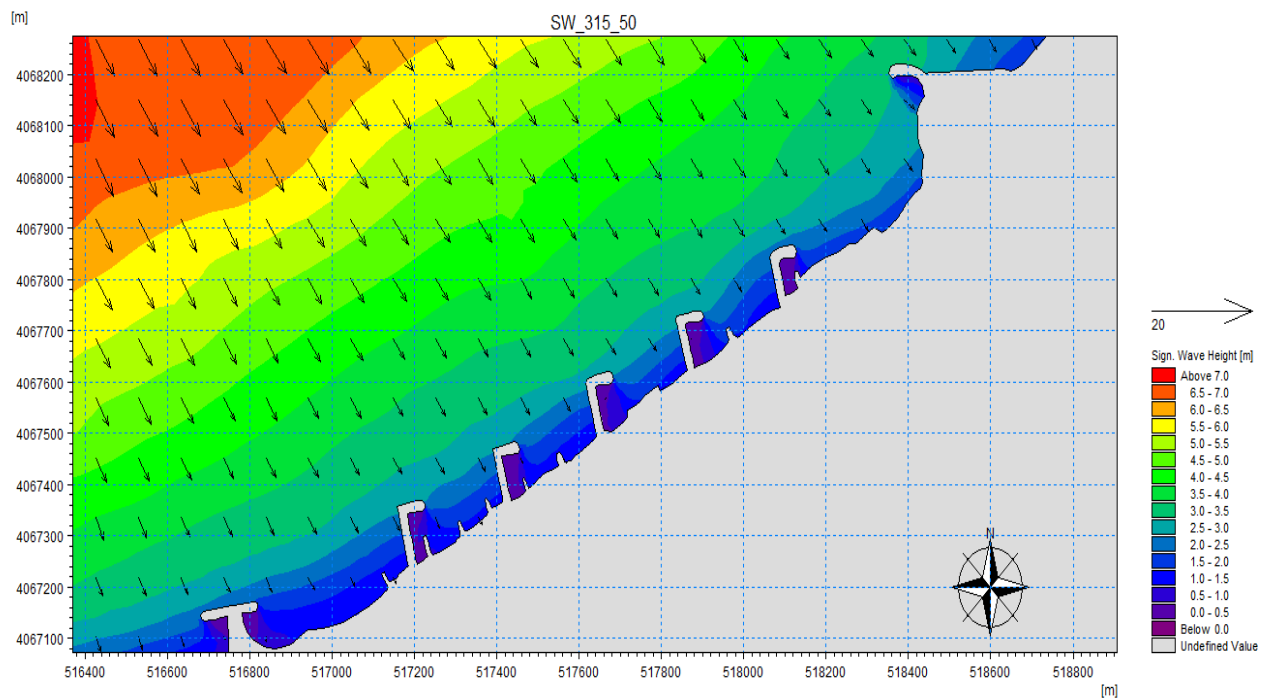


La réfraction des houles cinquetennales (cas d'une batterie d'épis) :

