

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعب

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

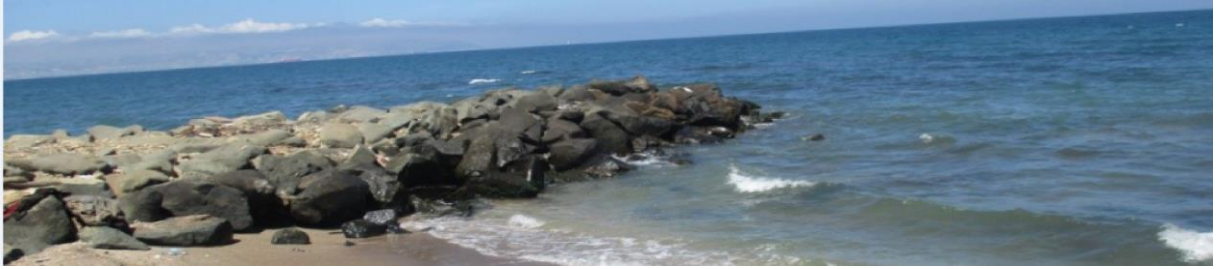
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL



Etude de protection de la plage de la Verte Rive (Bordj El Kiffan)

Présenté par :

HADDOUCHE Chihab et BAOUZ Yacine.

Soutenu le 28/09/19 devant :

Mr.KADA.M	Maitre-assistant A	(ENSSMAL)	President
Mr.MEZZOUAR.KH	Maitre conference A	(ENSSMAL)	Examineur
Mr.DAHMANI.AA	Maitre-assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
Mr.OTMANI.H	Maitre-assistant A	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr.HATTAB.A	Ingénieur en chef	(LEM)	Co-promoteur

Promotion : 2019

Remercîments

« Lis au nom du seigneur qui ta créé ! il a créé l'homme d'un caillot de sangs. Car ton seigneur est très généreux qui a instruit l'homme au moyen du calame, et lui a enseigné ce qu'il ignorait ». (Coran 96 :1-5).

On remercie notre seigneur, de nous avoir donné le savoir, le courage ainsi que la force de surmonter nos cinq années d'études, et d'accomplir à la fin ce travail à la mémoire de tout l'effort que l'on a procuré, ça n'a pas été toujours facile, mais même dans les moments les plus difficiles nous arrivions à chaque fois à trouver la bonne voie, ainsi que les bonnes personnes pour nous guider.

On remercie en premier lieu nos deux encadreurs, **Mr OTMANI Houceine** qui a trouvé aussi la force de nous faire confiance, qui nous a guidé et orienté, qui a été patient et a pris le temps de bien nous expliquer les choses, l'on remercie également **Mr HATTAB Abdelhak**, avec qui nous avons énormément appris, il s'est montré d'une aide plus que précieuse et nous investit de son temps précieux avec un dévouement inégalable, et nous espérons sincèrement que nos bonnes relations ne prendront guère fin avec notre travail.

Nous tenons à remercier, aussi en deuxième lieu l'équipe du Laboratoire des Etudes Maritimes, des agents de sécurité aux ingénieurs du département environnement et littoral, ont eu la gentillesse de nous accueillir parmi eux et de nous ouvrir les portes du monde professionnel, avec une attention particulière à Mme MIHOUBI Imane, qui nous a été d'une aide très précieuse.

Nous remercions en fin énormément nos parents (Mr HADDOUCHE Abdelkader, Mr BAOUZ Abdelmalek, Mme BAOUZ Nassima), nos 2 familles respectives et à nos proches qui nous ont tellement encouragés, nos amis proches dont le soutien sans cesse avérait a des moments un élément essentiel à notre avancement, et toute personne qui a participé de près ou de loin à ce travail.

Dédicace

Si il y'a une personne à qui je devrais dédier ce travail ainsi que toutes mes années de travail c'est belle est bien ma très cher maman, Fatima Zohra dont je revoie le sourire en me voyant revenir de mon premier jour d'école.

«الله يرحمك يا يما»

« Que dieux te fasse part de sa miséricorde»

HADDOUCHE Chihab

Introduction

Les littoraux sableux à travers le monde endurent un recul sur 70 % de leur longueur, 20 % seulement sont stables, tandis que 10 % en situation de progradation. Les phénomènes d'érosion et de submersion marine présentent une menace permanente pour les plages, dont l'ampleur est de plus en plus importante. (Paskoff R, 1998). (Shenan SJ,1993).

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 à 90. Elle subit de nos jours une érosion conséquente du fait de son attraction urbanistique, mettant en péril les habitations côtières s'y trouvant souvent trop près de la mer.

Cette problématique d'ordre général au niveau de toute la baie d'Alger fait l'objet d'un certain nombre de travaux, dans le but de diagnostiquer les causes, parmi eux les applications de l'indices de vulnérabilité côtière (Rebahi, 2017). L'étude de protection sur Bordj El Kiffan (Kadri I, 2017), l'étude de la protection de verte rive (Larbi N 2017), diagnostic de la zone du Lido (Hamadouche D.M et Brahmi M.A 2017) ainsi que protection du Lido (Belabbas S et Boukhari M.A, 2018).

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 le plus des causes et des menaces liées à la vulnérabilité de cette zone, ainsi pour mieux planifier une solution d'aménagement et de protection. Pour cela notre travail a été structuré en trois chapitres, comme suit :

- Chapitre I : Les généralités sur la zone d'étude.
- Chapitre II : La méthodologie de travail suivi.
- Chapitre III : Les résultats obtenus, les discussions et les propositions de protection.

Chapitre I :

Généralités

I) Situation géographique :

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

Bordj El kiffan (ex-Fort de L'eau) est située à 20 km à l'Est du port d'Alger, elle est limitée au Sud par la commune de Bab Ezzouar ; à l'Est, par la commune de Bordj El Bahri et à l'Ouest, par la commune de Mohammadia. Elle relève de la circonscription administrative de Dar El Beida.

Deux importants oueds débouchent en mer dans la zone de Bordj El Kifan, Oued El Hamiz à l'Est et Oued El Harache à l'Ouest, au milieu se situe notre zone d'étude (la plage Verte Rive).

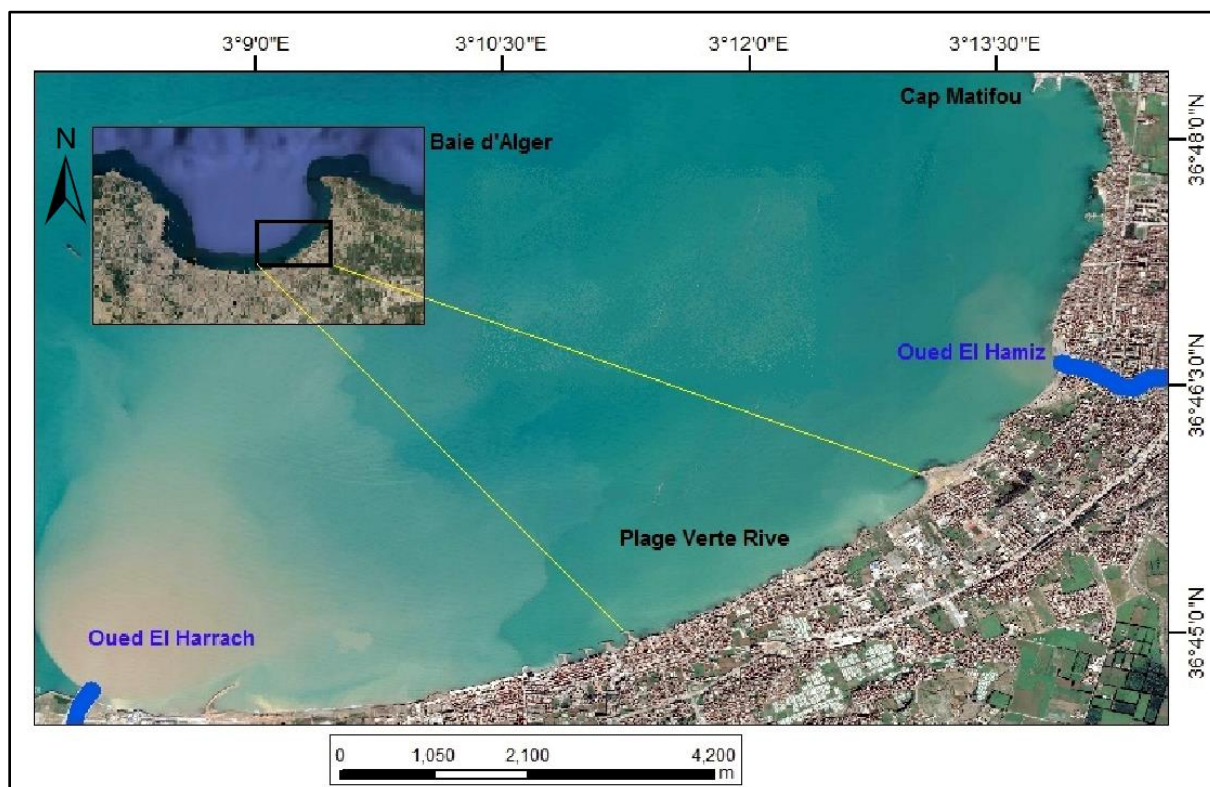


Figure 1.1 : Positionnements géographiques de la plage de la Verte Rive.

La plage Verte rive, s'étend sur 2000m linéaires, située à l'Est d'une série de plages (Lido et fort Stambul). A l'extrême Est on trouve le Cap Matifou et au Sud des habitations et des terrains privés.

Directement exposée aux acteurs hydrodynamiques marins, la baie d'Alger composée essentiellement de plage en poches, de promontoires rocheux et de falaises, subit une érosion significative (Maouche, et al., 2009). Elle est aussi soumise à une variabilité météorologique élevée caractérisée par des périodes de crue exceptionnelles, qui ont provoqué par le passé des désastres.

La plaine est aussi bordée par des reliefs prononcés (mont de Bouzareah), et sujette à des glissements de terrain et à des coulées de boues (EGIS EAU, et al., 2013).

II) Cadre géologique :

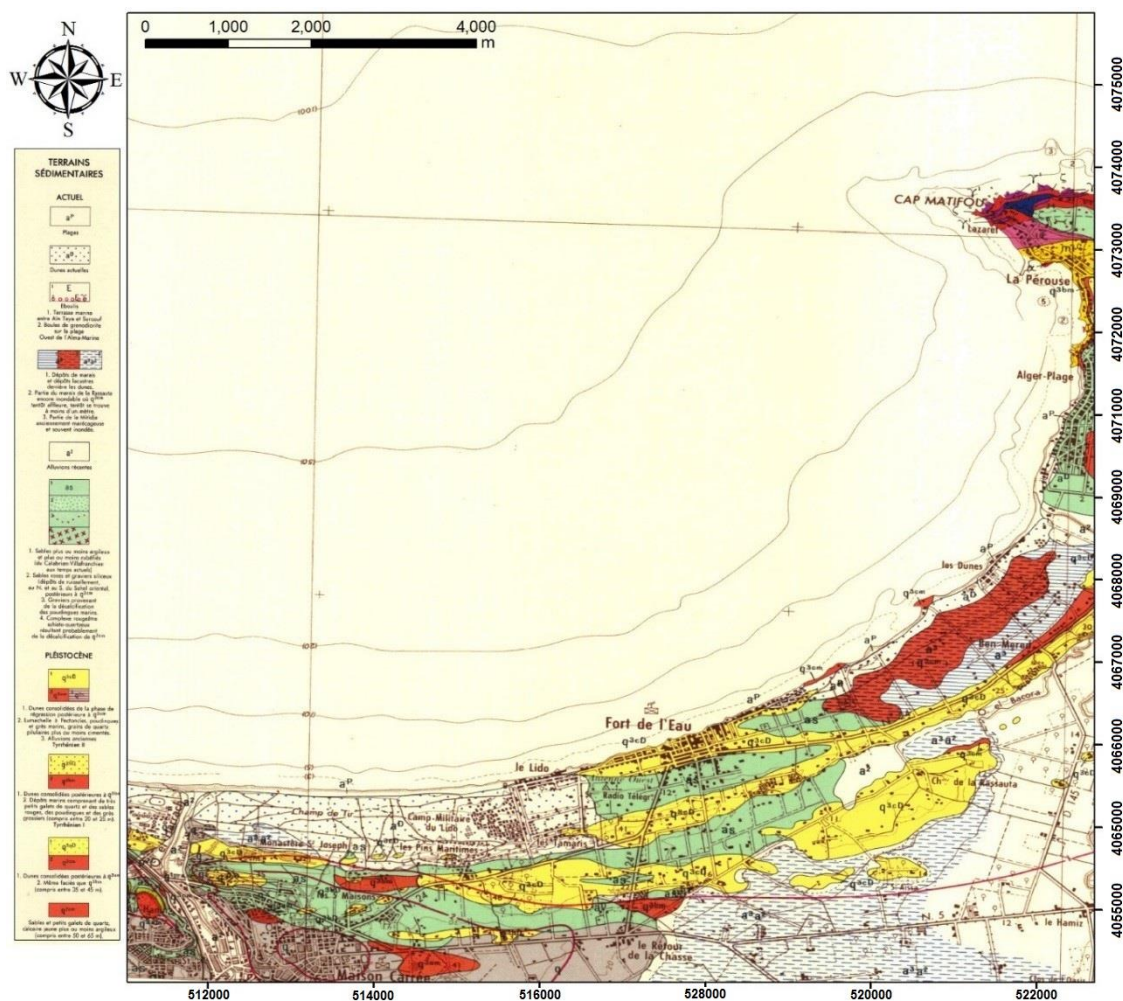


Figure 1.2 : Zoom sur la carte géologique de la baie.

Il a été utilisé pour la caractérisation géologique du site d'étude, une carte géologique d'Alger datant de 1964 d'une échelle 1/50000, géo-référencée avec le

système de projection UTM (United, Transversal, Mercator) dans le système de coordonnées mondial WGS84 (world géodetic système 1984).

1) **Lithologie de la roche :**

En se basant sur un zoom de la plage Verte Rive effectué sur la carte géologique d'Alger-1964, on observe des formations datant du quaternaire récent actuel ; des plages ; essentiellement des dunes consolidés du quaternaire (fin du pliocène) à proximité un sol en sable argileux et lubrifié (sable rouge) (Djellouli, et al ., 2003). Mais aussi des dunes actuelles surtout du côté EST et des dépôts de marais du côté Ouest (dépôts lacustres derrière les dunes). On observe aussi des dépôts de (lumachelle, peptoncle, poudingues) roches sédimentaires consolidées riches en organismes fossiles à l'Ouest.

Ces résultats sont susceptibles de nous donner des informations sur la friabilité des roches dominantes dans notre zone, aussi bien à l'interface terre/mer pour détecter les zones les plus sensiblement érodables, qu'au niveau de l'arrière-pays afin d'avoir une idée sur le type de sédiment charrié par les cours d'eau débouchant à proximité et susceptible de se retrouver sur notre site.

2) **Séismique :**

La côte algérienne est une zone à forte séismicité en raison de sa localisation proche du sahel. Des tremblements de terre tels que celui de Boumerdès en 2003 témoignent de cette caractéristique (Yelles, et al., 2013). Ceci génère aussi un risque de submersion par tsunami qui a une probabilité d'occurrence de quelques décennies à 100 ans (Maouche, et al., 2013) et (EGIS EAU, et al., 2013).

IV) Cadre géomorphologique

1) **Géomorphologie de la région de Bordj El Kiffan :**

Partie orientale : caractérisée 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 la rive droite d'Oued El Harrach et Bordj El Bahri (Maouche, 1987).

Aussi la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale. La distribution générale des faciès, établie par (Maouche, 1987) montre en fonction de 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, en direction du centre de la baie.

Faciès carbonates : Ils sont réduits aux bordures rocheuses littorales et aux 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.

V) Données météorologiques :

1) Climat :

a) Climat général de la plage Verte Rive :

La zone d'étude connaît un climat méditerranéen avec une saison pluvieuse s'étalant de septembre à mai et un été sec, considéré toutefois comme un climat tempéré dû à l'action modératrice de la mer. L'amplitude diurne au cours d'une année est inférieure à 10°C. En bordure de la côte, les gelées et la neige y sont pratiquement inconnues. (LEM, 2018).

b) Précipitations :

En analysant le bilan enregistré depuis 11 ans (2008-2018) par l'ONM, et en faisant ressortir les moyennes par mois au cours des années, on observe un taux considérable de précipitation durant l'hiver et l'automne (période humide), qui **diminue pour atteindre son minimum en été au mois d'aout (période sèche).**

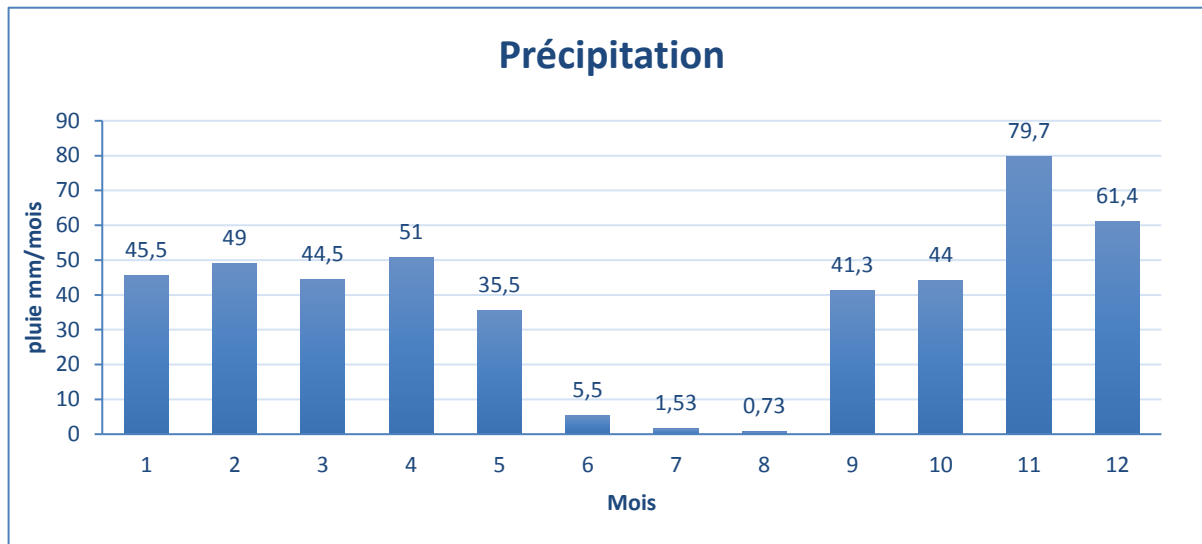


Figure 1.3 : Histogramme des taux de précipitation par mois au niveau de la baie d'Alger.

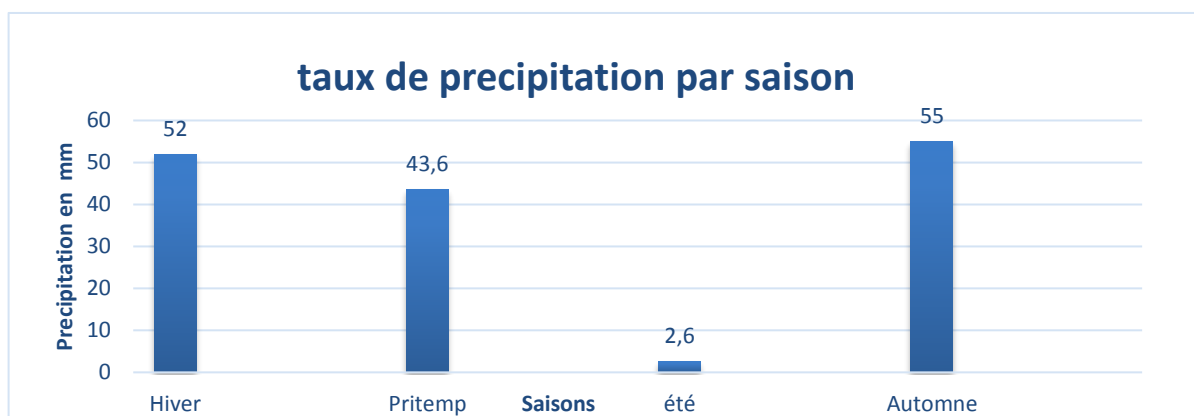


Figure 1.4 : Taux de précipitation par saison au niveau de la baie d'Alger.

2) Les vents :

La reconstitution de données de vent de 1970 à 2019 grâce au site Puerto Del estado « <http://www.puertos.es/en-us> » en modèle numérique à partir d'un point de mesure au large de la baie d'Alger intitulé (Simart Point), a donné les résultats suivants (figure1.5) :

Tableau 1.1 : coordonnées géographiques Simart point.

Longitude :	3.00° E	Premier enregistrement 04/01/1958	Dernier enregistrement22/01/2019
Latitude :	36.83° N		

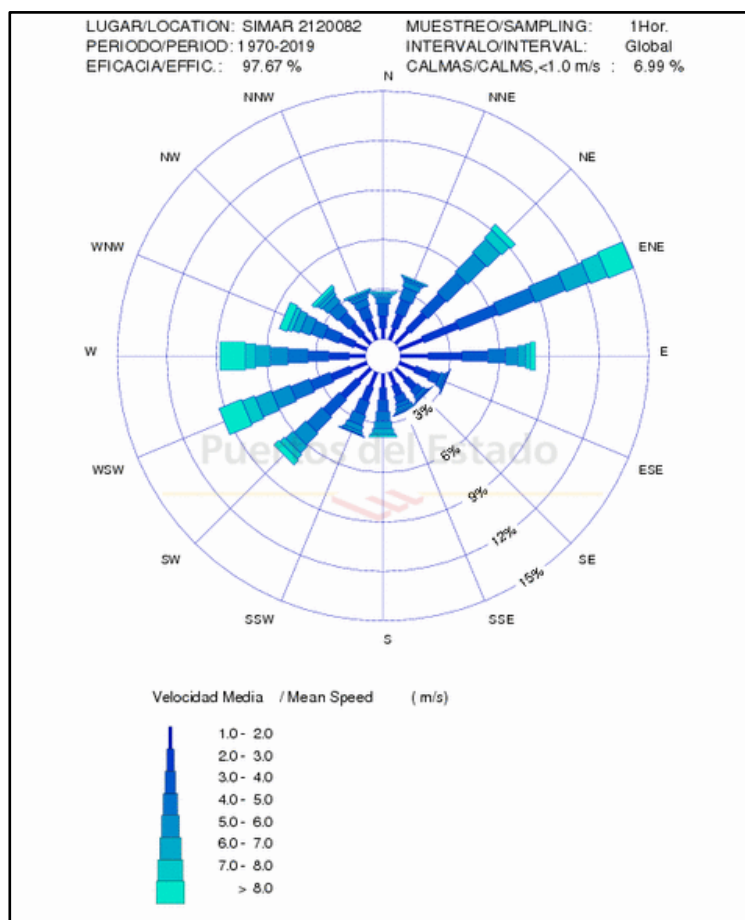


Figure 1.5 : Rose des vents du site Puerto Del estado.

La rose des vents ci-dessus met en évidence une prédominance des vents de direction Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest.

Après analyse des données climatologiques de la station de Dar El Beida, représentant l'enregistrement des directions ainsi que des vitesses de vent pendant 11 ans (2008/2018) et en faisant ressortir les moyennes par saison et les maximums par mois, nous constatons que les vents sont plus importants pour la saison printanière avec un maximum de 21m/s en avril, et un pic exceptionnel de 31m/s en juillet.

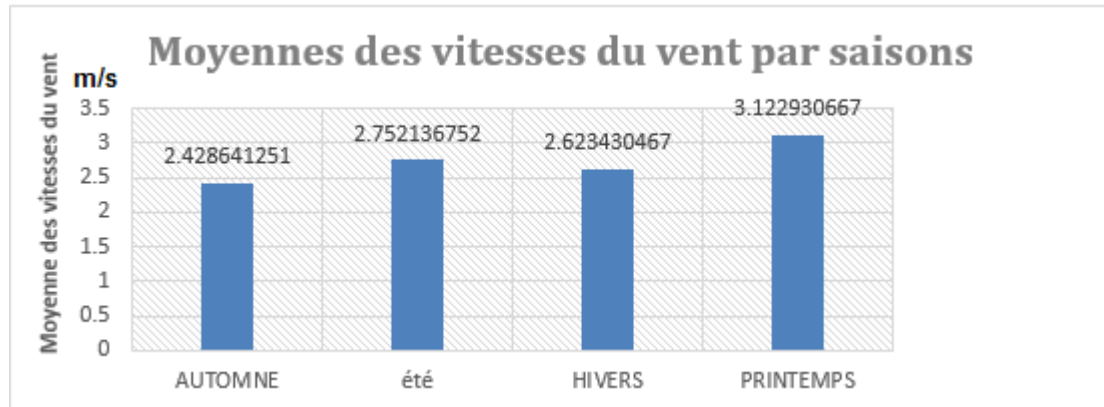


Figure 1.6 : Vitesse moyenne des vents par saison sur Alger.

a) Historique des tempêtes :

L'échelle de Beaufort a été prise comme référence afin de déterminer à quelle valeur une vitesse des vents est considérée comme étant une tempête. L'échelle de Beaufort (élaborée par l'amiral britannique Francis BEAUFORT) est une échelle de mesure empirique comportant 13 degrés (de 0 à 12), de la vitesse moyenne du vent sur une durée de dix minutes utilisée dans les milieux maritimes. Le degré beaufort correspond à la vitesse moyenne du vent. Si cette vitesse peut être mesurée avec une bonne précision à l'aide d'un anémomètre, il est commode en mer, d'estimer cette vitesse par la seule observation des effets du vent sur la surface de la mer (http://www.port-la-foret.fr/files/387/echelle_beaufort_et_etat_de_la_mer.pdf).

Tableau 1.2 : Représentation de l'échelle de Beaufort.

Force	Termes	V km/h	État de la mer	Effets à terre
0	Calme	moins de 1	La mer est comme un miroir, lisse et sans vague.	La fumée monte verticalement.
1	Légère brise	1 à 5	Quelques rides ressemblantes à des écailles de poisson, mais sans aucune écume.	La fumée indique la direction du vent.
2	Légère brise	6 à 11	Vaguelettes ne déferlant pas, de 0,2 à 0,5m.	On sent le vent sur le visage.
3	Petite brise	12 à 19	Très petites vagues de 0,5 à 1m. Les crêtes commencent à déferler.	Les drapeaux flottent au vent.
4	Jolie brise	20 à 28	Petites vagues de 1 à 2m, de nombreux moutons.	Les poussières s'envolent.
5	Bonne brise	29 à 38	Vagues modérées 2 à 3m, moutons, éventuellement embruns	Le tronc des arbustes balance.
6	Vent frais	39 à 49	Crêtes d'écume blanches, lames, embruns, vagues de 3 à 4m.	On entend siffler le vent.
7	Grand frais	50 à 61	Trainées d'écume, lames déferlantes, vagues de 4 à 5,5m.	Tous les arbres balancent.
8	Coup de vent	62 à 74	Tourbillons d'écume à la crête des lames, trainées d'écume, vagues de 5,5 à 7,5m	Les branches sont susceptibles de casser.
9	Fort coup de vent	75 à 88	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns, vagues de 7 à 10m.	envols de tuiles, d'ardoises.
10	Tempête	89 à 102	Très grosses lames à longue crête en panache. Le déferlement devient intense et brutal. Vagues de 9 à 12,5m.	Dégâts importants aux bâtiments.
11	Violente tempête	103 à 117	Lames exceptionnellement hautes... Visibilité réduite. Vagues de 11,5 à 16m.	Ravages importants.
12	Ouragan	>118	L'air est plein d'écume et d'embruns. Vagues supérieures à 14m.	catastrophe naturelle.

En s'appuyant sur cette échelle, ainsi que sur l'analyse des vitesses des vents enregistrées depuis 9 ans, il a été constaté que les vitesses maximales enregistrées durant cette période n'atteignent pas les valeurs représentant des tempêtes. Les valeurs les plus élevées seraient considérées selon l'échelle de beaufort comme étant des grands frais à de grands coups de vent. Parfois assez proches des valeurs extrêmes mais pas assez pour les considérer comme étant des tempêtes.

Ces vents ont été les plus fréquemment observés en 2010 et 2011 plus précisément en saison printanière à estivale avec des valeurs allant jusqu'à 64.8 km/h.

Tableau 1.3 : Historique des vents violents depuis 2008.

Année	Mois	T (°C)	Pression (hPa)	Humidité	Direction du vent	V (m/s)	V (km/h)
2010	Janvier	15	759,2	75%	Nord-est	19	51,3
	Février	20,2	763,4	34%	Ouest	24	64,8
	Mars	19	757,2	38%	Ouest	22	59,4
	Mars	14	760,8	75%	Est-sud-est	22	59,4
	Mars	13,4	760,4	84%	Est	21	56,7
	Mars	21,1	761,2	28%	Ouest	19	51,3
	Avril	15,5	756,3	80%	Est	20	54
	Octobre	23,5	757,5	42%	Nord	19	51,3
	Novembre	9,2	764,3	58%	Est-nord-est	22	59,4
2011	Avril	16,8	748,8	67%	Nord-ouest	20	54
	Avril	15	749,8	79%	Ouest-ouest	19	51,3
2012	Septembre	23,8	762,4	61%	Est-nord-est	19	51,3
2013	Janvier	11,5	758	69%	Ouest	19,5	52,65
	Mai	15	756,2	86%	Est-nord-est	20	54
	Aout	25,3	759,9	86%	Nord-est	22	59,4
2014	Avril	16,8	752,1	72%	Sud-sud-est	21	56,7
2015	Novembre	26,2	761,8	43%	Sud-ouest	21	56,7

VI) Contexte océanographique :

1) Les courants :

a) Les courants généraux :

Le courant atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe d'Ouest en Est les côtes d'Afrique du Nord, sa vitesse est de l'ordre de 3 à 4 km/h. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), son action va en diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée (LEM, 2009).

2) Les Houles :

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer.

On distingue la houle créée au large de celle générée localement par le vent qui la règne (mers du vent ou clapots).

Les houles jouent un rôle important dans la morphogénèse côtière (érosion, transport et dépôt de sédiments) par :

- La remise en suspension des sédiments déposés au fond.
- Le déplacement des particules parallèlement à la côte.

La houle n'est accompagnée d'aucun transport de matière. En revanche, à l'approche des côtes, elle peut subir des transformations dues 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 essentiel à la compréhension de la dynamique hydro-sédimentaire à la côte (Pope, 2008).

a) Déformation de la houle :

Réfraction :

La ligne de crête se voit être déformée subissant l'action du fond.

Diffraction :

Contournement d'un obstacle, direction de propagation déviée avec mouvements d'oscillation créés derrière

Réflexion :

La houle se réfléchit partiellement combinée à la houle incidente, donne des clapotis.

Déferlement :

Quand le fond agit sur la houle, la vitesse des particules fluides de la crête dépasse la célérité de l'onde, et elle se casse sous l'effet de son poids.

b) Données de houles au large :

Les données de houle disponibles au large sont les suivantes :

1. Les données de mesure réelles du Summary Of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) qui consistent en des observations de navire sur la période de 1963 à 1970.
2. Les données obtenues par modélisation du site Puerto Del estado depuis 1958 (<http://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx>) d'une station au large de la baie d'Alger et dont les coordonnées sont les suivantes :

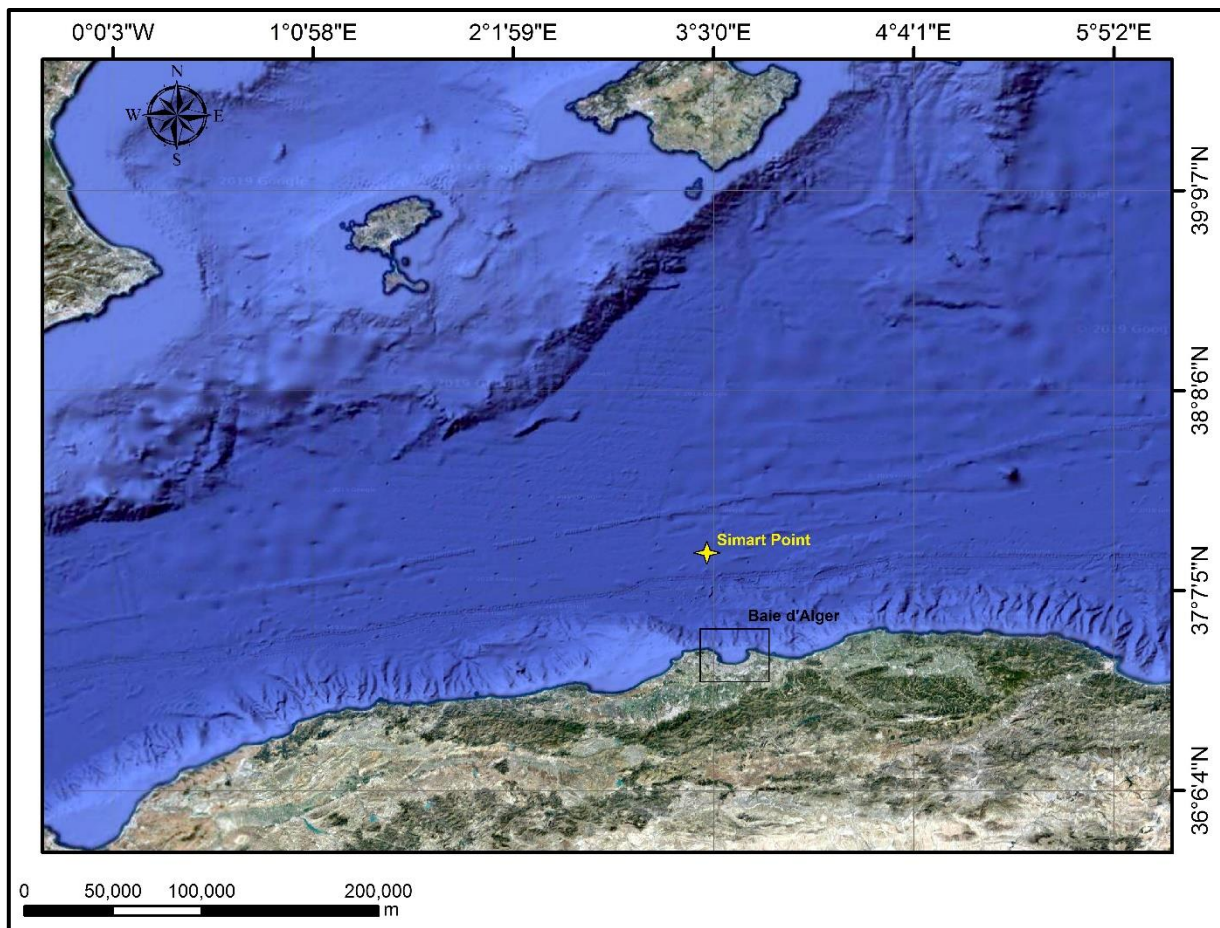


Figure 1.7 : Position géographique du Simart Point.

Tableau 1.4 : Coordonnées géographiques du Simart Point.

Nom	SIMAR point (2120084)
Longitude	3°E
Latitude	37°N

3. Conditions (pour des modèles locaux) représentant le régime annuel des houles obtenues lors du projet AMISMAP et extraites des données de Med Atlas (2004).

Les données de mesure réelles du (Summury of Synoptique Meteorologicals Observations) (SSMO) :

Un traitement statistique fait par le LEM à partir 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 extrêmes.

- Les houles de direction Ouest, Est et Nord-Est sont les plus fréquentes.
- La direction Nord a une fréquence à répartition homogène au cours de l'année.
- Les observations des fréquences annuelles du secteur Ouest prédominent de peu ceux du secteur Est.

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

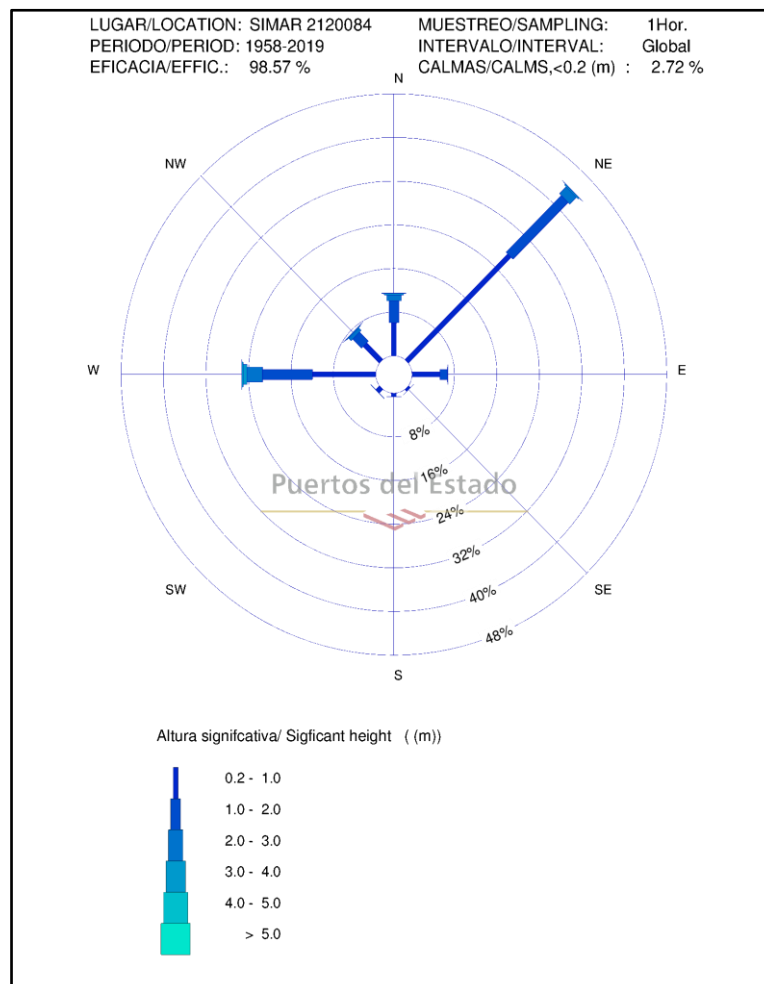


Figure 1.8 : Amplitudes de Hs par fréquence par direction et par orientation.

Commentaire

Les directions les plus fréquentes sont de secteur Nord-Est à 45%, suivi par le secteur Ouest à 25 % puis Nord à 15%.

Les directions les plus menaçantes paraissent être les plus fréquentes, avec une prédominance du secteur Ouest avec des Hauteurs significatives supérieurs à 5m puis celle du Nord-Est et Nord avec des intensités de 4m à 5m.

Tableau 1.5 : Valeur max de hauteurs significatives par direction et par saison de 1958-2019 (SSMO).

	Mois	Max, Hs/m	Période pique (s)	Direction °	Jours
Estival	Mars	7,18	11,06	N345	8
	Avril	5,91	11	N266	14
	Mai	4,99	9,26	N50	4
	Juin	3,84	8	N58	26
	Juillet	3,1	8,27	N273	16
	Aout	4,5	8,7	N43	4
Moyenne		4,92	9,38	N50	12,00
Hivernale	Septembre	3,73	7,63	N76	6
	Octobre	5,31	10,1	N274	22
	Novembre	7,17	12,46	N265	9
	Décembre	7,1	10,99	N33	29
	Janvier	9,17	12,92	N267	31
	Février	6,21	11,16	N268	14
Moyenne		6,45	10,88	N270	18,50

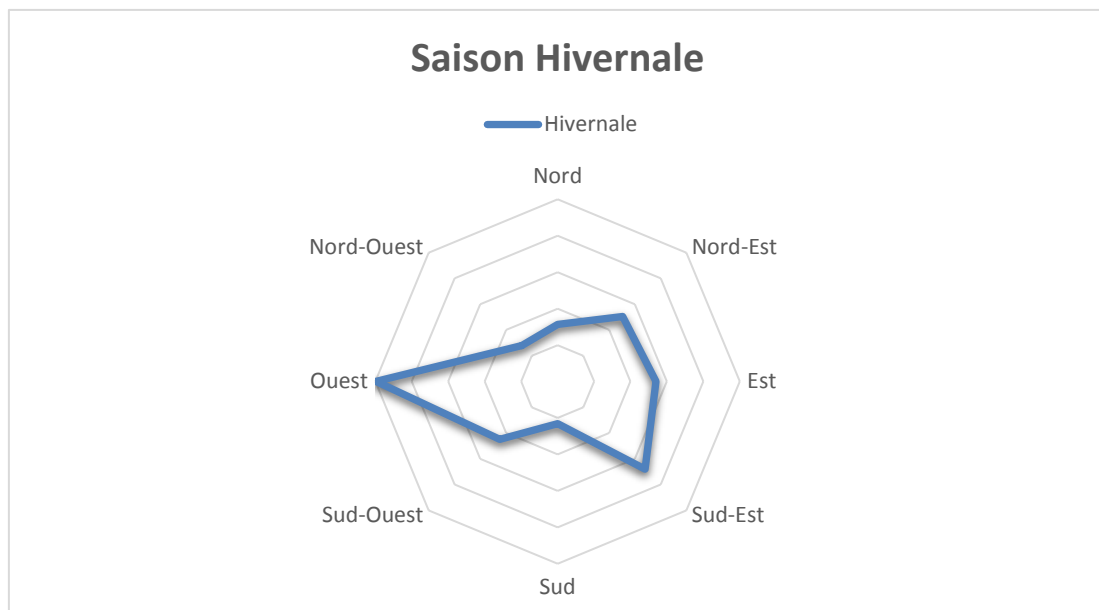


Figure 1.9 : Rose des houles représentant les Valeurs maximum de Hs par direction sur la période 1958-2019 en saison hivernal.



Figure 1.10 : Rose des houles représentant les Valeurs maximum de Hs par direction sur la période 1958-2019 en saison estivale.

-En pleine saison hivernale, on remarque que les maximums des hauteurs significatives des houles sont à des valeurs de 7m à 9m et essentiellement de

secteur Ouest avec un pic durant le mois de janvier. Les résultats de la modélisation des houles cinquantennale ,sont représentés dans la partie Annexes.

-En saison estivale, les maximums sont moins importants avec des hauteurs de houle de 6m à 7m, de secteur Nord à Nord-ouest, avec une prédominance des houles de secteur Nord-Est.

-les résultats du modèle proposés par le site sont en conformité avec les observations du (SSMO).

Données Med-Atlas :

Tableau 1.6 : Données d'une tempête enregistrée en 2017 de plus de 4.8m de hauteur de vague.

Condition à modéliser	Empirisme du modèle	Houle			Vent	
		Dir (°)	Hs (m)	T (s)	Vitesse (m/s)	Dir (°)
1	Local	21	1.82	5	8	45
2	Local	345	2.24	5.23	9	345
3	Local	270	2.71	5.78	9	270
Tempête (5/2/2017)	Régional	270	4.8	11	15	270

-On observe que les directions de houle coïncident avec le régime des vents.

-Une tempête de plus de 4.8m de hauteur significative a été enregistrée selon le tableau, provenant du secteur Nord-Ouest, secteur le plus menaçant selon les résultats du site Puerto d'el estado, et du (SSMO).

c) Choix de la période et du secteur de houle les plus représentatifs :

Trois directions paraissent menaçantes pour la zone d'étude, tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que 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 (Nord 360°).

Deux directions de houle à incidence oblique (Nord 45° et Nord 315°), houles représentatives des agitations du large pouvant pénétrer en fond de la baie d'Alger.



Figure 1.11 : Secteurs de houles dominants dans la zone de Verte Rive.

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 (supérieurs à 10s) ont une probabilité d'apparition relativement faible.

Ci-dessous sont présentées les conditions de houles retenues par le (LEM) dans le cadre de cette étude après le calcul des houles équivalentes pour les trois périodes et les trois directions de provenance retenues.

Tableau 1.7 : Houles extrêmes.

Périodes de retour	Direction houle au large					
	N345°		N360°		N30°	
	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

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 (360°N).

Deux directions de houle à incidence oblique (30°N et 345°N), houles représentatives des agitations du large pouvant pénétrer en fond de la baie d'Alger.

Le fetch :

Le fetch est une distance d'étendue d'eau, sur laquelle souffle un vent sans rencontrer d'obstacle. Ce vent est généralement générateur d'ondulation à la surface (George G, 1962).

Le calcul du fetch pour notre zone d'étude été effectué à l'aide de l'outil « Ruler » du logiciel « Google earth pro ». Ce dernier nous renseigne sur la distance en km qui sépare notre zone d'étude des cotes les plus proches, pour les trois angles retenus. Les résultats obtenus sont les suivants :

Pour la houle N45° :630Km.

Pour la houle N315° :414Km.

Pour la houle N360° :280Km.

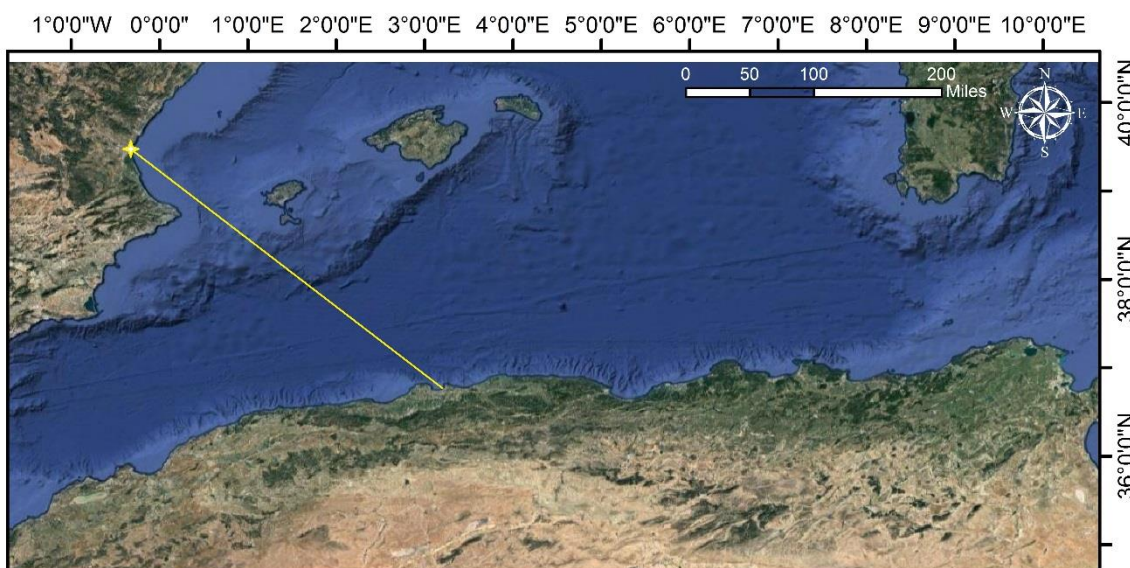


Figure 1.12 : Calcul du fetch avec le logiciel « Google earth pro ».

On remarque que la distance la plus importante, est celle de l'angle N45°, dont les vents ne rencontrent aucun obstacle sur 630Km, suivie de la N315° avec un fetch de 430Km, et en dernier la N360°. Cependant la distance à l'auquel souffle le vent, n'est pas le seule paramètre déterminant l'intensité de la houle, l'angle d'incidence, la vitesse des vents, ainsi que la pression atmosphérique sont aussi à prendre fortement en considération.

Ainsi les données de houle au large, obtenues de différentes sources, pourraient donc s'expliquer.

d) Modélisation de la dynamique littorale actuelle :

Le transport de sédiment non cohésif (sables) dépend de l'hydrodynamisme générés soit par les courants, soit par les vitesses orbitales liées à la houle ou bien le plus souvent par une combinaison de ces deux phénomènes. Afin de comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaire du littoral de la zone d'étude en question, une modélisation véritablement bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre

VII) Cadre hydrologique

1) 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 des oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à des simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale. La baie d'Alger est donc alimentée par ces deux cours d'eau qui prennent leurs sources dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de la Métidja (LEM, 2009).

Tableau 1.8 : Descriptif des deux affluents Oued El Hamiz et Oued El Harach (ANRH, 2014).

Caractéristiques	El Harrach	El Hamiz
Superficie (km ²) bassin versant	378	86
Orientation	Nord-Est	Nord-Ouest
Apports solides (m ³ /s)	179	91
Apports liquides (m ³ /an)	5000000	11 00000
Affluents	Djema, BabaAli, Samar et Ouchaih.	Oued Bouera et Oued Berek

2) Historique des débits

Pour mieux comprendre les causes de l'érosion marine, qui se traduit par une perte excessive du matériel de plage, dont la raison peut probablement être un apport solide en déficit ou bloqué par des ouvrages côtiers, il serait intéressant d'analyser l'historique des débits solides et liquides des affluents, dans notre cas Oued El Hamiz et Oued El Harrach.

L'analyse des données récupérées au niveau de l'Agence National Des ressources hydriques (ANRH) a permis d'obtenir les résultats suivants :

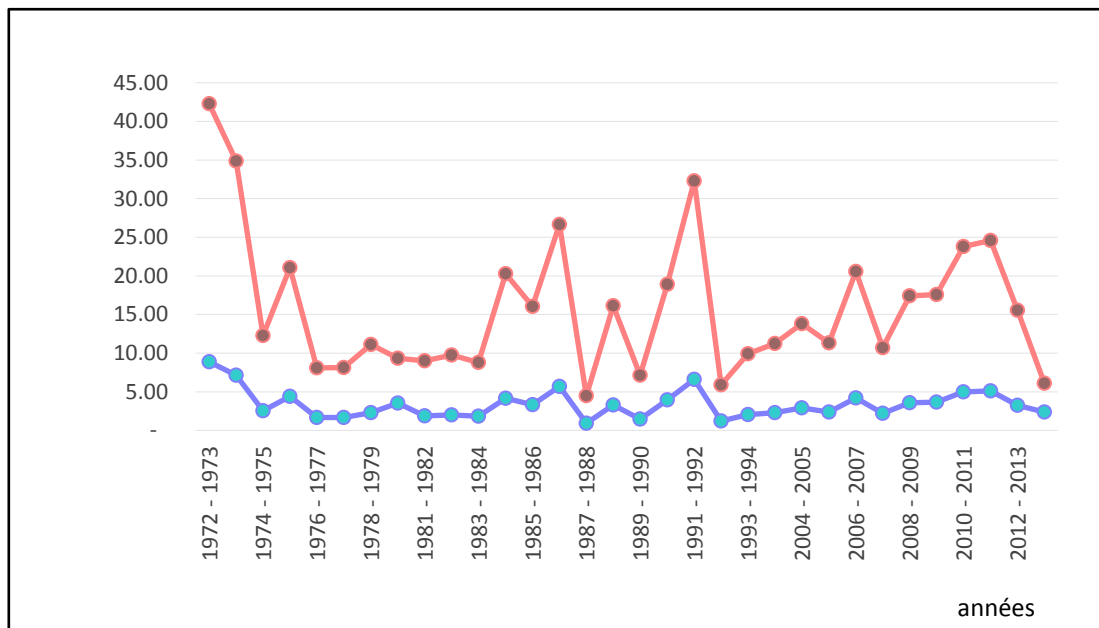


Figure 1.13 : Courbe représentant l'évolution des appports liquides par tranche d'année.

-On remarque que la tendance des appports liquides est en diminution depuis 1972 à 2013 avec des pics comme en 1986,1991 et 2011 atteignant les 32 hm³.

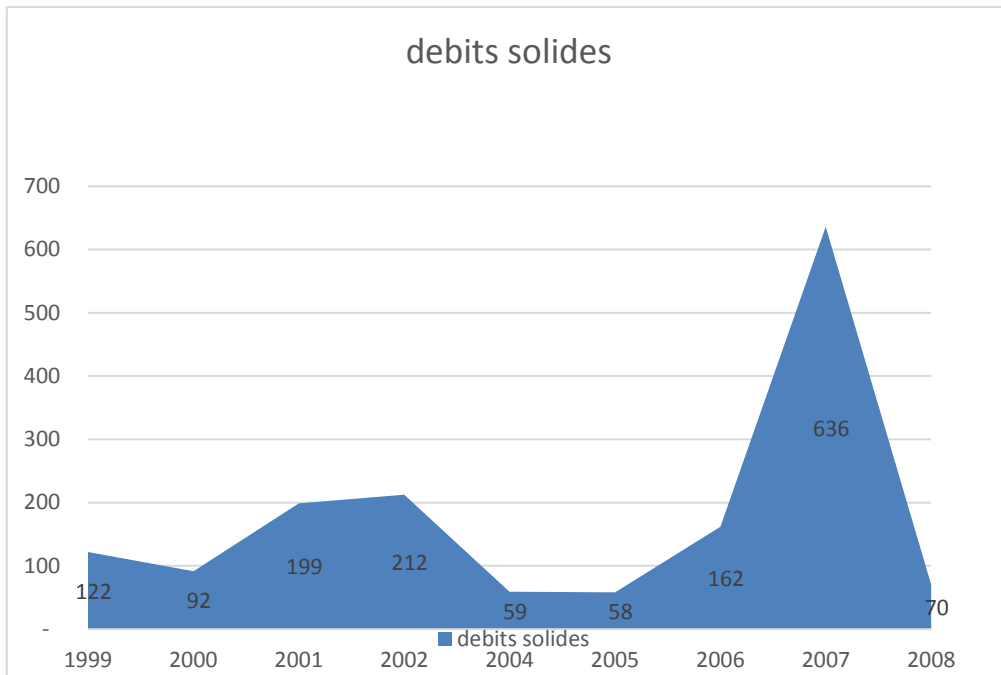


Figure 1.14 : Débits solides d’Oued El Harache par an de 1999 à 2008.

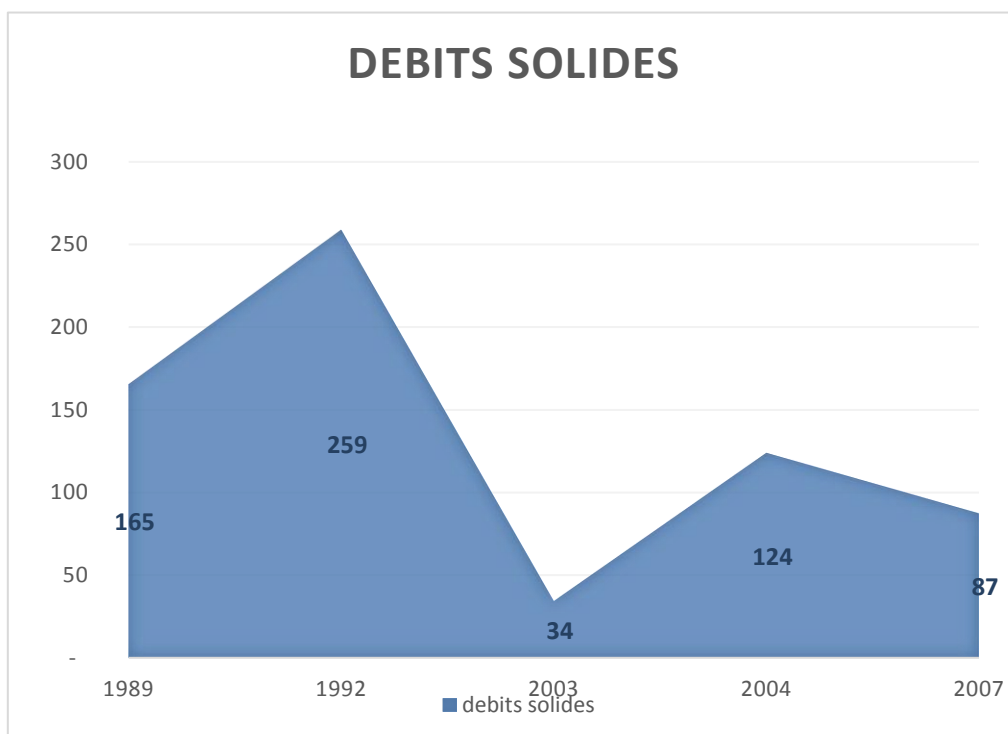


Figure.1.15. Débits Solides d’Oued El Hamiz de 1989 à 2007

VIII) Choix du site d'étude

Bordj El Kiffan était autrefois une commune à vocation agricole et touristique, mais la suroccupation 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, qui ont fait autrefois la popularité de la commune. Par ailleurs, ces plages sont dans un état déplorable, seule la plage Bateau Cassé reste à exploiter. Des monuments historiques au nombre de deux y sont présents mais dans un état déplorable aussi.

Mais tout ceci s'explique avec un taux d'urbanisation d'environ 66%. La zone côtière méditerranéenne est l'une des zones les plus densément urbanisées au monde (PNUE / PAM, 2012). Dans ce contexte, la zone côtière algérienne et la baie d'Alger comptent parmi les régions les plus peuplées (PNUE, 2005). En raison des risques naturels tels que les tremblements de terre, les tsunamis, érosion côtière et intrusion marine, combinés à d'autres facteurs anthropiques tels que l'étalement urbain, la pollution et la perte de biodiversité, cette zone côtière est donc particulièrement vulnérable (PNUE / PAM-PLAN BLEU, 2009) et (EGIS EAU, 2013). Une dégradation de ce littoral est clairement visible, malgré toutes les mesures de protection mises en place, qui ont parfois accentué sa vulnérabilité.

Notre zone d'étude est non seulement au cœur de cette problématique, mais aussi un parfait exemple de cette dégradation observée un peu partout sur le littoral algérois. Il est donc essentiel de comprendre les causes de ces dégradations, et d'y apporter les solutions adéquates.

1) Facteurs d'érosion

a) Notion de pénurie sédimentaire

La grande partie de nos plages actuelles, sont formés de reste de sédiments transportés par les fleuves en grandes quantités. Il y'a 10000 ans, lors de la dernière période glaciaire, cette source de matériaux s'est vue disparaître alors que le taux d'élévation de la mer a diminué il y'a 6000 ans. On se trouve dans ce cas-ci dans une période de pénurie sédimentaire, dont les principales sources de sédiment sont l'érosion côtière de certaines falaises molles et l'approvisionnement par les cours d'eaux (Chadwick, 2004).

b) Activité anthropique

Les activités de l'homme ont fortement modifié la dynamique du littoral et tendent à accentuer les causes naturelles qui peuvent se traduire principalement par ce qui suit :

-La réduction des apports solides des cours d'eau qui débouchent en mer, causée par la domestication de ces derniers ; Oued El Harrach et Oued El Hamiz dans notre cas.

-L'urbanisation du littoral sous forme de constructions telles que les murs de protection, les stations balnéaires, les immeubles, les 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 et de protection qui se comportent souvent comme 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.

- 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 crée un déséquilibre intense.

-La construction et l'urbanisation sur la bande littorale, notamment sur les dunes perturbe l'équilibre dunaire ce qui conduit à la disparition de certaines plages.



Figure 1.16 : Bâtisses abandonnée à la plage Verte rive Figure mettant en évidence l'urbanisation trop près de la mer.

Chapitre II :

Méthodologie de Travail

I) Étude bathymétrique :

1) Introduction :

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action hydrodynamique qui entraîne des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux (Iffour, 2016). Comme le contraire est très souvent le cas, une bathymétrie précise est donc un élément clé pour arriver à une bonne connaissance de l'hydrodynamisme côtier. On peut ainsi comprendre l'évolution géomorphologiques en résultant au court du temps.

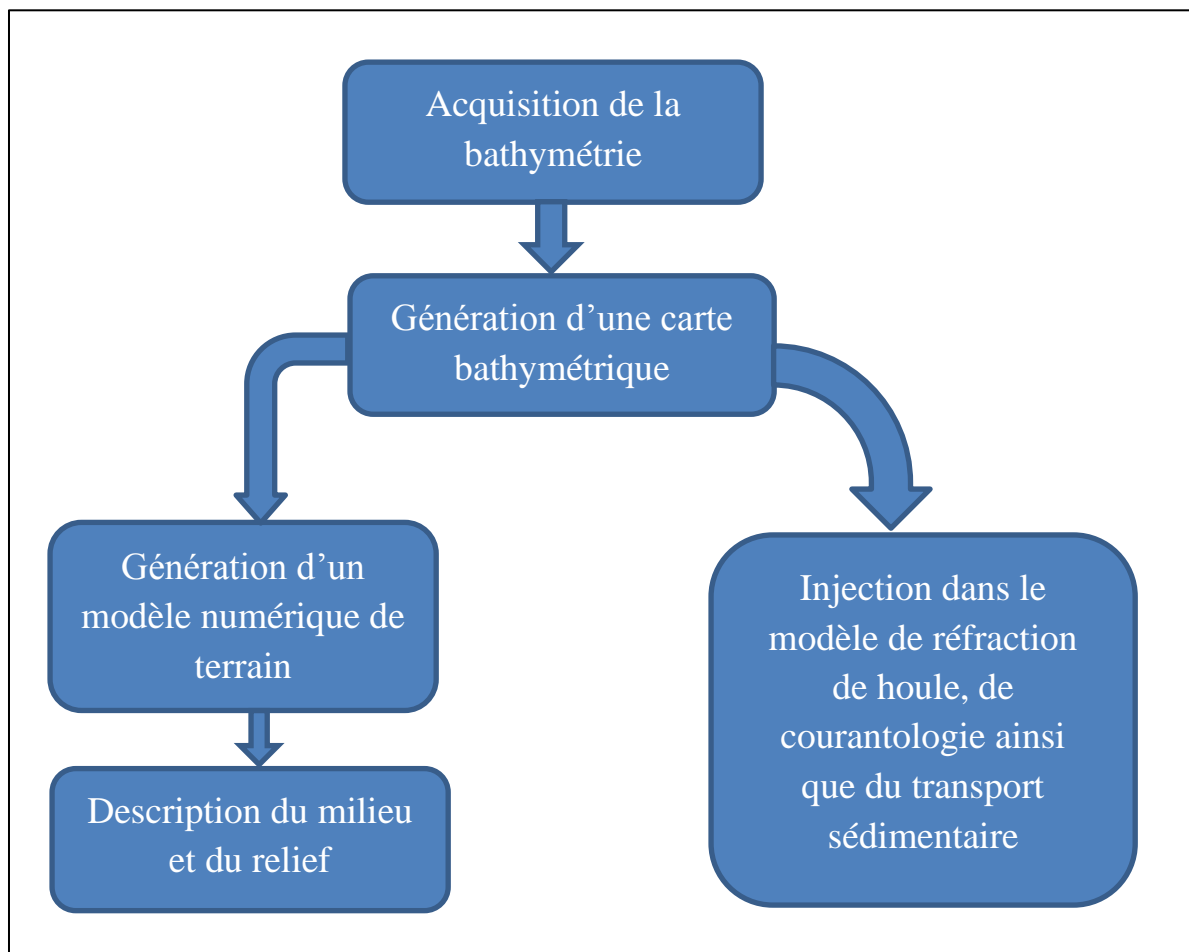


Figure.2.1. Organigramme résumant l'étude bathymétrique.

2) Profondeur de fermeture :

La profondeur de fermeture correspond à la limite sous-marine à laquelle on n'enregistre plus de variations significatives de la mobilité des sédiments dans le profil transversal d'une plage due à l'effet des houles et des courants côtiers

(Bruun, 1962). L'intérêt à connaître cette profondeur est la quantification des cellules littorales afin de déterminer des budgets sédimentaires à macro-échelles (Jimenez, 1993). Chaque domaine donc sa profondeur limite, sous laquelle est basée la détermination du transit sédimentaire. Un transport longitudinal s'organise dans ce cas au sein d'un système fermé à ses deux extrémités (le trait de côte vers la terre, et la profondeur de fermeture vers la mer) (Drapeau, et al., 1990) et (Sabatier, 2001). Elle est utilisée aussi comme limite sous-marine des modèles « on-line » et sert à calculer le volume de sable à recharger pour protéger une plage en érosion (Houston, 1996). Ses variations temporelles peuvent aussi indiquer d'éventuels changements des profils bathymétriques ainsi que l'impact des tempêtes. Plusieurs travaux ont justement montré que cette limite « descendait » sous l'influence des tempêtes (Nicholls, et al., 1998).

3) Sources des données bathymétriques :

Les données bathymétriques de notre zone d'étude ont été obtenues par :

-Levé bathymétrique : réalisé par le laboratoire des études maritimes et permettant d'avoir une précision importante près de la côte ainsi qu'une vision détaillée de l'évolution des petits fonds.

-Digitalisation de la carte (SHOM, 1921) n°5638 afin d'en extraire les isobathes, moins précise qu'un levé, mais combinée à ce dernier, elle permet d'obtenir un domaine d'étude plus large.

4) Principe du levé bathymétrique au sondeur mono-faisceaux :

Le principe du levé bathymétrique est la détermination d'une grille de points juxtaposée au fond marin dont chaque point possède des coordonnées x et y (longitude et latitude) dans le système de projection UTM WGS84 Zone 31, ainsi que la profondeur z (hauteurs d'eau par rapport au fond). Pour un point donné.

Pour la détermination de la hauteur d'eau z , il a été utilisé dans cette étude un échosondeur mono-faisceaux, qui par ailleurs est très bien adapté à des profondeurs inférieures à 30 mètres :

Pour ce qui est des coordonnées (x,y) , on a utilisé un GPS RTK (real time kinematic) dont le principe de correction est le même qu'un DGPS (différentiel global positioning system) à savoir transmission de la correction par une balise dont la position est préalablement connue, et dont la précision est métrique.

Le GPS RTK quant à lui dispose d'une précision centimétrique, cet écart provient de la différence de phase entre l'instant où un signal est émis depuis le satellite et l'instant où il est enregistré par le récepteur (CETMF, 2008).

5) Description du levé :

Le levé est limité à l'Ouest par l'épi de Bordj El kiffan (Lido) et à l'Est par la bâtisse dans l'eau. Des profils équidistants tous les 40 mètres sur une longueur de 1500 m linéaire (pour atteindre les côtes de 20m) ont été effectués de la côte jusqu'à une profondeur de -15m qui se trouve à 400m linéaire de la côte. Ce qui fait un total de 116km (77km + 39km) ou 300Ha.

6) Traitement des données brutes :

À l'aide du logiciel « **Surfer 13** », la carte bathymétrique à proximité de la côte a pu être établie après interpolation des minutes des levées bathymétriques. Ce levé œuvre les fonds jusqu'à une profondeur d'environ -15m, de même pour le modèle numérique de terrain (MNT) qui procure une vision en 3 dimensions.

Traitement des données par « Surfer » :

Génération de la grille de points à partir des données brutes :

À l'aide de la fonction « **Grid data** », on peut générer la grille de calcul à partir du fichier Excel (x,y,z). Le fichier étant une multitude de points d'échantillonnage dont les x sont les latitudes, les y représentent les longitudes obtenues à l'aide du DGPS et les z, la profondeur mesurée en ce point.

	A	B	C	D
1	x	y	z	
2	516704.77	4067372.66	-5.66	
3	516701.84	4067377.09	-5.76	
4	516699.15	4067381.4	-5.78	
5	516705.21	4067391.94	-5.81	
6	516696.55	4067385.96	-5.84	
7	516702.3	4067396.02	-5.85	
8	516694.07	4067390.53	-5.89	
9	516699.59	4067400.32	-5.9	
10	516689.38	4067397.8	-5.94	
11	516685.43	4067401.04	-5.98	
12	516729.28	4067330.6	-4.95	

Figure 2.2 : Exemple de tableau de données (X, Y, Z) sur Excel.

7) Génération de la carte d'isobathes :

À l'aide de la fonction « **New Contour map** », on peut générer la carte comportant les lignes de même valeur de profondeur à partir du fichier de la grille de points générées « **Grid** ».

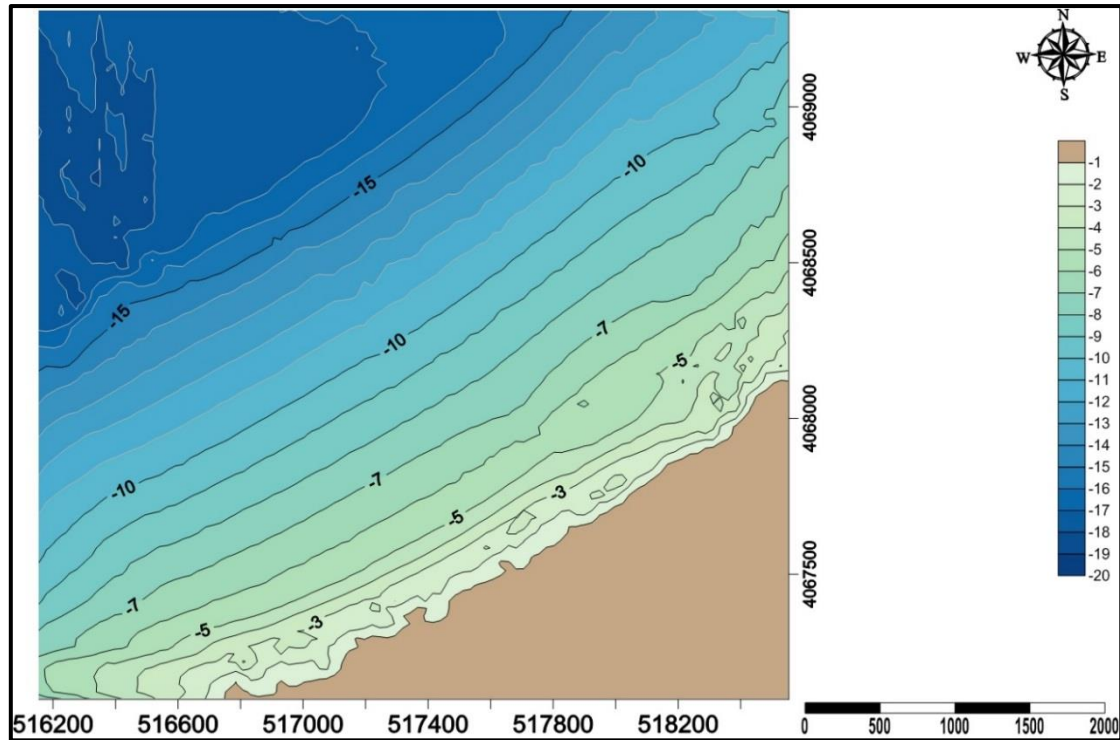


Figure 2.3 : Carte bathymétrique sur Surfeur 13.

II) Condition hydrodynamique à l'approche de la côte :

1) Introduction :

L'équilibre de la zone côtière est fragile, la connaissance des phénomènes naturels dont il est dépendant est indispensable pour assurer son maintien ou le retrouver (Tabet, 2009).

Afin de proposer la meilleure protection vis-à-vis d'un problème d'érosion d'une zone d'étude ; pour l'implantation d'un ouvrage par exemple ; il est primordial d'avoir une connaissance précise des conditions hydrodynamiques de courantologie et de transport sédimentaire. Ces informations combinées nous permettent d'obtenir un modèle de la dynamique littorale et des phénomènes qui en résultent.

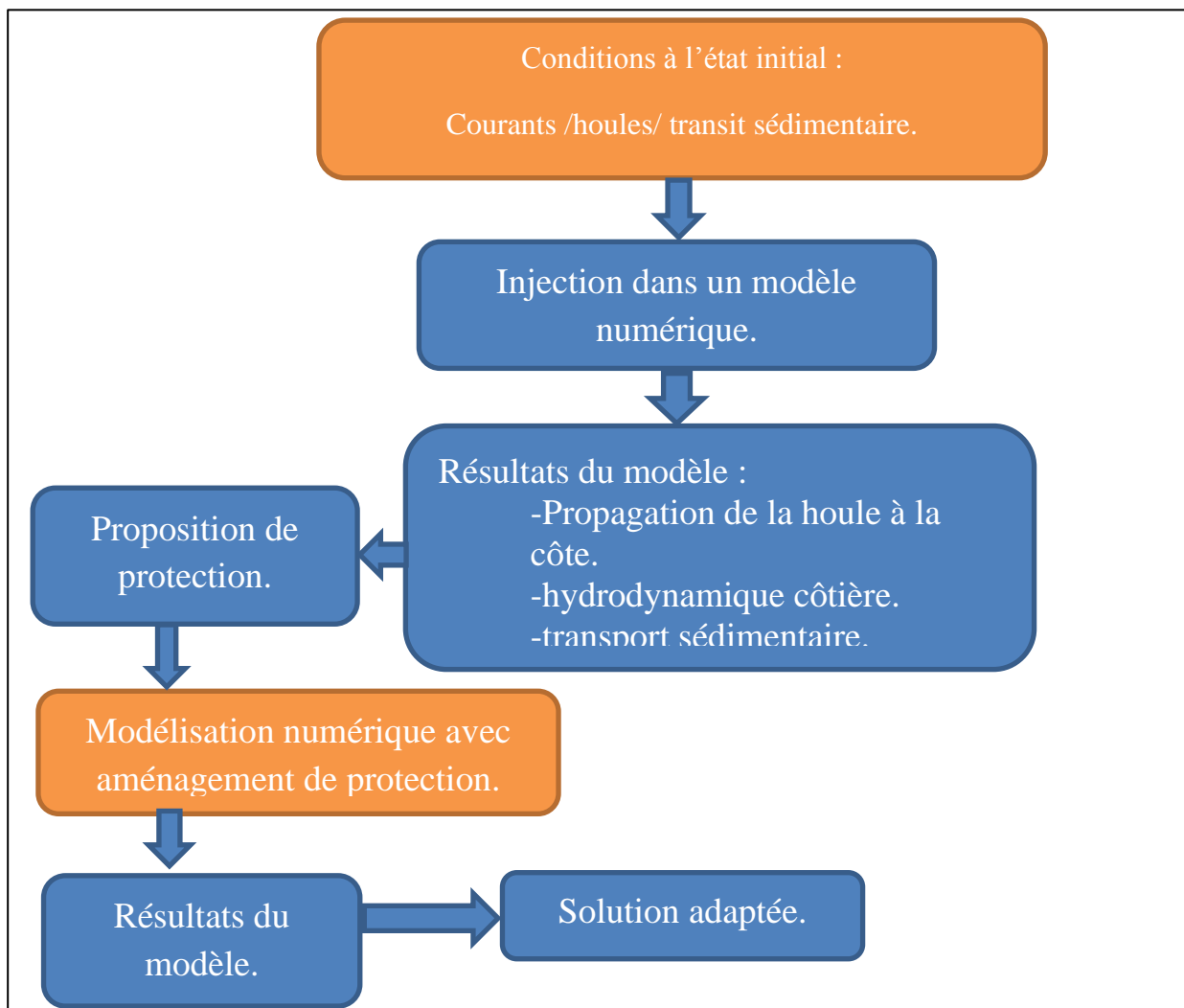


Figure 2.4 : Organigramme récapitulatif d'une procédure de protection d'une zone.

2) Modélisation numérique :

a) **Présentation du logiciel « MIKE21 » :**

« MIKE 21 » est un produit modulaire développé par DHI (Danish Hydraulics Institute) qui comprend des moteurs de simulation destinés à un très large éventail d'applications. Celles-ci incluent le transport de sable, les perturbations portuaires et la propagation des vagues.

Outre les outils de simulation, « MIKE 21 » comprend des outils de productivité permettant de préparer les entrées et les interprétations, ainsi que de présenter les résultats.

Module de houle (SW) :

Basé sur l'équation de conservation des mouvements d'onde et sur la formulation de (Holthuisen, et al., 1989) visant à l'étude de la houle à l'approche de la côte. Le module SW traite la réfraction de la houle, le shoaling, la génération par le vent, la dissipation par le frottement, le déferlement et l'interaction houle/courants. Il détermine aussi la déviation de son angle incident, il inclut deux différentes formulations :

1-la formulation paramétrique découplée et directionnelle : qu'on utilisera dans notre cas d'étude.

2-la formulation du spectre complet.

Module de courantologie (HD) :

Ce module résout les équations bi/tridimensionnelles des fluides incompressibles de : Reynolds, Navier Stokes, Saint Venant jusqu'à l'hypothèse de Boussinesq, en tenant compte du frottement sur le fond, du vent et du gradient de pression atmosphérique, de la force de Coriolis, et des différentes modélisations de la turbulence de l'écoulement. Il permet également de calculer les courants littoraux en prenant en compte les contraintes de radiation dues à la houle dans la zone de déferlement. Ce modèle est donc destiné à la simulation tridimensionnelle des écoulements.

Module de transport de sédiment (ST) :

Destiné au calcul de la capacité de transport de sédiments au niveau d'une zone d'intérêt, ainsi que le changement du lit de sédiments non cohésifs dû aux courants ou aux courants combinés à l'action des houles, il se base sur les données hydrodynamiques obtenues à partir d'une simulation avec le module précédent (HD) et éventuellement les données de vagues obtenues par le module (SW) qui comprend une donnée bathymétrique et donc une information sur le profil actuel.

Ces informations sont combinées à celles fournies par une table sédimentaire ; tableaux dont lesquels sont renseignés les caractéristiques du matériau du lit de sédiment (propriété du grain ; D_{50} et coefficient de cohésion) générées par le module (Mike 21 Toolbox).

b) Application du modèle à la zone d'étude :

Les étapes de la modélisation de la zone d'étude ainsi que ses objectifs sont schématisées sur le diagramme de la figure 2.5.

1. Recueil des données nécessaires et traitements :

Donnée bathymétrique : levé bathymétrique. Il est nécessaire cependant de convertir le fichier point en un fichier (x,y,z) afin qu'il soit lisible par le logiciel, ajouté à cela les points extraits de la carte SHOM afin d'élargir le domaine.

Donnée de houle : les données de houle des trois secteurs retenus pour ce cas d'étude, qui sont les plus fréquentes et les plus menaçantes, ont été obtenues des données du SSMO et sont résumés sur le tableau ci-dessous :

Tableau 2.1 : intensité de la houle au large pour les 3 secteurs de houle retenues.

Secteur de houle	Nord 360°(Nord)	Nord 315°(Nord-Ouest)	Nord 45°(Nord-Est)
Période Ts (s)	8	8	8
Hs (m)	2,67	2,64	2,56

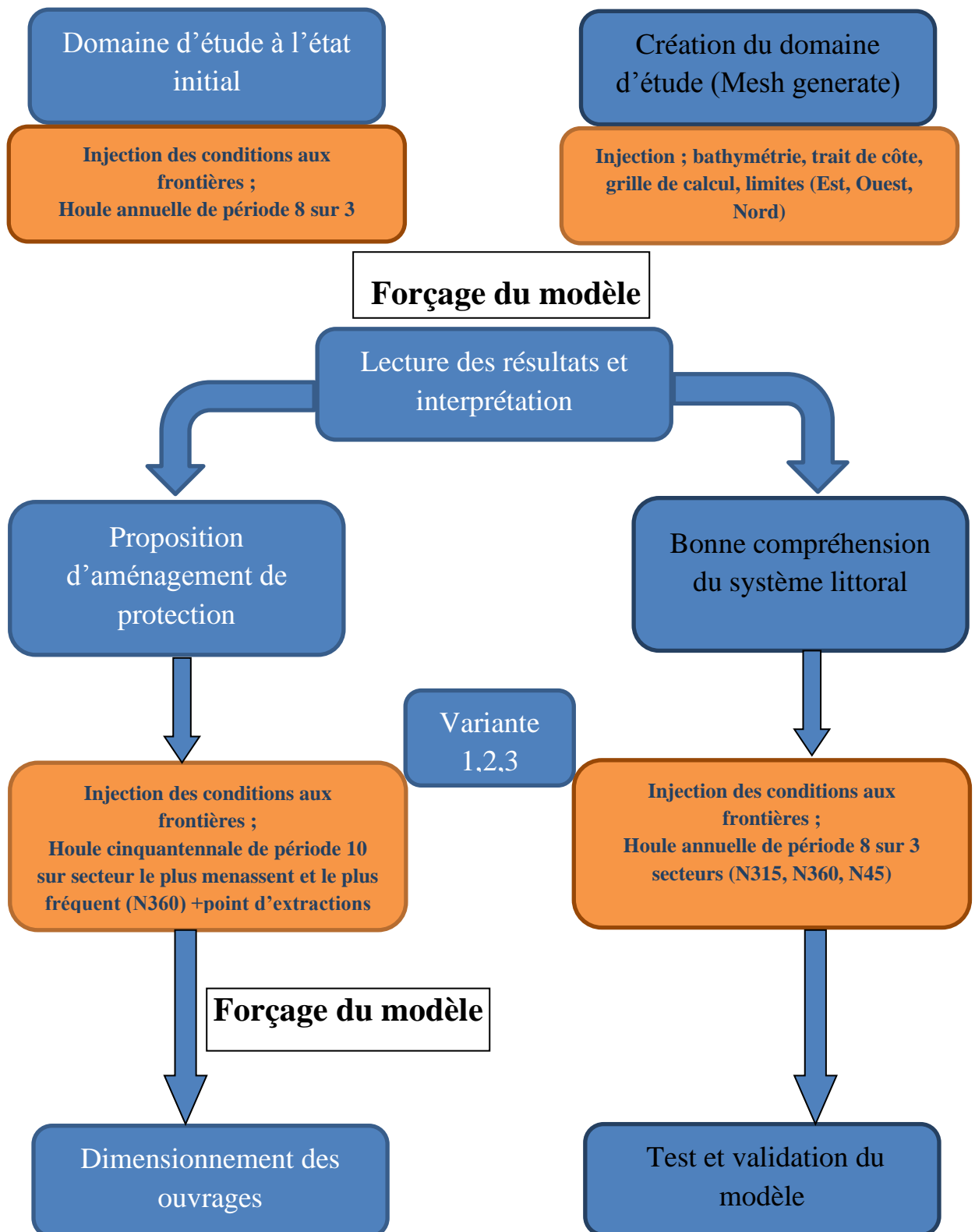


Figure 2.5 : Organigramme récapitulatif des étapes de modélisation numérique.

Données du trait de côte : Les données point du trait de côte ont été obtenues par le levé topographique effectué par le LEM en 2017, dans la zone de Verte Rive.

Données sédimentaires : le diamètre médian (D_{50}) ainsi que le coefficient de gradient du grain (σ_g) ont été obtenus à partir des résultats de l'analyse granulométrique effectuée par le bureau d'étude (Vert et bleu, Lido).

2. Création de la grille de calcul (mesh) :

Importation des données :

Ouvrir Mesh Génération et choisir le système de projection ; **UTM_WGS84_Nordhemisphere_Z31**.

Avec la commande **Onglet Data** → **Import Boundary**, on importe le contour ou la limite du maillage à partir des données ; trait de côte en (fichier *.xyz).

Avec la commande **Onglet Data** → **Import Scatter Data**, les données bathymétriques sont importées en (fichiers *.xyz).

On délimite avec la commande **Draw Arc** le domaine du mesh et on spécifie les conditions aux limites au large (Ouest, Est et Nord).

Génération du maillage triangulaire avec la commande **Générer mesh**.

Nb : Dans notre cas d'étude on a opté pour un domaine large afin de prendre en considération l'effet de diffraction du Cap Matifou pour les houles de secteur Nord-Est 45° , avec un maillage flexible, serré près de la côte et large au loin afin d'affiner les résultats à l'approche du rivage.

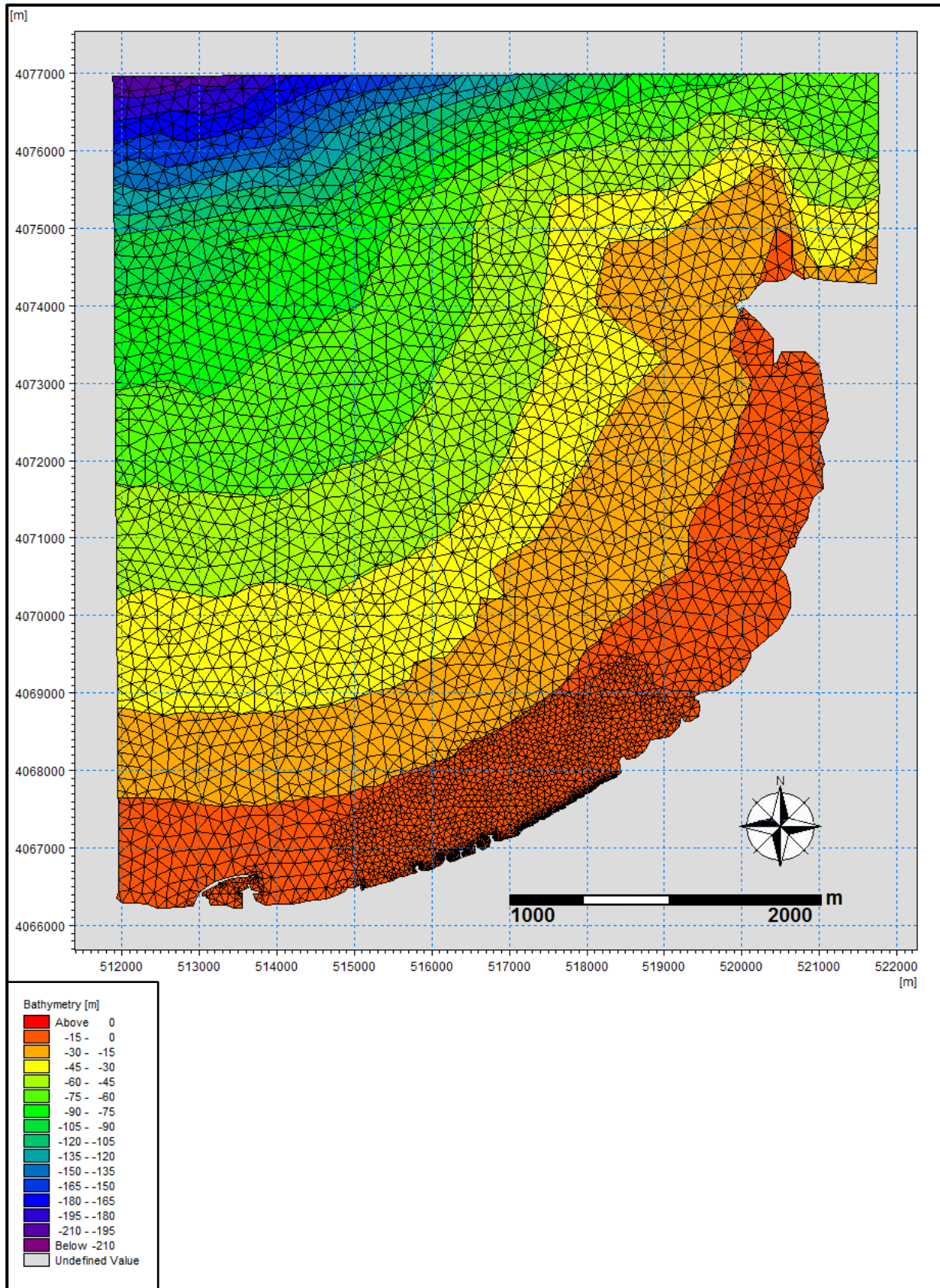


Figure 2.6 : Maillage du domaine d'étude à l'état initial.