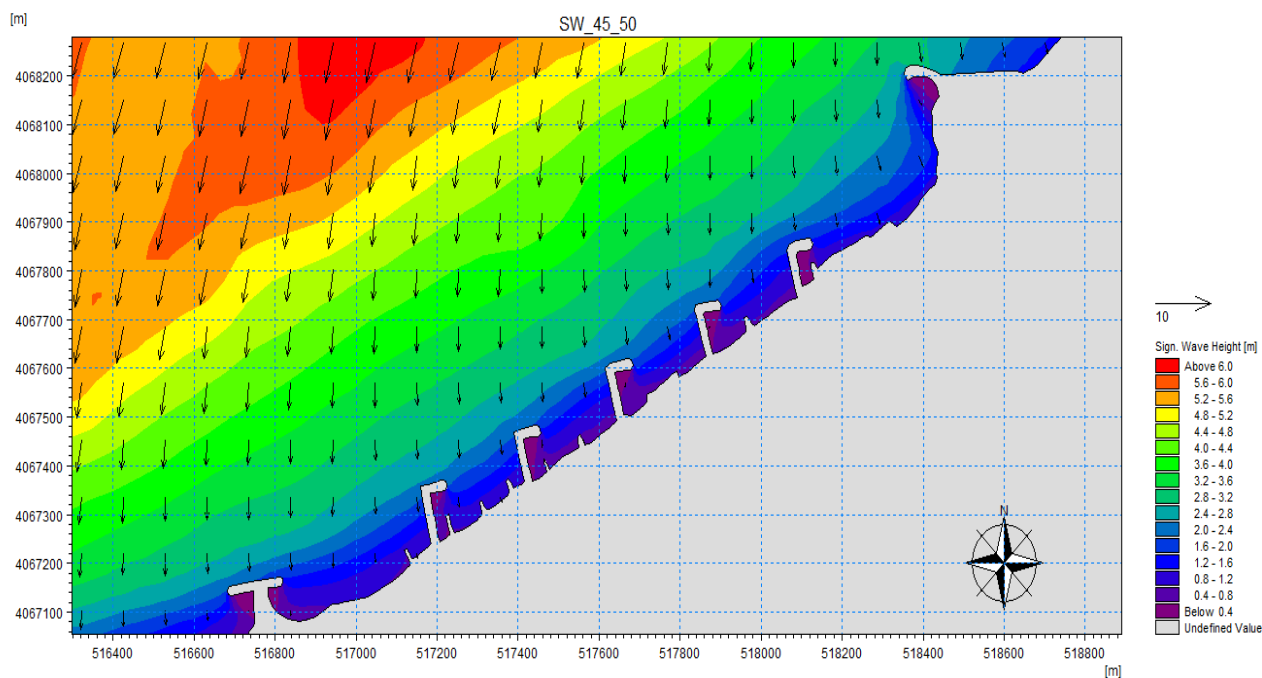
Pour la houle incidente N°360 :



Pour la houle incidente N°315 :