3. Configuration du fichier de simulation « coupled model (FM) » :

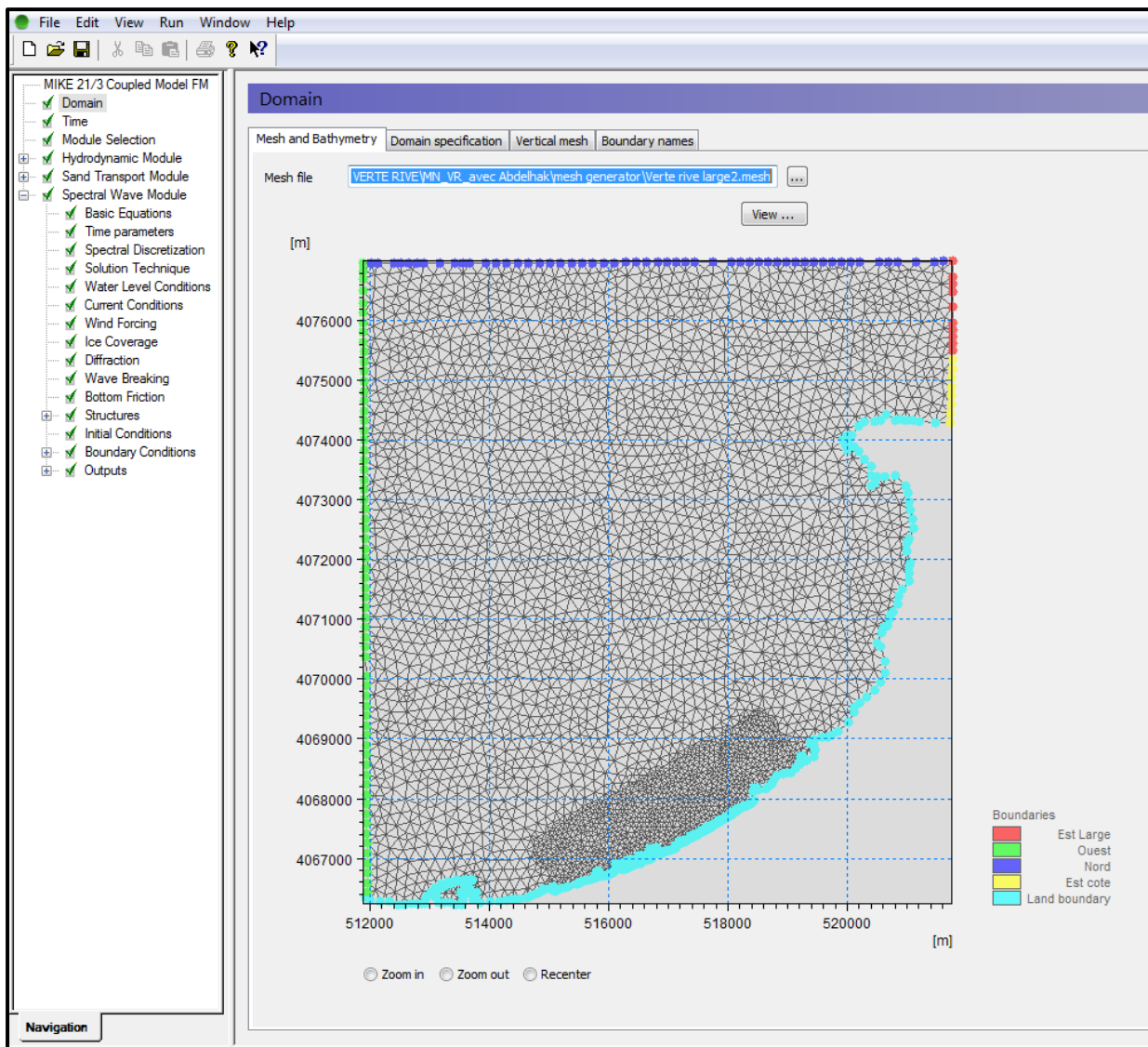


Figure 2.7 : Interface du Coupled Model (FM).

Avant de lancer la simulation, un certain nombre de paramétrages sont requis afin de bien calibrer le modèle à la zone d'étude, dont les plus importants sont cités ici-bas :

- « **Domain** » → Charger le maillage créé précédemment.
- Grâce au « **Coupled model (FM)** », le « **Module Sélection** » permet de prendre en compte les effets de transport sédimentaire avec le module (ST) après la paramétrisation de la table sédimentaire, le module hydrodynamique (HD) ainsi que le module de houle (SW).

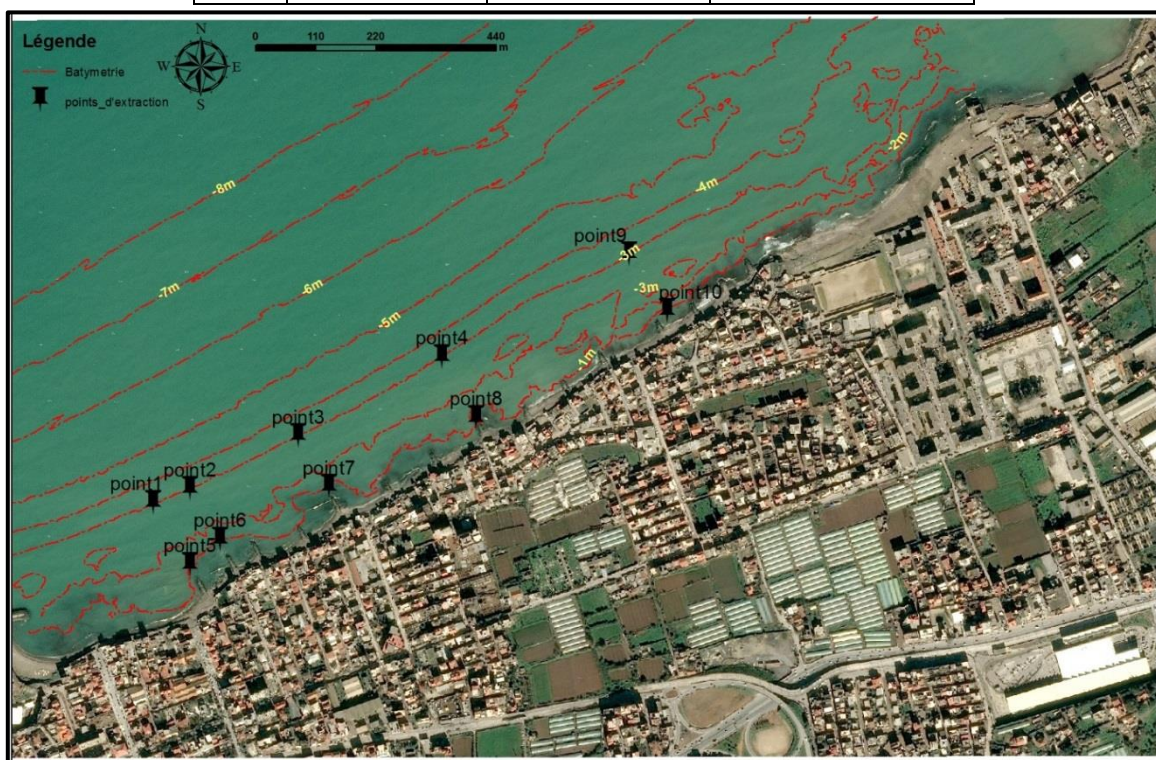
- Nous prenons une formulation « **Basic équations** » paramétrique découplée et directionnelle.
- Nous lançant les « **Time paramètre** » à l'instant initial (0).
- Nous incluons dans notre calcul l'écrêtement (ou déferlement) « **White capping** ».
- Pour les conditions initiales, nous prenons un spectre provenant des formules empiriques. Le type de formule est le type **Jonswap** et ses valeurs sont celles par défaut.
- L'onglet « **Bondery conditions** » permet de déterminer les conditions aux limites (Est, Ouest, Nord) établies dans l'étape du « **mesh generator** ». Il permet d'ouvrir une frontière et la génération de la houle à travers celle-ci. Les données de houles sont alors renseignées « **wave parameters version1** » ou de la fermer sans qu'elle puisse réfléchir la houle « **latéral Boundery** » selon les trois secteurs de houle retenue pour cette étude.
- « **New output** » nous permet de créer des fichiers de sortie, il est ainsi possible de déterminer des coordonnées de point d'extraction des informations de courant, de réfraction de houle ainsi que des débits sédimentaires.
- « **run simulation** » commencer la simulation.

c) Mode de représentation des résultats de Réfraction de la houle :

Afin de mieux apprécier la transformation des vagues il a été défini des points d'extraction d'information de hauteurs significative de houle ainsi que de direction incidente près de la côte, sur le modèle de calcul, ce groupe de points est un « **output** » additif à celui des cartes obtenues après simulation.

Tableau 2.1 : Points d'extraction des données de houles.

Point	X(latitude)(m)	Y(longitude)(m)	Profondeur (m)
1	517043	4067372	-3m
2	517109	4067396	-3m
3	517308	4067493	-3m
4	517570	4067638	-3m
5	517912	4067825	-1m
6	517110	4067258	-1m
7	517164	4067304	-1m
8	517363	4067400	-1m
9	517633	4067526	-3m
10	517982	4067722	-1m

**Figure 2.8 : Carte du positionnement géographique des points d'extraction.**

III) Évolution diachronique du trait de côte :

1) Introduction :

Une côte est une zone de transition entre la terre et l'eau, allant de la portée maximale des vagues de tempête au premier grand changement de topographie. La ligne de côte est définie par la présence d'une falaise formée par l'érosion des vagues, de dunes ou de végétation permanente. (**Benassai, 2006**)

L'expérience montre qu'un équilibre littoral demeure souvent précaire pour les rivages meubles et possède généralement une série oscillante de stades successifs d'érosion et de sédimentation avec une dominance de l'une de ces actions. (**Blanc, 1997**). Par ailleurs, du fait des variations saisonnières du profil d'une plage (érosion en hiver/accrétion en été), les tendances évolutives réelles de cette dernière ne peuvent être appréciées que si les observations se portent sur plusieurs années (**Passkoff, 1998**).

Il est nécessaire de disposer d'une information quantitative précise concernant la fluctuation des lignes de rivage souvent rapides au niveau des littoraux sableux et soumis à de fortes houles et à des vagues obliques (**Blanc, 1997**).

Les méthodes de quantification du trait de côte ont trois buts bien définis :

1-préciser autant que possible et prévoir les tendances évolutives des segments littoraux mobiles.

2-définir les rythmes présentés par l'étude en fonction du temps et du bilan (érosion/sédimentation).

3-Calculer vis-à-vis des équilibres sédimentaires les impacts d'aménagement proposés.

2) Les méthodes de détection des variations de la position du trait de côte et d'extraction des données de trait de côte :

Parmi les techniques mises en œuvre pour étudier la mobilité d'une ligne de référence donnée, on distingue les méthodes de terrain privilégiant l'observation directe et les méthodes fondées sur l'observation indirecte.

a) Les approches directes « levés topographiques longitudinales et périodiques » :

Pour une approche directe il est possible d'utiliser du matériel de levé allant des appareils à principe optique (théodolites) au positionnement par satellites en mode récepteur différentiel DGPS. Le dispositif (Cinématique Trimble R6) porté par un opérateur le long du rivage repère deux traits morphologiques qui sont ensuite géo-référencés :

La position de la berme de basse plage correspondant au niveau moyen de l'eau en période calme ou « Trait de côte moyen ».

La position du pied de dune (ou à défaut de la limite de végétation).

Les mesures peuvent concerner uniquement la ligne de référence ou le profil de plage et doivent être raccordées à un même système de référence pour faciliter la comparaison entre différents levés (Morton, et al., 1993). La marge d'erreur est inférieure à 5 cm pour le DGPS d'après (Suanez, et al., 2008), cependant dans la plupart des cas, les levés de terrain sont complétés par des mesures indirectes sur des documents graphiques multi-dates.

b) Méthodes d'observation indirectes :

Les positions successives d'un trait de côte à différentes dates sont traduites cartographiquement par le tracé d'une série de lignes géo-référencées pouvant, selon la situation, se confondre ou se croiser. La méthode d'observations des photographies aériennes multi-dates, procède par comparaison de distances perpendiculaires au rivage entre ces lignes aux contours bien définis, et une ligne de référence de base. Les variations de distances enregistrées au niveau de ces amers sont converties en distances réelles grâce aux échelles des documents et correspondent à l'évolution du rivage entre les dates comparées. Les mesures de surfaces sont possibles aussi par planimétrie (Froidefond, 1989). C'est la technique de détection la plus courante appliquée aux lignes de référence visibles.

Sur une photographie aérienne ou une image, la photo-interprétation manuelle ou assistée par ordinateur (dans notre cas, le logiciel Arcgis) est de vigueur. Cependant la définition d'un concept simple comme le trait de côte, censé représenter la frontière linéaire entre les domaines maritime et terrestre, est problématique en raison de la grande diversité des critères d'identification (rupture de pente, végétation côtière et degré d'humectation) (cartographie normalisée) (Faye, et al., 2011). Ces indicateurs sont repérés par des variations

des tons de gris ou des variations de couleur, ce qui nécessite des clichés présentant un bon contraste surtout pour les limites d'humectation.

3) Outils :

a) **Logiciel de cartographie** :

Pour notre cas d'étude, nous avons utilisé le logiciel « **ArcGIS** » pour la modélisation des traits de côte combinés à l'extension « **Dsas** » (Digital shoreline analyses system) pour le calcul de leur évolution.

1-ArcGIS : est une suite de logiciels d'information géographique, ou logiciels SIG (Système d'information géographique) développés par la société américaine ESRI (Environmental System Research Institute, Inc). Un système d'information géographique est un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion. (Teffahi, 2018).

2-Dsas : (Digital Shoreline Analysis System), extension conçue par Thieler et Danforth (1994), plug-in gratuit pour le programme hôte « ArcView » de la société ESRI. L'emploi de ce plug-in nécessite de définir une ligne de référence fictive, une longueur pour les transects ainsi qu'un pas de mesure et de disposer de traits de côte projetés dans le même système géographique. Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, Dsas génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects et il les analyse automatiquement pour permettre de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Dans les tables attributaires des transects, on dispose des attributs statistiques dont deux sont retenus dans notre cas d'étude :

-L'End Point Rate (EPR) : est un taux représentant la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates. Exprimé en mètres/ans.

-Le Net Shore-line Mouvement (NSM) : est la distance de déplacement moyen du trait de côte, entre la position la plus récente et la plus ancienne par rapport au temps écoulé entre les deux dates.

4) Données disponibles :

-Levés topographiques, à l'aide d'un DGPS (Cinématique Trimbel R6) effectués par le LEM et correspondant aux dates de 2011 et 2017.

-Photographies aériennes, acquises auprès de l'INTC (Institut nationale de télédétection et de cartographie), correspondant aux dates de 1959,1980, et 1999 géo-référencées à l'aide du logiciel « Global mapper ».

-Une photo satellitaire de l'année 2007, obtenue à l'aide de l'application « Google earth pro » et géo-référencée grâce au logiciel « Global mapper ».

-Anciennes photos du site, achetées chez un vieux restaurant à Borj el Kifan.

5) Méthodologie :

a) **Extraction des traits de cote** :

1.1. 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 de correspondance (image/terrain). Il est alors possible de calculer pour chaque pixel ses coordonnées géographiques (Teffahi, 2018). Pour se faire des points de repères similaires (amorces) plus ou moins fixes dans le temps (coins de rue, caps, limite de terrain agricole, ect...) sont identifiés sur une carte récente géo-référencée et sont utilisés pour le calage de l'ancienne image aérienne. Le géo-référencement consiste donc à correspondre chaque amorce au niveau de l'ancienne carte à ses coordonnées géographiques prélevées sur la nouvelle carte.

Dans notre cas, le géo-référencement se fera grâce au logiciel « Global mapper » associé au logiciel « Google Earth » afin d'en extraire les coordonnées géographiques des amorces choisies correspondant au système de projection UTM (Universal Transvers Mercator) zone 31 de l'hémisphère Nord.

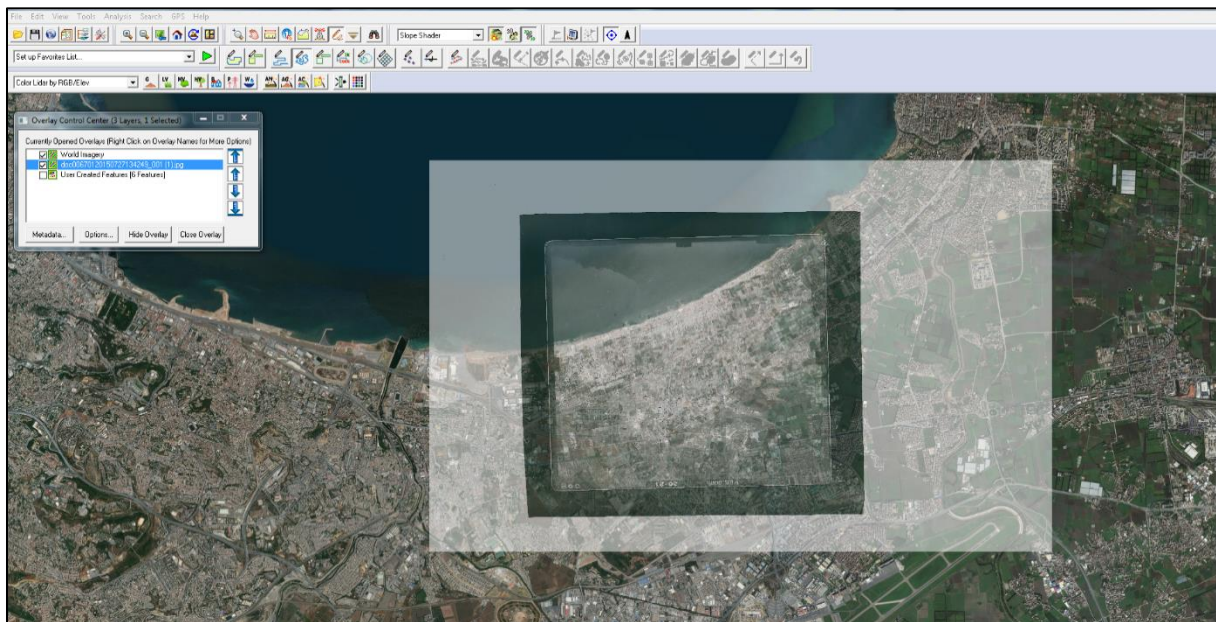


Figure 2.9 : Superposition de l'ancienne photographie aérienne sur la nouvelle carte après géo-référencement sur Global Mapper.

1.2. Digitalisation des traits de côte :

Les traits de côte de chaque image correspondant à chaque date, a été ensuite digitalisé à l'aide de l'outil « Editor » du logiciel « ArcGIS », en tant que classe d'entité « Shape file » géo-référencée avec une table attributaire où les informations de date « Date » et d'identifiant « ID » y sont spécifiées.

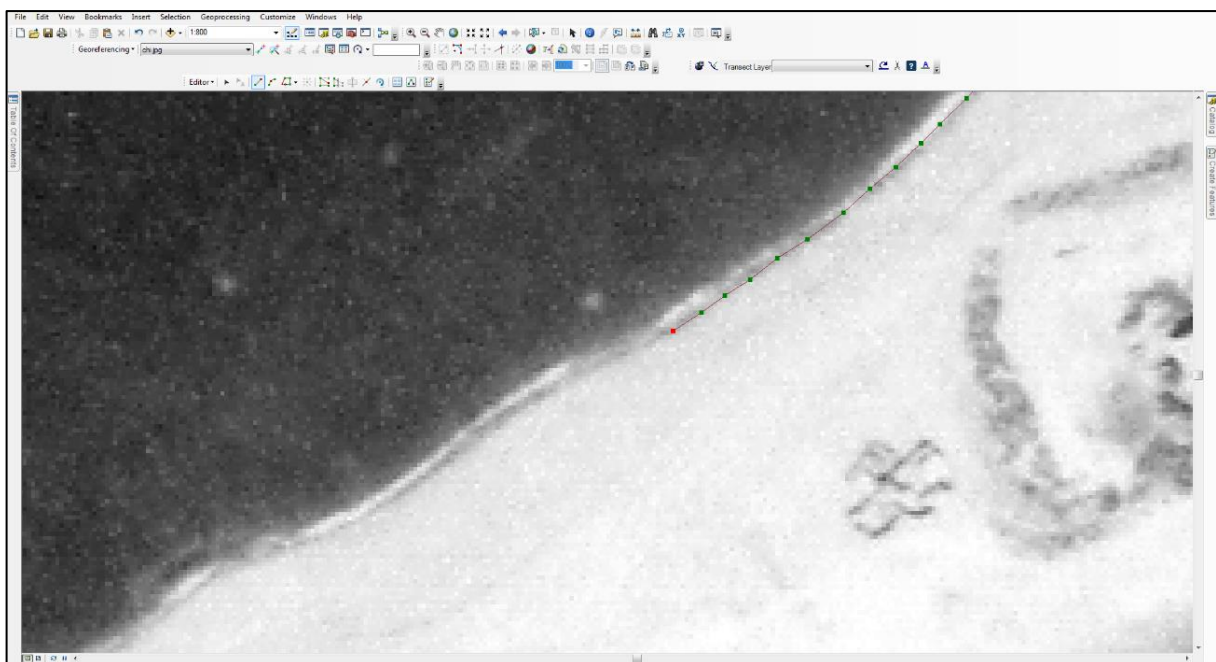


Figure 2.10 : Digitalisation du trait des anciens traits de côte sur « ArcGIS ».

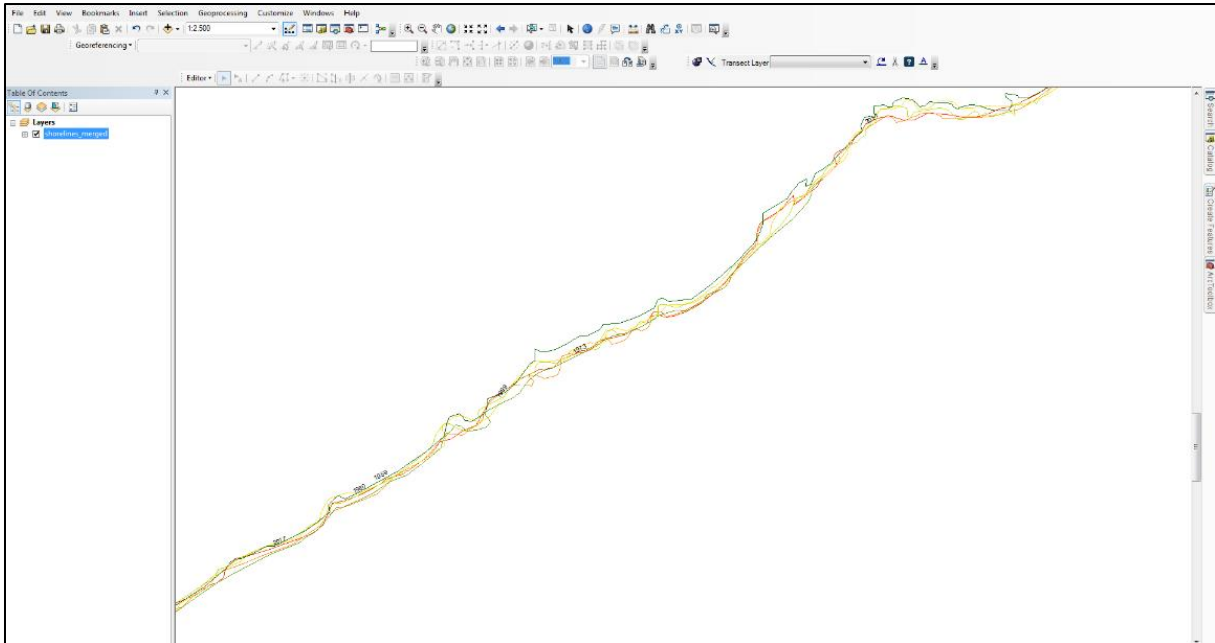


Figure 2.11 : Traits de côte digitalisés sur « ArcGIS ».

b) Création des géo-data-base :

2.1. Création de la couche « Shoreline » :

Les traits de côte digitalisés ainsi que les levées topographiques des différentes dates (1959, 1980, 1999, 2007, 2017) sont groupés en un seul fichier dans une base de données à l'aide de l'outil « merge » appelé « personnel géo-data-base ».

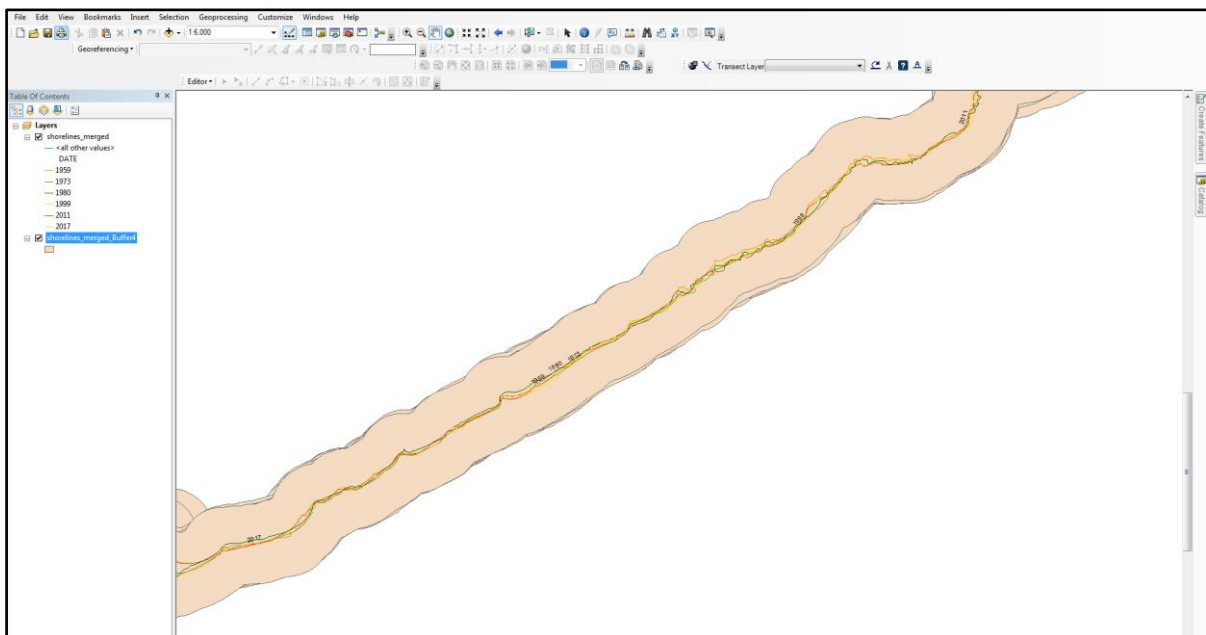


Figure 2.12 : Création du buffer sur logiciel Arcgis.

2.2. Création de la couche « Baseline » :

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

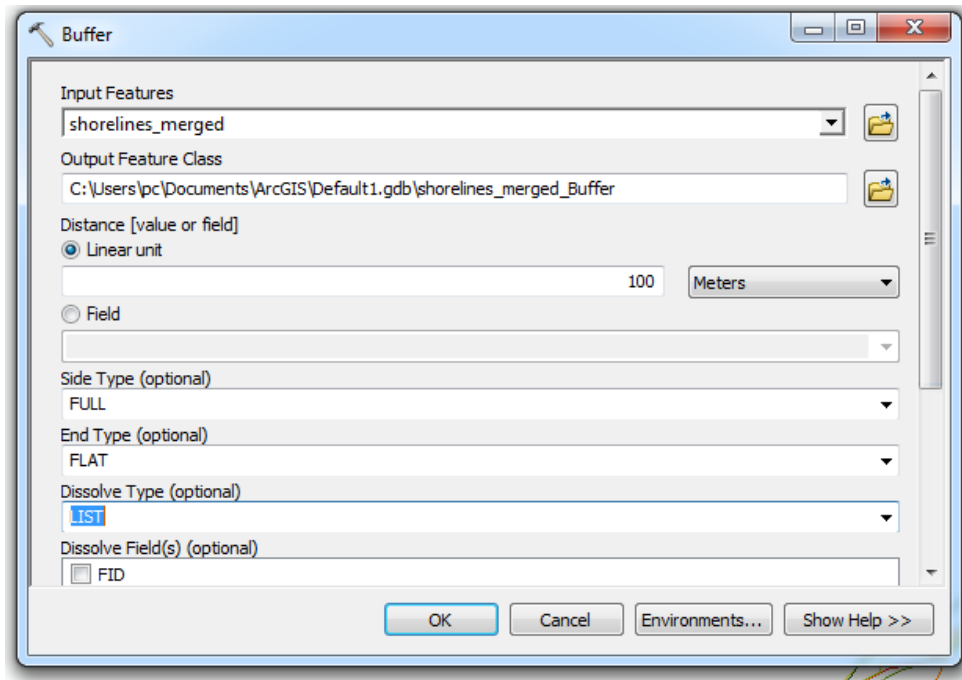


Figure 2.13 : Fenêtre de dialogue de création de Bufer sur ArcGIS.

c) Création des transects :

Grâce à la fenêtre de dialogue du Dsas, des couches de la ligne de base « Baseline » ainsi que des traits de côte groupés « Shoreline » ont été choisis comme « input ». Il est spécifié également l'espacement entre les transects, leur longueur ainsi que leur orientation et plusieurs paramètres concernant la création de ces derniers.

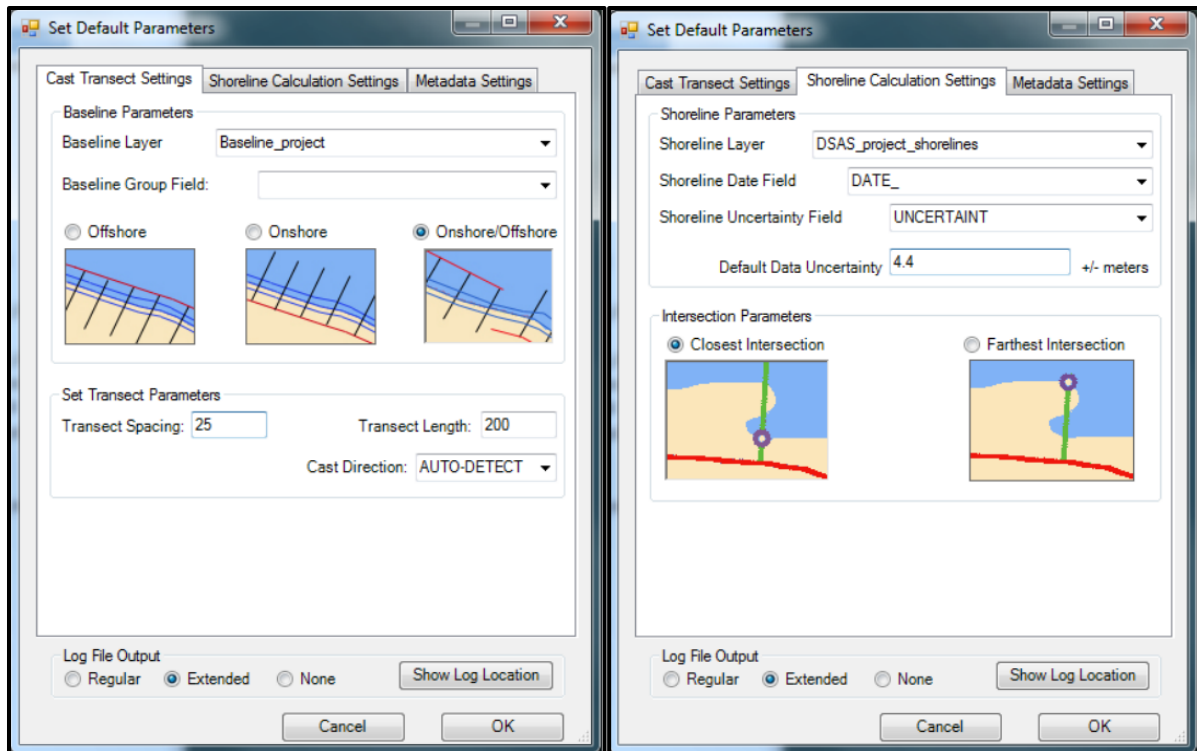


Figure 2.14 : Fenêtre de dialogue de la création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas.

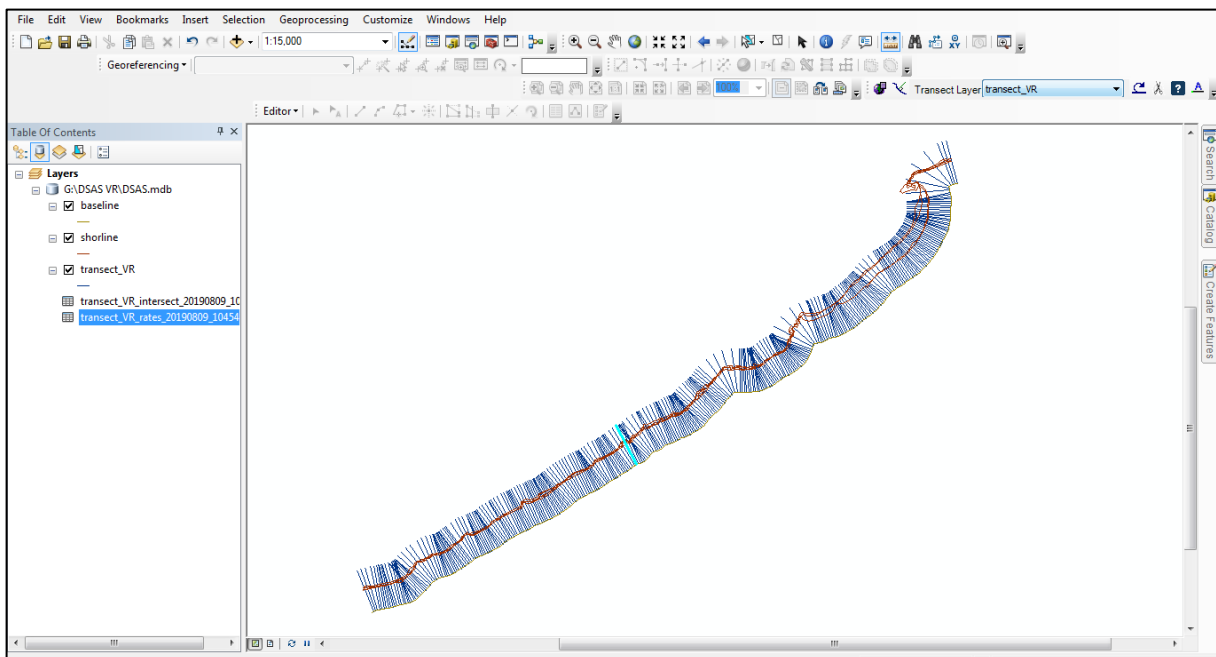


Figure.2.15 : Création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas.

d) Lancement du calcul :

Une fois les transects générés, il est possible de lancer le calcul statistique des deux indices « EPR » et « NSM ». Une table des résultats est alors créée jointe et reliée à la table attributaire afin de correspondre chaque identifiant de transect à son résultat d'EPR ou NSM, grâce à l'outil « Join and relate ».

Pour notre cas d'étude, trois domaines temporels ont été traités séparément.

Tableau.2.2. Les intervalles de temps d'étude du mouvement du trait de côte de la zone d'étude.

		But principal
période	de 1959-1999	Apprécier les périodes d'évolution du trait de côte au fil des années et en identifier les causes
	de 1999-2007	
	de 2007-2017	
	de 1959-2017	Avoir une vision large sur l'état du rivage, ainsi que son niveau de fragilité

Chapitre III :

Résultats

&

Discussions

I) Introduction :

Les résultats de la méthodologie du travail citée au court du chapitre précédant sont représentés ici-bas, ainsi que les commentaires et les déductions apportés par ces derniers. Ces résultats essentiels pour cerner la dynamique côtière dans la zone de la Verte Rive sont une ligne de départ pertinente au choix d'aménagement et de protection pouvant être proposé durant cette étude.

II) Résultats de l'étude bathymétrique

1) Génération du modèle d'élévation de terrain :

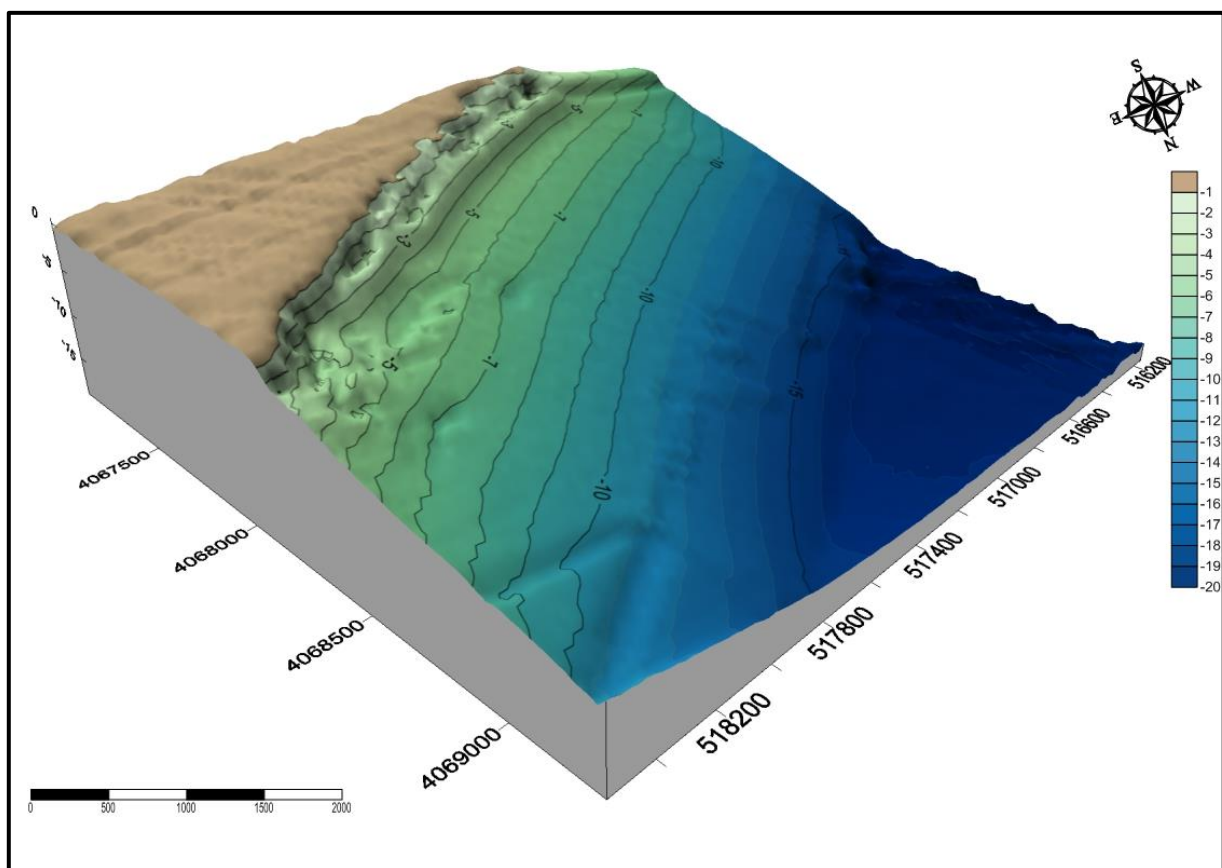


Figure.3.1 : Modèle numérique de terrain en 3D sur Surfeur 13.

C'est avec l'outil « **New 3D surface** » que l'on peut générer le MNT de notre zone d'étude.

Commentaire :

On peut voir dès lors la déformation du fond dès le premier mètre avec une pente abrupte assez bien prononcée, succédée par une pente douce jusqu'à (-15m) de profondeur.

2) Génération des profils bathymétriques avec le logiciel Global- Mapper :

Le profil bathymétrique est une section par plan vertical de la surface topographique, ce profil doit prendre en compte les formes du relief (Iffour, et al., 2016)

Au total quatre profils bathymétriques ont été réalisés, espacés d'environ 500m chacun sur une distance de 2000m couvrant toute la zone d'étude.

Les profils ont été tracés sur le logiciel **Global Mapper**, car il offre une meilleure précision ainsi qu'une possibilité de calcul instantané des degrés de pente.

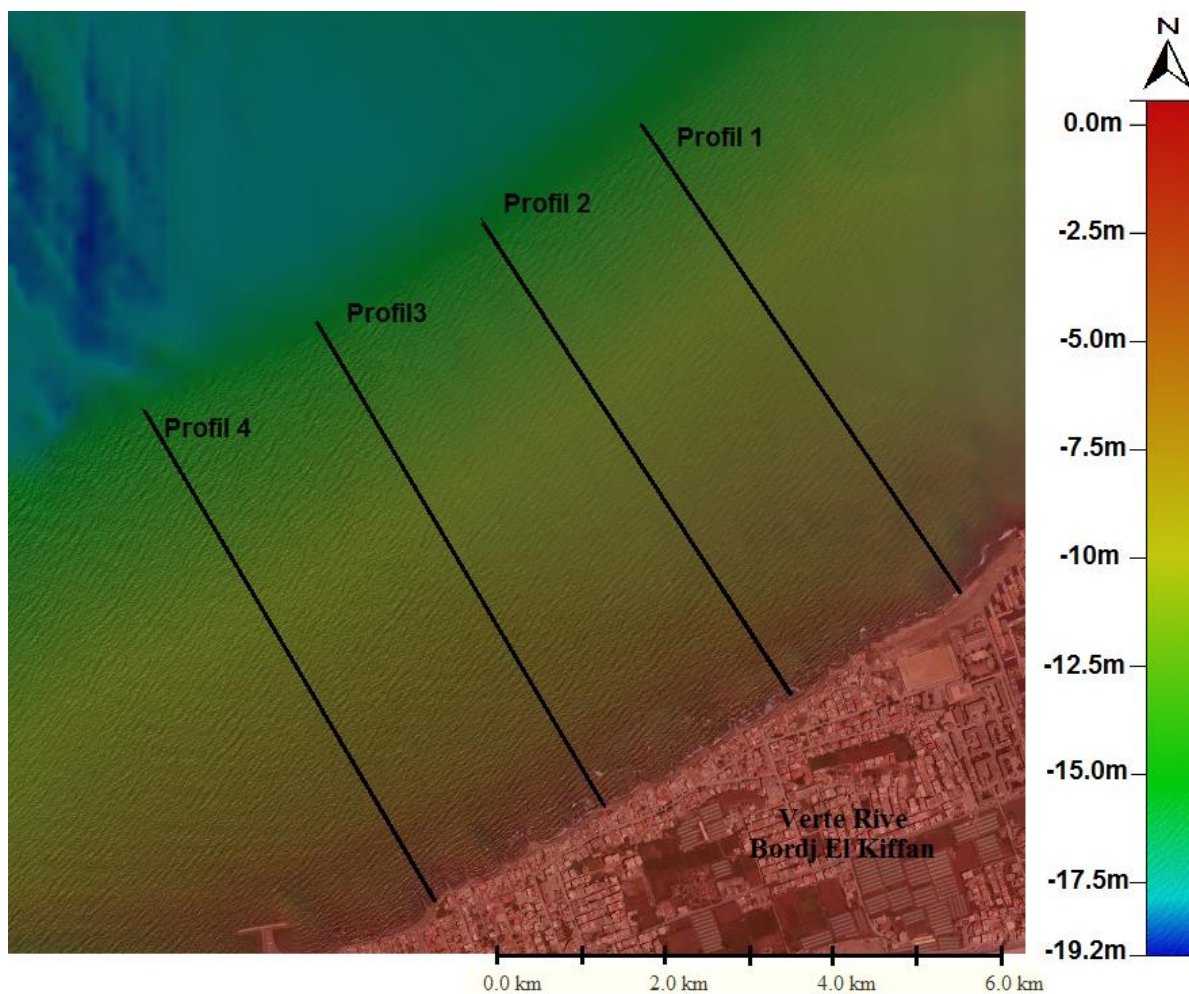
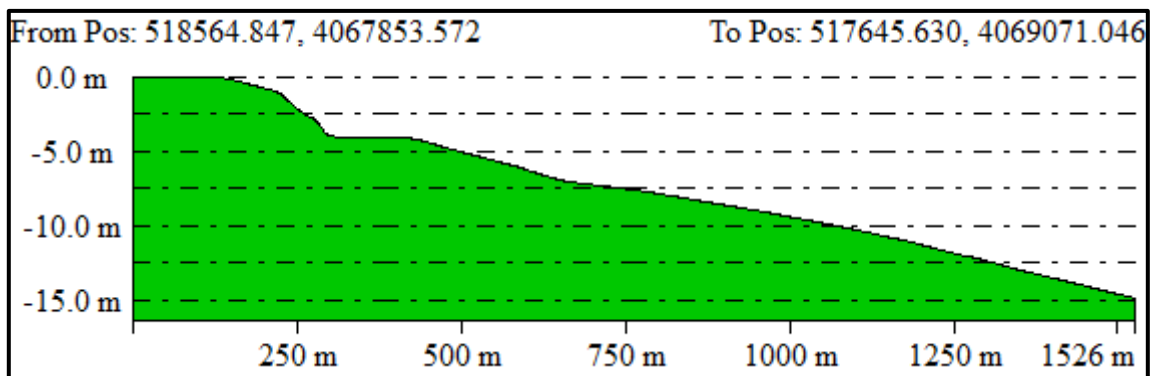
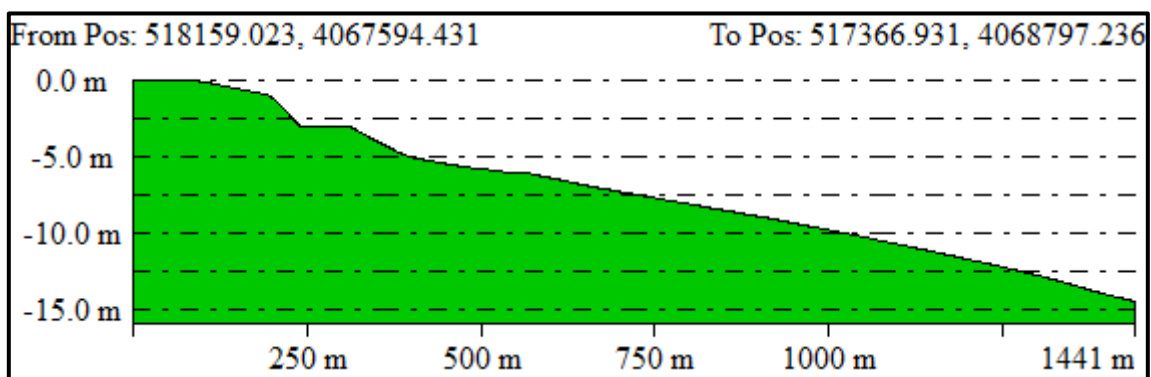


Figure 3.2 : Carte des profils bathymétriques réalisés.

Profil1 :**Figure 3.3 : Premier Profil de la plage.**Commentaire :

On constate que le fond de la plage est déformé au niveau des premiers mètres à une profondeur d'environ (-4.5m) avec une pente abrupte d'environ 2.62%. Cette pente se voit être rompue à (-5m) de profondeur à 260m des côtes, ou elle s'adoucit à 0.94% jusqu'à (-15m) de profondeur.

Profil2 :**Figure 3.4 : Deuxième Profil de la plage.**Commentaire :

Similaire au profil précédant, le fond de la plage est déformé au niveau des premiers mètres. Cela dit on note à une profondeur d'environ (-3m) une forme rocheuse avec une pente d'autant plus abrupte d'environ 2.14%, avec une rupture à (-4.5m) à 270m de la côte. La pente s'adoucit à 0.98%, jusqu'à (-15m) de profondeur.

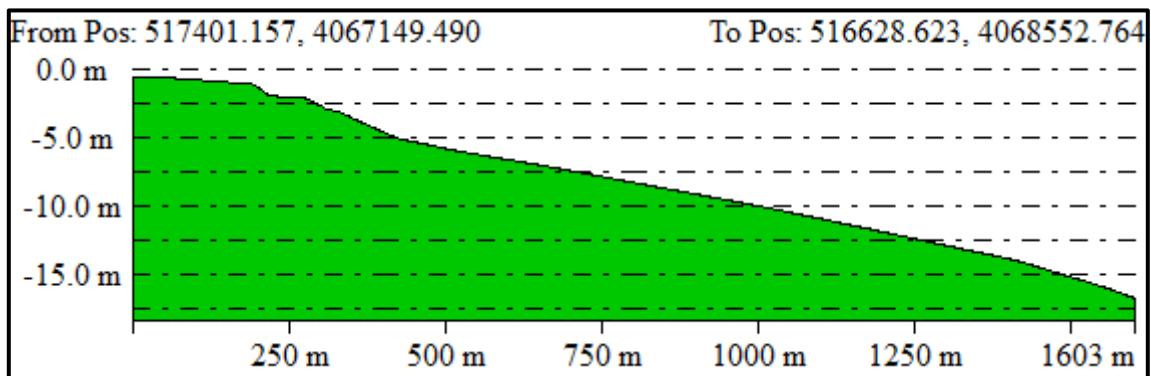
Profil 3 :

Figure 3.5 : Troisième Profil de la plage.

Commentaire :

Sur ce profil, on ne note que de petites déformations lors des premiers mètres. La pente est de 1.10% puis s'adoucit à 0.94% à (-3.5m) de profondeur.

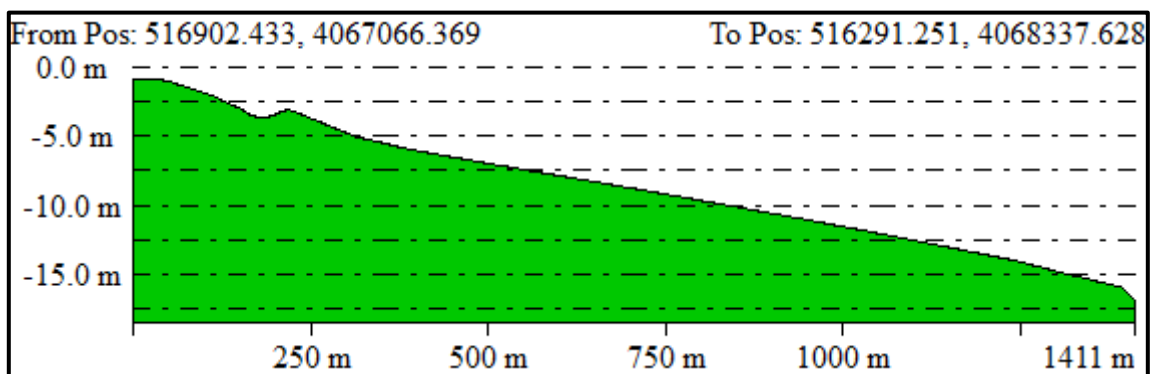
Profil 4 :

Figure 3.6 : Quatrième Profil de la plage.

Commentaire :

On note le retour de la petite formation rocheuse à (-4m) de profondeur, avec une pente abrupte de 1.80% jusqu'à une rupture de pente à (-5m) de profondeur à 250m de la côte ou la pente reprend une allure douce de (0.94%) jusqu'à une profondeur de (-15m).

Conclusion :

Il est probable que l'on puisse noter la présence de barre et de fosses de lévigation sur les premiers mètres, ce qui expliquerait peut-être les ruptures de pentes répétitives à environs (-4.5m) de profondeur.

III) Résultats de l'étude de l'évolution diachronique du trait de côte :

1) Résultats cartographiques :

Une représentation cartographique en couleur a été réalisée pour le mouvement net du trait de côte « NSM » pour les quatre analyses périodiques, grâce à l'outil « symbologie ». Ces cartes illustrent les zones d'érosion inférieure à -2m en rouge, les zones de stabilité (-2m-2m) en vert, ainsi que les zones de sédimentation supérieure à 2m en bleu. Ces résultats sont superposés à une carte satellitaire géo-référencée de la zone d'étude.

a) L'intervalle de l'année 1959 à 1999 :

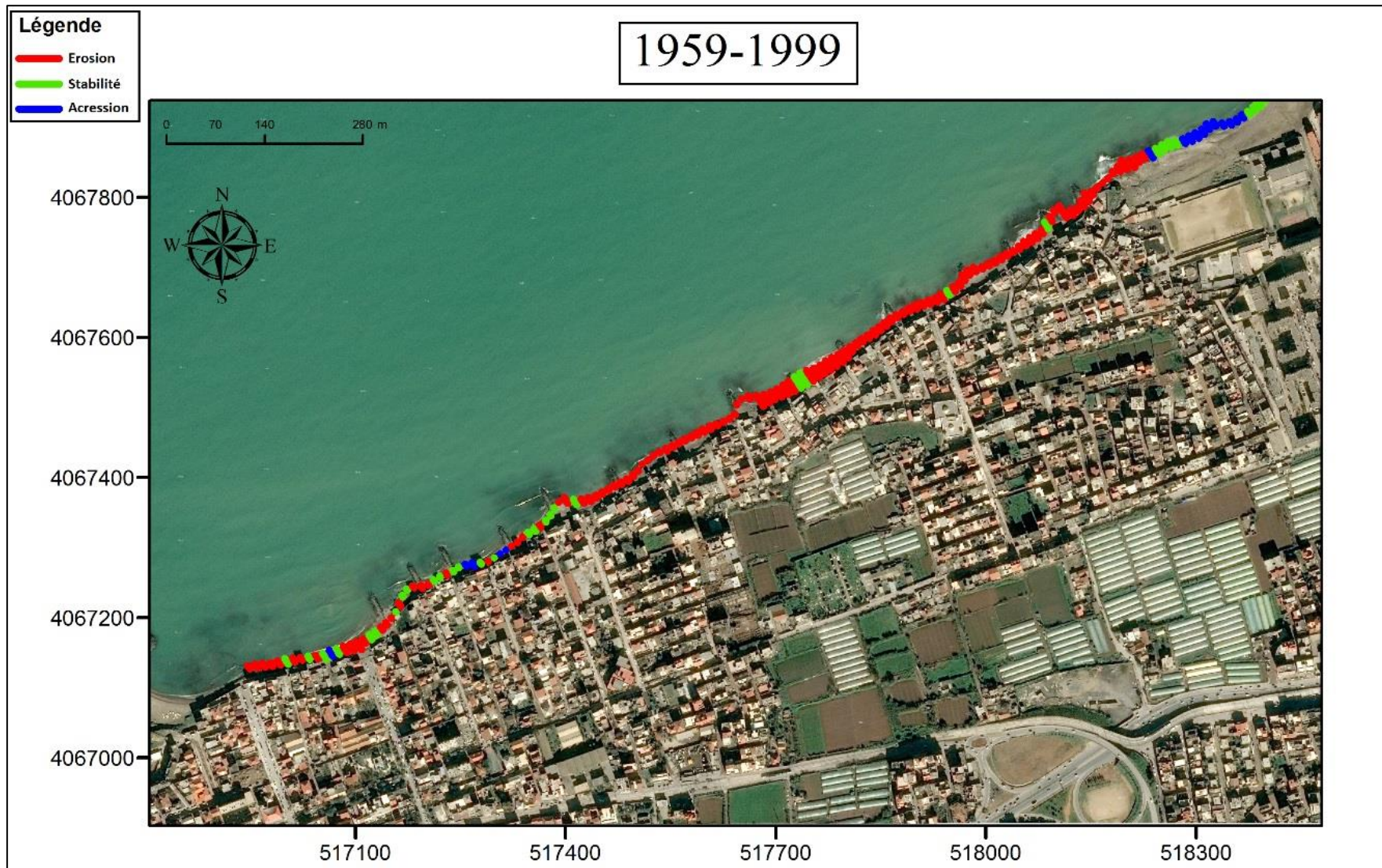


Figure 3.7 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1959 et 1999.

Commentaire :

La période entre 1959 et 1999 se caractérise par une forte érosion étendue le long du linéaire côtier, avec quelques petites zones de stabilité. En observant l'évolution de la zone grâce aux anciennes images aériennes ainsi que les statistiques de l'ONS, on remarque que cette érosion coïncide avec une expansion démographique importante dans la zone de Borj El Kifan avec une concentration de l'urbanisation près de la côte.

Tableau 3.1 : Densité de la population, ONS.

Population		
1987	1998	2008
62270	103690	151950

b) L'intervalle de l'année 1999 à 2007 :

Commentaire :

On note dans la période s'étendant de 1999 à 2007 une stabilité dans l'évolution du trait de côte avec quelques zones d'accrétion. Cette stabilité coïncide avec l'implantation d'épis courts au nombre de 14 le long du linéaire de plage. Ces derniers sont probablement à l'origine de l'équilibre sédimentaire qu'a rencontré la plage à cette époque.

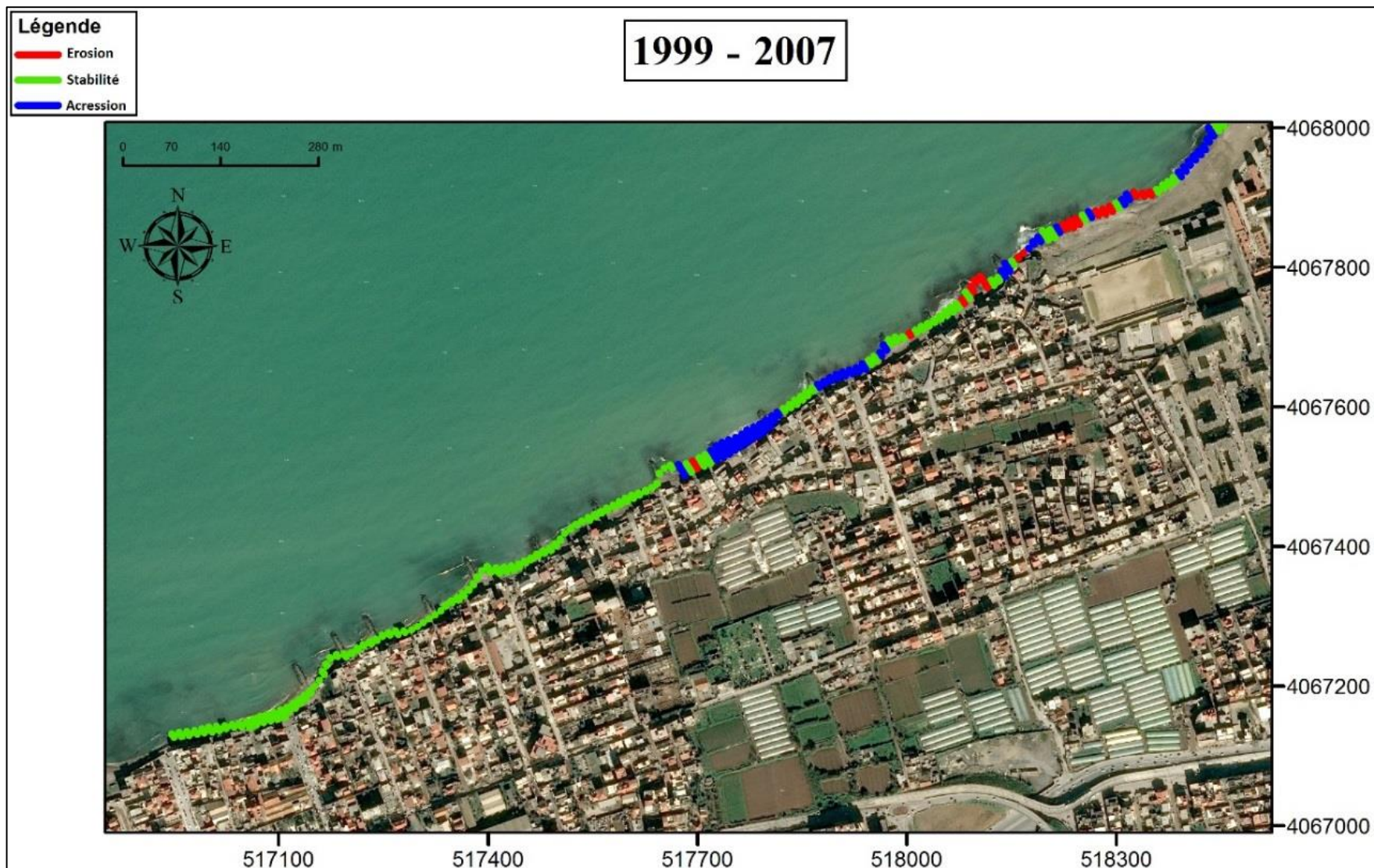


Figure 3.8 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1999 et 2007.

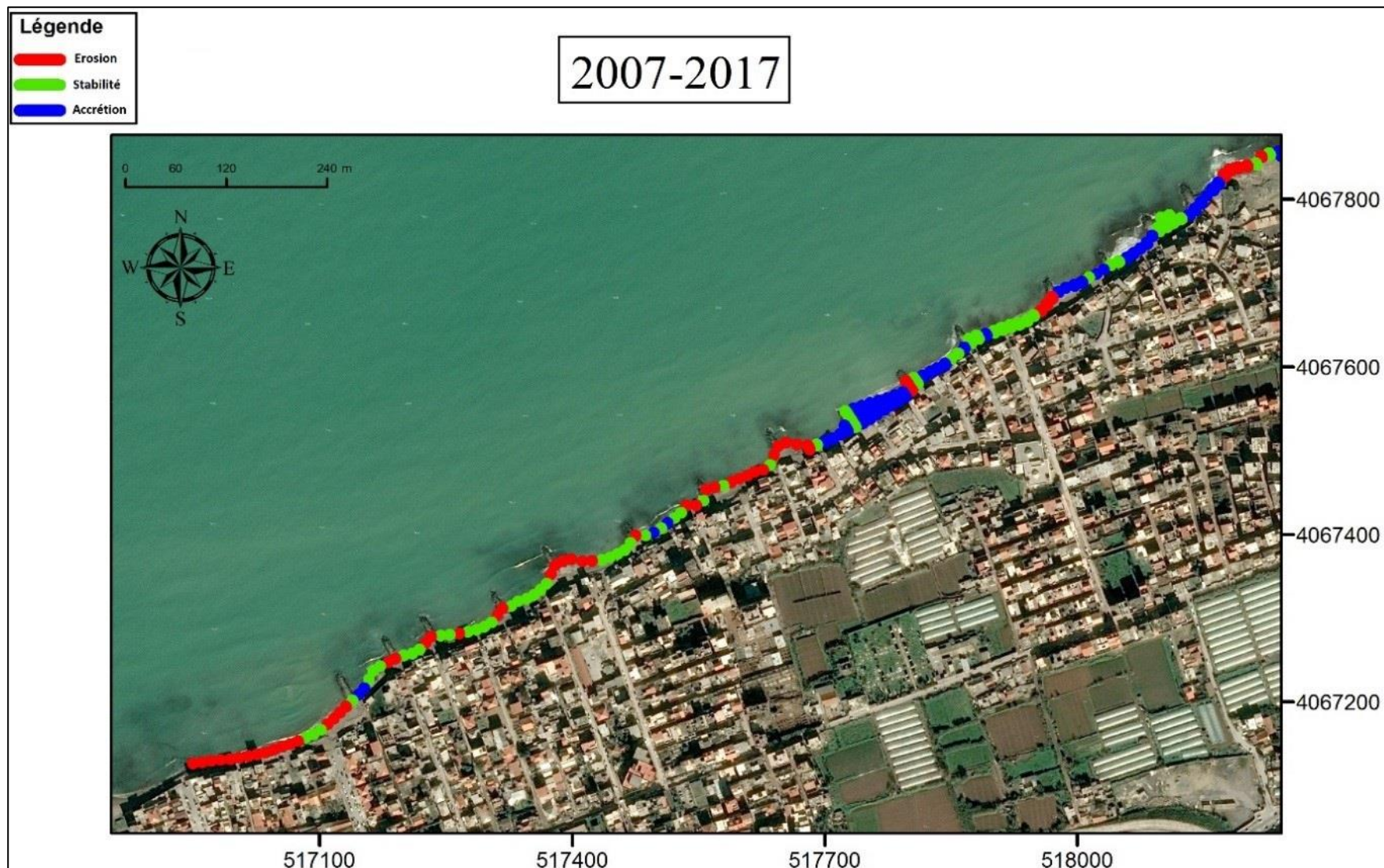


Figure.3.9 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 2007 et 2017.

c) L'intervalle de l'année 2007 à 2017 :Commentaire :

La réapparition de zones d'érosion sur la période qui s'étend entre 2007 et 2017 met du doute sur la fiabilité à long terme des épis courts implantés antérieurement pour stabiliser la totalité de la plage.

d) L'intervalle de l'année 1959 à 2017 :Commentaire :

On remarque une alternance de zones stables, d'érosion et d'accretion avec prédominance importante de l'érosion le long de la plage. Cette vision globale de l'évolution peut démontrer sa fragilité ainsi que sa tendance évolutive qui tend vers un budget sédimentaire constamment en déficit et qui nécessite probablement une méthode de protection plus adaptée et plus efficace aux conditions auxquelles est confrontée notre zone d'étude à long terme.

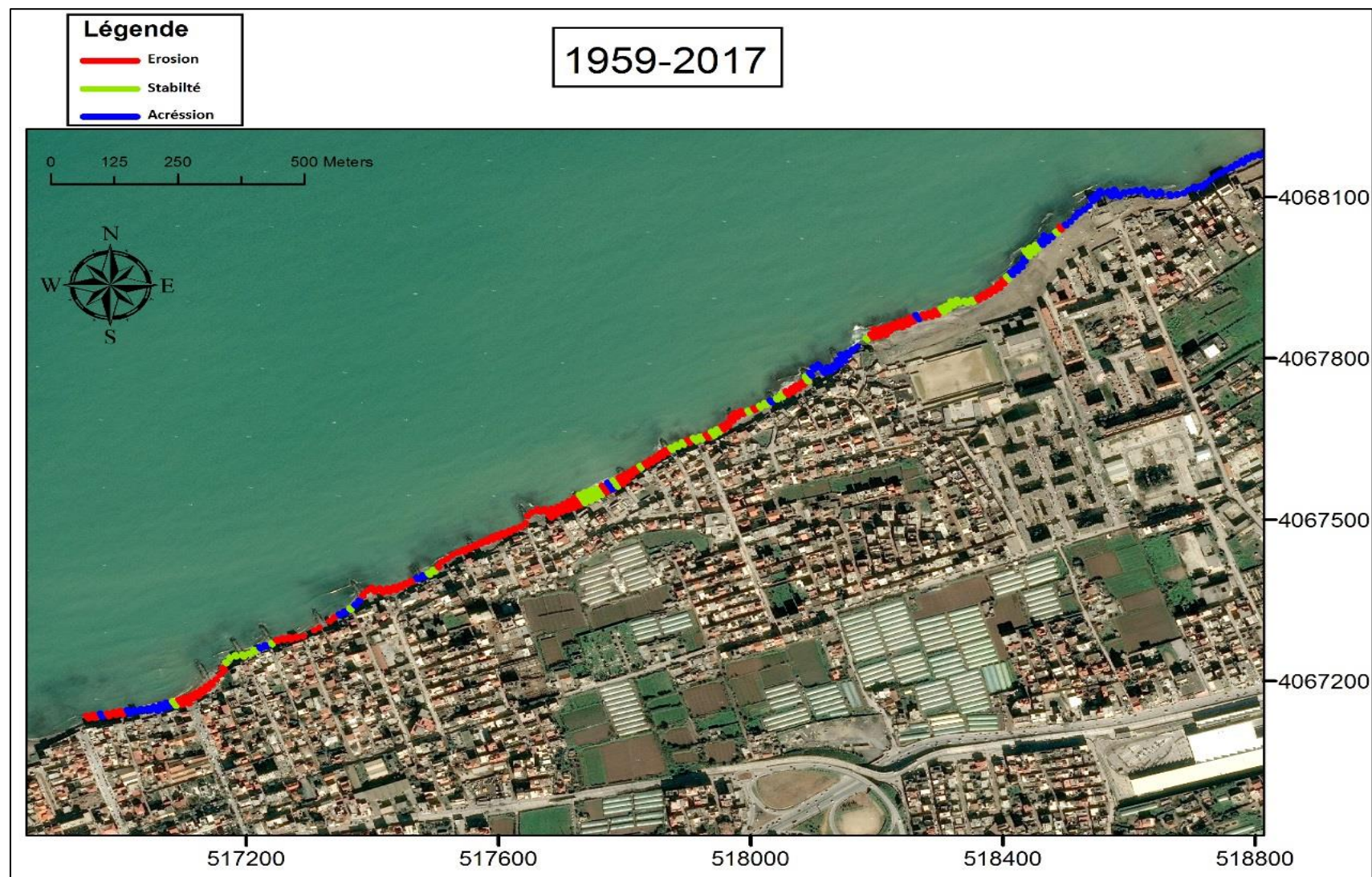


Figure 3.10 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1959 et 2017.

2) Résultats graphiques :

1959-2017 :

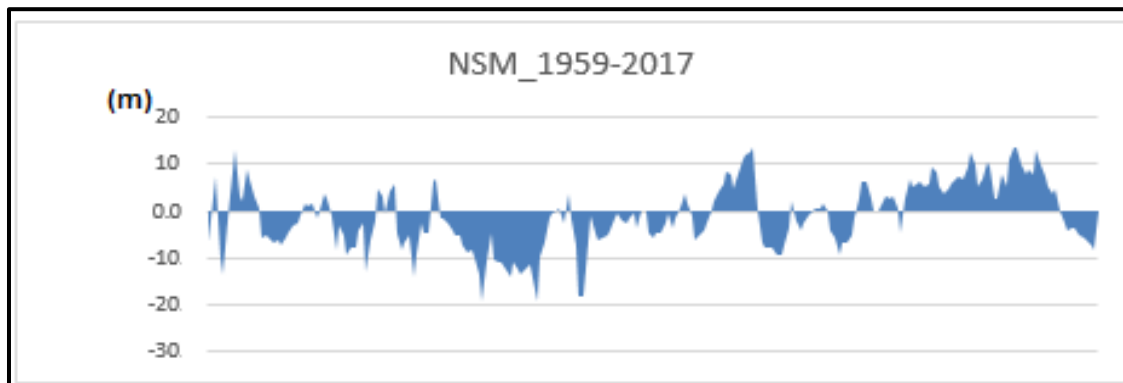


Figure 3.11 : Mouvement net du trait du côté entre 1959 et 2017.

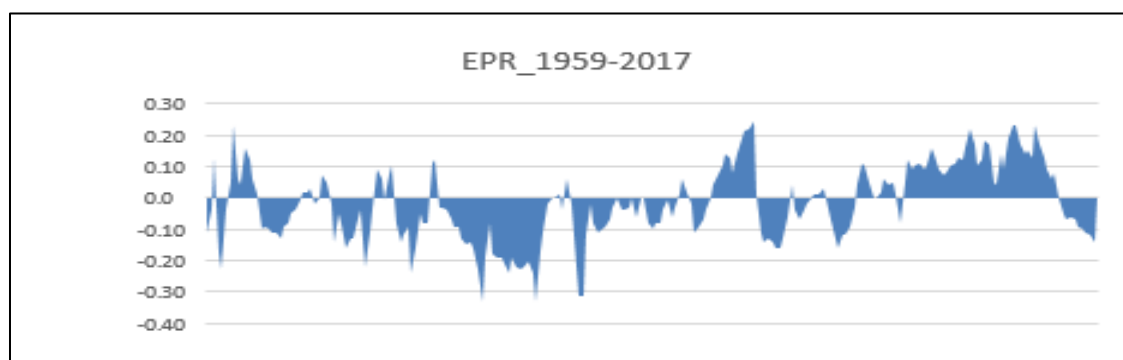


Figure 3.12 : End Point Rate entre 1959 et 2017.

Commentaire :

On remarque que les graphiques de l'EPR sont superposables à ceux de l'NSM qui quant à eux donnent approximativement les mêmes résultats que la représentation graphique. Avec des reculs allant jusqu'à plus de 25m du côté Ouest de la rive. Des accrétions à l'extrême Est de l'ordre de 20m, sont aussi enregistrées probablement dû au chantier de remblaiement en cours en ce moment.

IV) Résultats de l'étude de la réfraction de la houle

1) Résultats de calcul pour le SW (réfraction de la houle à l'approche de la côte) :

Les résultats de l'étude de réfraction de la houle du large vers la côte sont représentés avec des cartes ci-dessous, ainsi que des valeurs de hauteurs de houles obtenues des points d'extraction déterminés dans le chapitre précédent.

a) Résultats cartographiques :

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

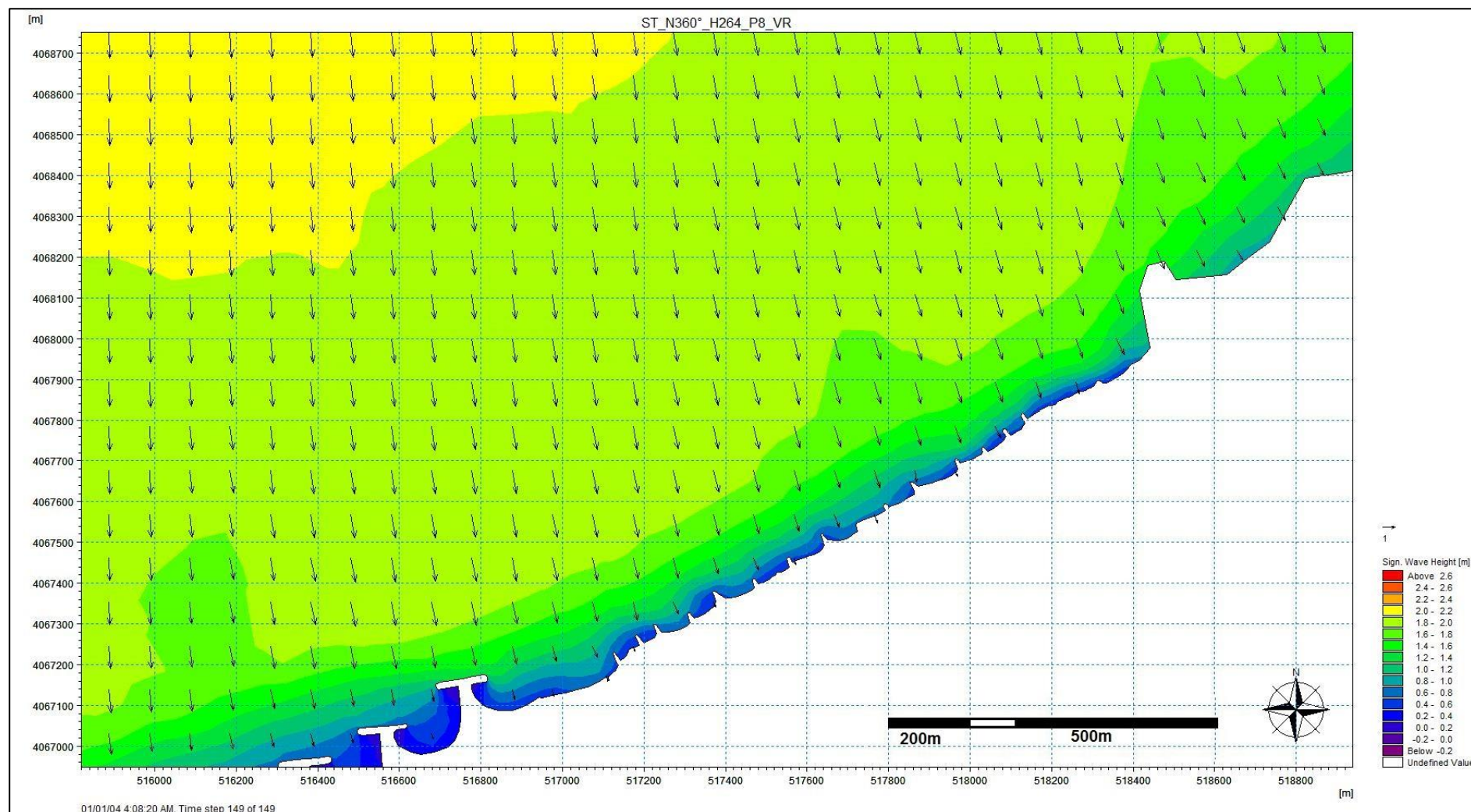


Figure 3.13 : Résultat de réfraction de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

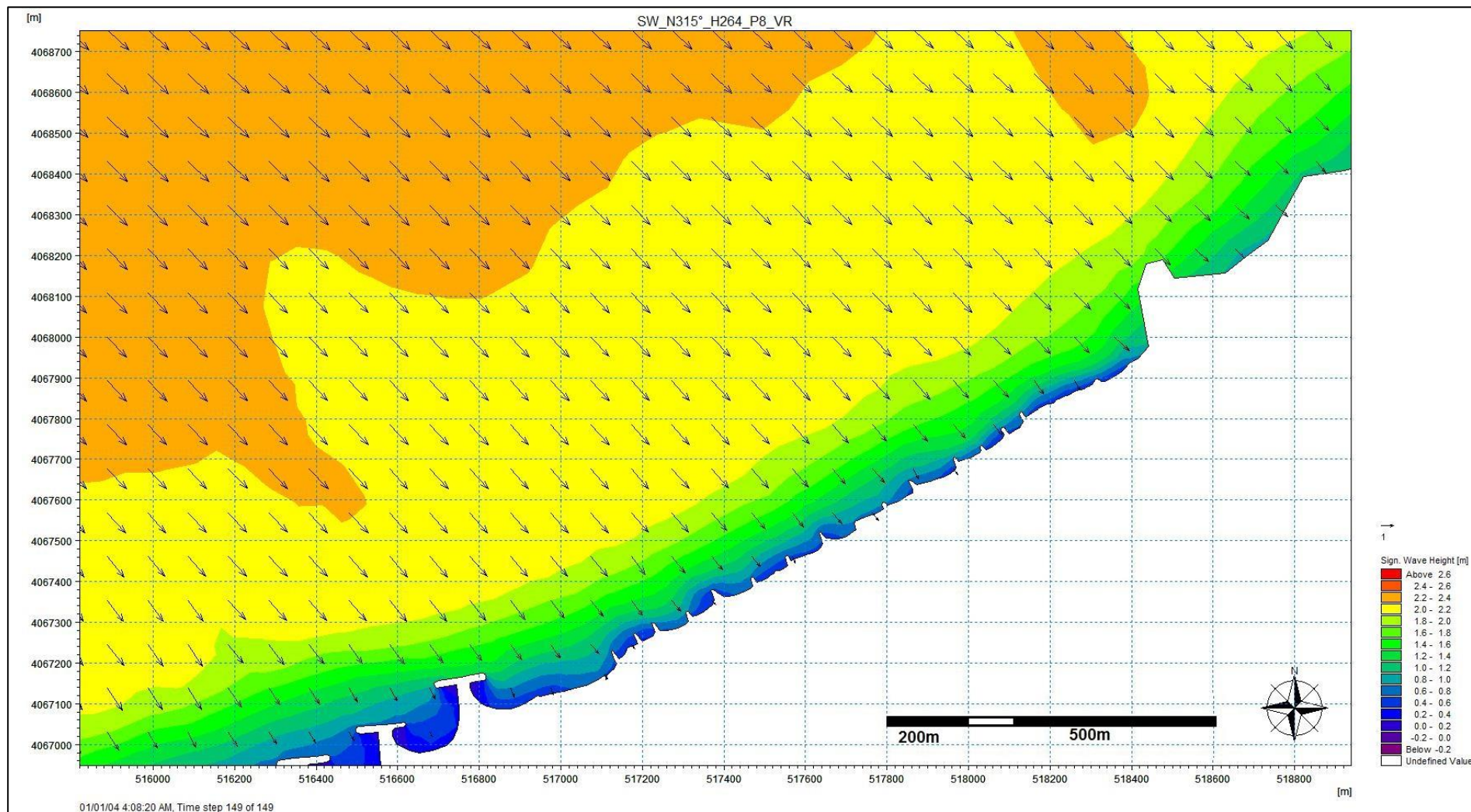


Figure 3.14 : Résultat de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

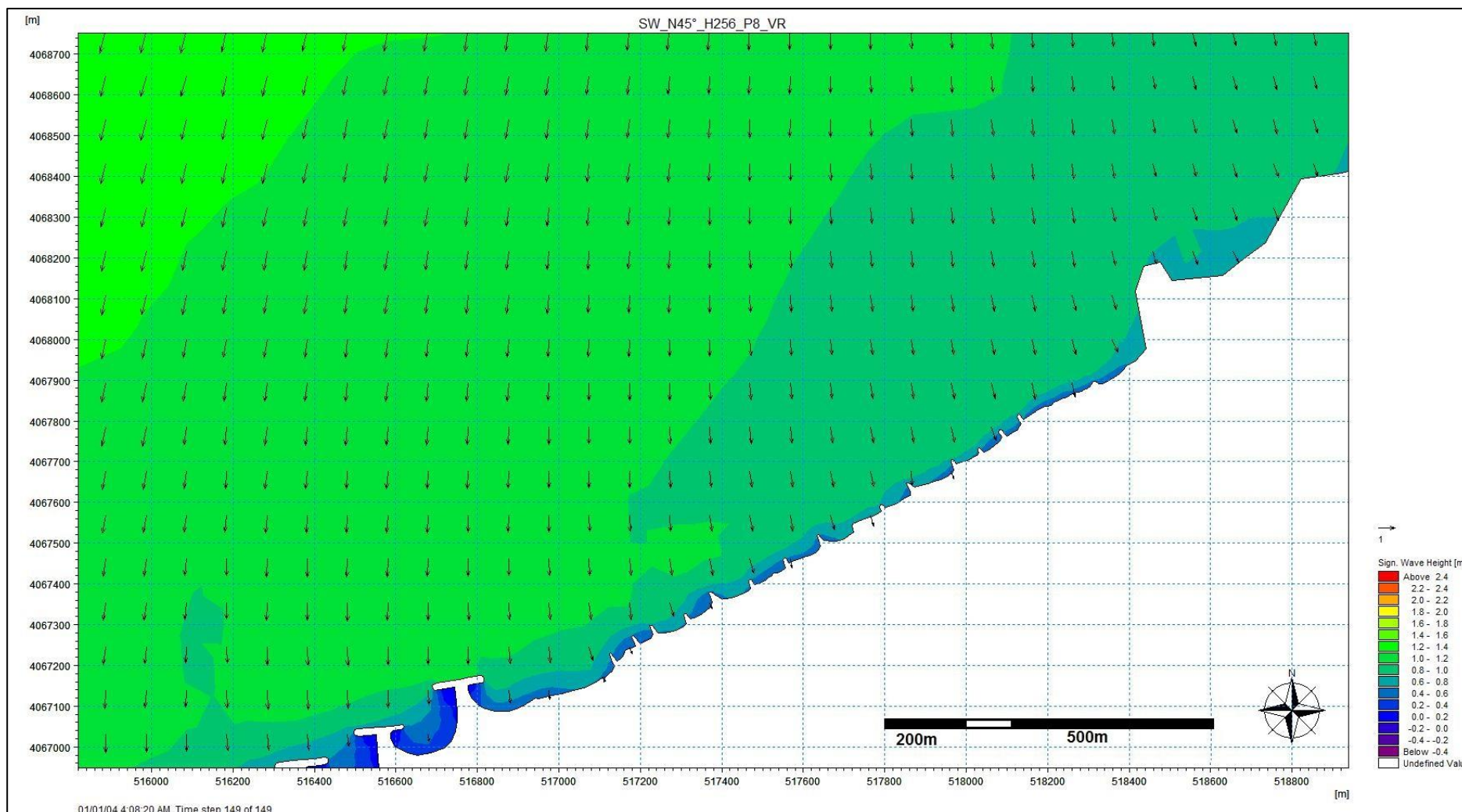


Figure 3.15 : Résultat de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

b) Résultats obtenus à partir des points d'extraction

Tableau 3.2 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 360°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs locale (m)	Angle d'incidence (°)	Kr	Refraction%
-3	N360°	2.67	1.646	344.9	0.6164794	38%
-1	N360°	2.67	0.9	338.5	0.33707865	66%

Tableau 3.3 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 45°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs locale (m)	Angle incidence (°)	Kr	Refraction %
-3	N45°	2.56	1		0.390625	61%
-1	N45°	2.56	0.8		0.3125	69%

Tableau 3.4 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 315°.

Profondeur (m)	Direction	Hs large (m)	Hs locale (m)	Angle incidence (°)	Kr	Refraction%
-3	N315°	2.64	1.74	322	0.659090909	34%
-1	N315°	2.64	0.9	324	0.340909091	66%

c) Commentaire :

On remarque que les trois directions retenues arrivent frontalement sur la zone d'étude. Les orthogonales des houles N360° ne dévient notamment pas de leurs trajectoires, ceux de la N315° dévient de 9° vers le Nord alors que ceux de la N45° subissent une diffraction au niveau du Cap Matifou pour venir atteindre la zone d'étude avec un angle presque au Nord. Ce résultat peut probablement signifier que la fragilité de la plage est due à une exposition permanente à des Conditions de houles frontales, sans bénéficier d'un temps de repos pour la reconstitution du

budget de sédiments perdus. Ceci aurait été probablement le cas si elle était exposée à des houles plus obliques.