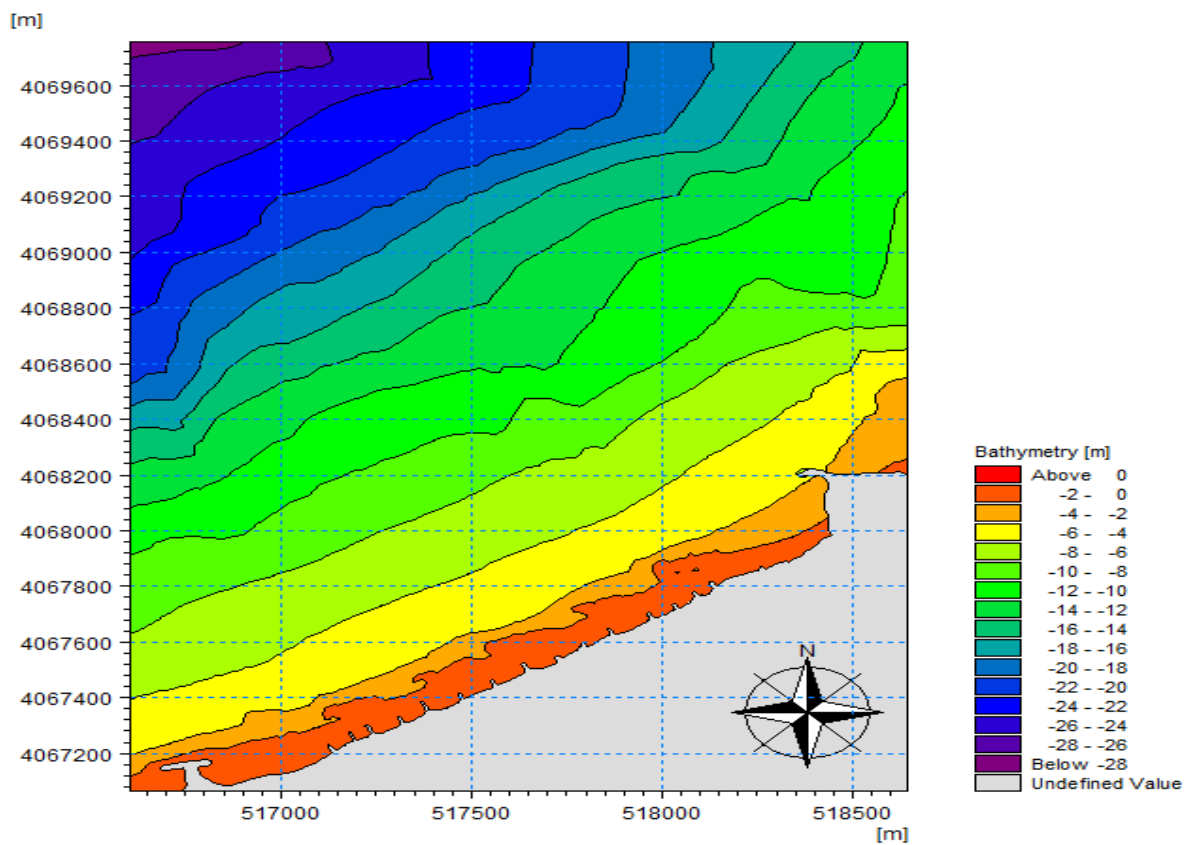


Pour la houle incidente N°45 :

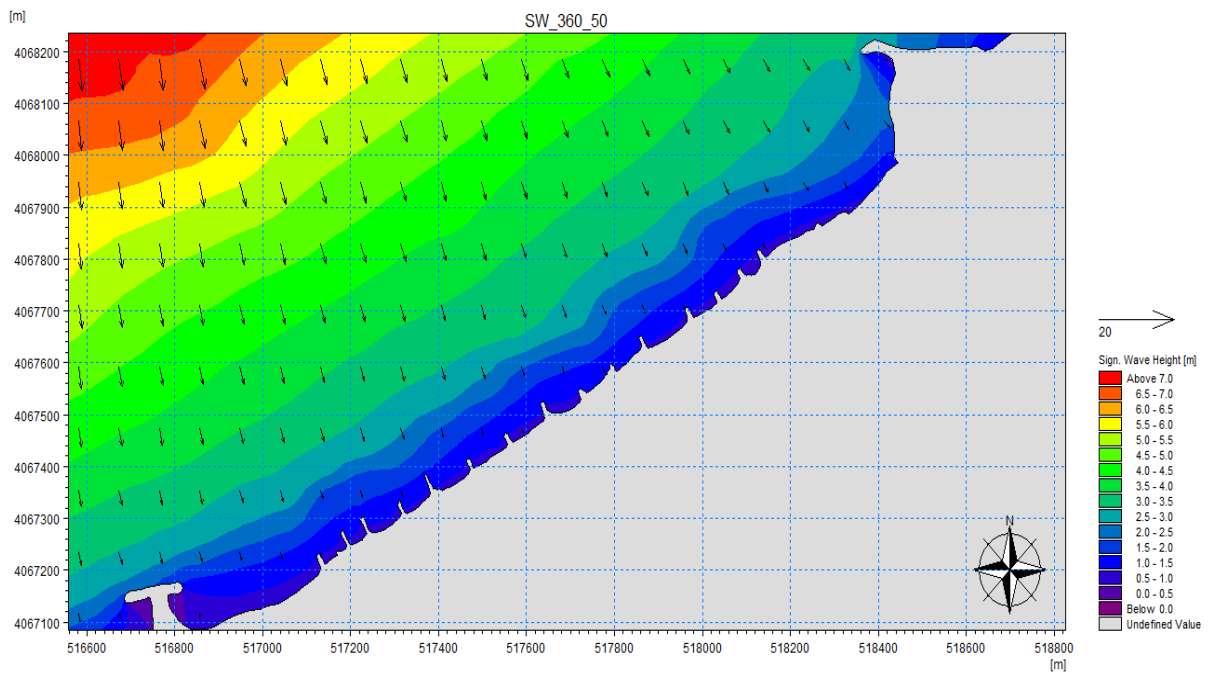


Résultats de la réfraction de la houle cinquantennales pour la troisiemes va-riante :