On remarque aussi, que les vagues N360° gardent en moyenne 60% de leur intensité du large à (-3m) de profondeur près des côtes et 30% à (-1m). En ce qui concerne les houles N315°, elles gardent leur intensité à 65% à (-3m) de profondeur et jusqu'à 34% à (-1m), ce qui est légèrement plus élevé. Les houles de secteur N315° se voient donc être les plus menaçantes dû à l'orientation Nord-Ouest du site. Les houles subissent donc moins l'action du fond et elles sont plus frontales.

La Nord 45° est celle qui se réfracte le plus, elle a une intensité de plus de 61% en moins à (-3m) de profondeur et 69% à (-1m).

Ces résultats indiquent qu'éventuellement les vagues ne déferlent et ne perdent de leur énergie que très près de la côte, contribuant à l'arrachage des sédiments de la plage et de ce fait à la fragilisation de la zone d'étude. Ce phénomène est d'autant plus accentué en saison hivernale.

2) Résultats de calcul pour le HD (courantologie) et ST (transport sédimentaire) :

a) Résultats cartographiques :

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

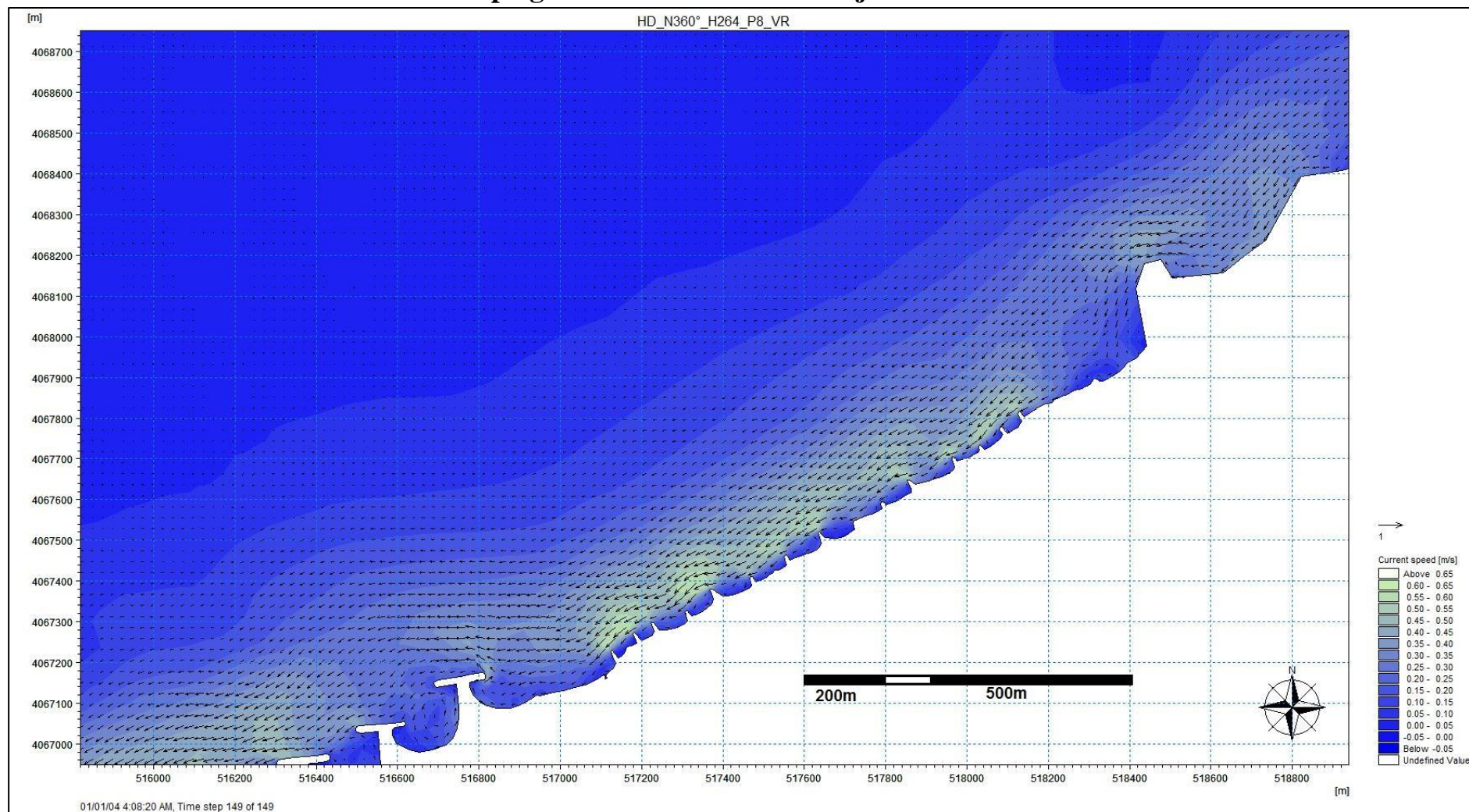


Figure 3.16 : Résultat de courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj ElKiffan » :

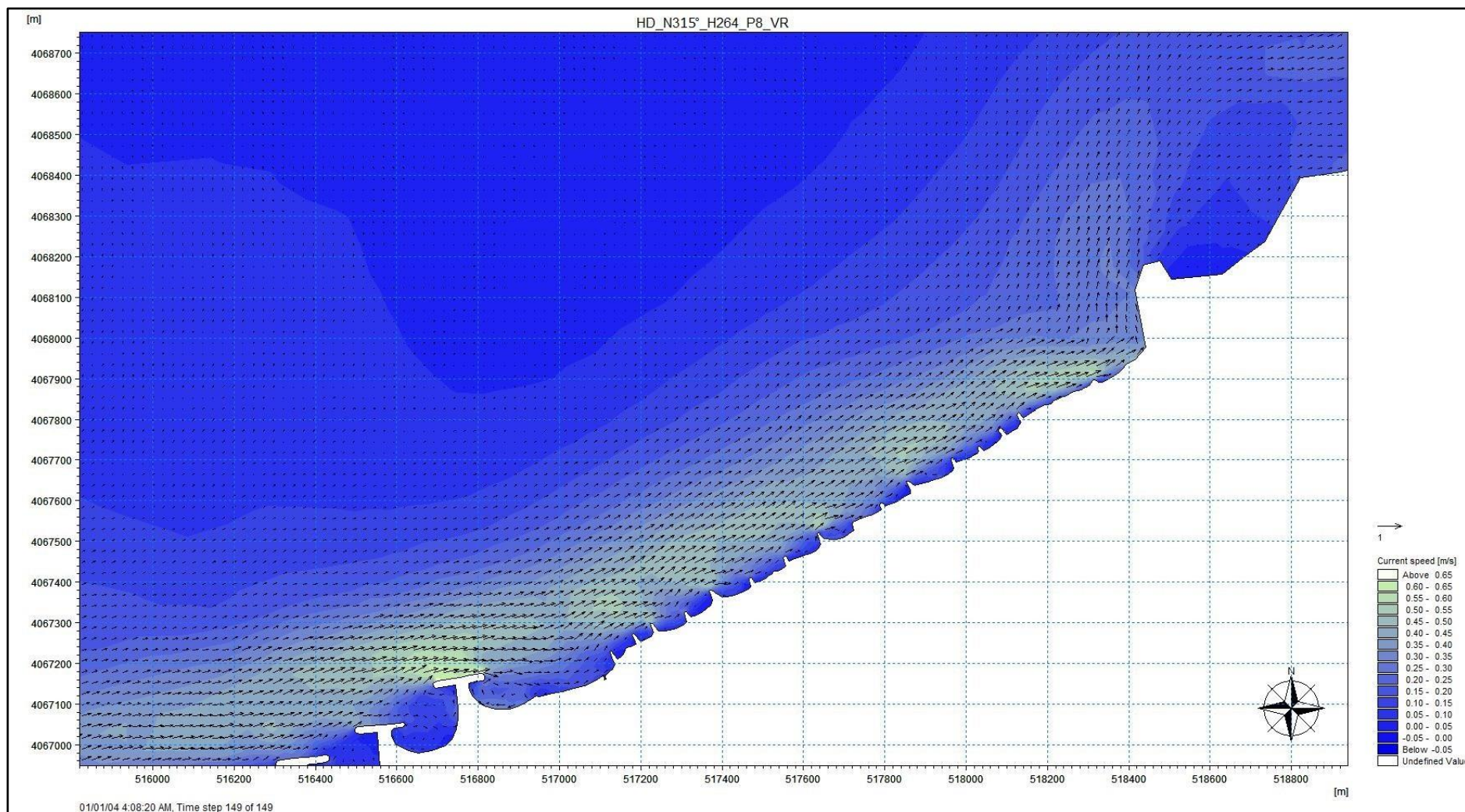


Figure 3.17 : Résultat de courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

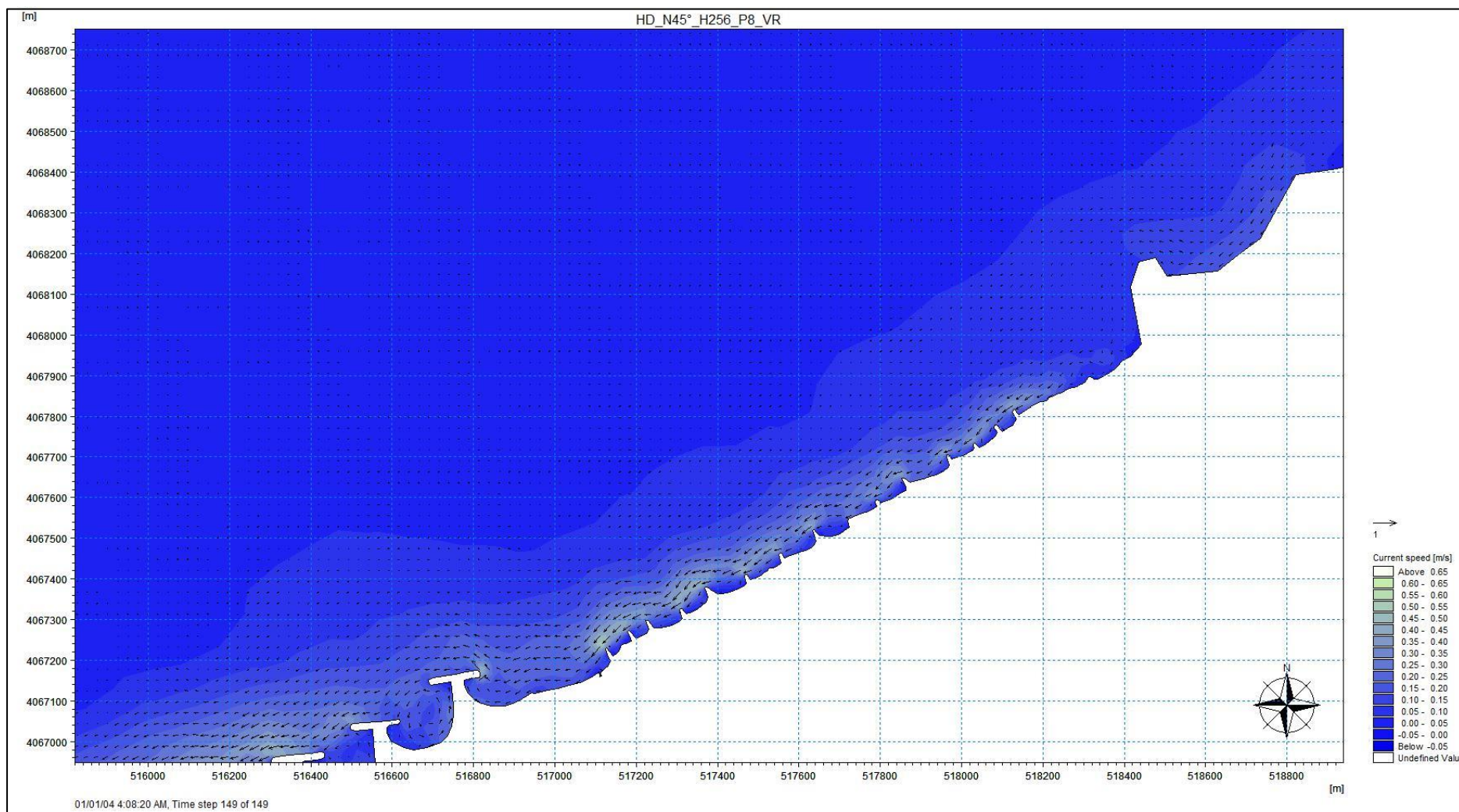


Figure 3.18 : Résultat de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

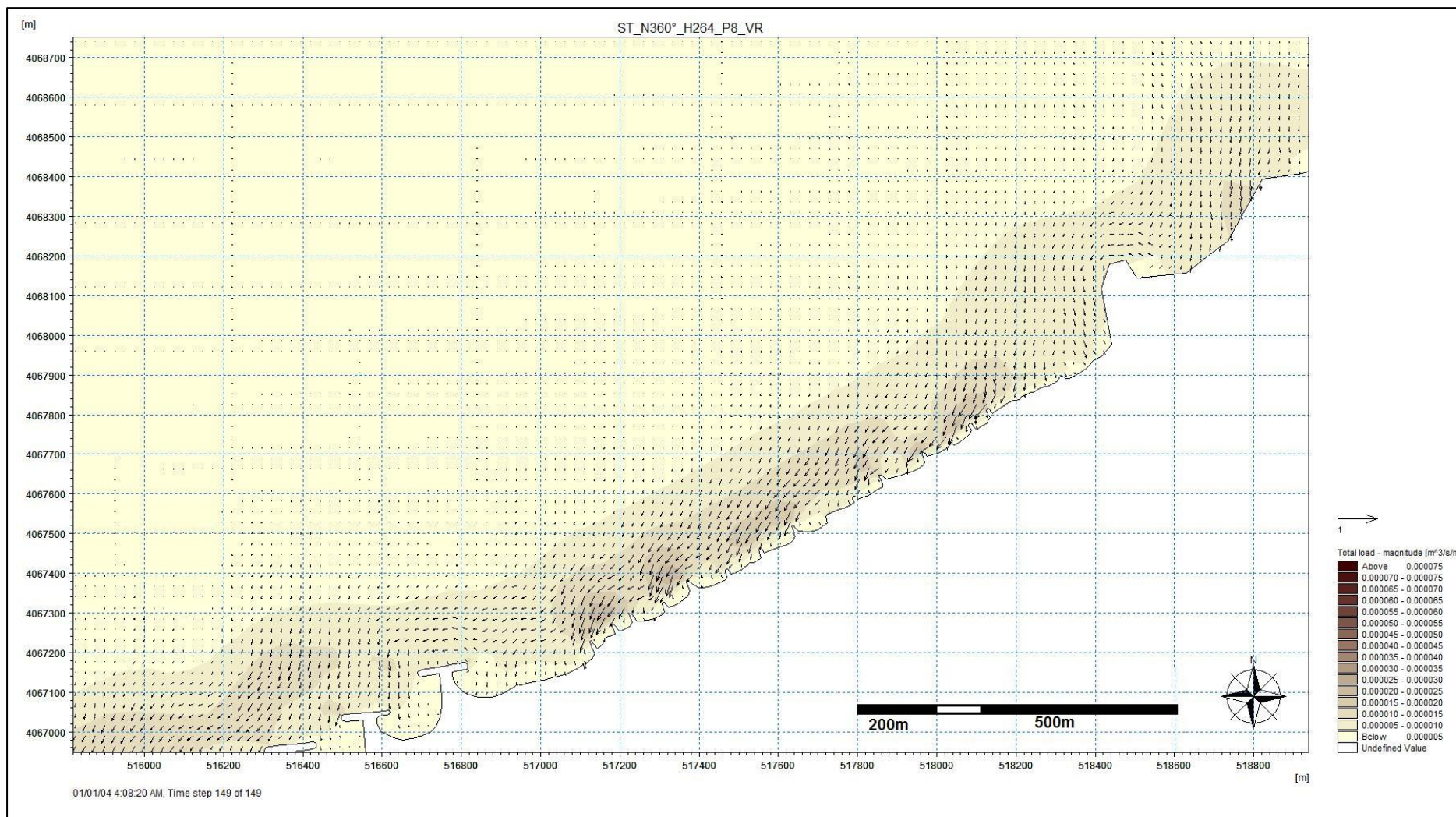


Figure 3.19 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

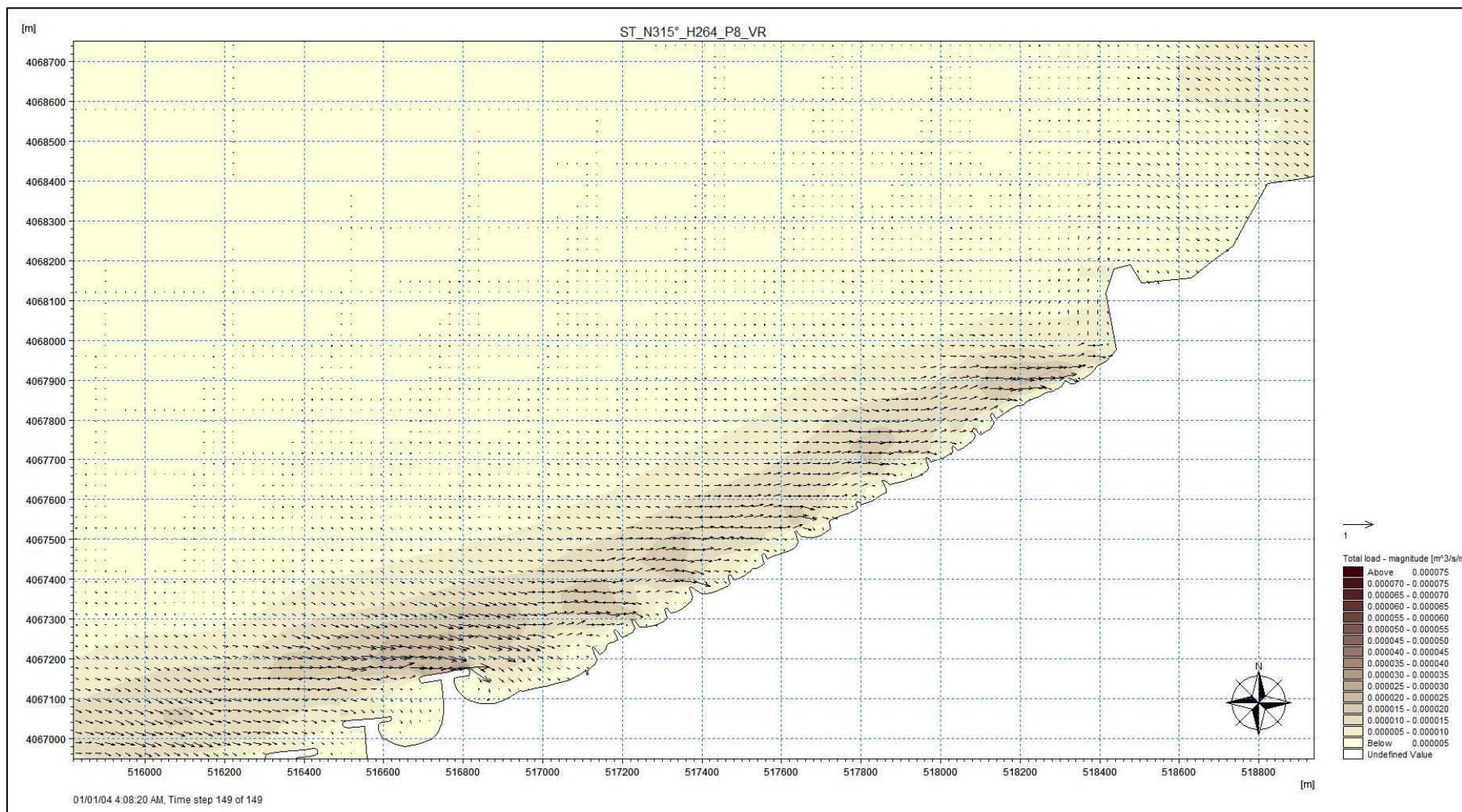


Figure 3.20 : Résultat du transport sédimentaire la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

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

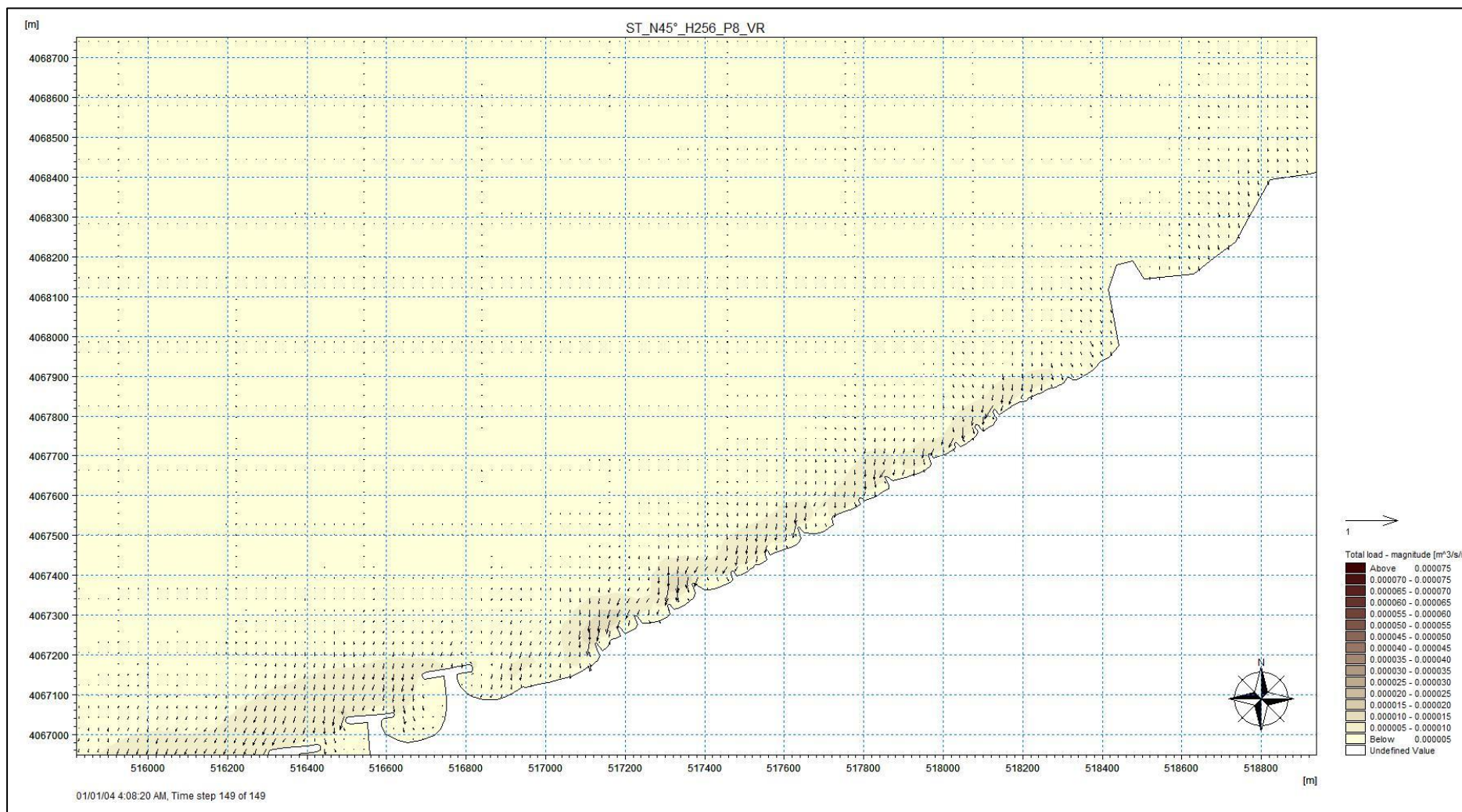


Figure 3.21 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».

Commentaire pour le (HD) :

On remarque que les courants induits par les houles de secteur N315° et N360° sont les plus importants avec des moyennes de 0.60m/s contrairement aux courants de houle de secteur N45°, qui se voient être moins importants avec des moyennes de 0.35m/s. Ces courants longent la côte mais leurs directions sont cependant inversées avec un sens Est-Ouest pour les courants induits par les houles de secteur N360° et N45°, et un sens Ouest-Est pour la N315°. On remarque donc 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, régies principalement par le courant algérien.

Commentaire pour le (ST) :

Il est constatable que les débits solides charriés par les courants côtiers de sens Est-Ouest sont les plus remarquables, sachant que ces résultats coïncident avec le sens dominant du transit des sédiments le long de la baie d'Alger. Ils sont probablement liés aux apports solides amenés par Oued El Hamiz à quelques kilomètres à l'Est du site, qui se voit être la source principale comparée à Oued el Harnache. Cependant les taux de transport sont relativement faibles, avec des maximums de 0.000033m³/s/m contre 0.00112 m³/s/m en 2017 (Kadri, 2017) Cet amaigrissement en quantités depuis les années 90 est vraisemblablement le résultat de blocages de l'arrivée des alluvions, tant bien même au niveau des barrages d'Oued El Hamiz, et Oued El Harach (khemis El khechna « 1990 » et Douera « 2014 »), qu'au niveau de la côte. En notant également le grand projet de réaménagement de la baie d'Alger, obstruant le transit sédimentaire général.

V) Étude d'aménagement :

1) Introduction :

Le problème lors de toute intervention sur le littoral est de s'attacher à prévoir les conséquences que pourrait subir tout un espace côtier du fait de l'aménagement d'un ouvrage artificiel. Il s'agira aussi à chaque fois de rechercher l'équilibre très complexe en tenant compte des forces hydrodynamiques et les matériaux côtiers très mobiles (Tabet, 2009). Cependant, les facteurs socio-économiques, environnementaux et les politiques régionales sont à prendre fortement en considération, et en particulier dans le cas où il n'y a pas d'installations de grande valeur. Comme c'est aussi le cas quand le financement est couvert par une association ou une collectivité locale et dans des sites où la conception d'ouvrages lourds ne doit pas causer de dommages ou de pollution, comme le cas des herbiers à posidonie (Berkennou, 2012)

Aussi, chaque site à sa propre réponse vis-à-vis d'une protection. C'est pour cela que des résultats satisfaisants ne sont obtenus que par itération, avec des essais de nombreuses propositions de variantes sur modèle numérique ou modèles réduits physiques.

Prenant compte des résultats de l'ensemble des études que nous avons mené au niveau de la zone de Verte Rive ainsi qu'une vision sur la zone à proximité (plages sirène), nous sommes arrivés à proposer deux variantes de protection :

2) Variante 01 : batterie de brise-lame

a) Objectifs et fonctionnement :

Ce sont des ouvrages lourds de protection en avant plage, parallèles en général à l'orientation du littoral. Ils s'opposent à la circulation du courant et à la houle agissante frontalement et provoquent le déferlement des vagues avant leur approche à la côte ainsi qu'une réflexion des ondes vers le large. (El Sid Echeikh, 2018). Les brise-lames dissipent donc fortement l'agitation de la houle.

L'objectif est donc d'obtenir une zone calme derrière l'ouvrage qui protège la plage de l'érosion d'une part mais facilite aussi la sédimentation des sédiments en transit. Dans le meilleur des cas, correspondant à un transit suffisant ainsi qu'un bon dimensionnement, une petite plage nommée « tombolo » tendant à se relier au brise-lame, pourra se former.

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

- Ils créent un gradient longitudinal des hauteurs des agitations,
- Les courants sont orientés de la zone agitée vers la zone abritée,
- Le sable est transporté vers la zone abritée où ils s'accumulent.

Dimensionnement :

L'efficacité des brises-lames dépend de cinq facteurs de dimensionnement :

- 1-Leur longueur (L)
- 2-Leur distance de la côte (D) correspondant à leur profondeur d'implantation (H).
- 3-Leur orientation.
- 4-L'espacement dans le cas d'une batterie d'ouvrage
- 5-Leur côté d'arase.

Formules de dimensionnement et de conception ;

b) Dimensionnement :

Il n'existe pas actuellement de règles bien précises pour fixer les caractéristiques optimales des brises-lames, néanmoins voici quelques recommandations du laboratoire de conception hydraulique français (LCHF) qui régissent leur dimensionnement :

a) Longueur (L) :

$(L) > 1.2 (D + 0.3 \lambda)$; λ étant la longueur d'onde de la houle au pied de l'ouvrage ($L = 0.32$ dans notre cas d'étude).

b) Profondeur d'implantation correspondant à la distance à la côte :

La distance à la côte doit être choisie de façon 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 ;

$$0.6 D < L < 1.2 D$$

c) Longueur relative :

Si $(L/D) > 1$, les chances de formation d'un tombolo se voient être très bonnes.

L'espacement entre les brises-lames :

$$0 E < 0.83 D + 0.50 L$$

c) Conception :

a) La côte d'arase :

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

-Hauteur d'ascensions :
$$Z = 0.67 \cdot HD \cdot Ir^{0.51} \cdot \sqrt{\frac{\ln(P)}{2}}$$

-paramètre d'Iribarenne:
$$Ir = \frac{\tan(\infty)}{\sqrt{\frac{H_d}{L}}}$$

-Longueur d'onde de la houle :
$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \text{ (au large)}$$

- HD : hauteur de houle de projet, obtenue avec une simulation sur Mike 21 avec les houles de tempêtes de fréquence d'apparition cinquantennales, avec des points d'extraction aux points d'implantation des ouvrages choisis. Les résultats permettent d'avoir une hauteur d'ouvrage assez importante pour éviter le franchissement tant des houles annuelles que dans le cas moins fréquent de tempêtes.

-P : probabilité de franchissement.

- ∞ : pente du talus de la carapace avec l'horizontale.

-T : période de la houle (égale à 10s)

- g : accélération de l'apesanteur ms^{-1}

b) Carapace :

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

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

- ρ_s : Masse volumique du matériau kg/m^3 .

- ρ_w : Masse volumique de l'eau kg/m^3 .

c) sous couches :

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

d) épaisseur des couches et sous-couches en mètres : $e = n \times c \times m_{50}^{1/3}$

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 tonnes.

d) Application au site d'étude

Il a été proposé pour notre cas sept brise-lames d'une longueur de $L=140$ m espacés entre eux d'une largeur de $E=105$ m et implantés à une distance $D=100$ m de la ligne du rivage, soit en moyenne à une profondeur de (-2m), le long des 2000m de linéaire de la plage Verte Rive. Orientés vers houles les plus fréquentes et menaçantes soit de secteur Nord. Les brises lames seront constitués de :

- Un noyau en TVC (tout venant de carrière) 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 extérieur et une sous-couche d'une épaisseur de 0.85m côté intérieur. La côte d'arase est de +2.45m et la pente est de 3/2.

- Une carapace d'enrochement de 3-5T côté mer, ayant une épaisseur de 2.60m et d'enrochements de 1-3T d'épaisseur de 2.20m côté terre. La côte d'arase est à +2.45m avec une pente de 3/2.

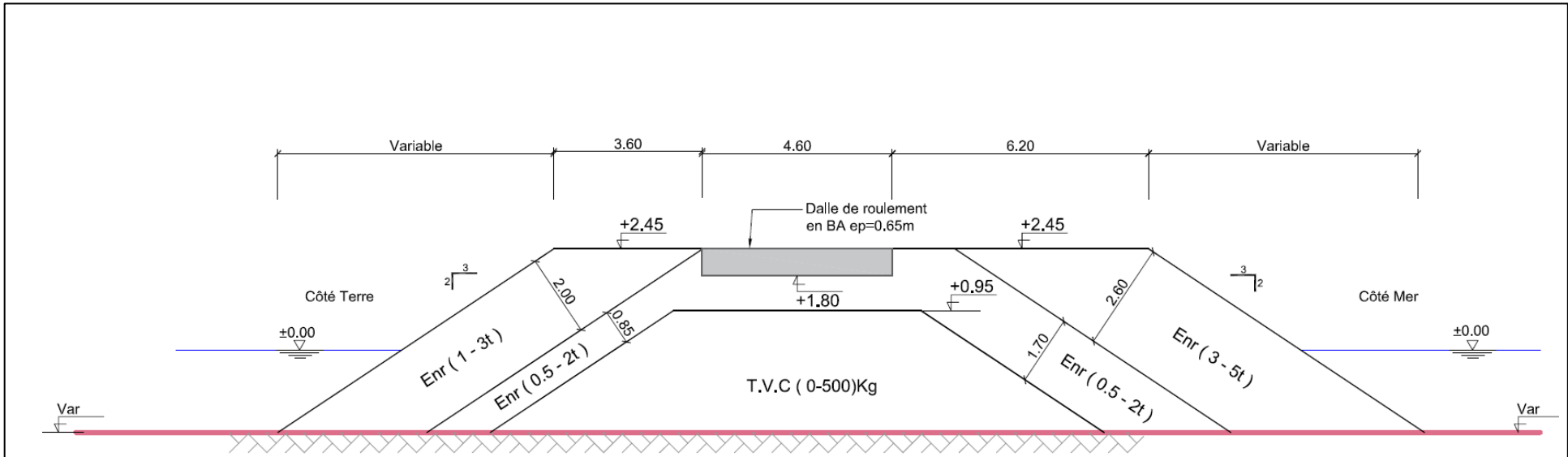


Figure 3.22 : Profil courant du brise-lame.

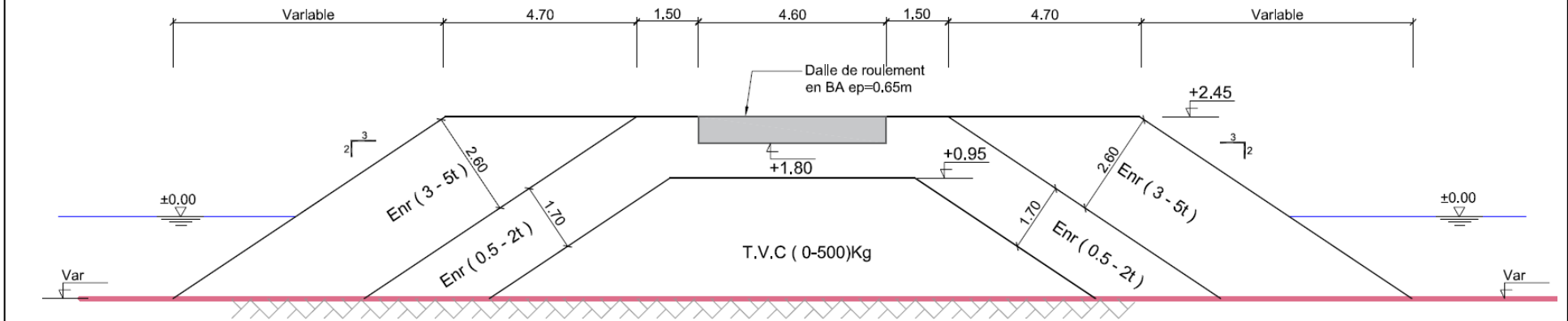


Figure 3.23.1 : Profil courant du brise-lame.

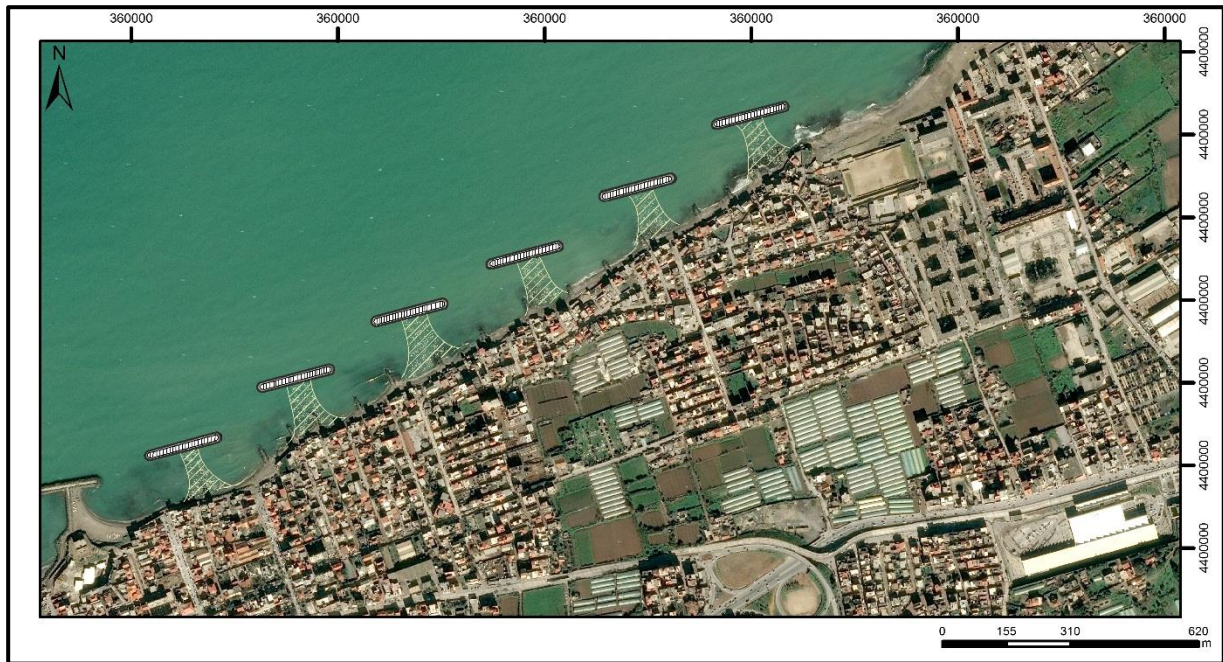


Figure 3.23.2 : Schématisation de l'implantation de la première variante et estimation approximative des résultats.