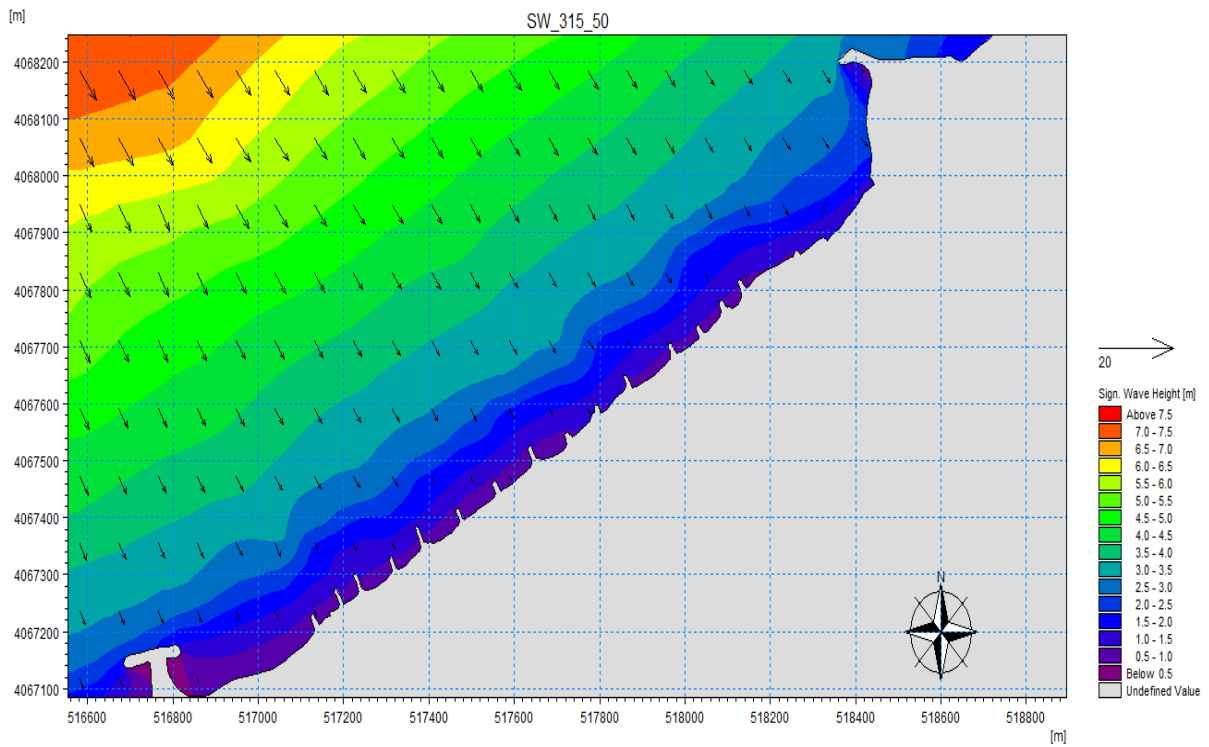
La carte bathymétrique :



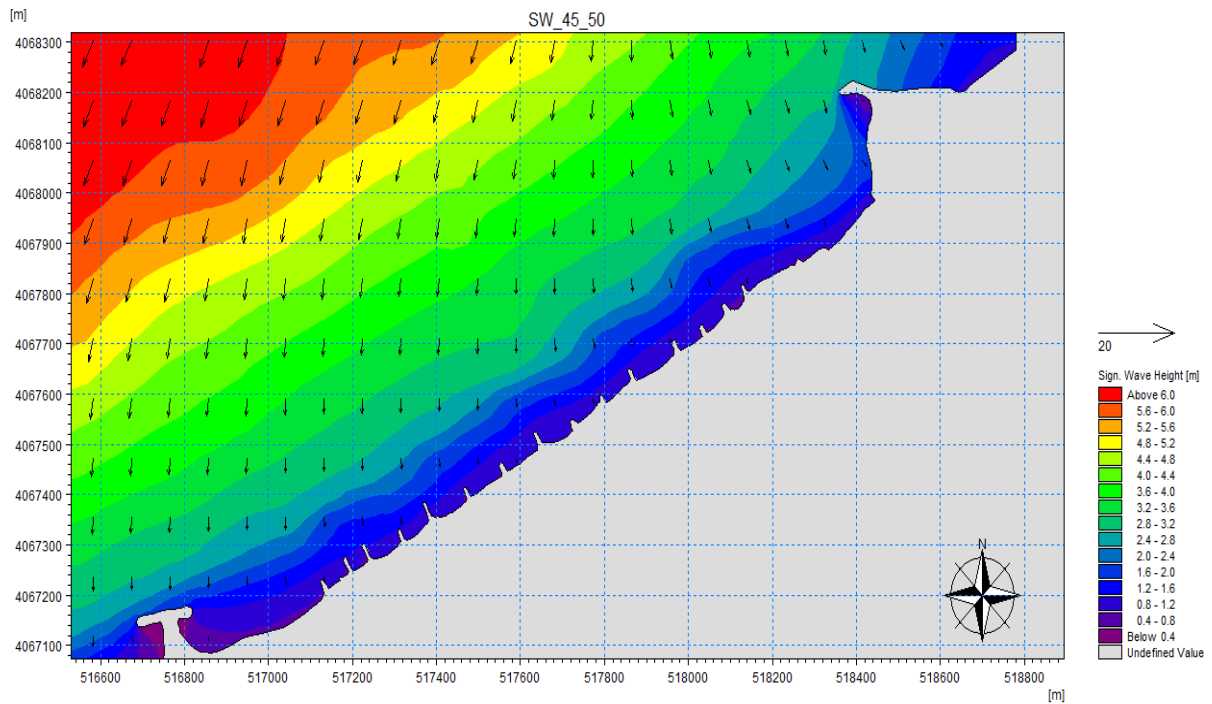
Pour la houle incidente N°360 :



Pour la houle incidente N°315 :