3) Vérification sur modèle :

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

Résultats cartographiques :

Réfraction de la houle :

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan» avec aménagement (brise-lame):

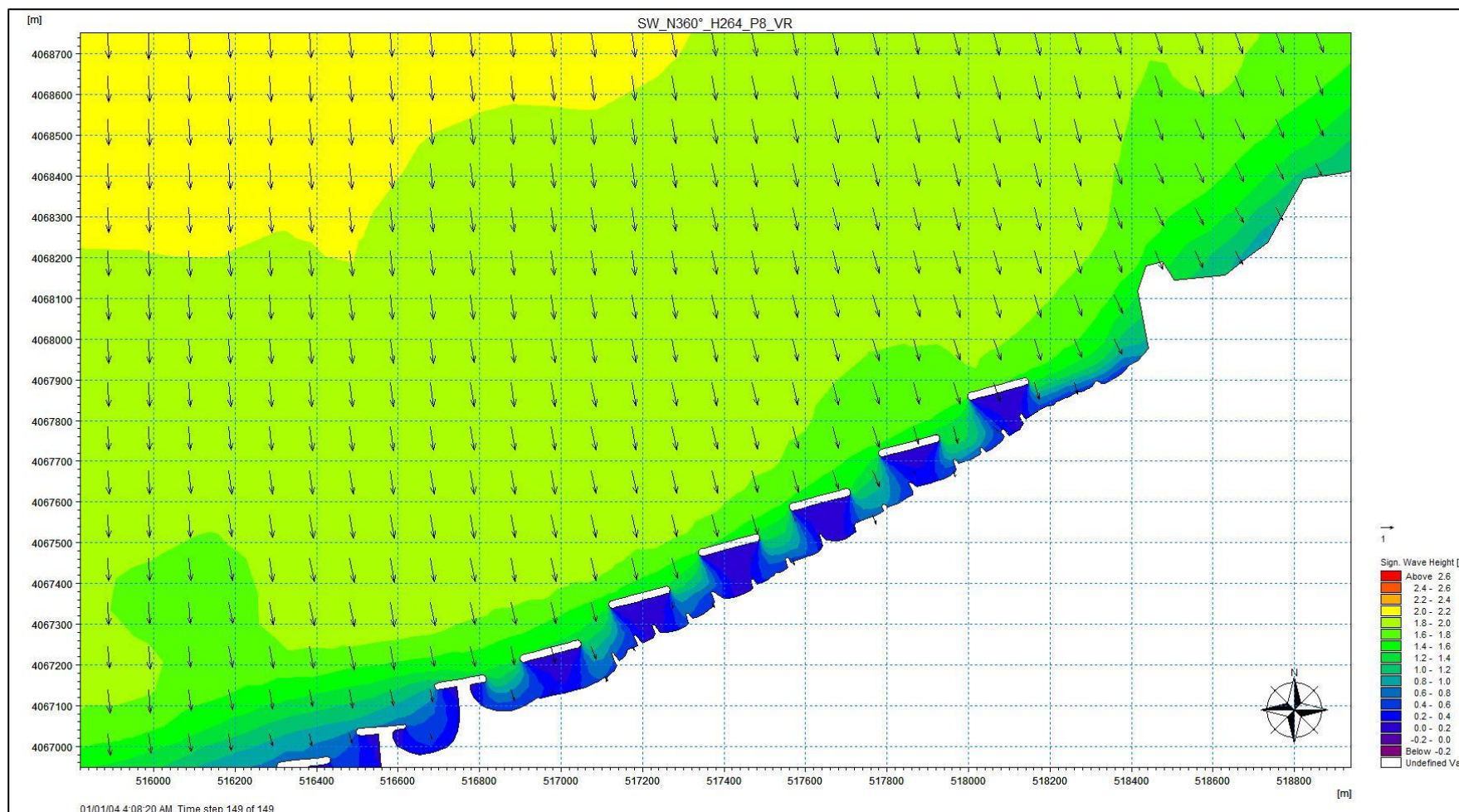


Figure 3.24 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan» avec aménagement (brise-lame) :

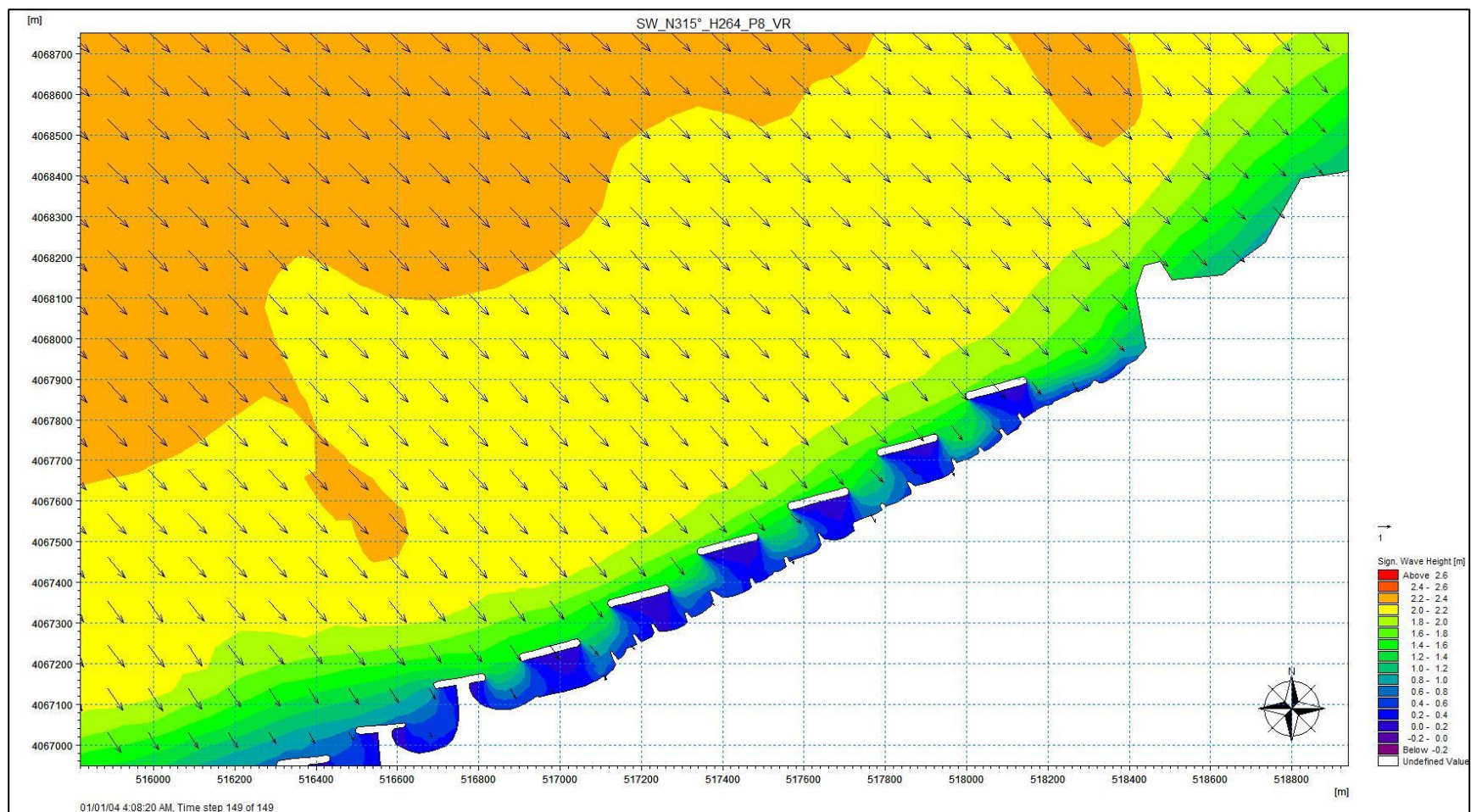


Figure 3.25 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

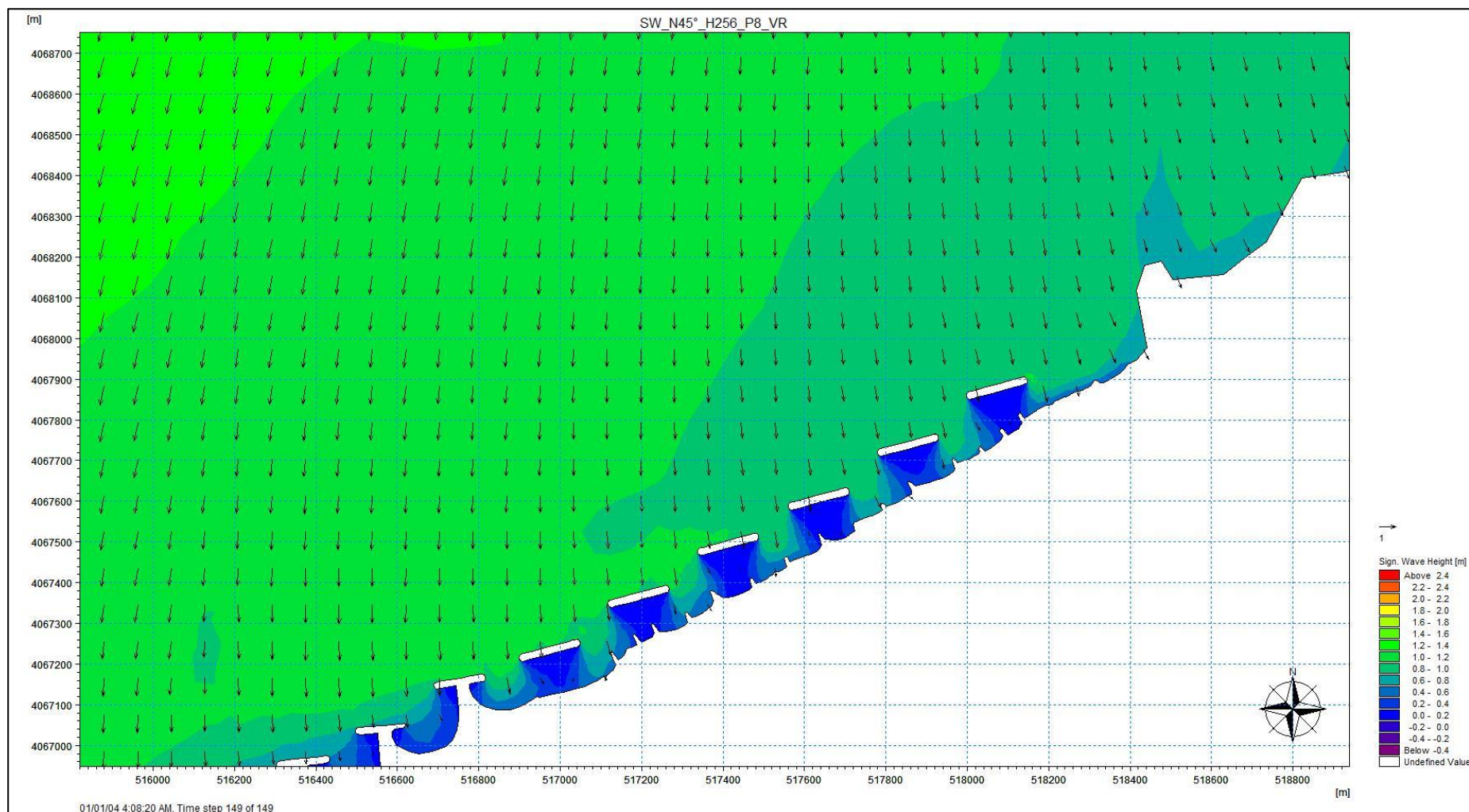


Figure 3.26 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Courantologie :module (HD)

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

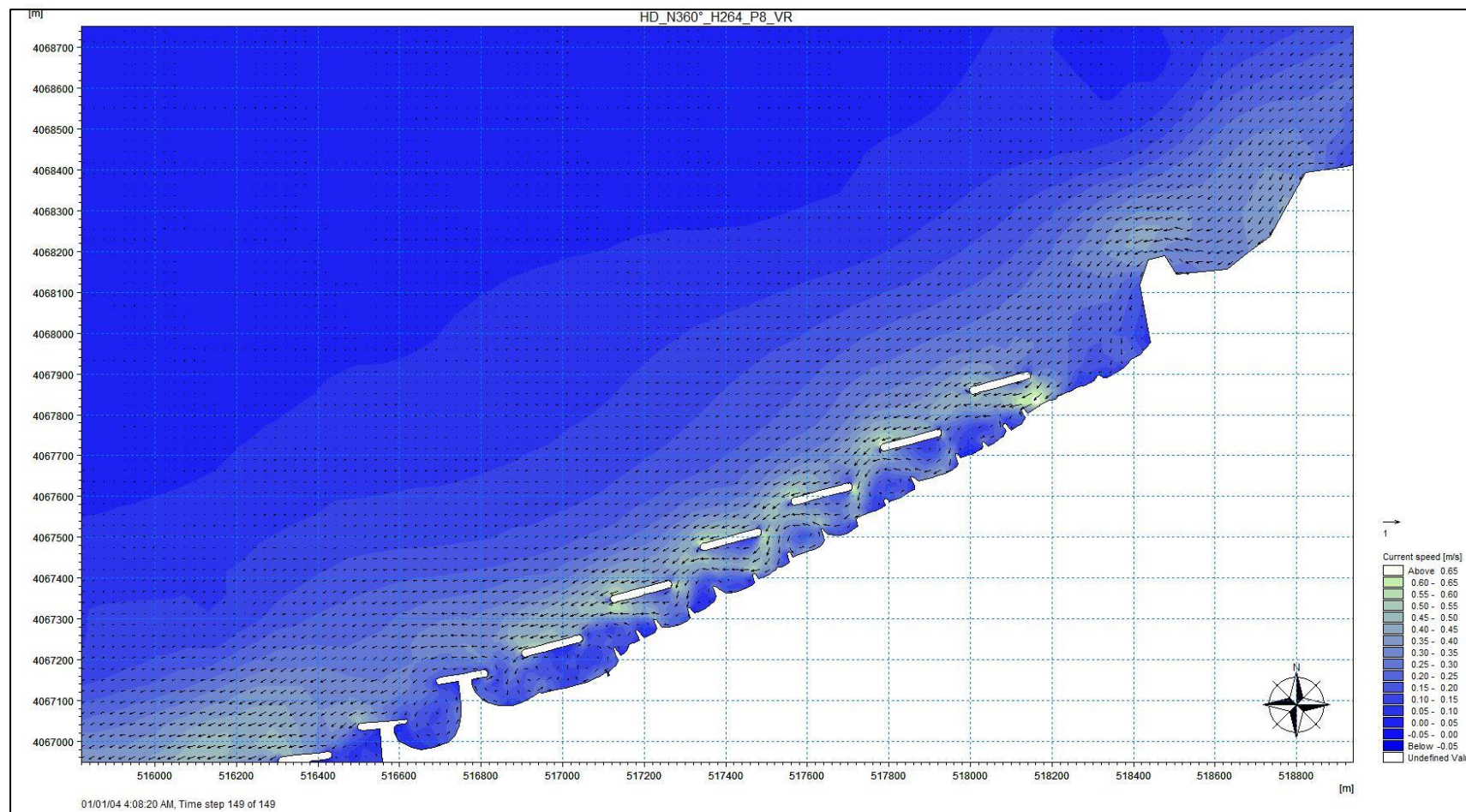


Figure 3.27 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

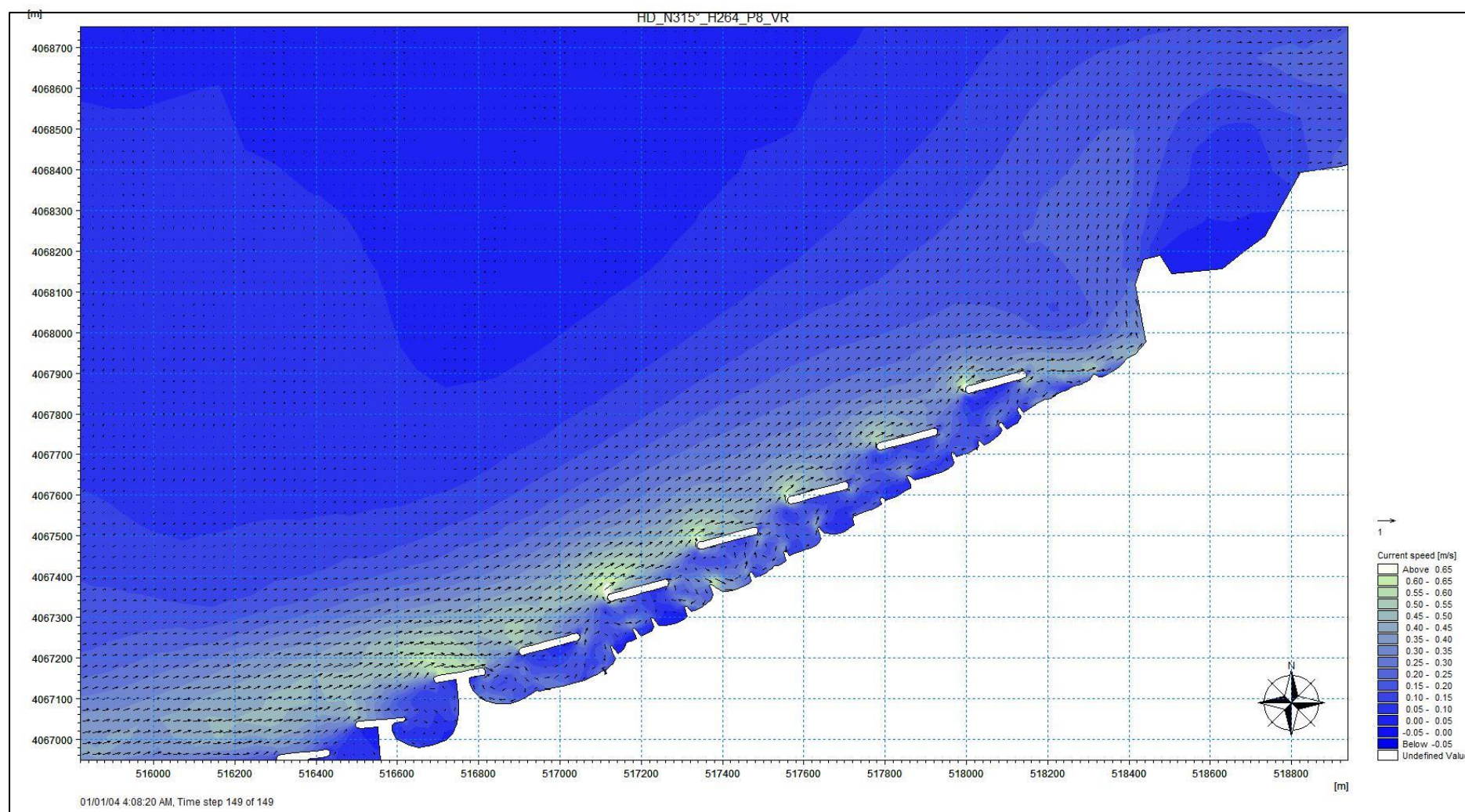


Figure 3.28 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

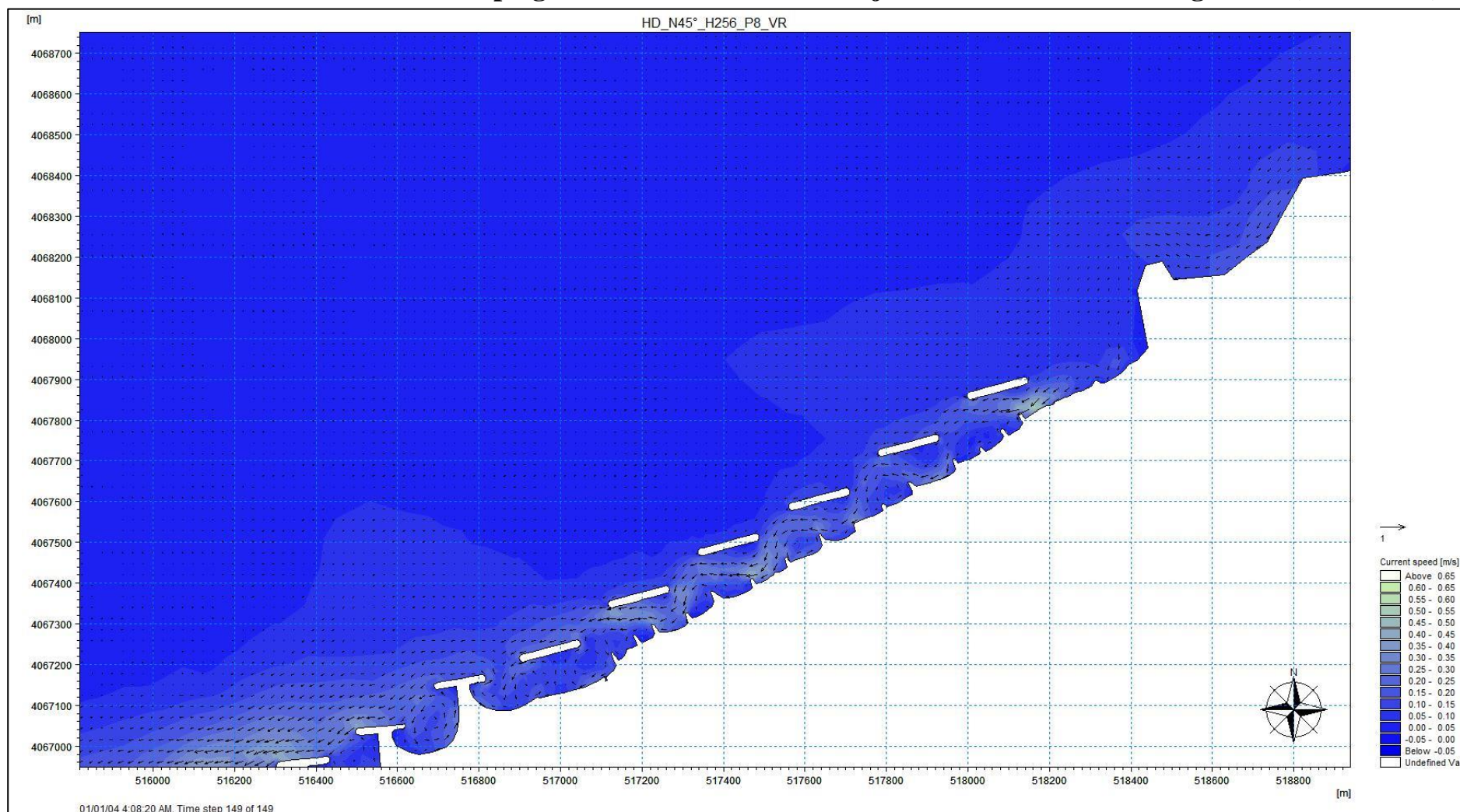


Figure 3.29 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Transite sédimentaire module (ST) :

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

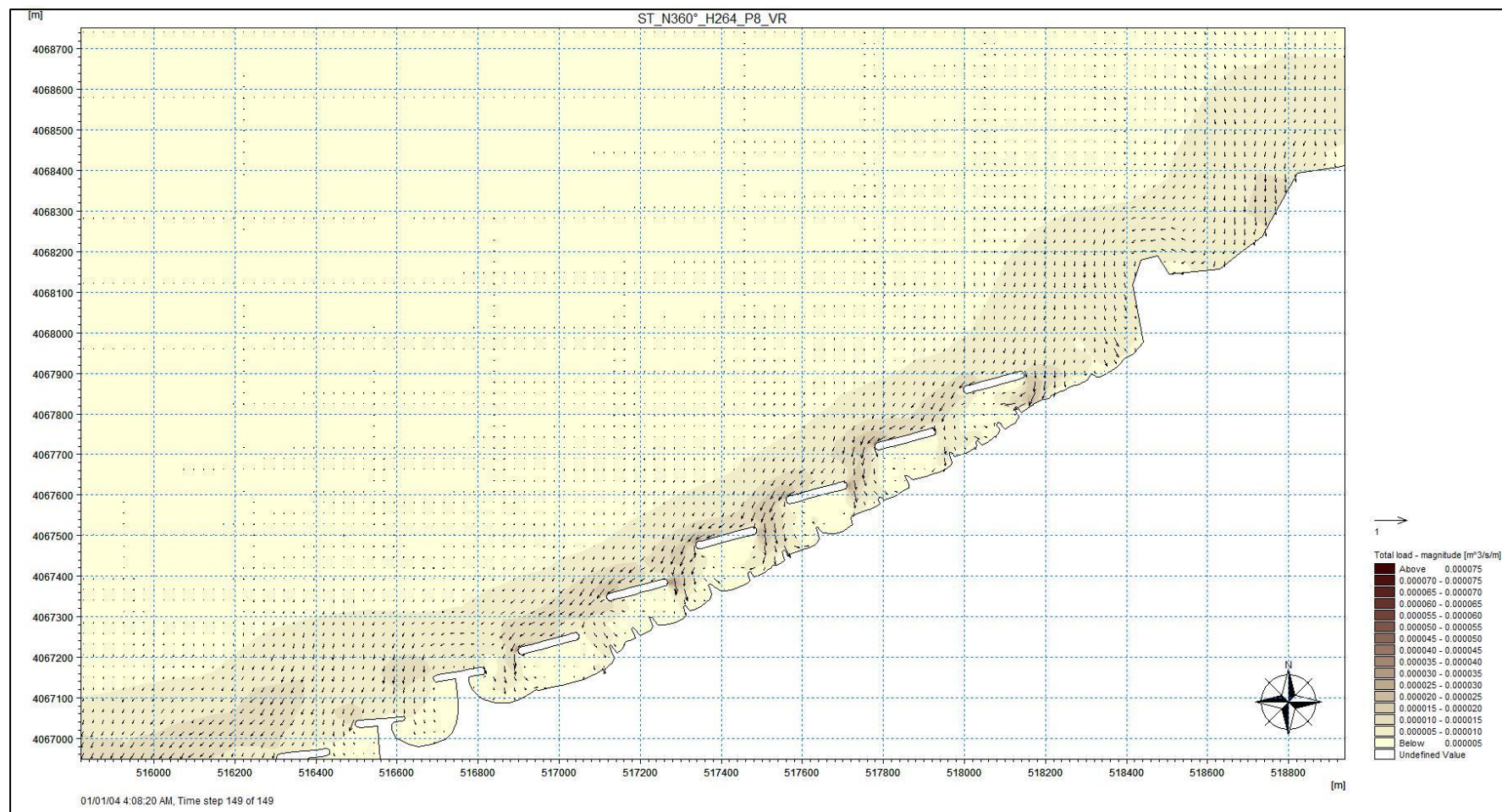


Figure 3.30 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

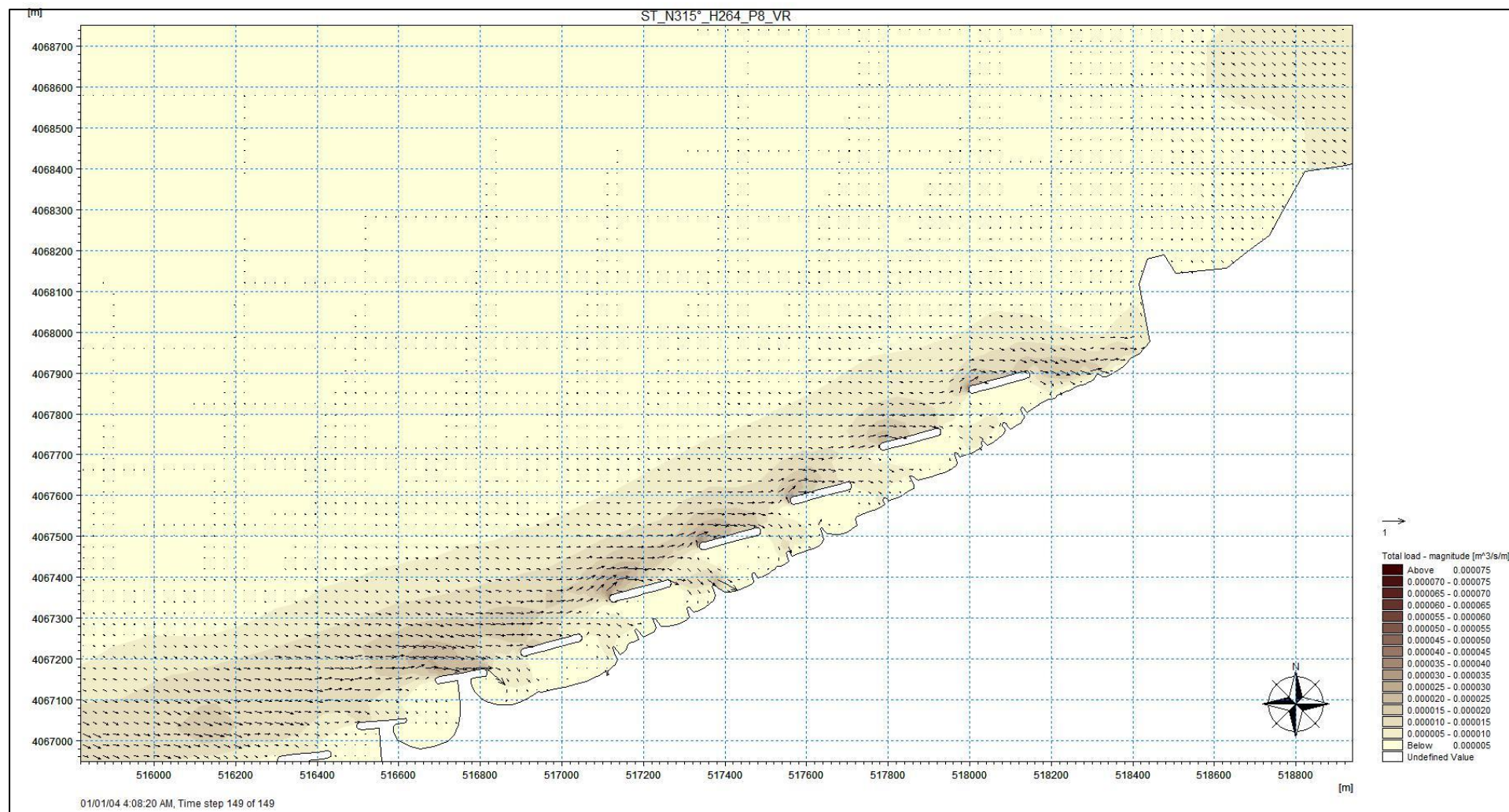


Figure 3.31 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (brise-lame) :

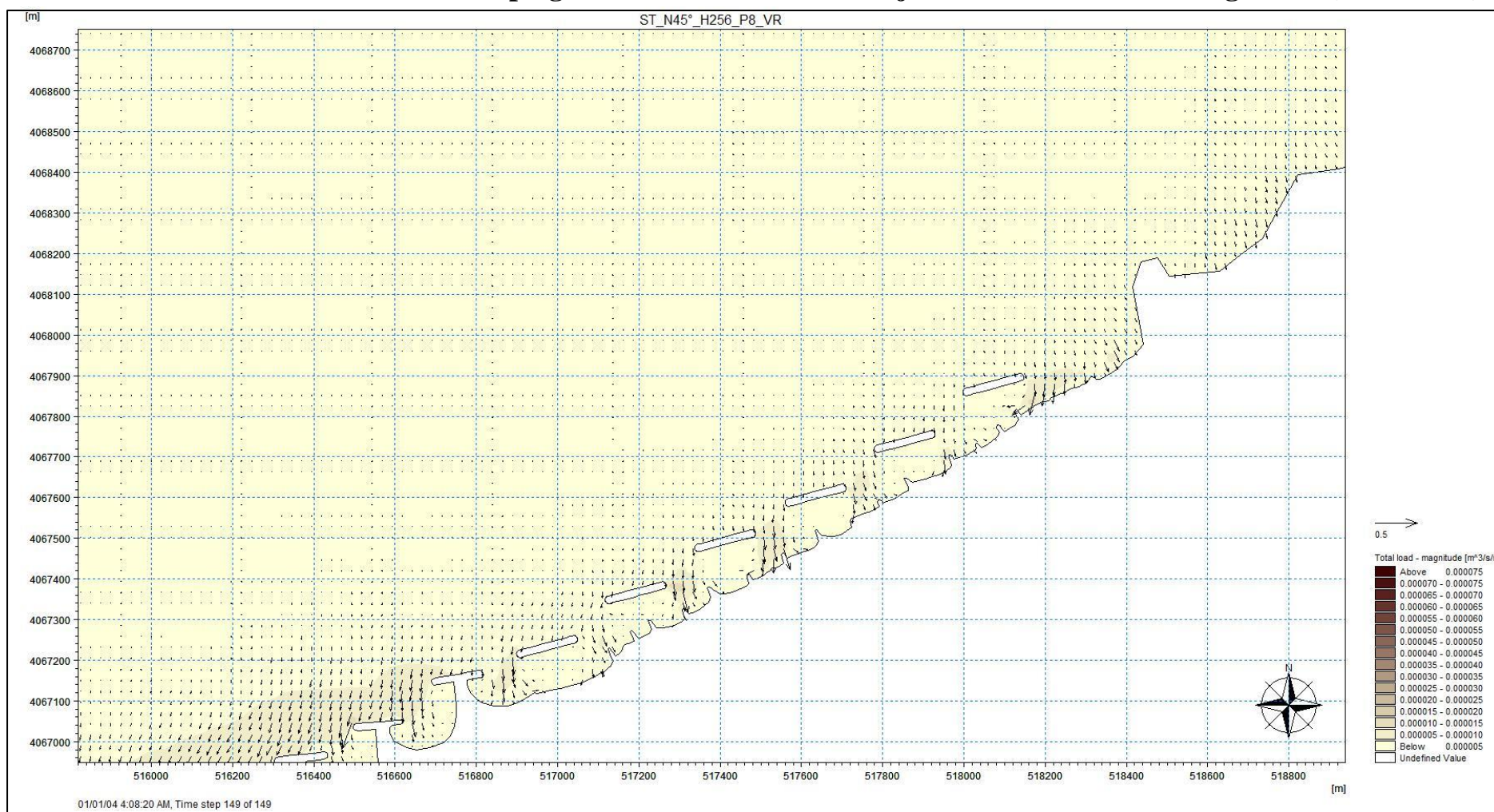


Figure 3.32 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d’une batterie de brise-lame.

a) Commentaire :Pour la réfraction de la houle, module (SW) :

Il est notable que l'efficacité des brises-lames est assez conséquente. Les houles de secteurs Nord se voient être grandement diminuées avec une hauteur significative de 1.6 m à l'amont et de 0.2m de hauteur de houle à l'arrière de l'ouvrage pour les trois directions de houle.

Pour le courant et le transport sédimentaire, modules (ST) et (HD) :

On remarque que les courants gardent le même sens que dans l'état initial avec une atténuation dans certains endroits accompagnés d'une formation de mini-tourbillons de moindre intensité derrière les ouvrages, d'en moyenne 0.30m/s. Ces tourbillons sont susceptibles de perturber les dépôts de sédiments. Pour le transport sédimentaire, on remarque des zones de dépôt derrière les ouvrages, avec des entrées de sédiments au niveau des espacements et des déplacements vers la côte.

4) Variante 2 : batterie d'épis :**a) Principes et fonctionnement :**

Les épis sont des ouvrages lourds de protection en pierre en béton ou en enrochement plus ou moins perpendiculaires au rivage (Paskoff, 1985). On distingue les épis courts comme ceux déjà installés, arrêtant seulement le transport par jet de rive et de se fait fixer le trait de côte, et les épis longs permettant de retenir le transit sédimentaire d'ensemble, ces derniers sont d'autant plus efficaces, que le transport littorale moyen garde un sens constant sur une plus grande période (Tenaud, 1984).

b) Dimensionnement :

Opter pour une batterie d'épis, est plus efficace, pour protéger un linéaire de plage. Cette efficacité se traduit en termes de quantité de sédiments retenable, qui dépend non seulement des déplacements en m³ des sédiments en transit, mais aussi des dimensions ainsi que l'orientation des ouvrages.

Longueur des épis :

La longueur des épis dépend de la quantité de sédiment souhaitable à retenir, et donc la nouvelle ligne de rivage attendue.

Tableau 3.5 : Efficacité des brises lames en fonction de leur longueur.

Prof implantation au musoir	0==>1.2m	1.2==>3.0m	>3.0m
Epis haut	50% du transit	75% du transit	100% du transit
Epis bas		50% du transit	75% du transit

Espacement des épis :

L'espace (E) en mètres au sein d'une batterie d'épis, dépend fortement de l'angle d'incidence des houles dominantes à la normale de la plage, noté (α), de la distance entre la racine de l'épi et le trait de côte moyen recherché, noté (A), ainsi que (L) la longueur de l'épi (cours de Mr Larid).

$$E = (L - A) \frac{1 + \tan^2 \alpha}{\tan \alpha}$$

c) Application au site d'étude :

L'étude des régimes de houles réfractées et du fonctionnement hydro-sédimentaire de la zone d'étude nous ont permis de proposer Cinq épis en (L) de longueur L=115m espacée de 220 mètres, a -2m de profondeur orientés vers le transit dominant afin d'avoir une combinaison entre l'efficacité d'un épi à celle de la moitié d'un brise lame.

Profil musoir et profil courant côté mer :

Un noyau en tout venant de carrière TVC (0-500kg) arasé à +1 m avec une sous couche en enrochement naturels de catégorie (0.5-2t) avec une épaisseur de 1.70 m et une pente de 3/2 et une carapace en enrochements naturels de catégorie (3-5t) avec une épaisseur de 2.60 m et une pente de 3/2 arasée à 3.30 m.

Profil courant côté intérieur : Un noyau en tout venant de carrière TVC (0-500kg) arasé a +1 met une carapace en enrochement naturels de catégorie (200-500kg) avec une épaisseur de 1.95 m et une pente de 3/2. Également constitué d'une dalle de roulement en béton armé, de 0.65m d'épaisseur et de 7 m de large.

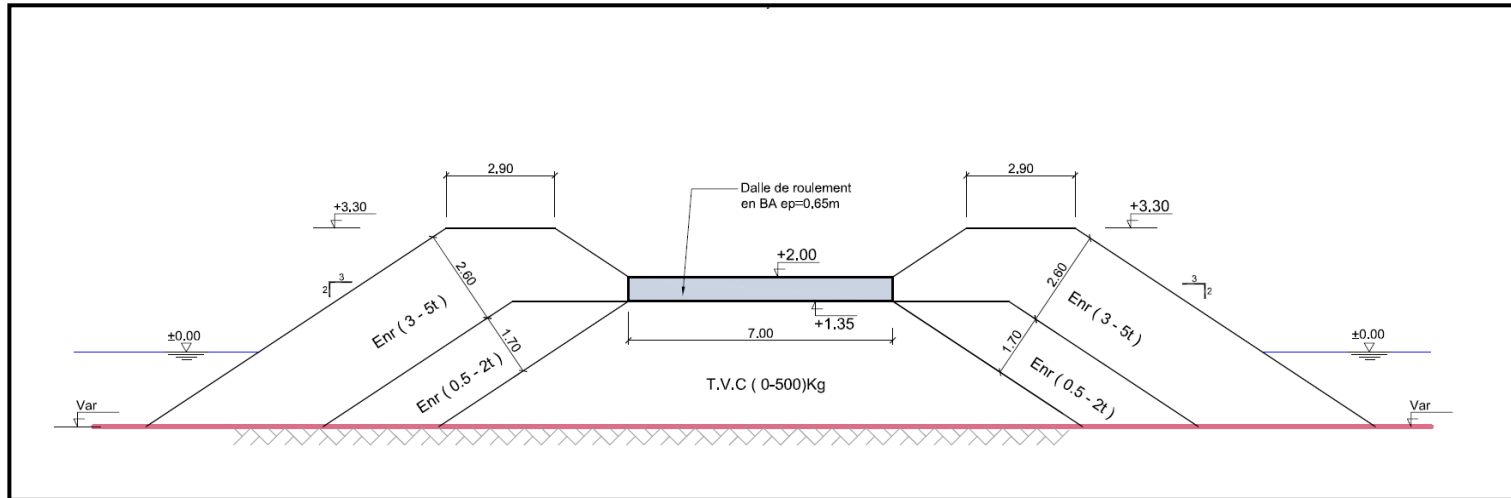


Figure 3.33 : Profil musoir épi.

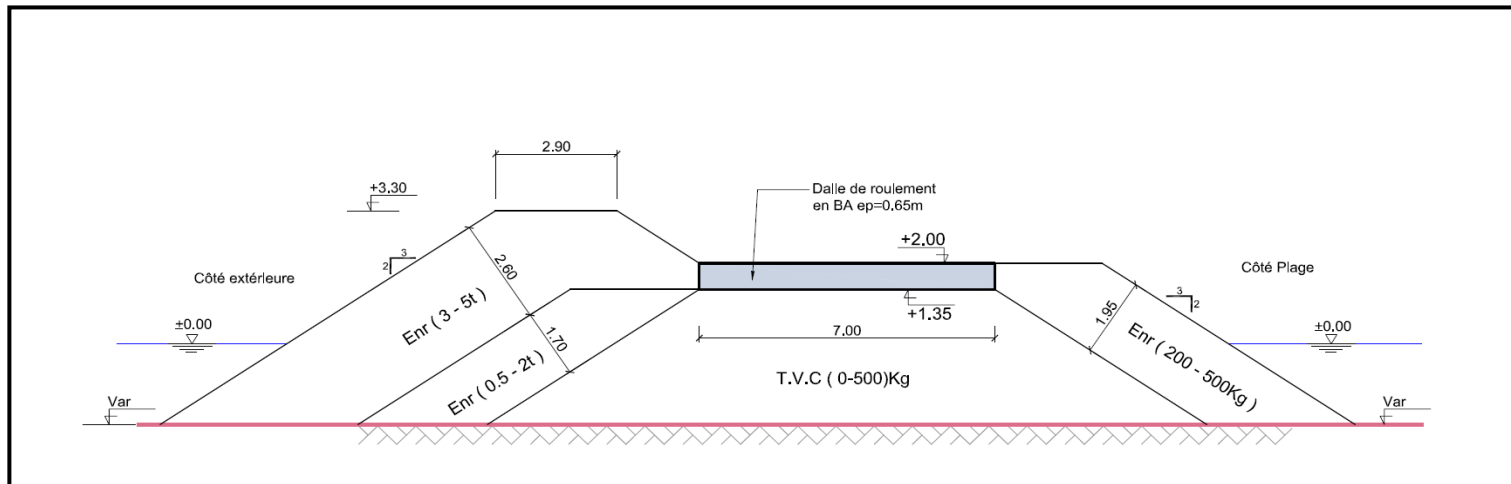


Figure 3.34.1 : Profil musoir épi.