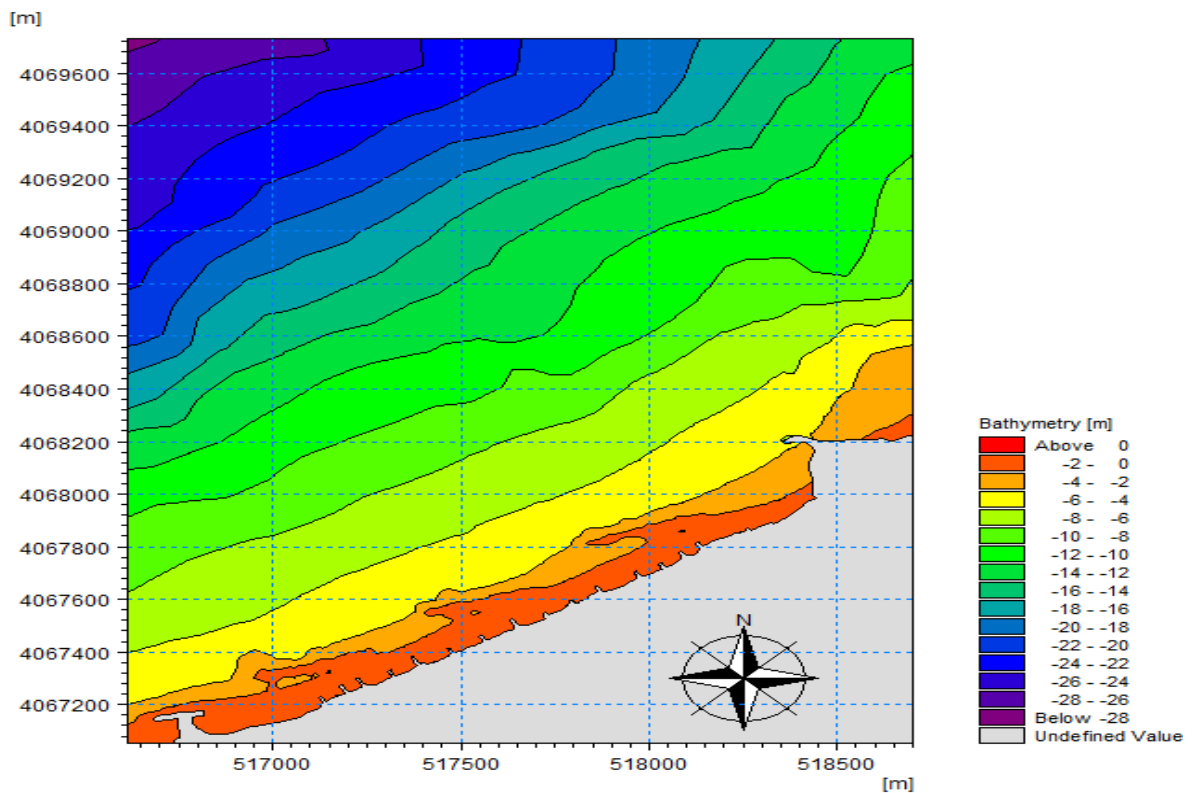


Pour la houle incidente N°45 :

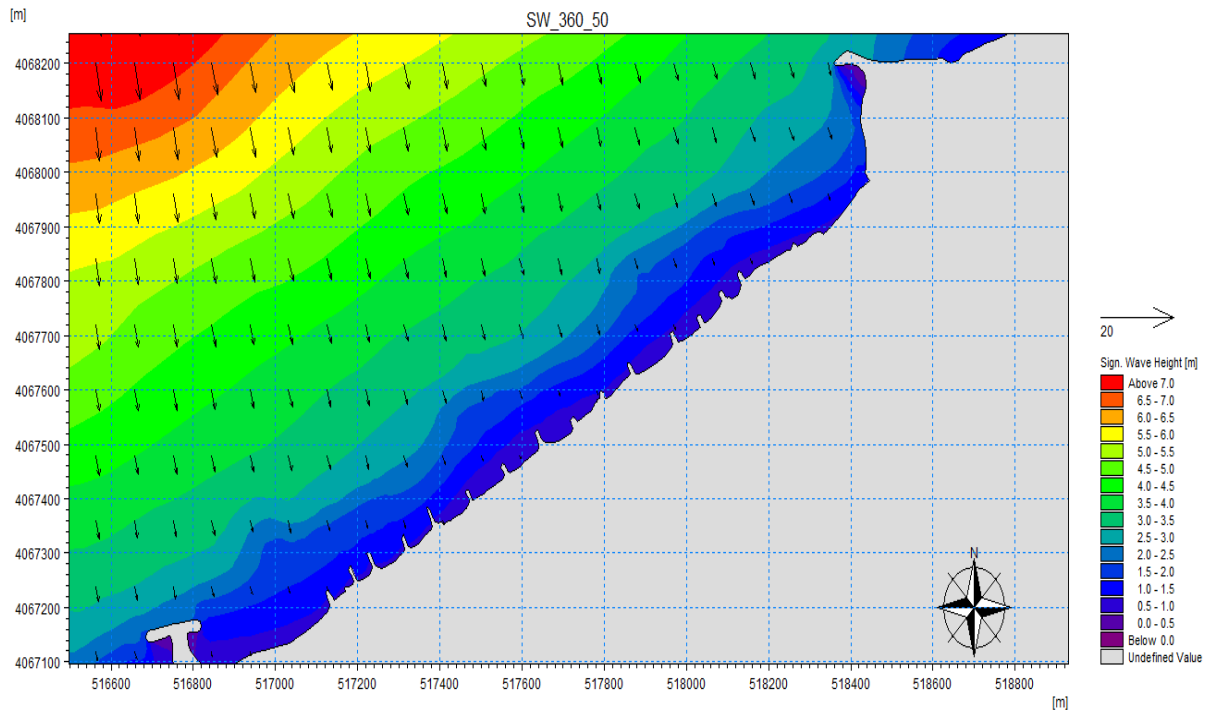


Résultats de la réfraction de la houle cinquantennales pour la quatrième variante :