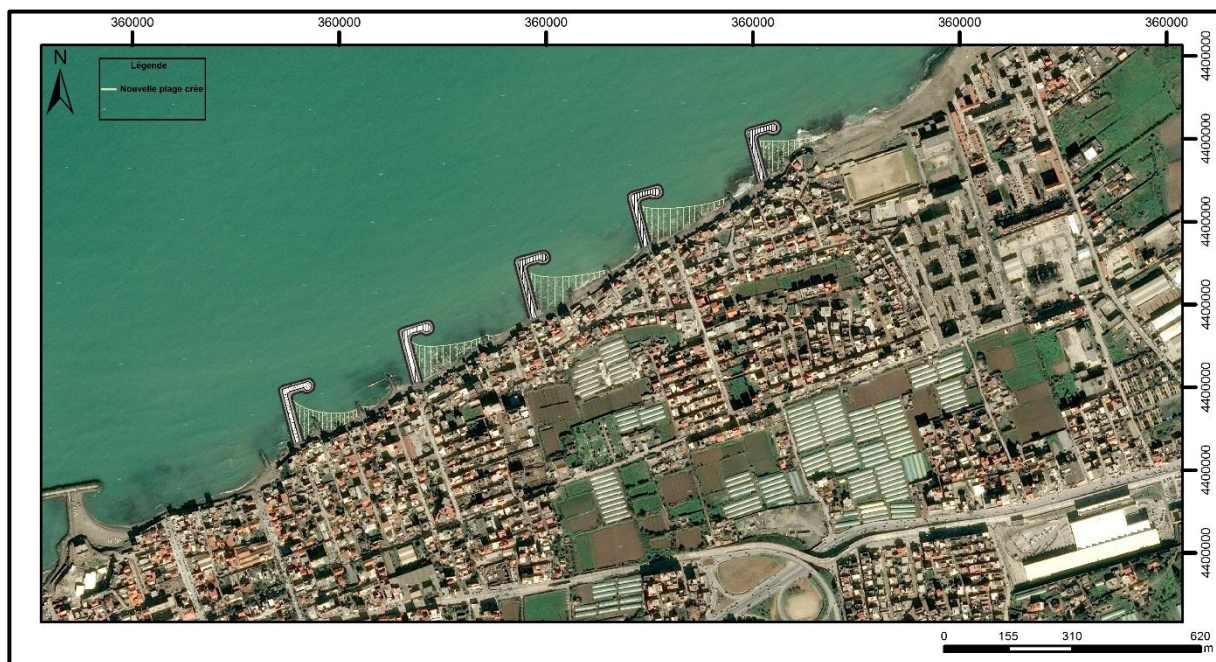


Figure 3.34.2 : Schématisation de l'implantation de la première variante et estimation approximative des résultats.

d) Vérification sur model :

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

Résultats cartographiques :

Réfraction de la houle :

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épîs en L) :

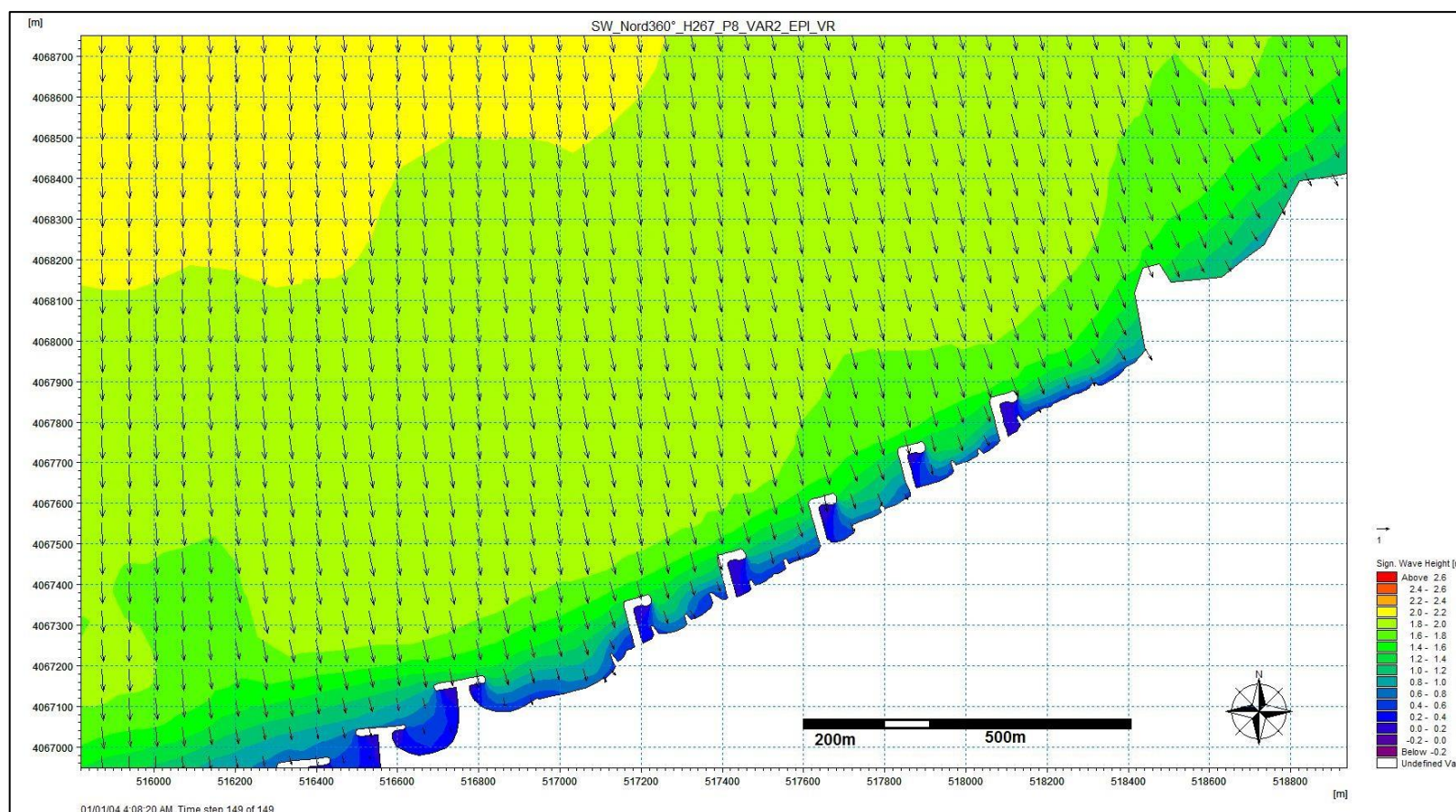


Figure 3.35 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épîs.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

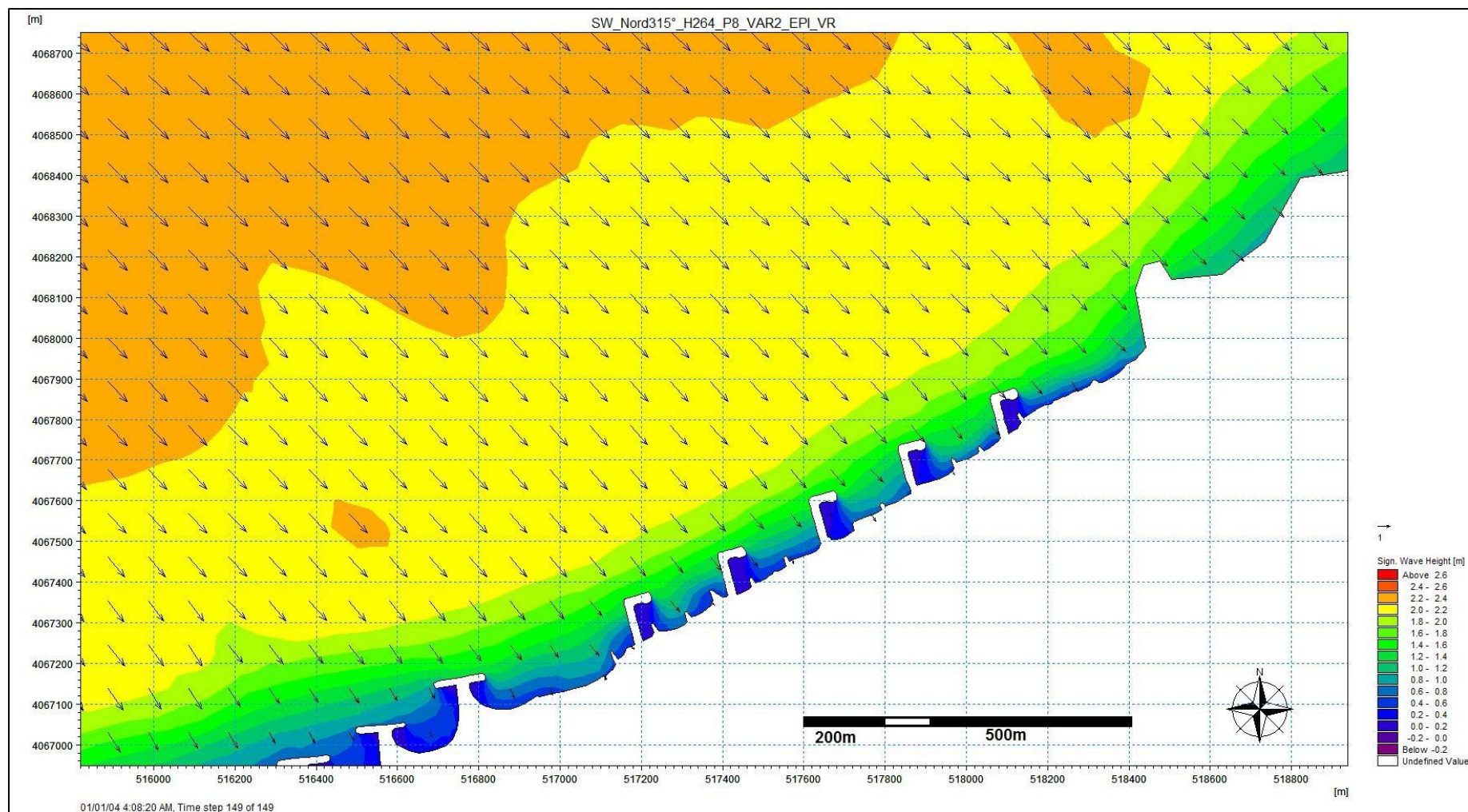


Figure 3.36 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

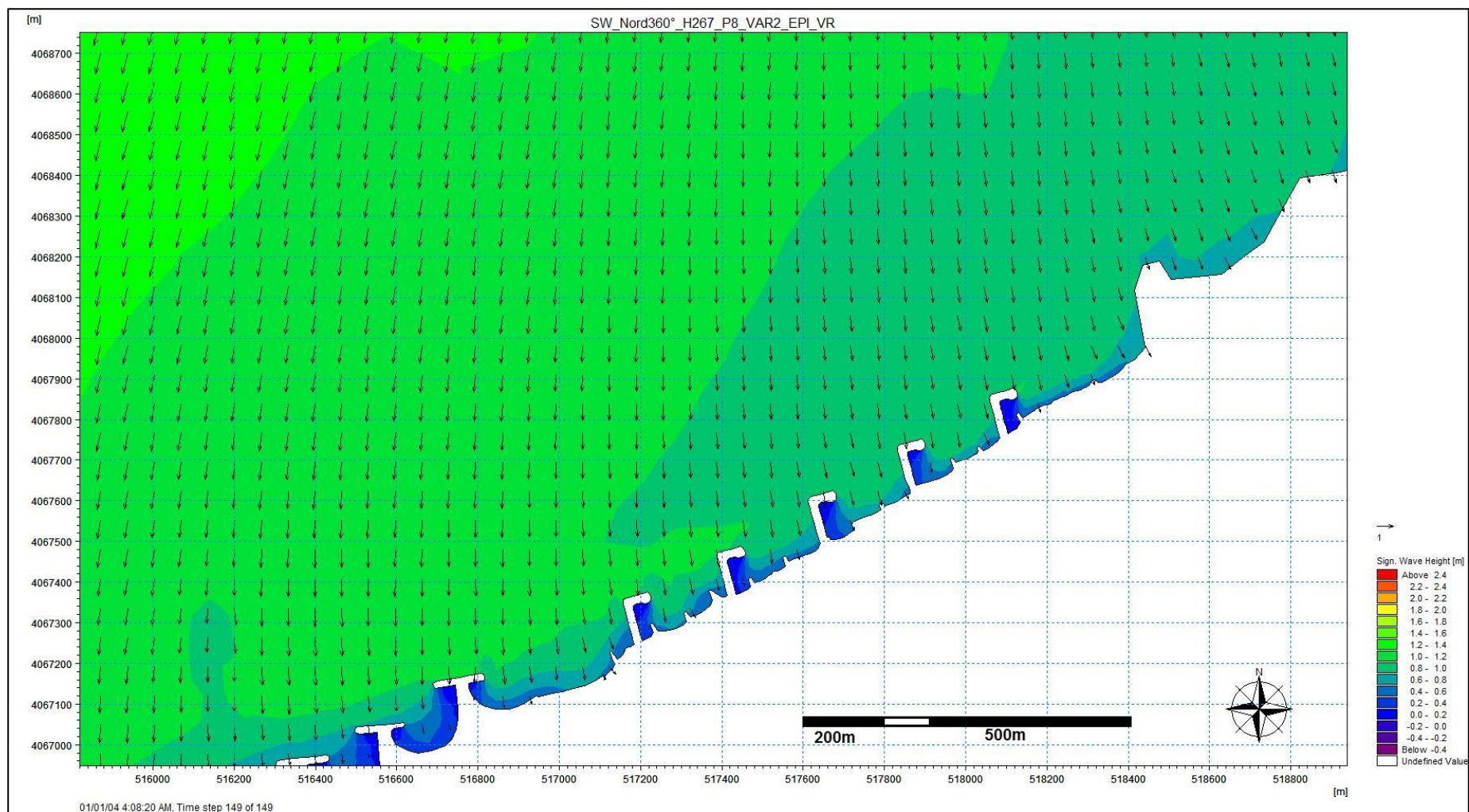


Figure 3.37 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Courantologie :

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

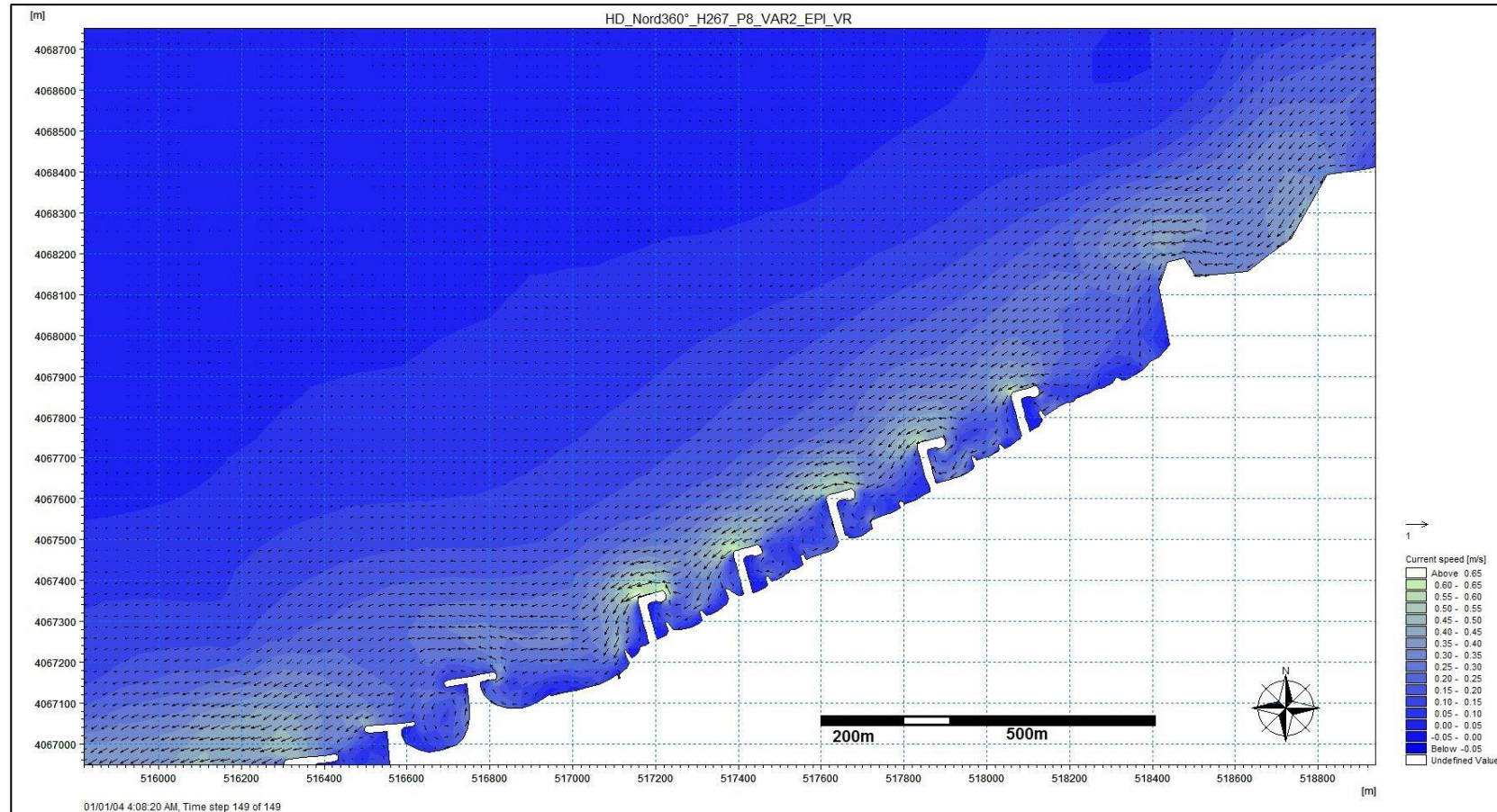


Figure 3.38 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

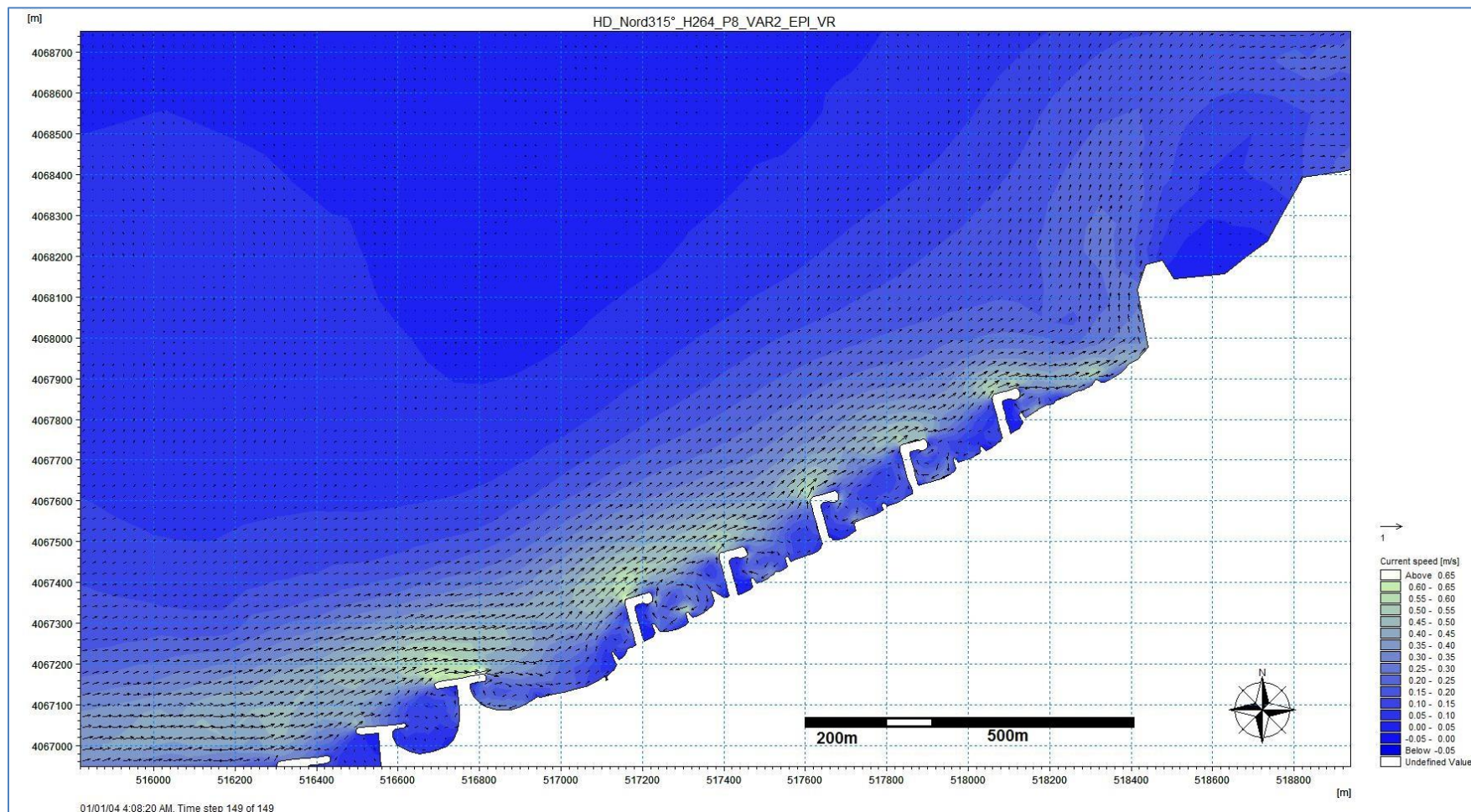


Figure 3.39 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

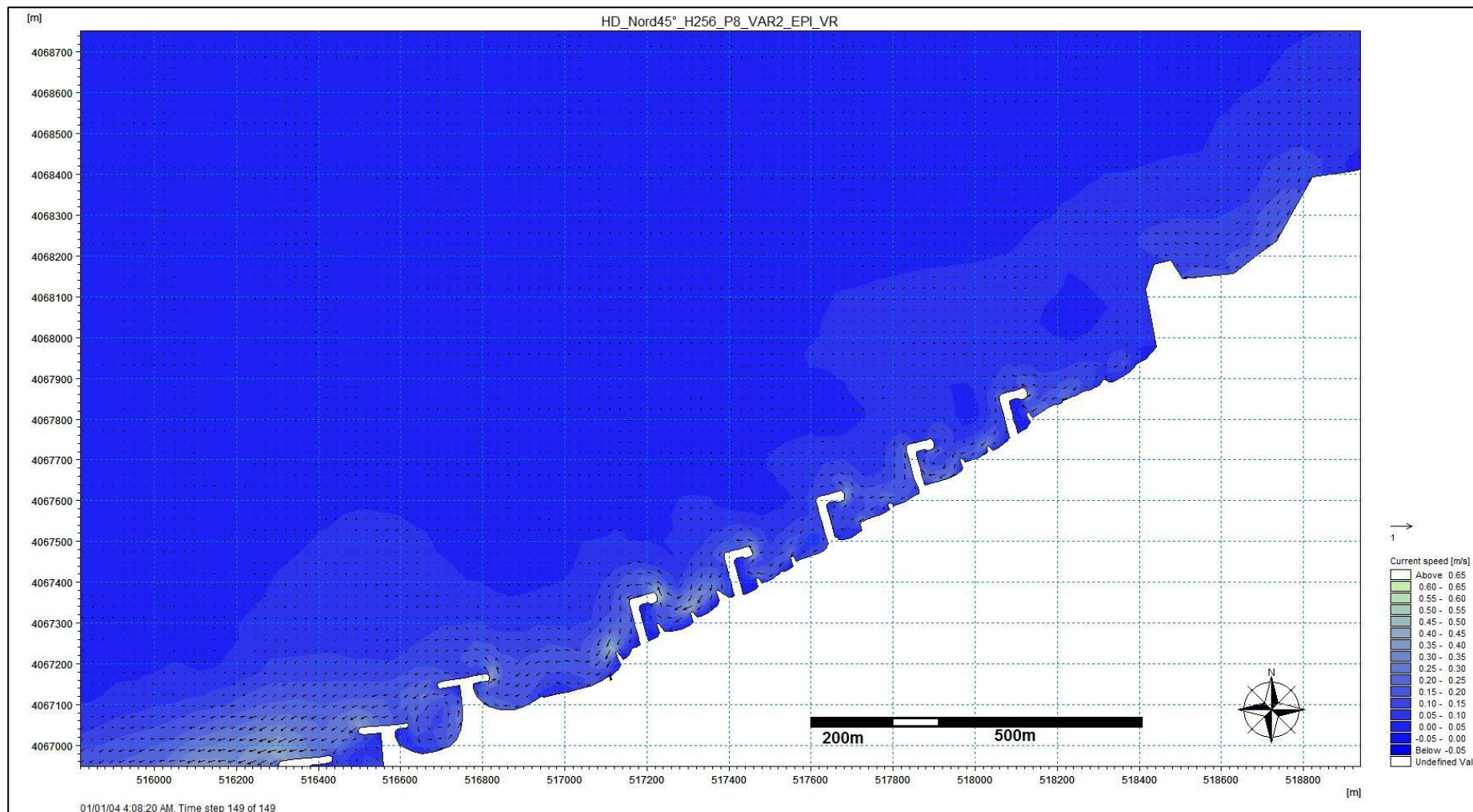


Figure 3.40 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Transport sédimentaire :

Pour la houle incidente Nord 360° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » avec aménagement (épis en L) :

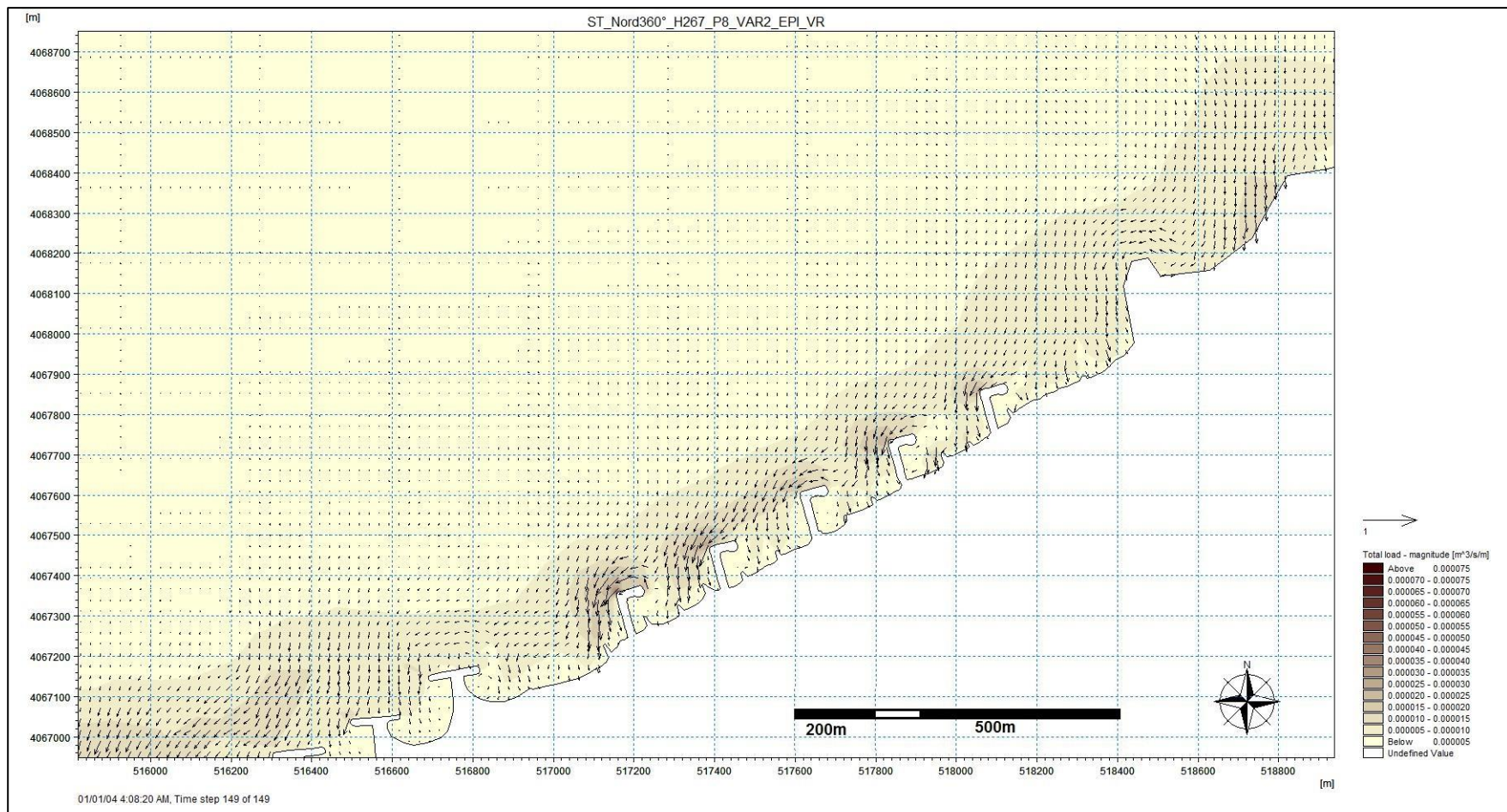


Figure 3.41 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Pour la houle incidente Nord 315° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épis en L) :

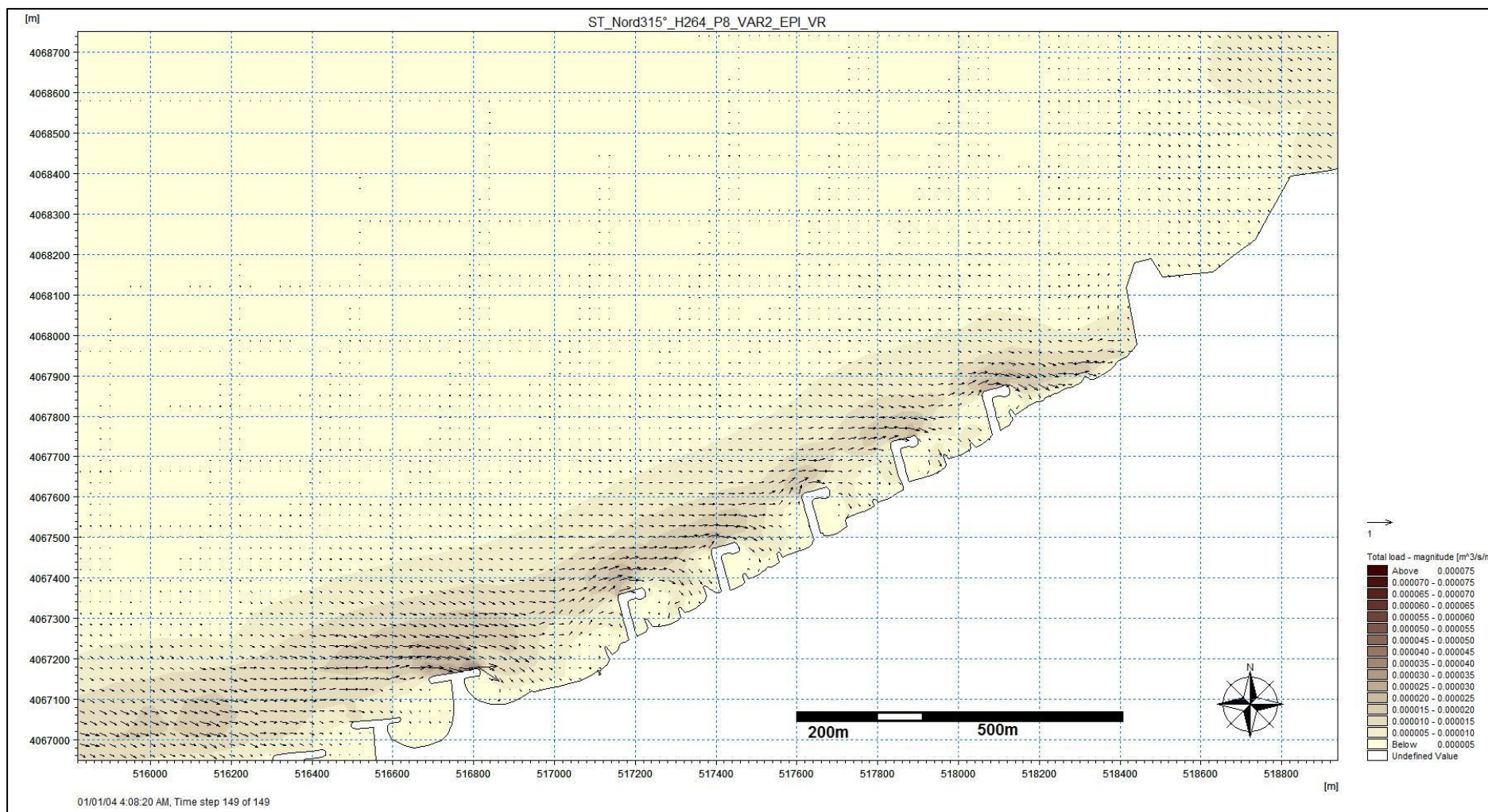


Figure 3.42 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.

Pour la houle incidente Nord 45° à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan » ave aménagement (épîs en L)

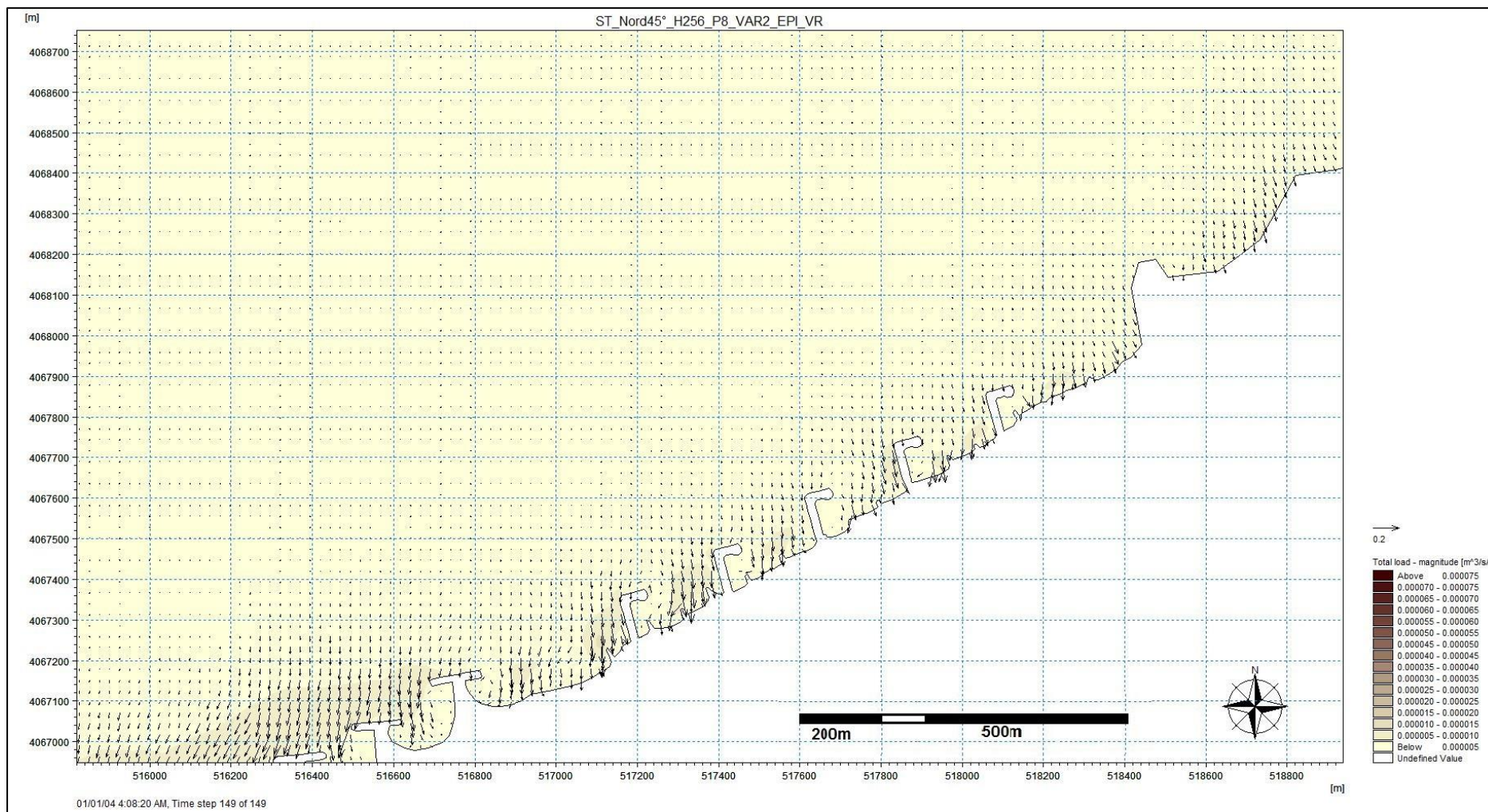


Figure 3.43 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épîs.

e) Commentaire :Pour la réfraction de la houle, module (SW) :

Des petites zones calmes ou l'intensité des houles de secteurs Nord sont atténuées, sont formées à l'intérieur du (L), avec une intensité moyenne de 1.5 m à l'Amon et de 0.2m de hauteur de houle à l'intérieur de l'ouvrage pour les trois directions de houle. Ces zones calmes formées ne paraissent pas suffisantes pour protéger tout le linéaire de plage, cependant combinés aux brises lames courts qui fixent le trait de côte, leur efficacité pourrait être intéressante.

Pour le courant et le transport sédimentaire, modules (ST) et (HD) :

On remarque que les courants longitudinaux sont atténués dans la zone des épis jusqu'à une moyenne de 0.10 m³/s. Pour ce qui est du transport sédimentaire, on remarque des zones de dépôt au niveau des (L), avec des entrées de sédiments au niveau des ouvertures. Ceci est en particulier le cas des épis qui se trouvent à proximité des brises lames courts, ou leur zone de calme est accentuée.

5) Choix de la variante :**a) Avantages et inconvénients des brises lames implantés au niveau de la plage Verte Rive :**Avantages :

Une formation en échelons avec une bonne atténuation de la houle, induisant son déferlement avant d'atteindre le rivage, et ainsi la protection de la cote, avec possibilité de gagner sur la mer et une formation de plage en forme de Tombolo. Formation de nouveaux écosystèmes peuplés par la faune et la flore (Berkennou, 2012).

Inconvénients :

En premier lieux, les petits courants tourbillonnants formés à quelque endroit, causé par l'orientation des brises-lame par rapport à la ligne de rivage, qui pourraient perturber le dépôt des sédiments. En deuxième lieux, les brises lame implantés à 100 m du rivage pourraient induire des charges supplémentaires et causer un problème de navigation pour les embarcations de plaisance.

b) Avantages et inconvénients des épis en (L) implantés au niveau de la plage Verte Rive :

Avantages :

Il permet l'enrichissement en sédiment en bloquant une partie du transit sédimentaire, et la protection locale de certaines zones du linéaire de la plage.

Inconvénients :

Le blocage d'une bonne partie du transit sédimentaires en aval, provoque inéluctablement une érosion en amont à l'échelle d'une cellule sédimentaires. Au niveau de la province sédimentaire, une batterie d'épis représente un ouvrage qui pourrait influencer négativement le stock de sédiments des zones adjacentes, tel que les plages Sirène 1 et Sirène 2, qui ont déjà été l'objet d'étude de protection. Ces ouvrages pourraient induire en effet la diminution considérable les apports en matériaux de plage, en particulier dans le sens dominant du transit à savoir Est-Ouest.

6) Conclusion :

En prenant compte du maximum de paramètres, physiques, économiques et sociaux locales, ainsi que du volet environnemental, nous préconisons la première variante dont les inconvénients ne semblent pas être conséquents, et dont les résultats sembleraient être les plus intéressants en termes de ratio qualité de protection /coût de construction.

VI) Gestion intégrée des zones côtières :

1) Introduction :

La zone littorale se voit être fragilisée, d'une part victime de son propre succès étant un pôle important d'attraction des activités socioéconomique, et d'autre part le réceptacle direct des forces marines tendant constamment à avancer vers la terre.

En outre les transformations morphologiques que peut subir une zone côtière, peuvent être mieux appréciées, ainsi que mieux gérées si l'approche utilisée n'enveloppait pas qu'un seul de ces aspects. En effet l'approche dite écosystémique et multidisciplinaire, voit le littoral comme étant un système non fermé dont les échanges énergétiques et sédimentaires dépassent les frontières

administratives, en prenant compte d'un maximum de paramètres pouvant influencer son évolution.

2) Approche multidisciplinaire de notre zone d'étude :

Les deux tiers de la population Algérienne se concentrent sur les 4% du territoire que représente la bande littorale, ajouté à cette forte concentration démographique permanente, une population estivale supplémentaire chaque année (Meghfour, et al., 2007) ainsi que des extractions abusives des sédiments des plages à l'encontre de la loi. Notons que pour certaine commune comme Bordj El Kiffan la vulnérabilité est plus influencée par le volet socio-économique que celui des forçages côtiers (Rebahi, 2017). En effet cette commune a subi l'une des plus fortes urbanisations au cours des dernières décennies, l'abondance des fonciers libre a fait l'objet d'une forte concentration d'habitat précaires souvent très proche de la zone littorale (Brahiti, 2008). Comme c'est le cas pour la plage Verte Rive.

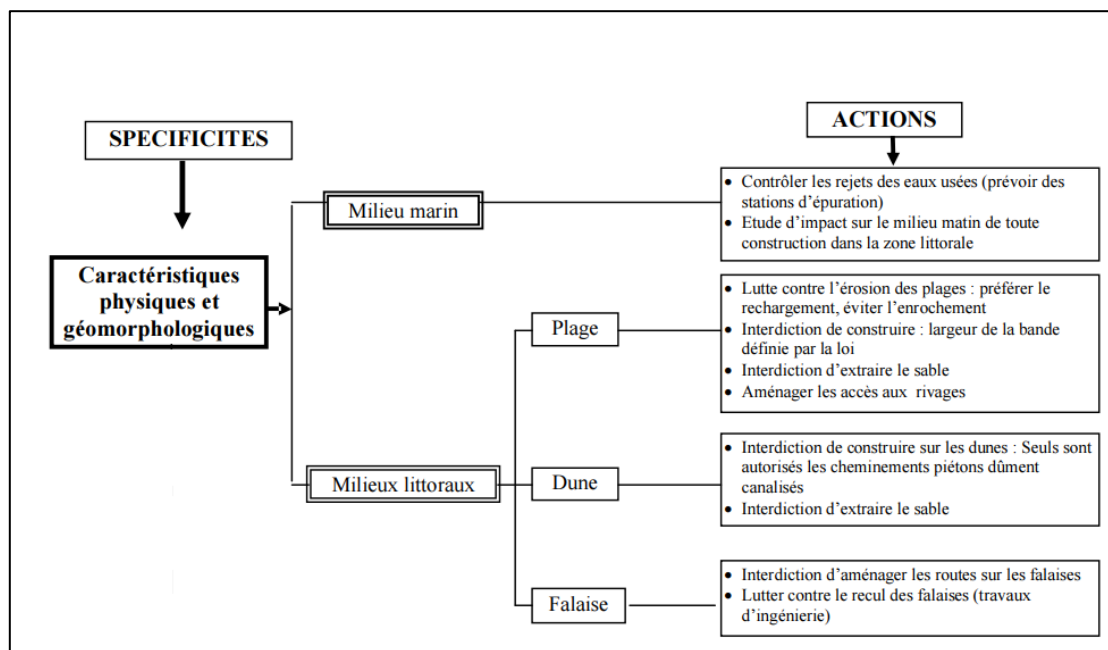


Figure 3.44 : Insertion de l'approche multidisciplinaire dans la législation (Meghfour, et al., 2007).

a) Urbanisation dans notre zone d'étude

Evolution dans le temps des surfaces d'urbanisation :

La digitalisation à l'aide du logiciel « ArcGIS » d'une partie de la zone urbaine d'une photographie aérienne datant de 1959, sur une surface connue, ainsi que celle d'une image satellitaire datant de 2019 sur la même superficie, a permis par comparaison des résultats, d'obtenir l'évolution en m² de l'urbanisation pour la zone de Verte Rive.

Il a été pris en considération lors de la digitalisation, les pâtés de maison en entier, les logements collectifs, le réseau routiers, les parkings, et les aménagements urbains.

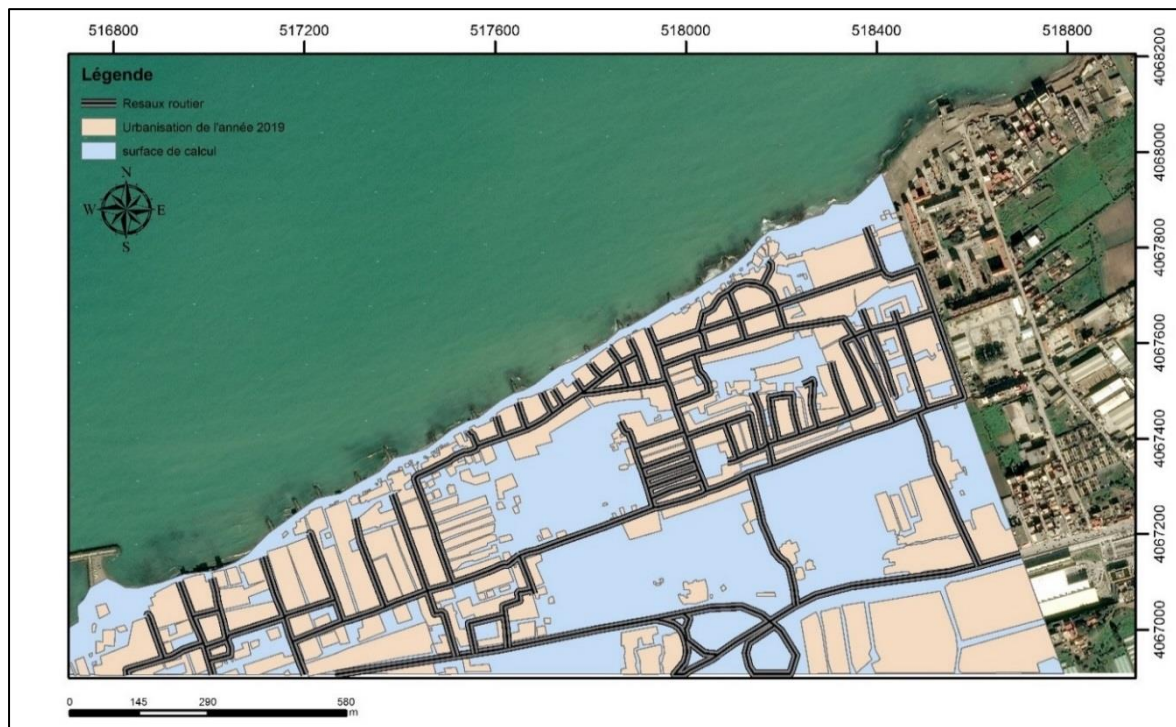


Figure 3.45 : Carte avec parcelle urbanisée de la Verte Rive de l'année 2019.

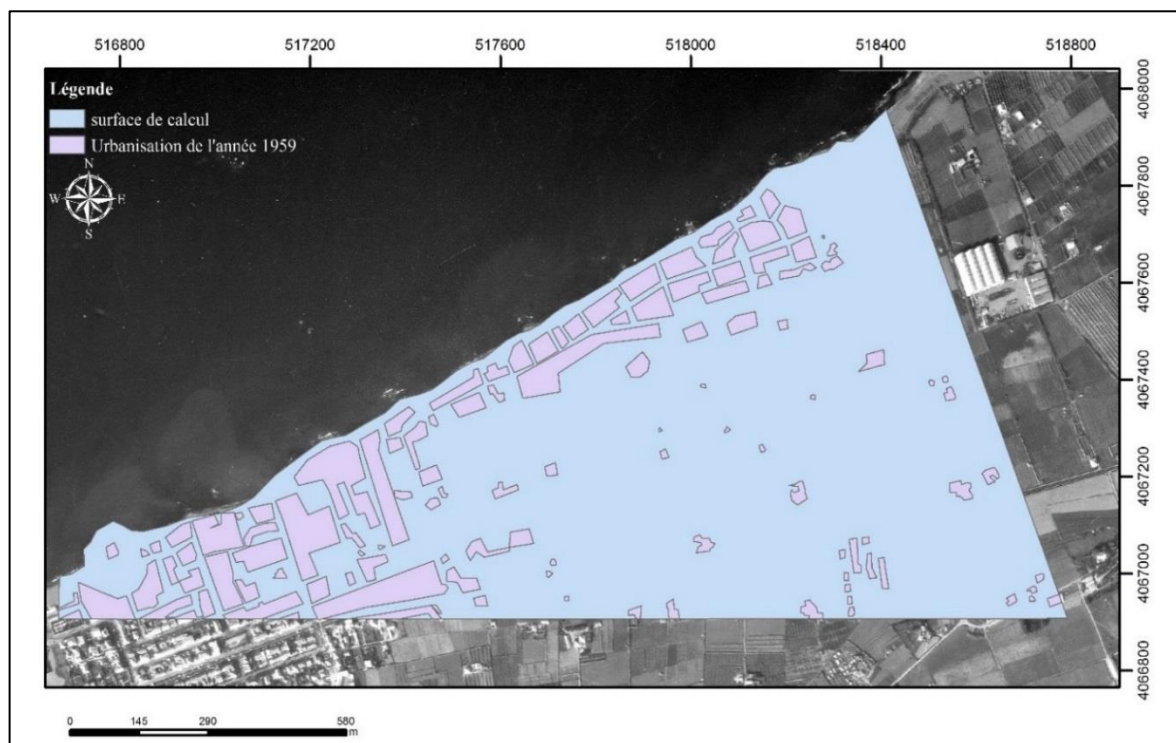


Figure 3.46 : Carte avec parcelle urbanisée de la Verte Rive de l'année 1959.

Résultats :

Grace à l'outil « Calculate géométrie », nous avons procédé au calcul de la surface d'urbanisation des deux années, ainsi que de la surface de référence, le résultat en ratio est représenté comme suit :

Surface de calcul (Sc) : 1145242 m²

Surface d'urbanisation (S19) 2019 : 501877 m²

Surface d'urbanisation (S59) 1959 : 195810 m²

Ratio de 2019 : $(S19/Sc) \times 100 = 43\%$ de la surface.

Ratio de 1959 : $(S59/Sc) \times 100 = 17\%$ de la surface.

b) Anciennes photos du site :Anciennes Photos de la plage Verte Rive :

En plus des démarches scientifiques accomplies sur la zone de la Verte Rive, une enquête historique de complémentarité a été entreprise, en résultat d'anciennes photos du site, ainsi que de la région de Bordj El Kiffan ex Fort De L'eau ont été obtenues auprès des habitants, témoignant de l'état des plages à l'époque des années 80 à 90, ainsi que du volet urbain et sociale.

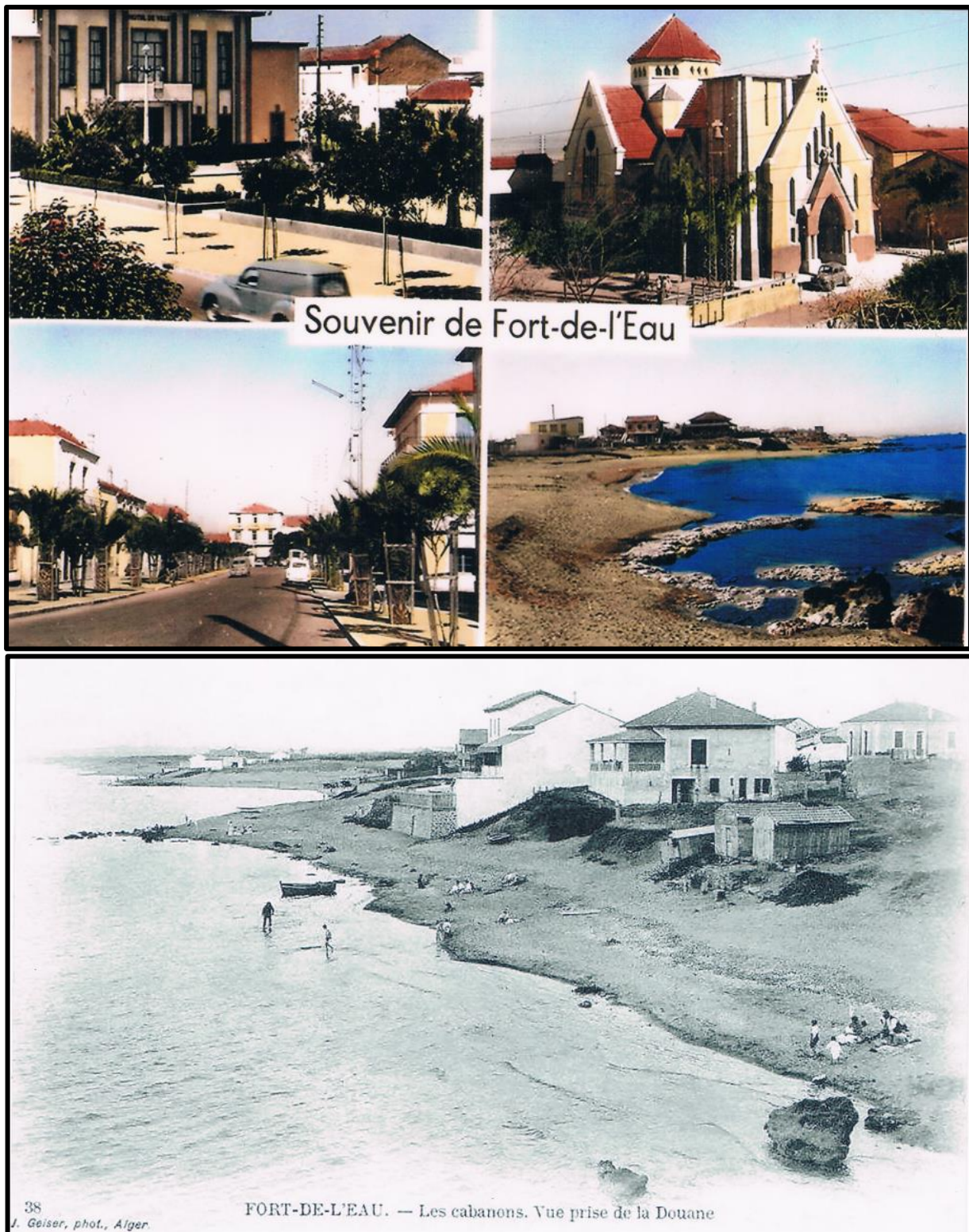


Figure 3.47 : Anciennes photos de Bordj El Kifan.

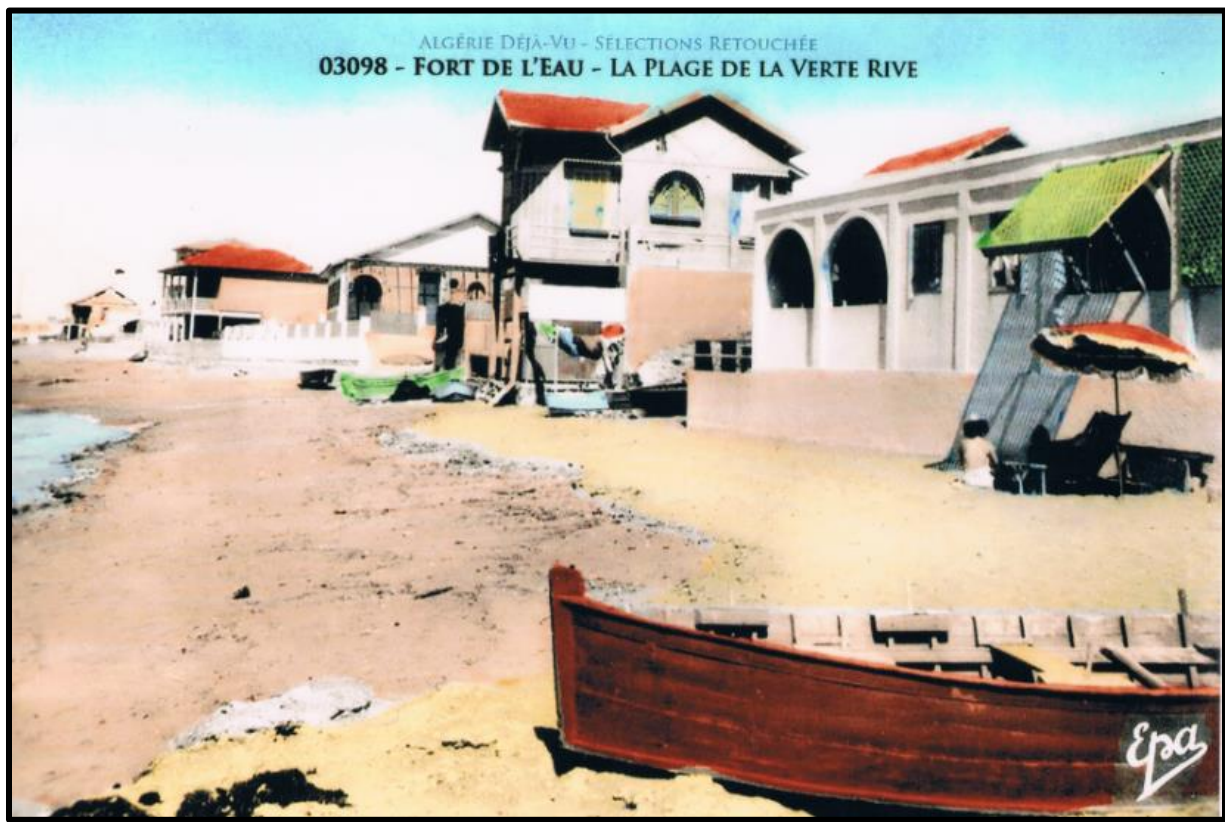


Figure 3.48 : Anciennes photos de la rive de la Verte Rive, exe Fort De L'eau.

3) Législation :

La première initiative de protection du littoral Algérien, fut la loi 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme, mais les dispositions de cette loi n'ont pas empêché l'urbanisation de s'étendre dans Les zones proches du rivage. Ce n'est qu'en février 2002 qu'une loi spécifique au « littoral » a été promulguée. Il s'agit de la loi 02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral. Cette loi délimite trois bandes dans le littoral tel que défini à l'article (07), dans lesquelles sont édictées des restrictions relatives à l'urbanisation (Kacemi, 2011).

Bande 1 : Il s'agit de la bande inconstructible dont la largeur peut atteindre 300 mètres à partir du rivage pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier. Cette bande inclut le rivage naturel dans lequel sont interdits la circulation et le stationnement des véhicules.

Bande 2 : D'une largeur de 800 mètres où sont interdites les voies carrossables nouvelles, parallèles au rivage (alinéa 1 de l'article 16).

Bande 3 : Dont la largeur est de trois kilomètres, dans cette bande sont interdites :

- Toute extension longitudinale du périmètre urbanisé.
- L'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral à moins que la distance les séparant soit de cinq kilomètres au moins.
- Les voies de transit nouvelles parallèles au rivage.

Les instruments d'urbanisme en Algérie :

Le plan d'aménagement Côtier (PAC).

Le plan d'occupation des sols (POS).

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU).

4) Inventaire des barrages implantés à l'Amon des Oueds affluents dans notre zone d'étude :

La sédimentation des barrages dans les pays de l'Afrique du nord est très élevée et même spectaculaire. Elle est due directement aux forts taux d'érosion des bassins versants, dont les particules solides sont drainées directement par les cours d'eau (Remini, 2003). Dans le cas général, ce phénomène peut se répercuter sur le stock sédimentaire des plages, dont l'apport dépend principalement des affluents, ainsi que de l'érosion des zone avoisinantes, cette vision écosystémique globale, aiderai à expliquer l'une des causes principales d'érosion dans notre zone d'étude.

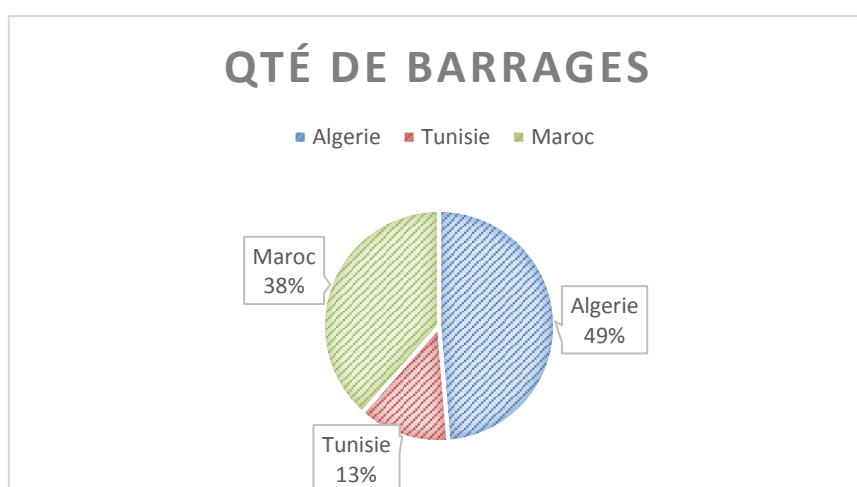


Figure 3.49 : Positionnement d'Algérie en Afrique du Nord en termes de nombre de barrages.

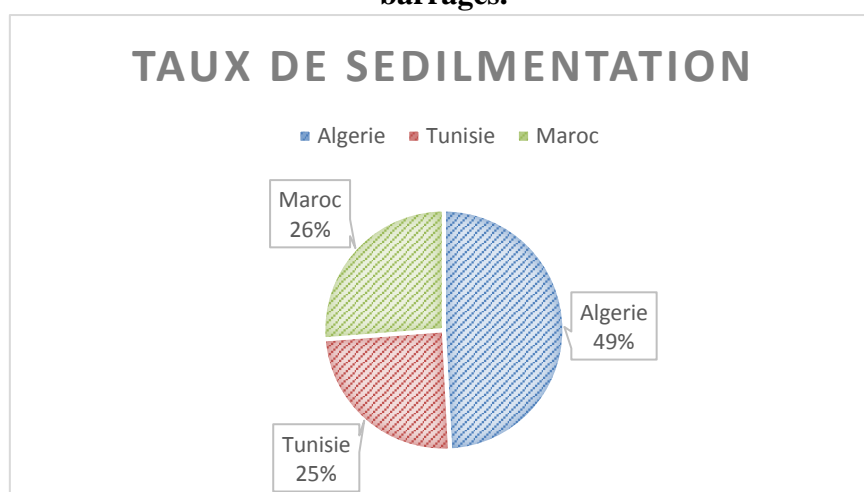


Figure 3.50 : Taux d'envasement des barrages en Algérie, en comparaison avec ceux de l'Afrique du Nord.

a) Barrage d'Oued El Hamiz :

Il est situé dans la commune de l'Arbatache, Khmis El Khechna, Wilaya de Boumerdes à 6 km de Fondouk, 25 km de la mer et 35 km de la ville d'Alger.

Il se situe dans le bassin versant de l'Oued Lekhal dans la vallée de l'oued Reghaia et couvre une superficie de 220km² environ de terre riche et fertile. Sa capacité est de 15,53 millions de m³. (ANBT, 2019).

b) Barrage de Douéra

Le barrage de Douera, se trouve sur Oued Ben Amar, à environ 2 km, au sud-ouest de la ville de Douera et à 27 km au Sud-Ouest d'Alger, il permet le stockage des eaux transférées par les oueds Mazafran et El Harrach. Sa capacité est de 87 hm³.

5) Commentaire :

Il est clair selon les résultats obtenus au cours de notre investigation, que toute perturbation des phénomènes hydro-sédimentaires se déroulant à l'arrière-pays de notre zone d'étude, aussi éloignés soit-il, ainsi que celles de la plage elle-même auraient probablement un lien de près ou de loin avec l'érosion de cette dernière. Cet apport qui facilite la compréhension de la dynamique de la zone d'étude, et améliorant donc les décisions de protection et d'aménagement, est le fruit d'une vision écosystémique large.

Conclusion

Les résultats de notre étude ont montré qu'en général, la plage de Verte Rive est soumise à un régime de houles fréquent et menaçant de secteur Nord. La prédominance ainsi que l'action la plus menaçante revient aux houles de secteur Nord-Ouest. La région est trop urbanisée, et connaît un équilibre sédimentaire perturbé avec un trait de côte tendant au recul, malgré les ouvrages (épis court) implantés.

Les causes ayant conduit à la fragilisation du système côtier au niveau de la plage verte rive ne sont pas forcements locaux, la nature des faits ainsi que les activités anthropiques exercées dans les environs de Bordj El Kiffan, en l'occurrence de la baie d'Alger, forcent les habitants de la région ainsi que les autorités locales sur la nécessité de protéger la plage ainsi que les installations proches de la côte. L'action de la mer, selon le scénario tendanciel mondiale, exerce ces forces hydrodynamiques de façon plus accentuées et tend à gagner toujours plus sur la terre.

Les résultats de notre étude ont démontré que, la première variante (Batterie de Brise lames), semble pouvoir maintenir la stabilisation de ce scenario voir l'inverser pour le cas de la plage Verte Rive. Cela permettra de protéger les habitations près de la mer de l'action destructrice des vagues, en particulier lors de violentes tempêtes. Aussi cela permettra de recréer en quelque sorte la plage d'ans-temps qui faisait autre fois la renommée touristique et socioéconomique de Fort De L'eau.

Cependant, le génie côtier n'étant pas une science exacte, tester nos conceptions sur model physique réduit afin d'observer le comportement de la zone face aux ouvrages implantés, et de tester leur résistance face à l'action des houles, aurait été un complément non négligeable pour ce cas d'étude, afin de comprendre leur efficacité.

Il serait intéressant aussi que l'effet des facteurs socioéconomiques et des travaux entrepris même à l'arrière-pays, sur l'érosion des côtes pour les régions d'Alger, fassent le sujet d'une étude approfondie, afin de songer à des solutions racinaires. Ceci permettra d'éviter des dégâts irréversibles.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : Positionnements géographiques de la plage de la Verte Rive.....	2
Figure 1.2 : Zoom sur la carte géologique de la baie.....	3
Figure 1.3 : Histogramme des taux de précipitation par mois au niveau de la baie d'Alger.	6
Figure 1.4 : Taux de précipitation par saison au niveau de la baie d'Alger.	6
Figure 1.5 : Rose des vents du site Puerto Del estado.	7
Figure 1.6 : Vitesse moyenne des vents par saison sur Alger.....	8
.....	13
Figure 1.7 : Position géographique du Simart Point.	13
Figure 1.8 : Amplitudes de Hs par fréquence par direction et par orientation....	14
Figure 1.9 : Rose des houles représentant les Valeurs maximum de Hs par direction sur la période 1958-2019 en saison hivernal.....	16
.....	16
Figure 1.10 : Rose des houles représentant les Valeurs maximum de Hs par direction sur la période 1958-2019 en saison estivale.	16
Figure 1.11 : Secteurs de houles dominants dans la zone de Verte Rive.....	18
Figure 1.12 : Calcul du fetch avec le logiciel « Google earth pro ».	20
Figure 1.13 : Courbe représentant l'évolution des apports liquides par tranche d'année.	22
Figure 1.14 : Débits solides d'Oued El Harache par an de 1999 à 2008.	23
Figure.1.15. Débits Solides d'Oued El Hamiz de 1989 à 2007	23
Figure 1.16 : Bâtisses abandonnée à la plage Verte rive Figure mettant en évidence l'urbanisation trop près de la mer.	26
Figure.2.1. Organigramme résumant l'étude bathymétrique.	27
Figure 2.2 : Exemple de tableau de données (X, Y, Z) sur Excel.	29
Figure 2.3 : Carte bathymétrique sur Surfeur 13.....	30
Figure 2.4 : Organigramme récapitulatif d'une procédure de protection d'une zone.....	31
Figure 2.5 : Organigramme récapitulatif des étapes de modélisation numérique.	34
.....	34
Figure 2.6 : Maillage du domaine d'étude à l'état initial.	36
Figure 2.7 : Interface du Coupled Model (FM).....	37
Figure 2.8 : Carte du positionnement géographique des points d'extraction.	39
.....	44
Figure 2.9 : Superposition de l'ancienne photographie aérienne sur la nouvelle carte après géo-référencement sur Global Mapper.	44
Figure 2.10 : Digitalisation du trait des anciens traits de côte sur « ArcGIS »...	44

Liste des figures

Figure 2.11 : Traits de côte digitalisés sur « ArcGIS ».....	45
Figure 2.12 : Création du buffer sur logiciel Arcgis.	45
Figure 2.13 : Fenêtre de dialogue de création de Bufer sur ArcGIS.....	46
Figure 2.14 : Fenêtre de dialogue de la création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas.	47
Figure.2.15 : Création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas.	47
Figure.3.1 : Modèle numérique de terrain en 3D sur Surfeur 13.	49
Figure 3.2 : Carte des profils bathymétriques réalisés.	50
Figure 3.3 : Premier Profil de la plage.	51
Figure 3.4 : Deuxième Profil de la plage.	51
Figure 3.5 : Troisième Profil de la plage.....	52
Figure 3.6 : Quatrième Profil de la plage.	52
Figure 3.7 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1959 et 1999.	54
Figure 3.8 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1999 et 2007.	56
Figure.3.9 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 2007 et 2017.	57
Figure 3.10 : Résultat cartographique de l'état d'érosion sur Dsas entre 1959 et 2017.	59
Figure 3.11 : Mouvement net du trait du côté entre 1959 et 2017.....	60
Figure 3.12 : End Point Rate entre 1959 et 2017.	60
Figure 3.13 : Résultat de réfraction de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	62
Figure 3.14 : Résultat de réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	63
Figure 3.15 : Résultat de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	64
Figure 3.16 : Résultat de courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	67
Figure 3.17 : Résultat de courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	68
Figure 3.18 : Résultat de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».....	69
Figure 3.19 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».	70

Liste des figures

Figure 3.20 : Résultat du transport sédimentaire la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».	71
Figure 3.21 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan ».	72
Figure 3.22 : Profil courant du brise-lame.	78
Figure 3.23.1 : Profil courant du brise-lame.	78
Figure 3.23.2 : Schématisation de l'implantation de la première variante et estimation approximative des résultats.	79
Figure 3.24 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	80
Figure 3.25 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	81
Figure 3.26 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	82
Courantologie ;module (HD).	83
Figure 3.27 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	83
Figure 3.28 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	84
Figure 3.29 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	85
Figure 3.30 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	86
Figure 3.31 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	87
Figure 3.32 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie de brise-lame.	88
Figure 3.33 : Profil musoir épi.	91

Liste des figures

Figure 3.34.1 : Profil musoir épi.	91
Figure 3.34.2 : Schématisation de l'implantation de la première variante et estimation approximative des résultats.	92
Figure 3.35 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	93
Figure 3.36 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	94
Figure 3.37 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	95
Courantologie :	96
Figure 3.38 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	96
Figure 3.39 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	97
Figure 3.40 : Résultat de la courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	98
Figure 3.41 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 360° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	99
Figure 3.42 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 315° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	100
Figure 3.43 : Résultat du transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Verte Rive « Bordj El Kiffan », avec aménagement d'une batterie d'épis.	101
Figure 3.44 : Insertion de l'approche multidisciplinaire dans la législation (Meghfour, et al., 2007).....	104
Figure 3.45 : Carte avec parcelle urbanisée de la Verte Rive de l'année 2019.	105
Figure 3.46 : Carte avec parcelle urbanisée de la Verte Rive de l'année 1959.	105
Figure 3.47 : Anciennes photos de Bordj El Kifan.	107

Liste des figures

Figure 3.48 : Anciennes photos de la rive de la Verte Rive, exe Fort De L'eau.	108
Figure 3.49 : Positionnement d'Algérie en Afrique du Nord en termes de nombre de barrages.....	110
Figure 3.50 : Taux d'envasement des barrages en Algérie, en comparaison avec ceux de l'Afrique du Nord.....	110

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : coordonnées géographiques Simart point.	7
Tableau 1.2 : Représentation de l'échelle de Beaufort.	9
Tableau 1.3 : Historique des vents violents depuis 2008.	10
Tableau 1.4 : Coordonnées géographiques du Simart Point.	13
Tableau 1.5 : Valeur max de hauteurs significatives par direction et par saison de 1958-2019 (SSMO).	15
Tableau 1.6 : Données d'une tempête enregistrée en 2017 de plus de 4.8m de hauteur de vague.	17
Tableau 1.7 : Houles extrêmes.	19
Tableau 1.8 : Descriptif des deux affluents Oued El Hamiz et Oued El Harach (ANRH, 2014).	21
Tableau 2.1 : intensité de la houle au large pour les 3 secteurs de houle retenues.	33
Tableau 2.1 : Points d'extraction des données de houles.	39
Tableau.2.2. Les intervalles de temps d'étude du mouvement du trait de côte de la zone d'étude.	48
Tableau 3.1 : Densité de la population, ONS.	55
Tableau 3.2 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 360°.	65
Tableau 3.3 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 45°.	65
Tableau 3.4 : Résultats points d'extraction pour la houle Nord 315°.	65
Tableau 3.5 : Efficacité des brises lames en fonction de leur longueur.	90

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : Généralités

I) Situation géographique	2
II) Cadre géologique	3
1) Lithologie de la roche	4
2) Séismique	4
IV) Cadre géomorphologique	4
1) géomorphologie de la zone de Bordj El Kiffan	4
V) Données météorologiques	5
1) Climat	5
a) Climat général de la plage Verte Rive :	5
b) Précipitations	5
2) Les vents	7
a) Historique des tempêtes	8
VI) Contexte océanographique	11
1) Les courants	11
a) Les courants généraux	11
2) Les Houles	11
a) Déformation de la houle	11
b) Données de houles au large	12
c) Choix de la période et du secteur de houle les plus représentatifs ..	17
d) Modélisation de la dynamique littorale actuelle	21
VII) Cadre hydrologique	21
1) Réseau hydrographique	21
2) Historique des débits	22
VIII) Choix du site d'étude	24
1) Facteurs d'érosion.....	24

- a) Notion de pénurie sédimentaire..... 24
- b) Activité anthropique 25

Chapitre II : Méthodologie de Travail

I)	Étude bathymétrique	27
1)	Introduction	27
2)	Profondeur de fermeture	27
3)	Sources des données bathymétriques	28
4)	Principe du levé bathymétrique au sondeur mono-faisceaux	28
5)	Description du levé	29
6)	Traitement des données brutes	29
7)	Génération de la carte d'isobathes	30
II)	Condition hydrodynamique à l'approche de la côte	31
1)	Introduction	31
2)	Modélisation numérique	32
a)	Présentation du logiciel « MIKE21 »	32
b)	Application du modèle à la zone d'étude	33
c)	Mode de représentation des résultats de Réfraction de la houle	38
III)	Évolution diachronique du trait de côte	40
1)	Introduction	40
2)	Les méthodes de détection des variations de la position du trait de côte et d'extraction des données de trait de côte :	40
a)	Les approches directes « levés topographiques longitudinales et périodiques »	41
b)	Méthodes d'observation indirectes.....	41
3)	Outils	42
a)	Logiciel de cartographie	42
4)	Données disponibles	43
5)	Méthodologie	43
a)	Extraction des traits de cote	43

b) Création des géo-data-base	45
c) Création des transects	46
d) Lancement du calcul	48

Chapitre III : Résultats & Discussions

I) Introduction	49
II) Résultats de l'étude bathymétrique	49
1) Génération du modèle d'élévation de terrain :	49
2) Génération des profils bathymétriques avec le logiciel Global- Mapper :	50
III) Résultats de l'étude de l'évolution diachronique du trait de côte	53
1) Résultats cartographiques	53
a) L'intervalle de l'année 1959 à 1999	53
b) L'intervalle de l'année 1999 à 2007	55
c) L'intervalle de l'année 2007 à 2017	58
d) L'intervalle de l'année 1959 à 2017	58
2) Résultats graphiques	60
IV) Résultats de l'étude de réfraction de la houle	61
1) Résultats de calcul pour le SW (réfraction de la houle à l'approche de la côte)	61
a) Résultats cartographiques	61
b) Résultats obtenus à partir des points d'extraction	65
c) Commentaire	65
2) Résultats de calcul pour le HD (courantologie) et ST (transport sédimentaire)	66
VI) Étude d'aménagement	74
1) Introduction	74
2) Variante 01 : batterie de brise-lame	74
a) Objectifs et fonctionnement	74

b)	Dimensionnement	75
c)	Conception	76
d)	Application au site d'étude.....	77
e)	Vérification sur modèle	79
f)	Commentaire	89
3)	Variante 2 : batterie d'épis	89
a)	Principes et fonctionnement	89
b)	Dimensionnement	89
c)	Application au site d'étude	90
d)	Vérification sur model	92
e)	Commentaire	102
4)	Choix de la variante	102
a)	Avantages et inconvénients des brises lames implantés au niveau de la plage Verte Rive	102
b)	Avantages et inconvénients des épis en (L) implantés au niveau de la plage Verte Rive	103
5)	Conclusion	103
VII)	Gestion intégrée des zones côtières	103
1)	Introduction	103
2)	Approche multidisciplinaire de notre zone d'étude	104
a)	Urbanisation dans notre zone d'étude	104
b)	Anciennes photos du site	106
3)	Législation	109
4)	Inventaire des barrages implantés à l'Amon des Oueds affluents dans notre zone d'étude	110
a)	Barrage d'Oued El Hamiz	111
b)	Barrage de Douéra.....	111
5)	Commentaire :	111
	Conclusion général.....	112

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

DSAS: Digital Shoreline Analysis System.

EPR : End Point Rate.

INCT : Institut National de Cartographie et de Télédétection.

LEM : Laboratoire des Études Maritimes.

LGA : Laboratoire de Géologie et d'Aménagement.

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

NSM: Net Shore Line Mouvement.

ONM : Office National de Météorologie.

RGPH : Rassemblement Général de la Population et de l'Habitat.

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observation.

Hs: Hauteur significative.

Hm³:Hecto-metre cube.

DGPS: Differential Global Positioning System.

RTK: Real Time Kinematic.

GPS: Global Positioning System.

ESRI: Environmental Systems Research Institute.

DHI : Danish Hydraulics Institute.

ONS : Office National Des Statistiques.

UTM: Universal Transverse Mercator.

WGS84: World Geodetic System 1984.

FM: Flow model.

SW: Spectral Waves.

Liste des abréviations

ST: Sand Transport.

HD: Hydro Dynamic.

LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France.

PAC : Plan d'Aménagement Côtier.

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

POS : Plan d'Occupation des Sols.

SIG : Système d'Information Géographique.

m : mètre.

m³ : mètre cube.

Ha : hectare.

m² : mètre carré.

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières.

Références bibliographiques

ANBT, Agence national des barrages et des transferts, Alger.

Benassai, G., 2006. *Introduction to coastal Dynamics and Shoreline protection* WIT Presse Italy, University of Naple, Italie , 331p.

Berkennou, N., 2012. *Inventaire des ouvrages de protection sur la cote algéroise (avantage et inconvénients)*, mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieurs, ENSSMAL, 38 p.

Belabbas,S., Boukhari,M.,2018. *Morphodynamique et modélisation hydro-sédimentaire des plages du littoral centre Algérois « cas de la frange côtière Bordj El Kiffan »*. Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur, ENSSMAL.86p.

Blanc, JJ., 1997. *Recherche de sédimentologie appliquée au littoral du Rhône, de Fos à Grau du Roi*, CNEXO centre national pour l'exploitation des océans, Marseille, 69p.

Brahiti, A., 2008. *La problématique du foncier en Algérie état des lieux et perspectives*, séminaire régionale sur la problématique du foncier dans le développement socio-économique locale, Biskra-Algérie, p7-24.

Bruun, P., 1962. *Sea level rize as a cause of shore erosion*, journal of water ways harbours, Division 88,117-130p.

CETMF, 2008. *Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (RTK)*, centre d'étude technique maritime et fluviale. Ministère de l'écologie de l'énergie du développement durable et de l'aménagement du territoire, Paris. P 6.

Chadwick, A., Dominic,R., 2004. *Coastal enginering process* SPON press. London, Taylor and Francis Group, 198p.

Djellouli, Y., Saci, A., 2003. *Catastrophe « naturelle » : les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab El Oued (Alger, Algérie)*. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 23, 236-242p.

Drapeau, G., Mercier, O., 1990. *Modélisation de l'évolution du littoral des îles de la Madeleine*, Géographie physique et Quaternaire, Québec.32p.

EGIS EAU, IAU-IDF, BRGM, 2013. *Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1* Évaluation et représentation des sources de vulnérabilité, 12 p.

El sid chiekh, 2018.*Cours de Génie Côtier*, 4ème année, ENSSMAL.

Faye, I., Giraudet, E., Gourmetant, F. et Henaff, A., 2011. *Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte*, mappe monde, laboratoire Géome, institut européen de la mer, université de Bretagne occidentale, p12.

Fichaut, B., Suanez, S., 2008. *Le rechargement de la plage de Sain le Anne-du-port zic (Brest-Finisiere) : quand la recherche fondamentale se met au service d'une gestion cohérente du littoral*, Norois, 208 (3), p29,44.

Froidefond, J.M., 1989. *Introduction à la géomorphologie côtière*, Butin de l'institut de géologie du bassin d'Aquitaine, Bordeaux-n°45.p13-22.

George G., 1962.*Harrap's standard French and English Dictionary*. edited by J. E Mansion, part two, English-French, Company Ltd, reprinted September 1966, p.433.

Holthuijsen, L.H., Booij N. et Herbers T.H.C., (1989). *A prediction model for stationary short-crested waves in shallow water with ambient currents*. Coastal Engineering, p23-54.

Hamadouche, D.M., Brahimi, M.A., 2017.*Diagnostic de la zone du Lido*, en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur, ENSSMAL

Houston, 1996.In, *Analyse et interprétation des profils bathymétriques du SMNLR*.

Iffour, Y., Madani, A., 2016.*variabilité spatiotemporelle d'un littoral sableux* en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur ENSSMAL p100.

Jimenez, J., Wray, A. A., Saffman, P. G. & Rogallo, R. S., 1993. *The structure of intense vorticity in isotropic turbulence*. J. Fluid Mech. 255p, 4, p65–90.

Kacemi, M., 2011. *Protection et valorisation du littoral en Algérie : législation et instruments : Le cas des communes littorales d'Oran*, université des sciences et de la technologie d'Oran, Oran.

Kadri, I., 2017. *Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan*, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences de la mer, Alger : École nationale supérieure des sciences de la mer et aménagement du littoral. 100 p.

Larbi, N., 2016. *Etude d'aménagement et de protection de la zone Verte Rive*. Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur, ENSSMAL. 104p.

- Maouche, S., Morhange, C. et meghraoui, M., 2009.** *Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean*, Marine Geology 262, p. 96-104
- Maouche, S., 1987.** *Mécanismes hydrosédimentaires en Baie d'Alger (Algérie). Approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique.* Thèse spécialité, université de Perpignan, 213 p.
- Meghfour, K.M., Tabet, A.K., 2007.** *Intégration des spécificités du littoral dans les documents d'urbanisme*, département architecture USTO, université de Mohamed Khider, Biskra, p33-42.
- Morton, R., Leach, M.P. & Paire, J.E., 1993.** *Monitoring Beach changes using GPS surveying techniques.* J coast Res9 (3),720p.
- Nicholls, R.J, et al, (1998).** *Evaluation of depth of closure using data from Duck, NC*, Marine Geology, USA, p179-201.
- Paskoff, R., 1998.** *La crise des plages ; pénurie de sédiments.* Mappemonde 52.p11-15.
- Paskoff, R., 1985.** *Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution.* 2eme Edition Masson, Paris.264p.
- PNUE/PAM-PLAN BLEU, (2009).** *État de l'environnement et du développement en Méditerranée.* PNUE/PAM-Plan Bleu, Athènes, Plan d'action pour la méditerranée, 204 p.
- PNUE/PAM, (2012).** *État de l'environnement marin et côtier de la Méditerranée*, PNUE/PAM – Barcelona Convention, Athènes, 96 p.
- Pope J. (2008).** *Coastal Engineering Manual (CEM)*, Engineer Manual 1110-2-1100 (change2), US Army Corps of Engineers research and development centre U.S., Washington, D.C.
- Rabehi, W., Guerfi, M. & Mahi, H., 2017.** *Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger.* Méditerranée [Online], Varia, connexion le 04 May 2019.URL : <http://journals.openedition.org/mediterranee/8625>
- Remini.W., Remini, B., 2003.** *La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord*, Larhyss journal, ISSN1112-3680, laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface, pp45-54.

Bibliographie

Sabatier, F., 2001. *Fonctionnement et dynamiques du littoral du delta du Rhône*, Thèse de Géographie, Université Aix-Marseille III, 272 p.

Samat, S., 2007. *Impact des aménagements en enrochement sur la morphogénèse côtière : quelques cas dans le Golfe du Lion*, Thèse, Université Aix-Marseille III, France, 341 p.

Shenan, S.J., 1993. *Settlement and social change in central Europe 3500-1500 B.C* journal of world prehistory, consulté le 26/09/2019 www.persee.fr.

Sogreah, 1984. *Catalogue Sédimentologique des côtes françaises, côtes de la méditerranée*. Eyrolles EDF, p15.

Tabet, H., 2009. *Evaluation de la performance environnementale d'un projet d'aménagement comme système d'aide à la conception d'ouvrage à la mer*. Edition, conférence méditerranéenne côtière et maritime Hammamet, tunisie. 230 p.

Teffahi, N., 2018. *Cours de cartographie 4eme année*, ENSSMAL.

Tenaud, R., 1984. *L'hydraulique et la maîtrise du littoral*, société hydrotechnique de France, 1984. 100p.

Thieler, E., Miller, R.T., 2005. *User guide and tutorial for the digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.2 extension for ArcView*. USGS open file report 2005-1304, 33p. <http://woodshole.er.gov/project-pages/dsas/>.

Yelles, C., 2013. *Earthquake sequence of May 2010*. pure Appl. geophys. <https://doi.org>.

Annexes

Tableau des résultats du levée bathymétrique en fichier Excel (X, Y,Z).

Point name	x	y	z
B0001	516704.77	4067372.66	-6
B0002	516701.84	4067377.09	-6
B0003	516699.15	4067381.4	-6
B0004	516705.21	4067391.94	-6
B0005	516696.55	4067385.96	-6
B0006	516702.3	4067396.02	-6
B0007	516694.07	4067390.53	-6
B0008	516699.59	4067400.32	-6
B0009	516689.38	4067397.8	-6
B0010	516685.43	4067401.04	-6
B0011	516729.28	4067330.6	-5
B0012	516726.44	4067334.89	-5
B0013	516724.1	4067339.41	-5
B0014	516721.05	4067344	-5
B0015	516728.79	4067349.52	-5
B0016	516726.1	4067354.06	-5
B0017	516718.39	4067348.75	-5
B0018	516723.93	4067358.59	-5
B0019	516715.79	4067353.06	-5
B0020	516721.33	4067363.38	-5
B0021	516713.23	4067357.43	-5
B0022	516729.45	4067369.41	-5
B0023	516711	4067362.04	-6
B0024	516718.96	4067367.85	-6
B0025	516708.29	4067366.94	-6
B0026	516716.35	4067372.14	-6
B0027	516726.48	4067373.57	-6
B0028	516723.45	4067378.46	-6
B0029	516713.37	4067376.57	-6
B0030	516721.11	4067382.99	-6
B0031	516710.46	4067381.54	-6
B0032	516718.89	4067387.54	-6
B0033	516708.12	4067386.22	-6
B0034	516714.19	4067396.02	-6
B0035	516711.02	4067400.61	-6
B0036	516712.07	4067406.87	-6
B0037	516710.51	4067411.69	-6
B0038	516755.11	4067286.78	-4
B0039	516752.47	4067291.1	-4
B0040	516749.47	4067295.55	-4
B0041	516746.85	4067300.09	-4
B0043	516744.6	4067304.65	-4

Annexes

B0044	516750.85	4067314.07	-4
B0045	516742.07	4067309.13	-4
B0046	516748.26	4067318.37	-5
B0047	516739.7	4067313.59	-5
B0048	516745.68	4067322.71	-5
B0049	516737.17	4067317.91	-5
B0050	516734.51	4067322.17	-5
B0051	516754.67	4067326.99	-5
B0052	516742.66	4067328.31	-5
B0053	516752.17	4067331.4	-5
B0054	516739.94	4067332.89	-5
B0055	516749.31	4067335.58	-5
B0056	516737.01	4067337.56	-5
B0057	516746.62	4067339.84	-5
B0058	516743.69	4067343.97	-5
B0059	516733.89	4067342.73	-5
B0060	516740.99	4067348.36	-5
B0061	516737.78	4067356.27	-5
B0062	516735.38	4067360.74	-5
B0063	516732.34	4067364.85	-5
B0064	516779.17	4067246.47	-3
B0065	516776.4	4067251.05	-3
B0066	516773.67	4067255.32	-3
B0067	516779.7	4067265.09	-3
B0068	516771.43	4067259.96	-3
B0069	516777.06	4067269.72	-3
B0070	516768.41	4067264.96	-3
B0071	516774.4	4067274.11	-3
B0072	516766.03	4067269.38	-3
B0073	516762.94	4067273.61	-3
B0074	516771.57	4067278.53	-3
B0075	516760.29	4067277.96	-4
B0076	516768.91	4067282.88	-4
B0077	516778.25	4067287.11	-4
B0078	516757.55	4067282.31	-4
B0079	516766.46	4067287.24	-4
B0080	516775.68	4067291.54	-4
B0081	516763.95	4067291.66	-4
B0082	516773.31	4067295.95	-4
B0083	516760.17	4067297.59	-4
B0084	516770.49	4067300.22	-4
B0085	516767.68	4067304.61	-4
B0086	516755.68	4067304.95	-4

Tableau des Valeurs max de Hs par direction et par saison de 1958-2019.

Saison	Mois	Max, Hs/m	Période pique (s)	Direction °	Jours
Estival	Mars	7,18	11,06	N345	8
	Avril	5,91	11	N266	14
	Mai	4,99	9,26	N50	4
	Juin	3,84	8	N58	26
	Juillet	3,1	8,27	N273	16
	Aout	4,5	8,7	N43	4
Moyenne		4,92	9,38	N50	12,00
Hivernale	Septembre	3,73	7,63	N76	6
	Octobre	5,31	10,1	N274	22
	Novembre	7,17	12,46	N265	9
	Décembre	7,1	10,99	N33	29
	Janvier	9,17	12,92	N267	31
	Février	6,21	11,16	N268	14
Moyenne		6,45	10,88	N270	18,50

Tableau des Amplitudes de Hs par frequence et par orientation (Puerto del estado).

EFICACIA 99.4%		A nnée2018												
		Hs (m)											TOTAL	
		<= 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	TOTAL	
	Calme	1.366	1.366											
Dir	N	0	1.653	5.188	3.535	1.125	1.400	0.608	0.069	0.069	---	---	---	13.648
	NE	45	8.219	12.867	7.174	1.389	0.321	0.298	0.023	---	---	---	---	30.292
	E	90	1.710	4.821	4.178	1