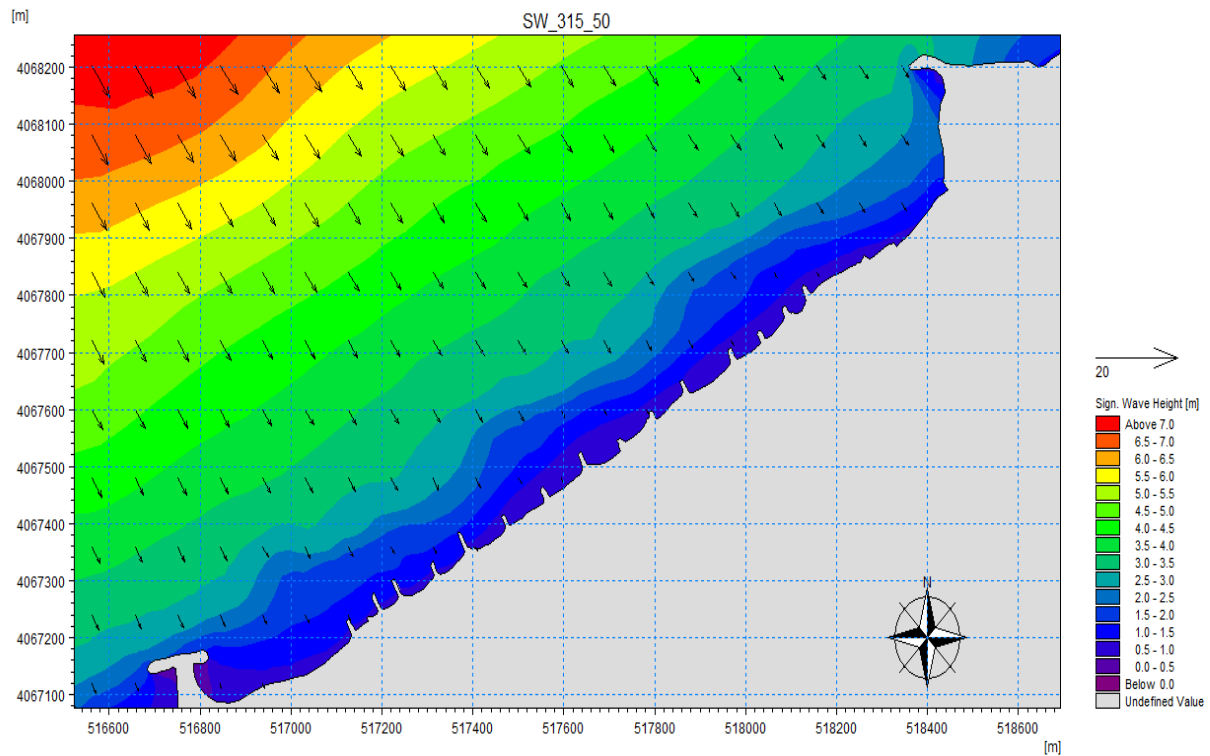
LA carte bathymétrique :



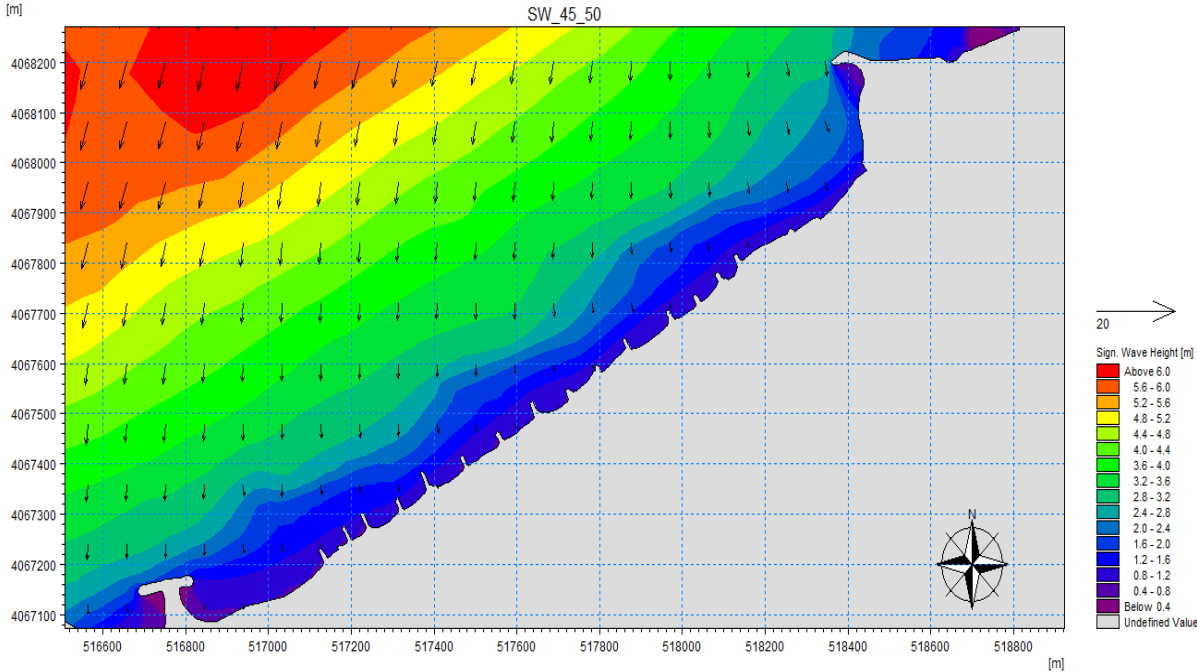
Pour la houle incidente N°360 :



Pour la houle incidente N°315 :



Pour la houle incidente N°45 :



Résumé :

La plage de la Verte Rive dans la région de Bordj El Kiffan, fait partie des stations balnéaires algériennes les plus fréquentées dans les années 80 et 90. Elle subit de nos jours une érosion conséquente du fait de son attraction urbanistique, surtout l'habitation côtière s'y trouvant souvent trop près de la mer

Pour cette problématique le laboratoire des études maritimes (LEM) en 2017 a proposé une étude de protection de cette zone dans le but de diagnostiquer les causes de la problématique et estimer ses conséquences dans lequel on a ajouté une étude d'évolution de trait de côte, deux autres variantes de protection et aussi une étude de gestion intégrée des zones côtières.

Abstract :

The beach of the Verte Rive in the region of Bordj El Kiffan, is one of the most frequented Algerian seaside resorts in the 80s and 90s. Nowadays it suffers a consequent erosion because of its urbanistic attraction, especially the coastal habitation. often being too close to the sea

For this problem, the maritime studies laboratory (LEM) in 2017 proposed a study of the protection of this area in order to diagnose the causes of the problem and estimate its consequences, to which we added a study of the evolution of the coastline. , two other protection variants and also an integrated coastal zone management study

ملخص:

بعد شاطئ فارت ريف في منطقة برج الكيفان من أكثر المنتجعات الساحلية الجزائرية تردداً في الثمانينيات والتسعينيات ويعاني حالياً من تاكا ناتج عن جاذبيته العمرانية، وخاصة السكن الساحلي، غالباً ما يكون قريباً جداً إلى البحر

اقترح مختبر الدراسات البحري في عام 2017 دراسة حماية هذه المنطقة من أجل تشخيص أسباب بالنسبة لهذه المشكلة وتقدير عواقبها، وأضفنا إليها دراسة لتطور الساحل. متغيرين آخرين للحماية وكذلك دراسة الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية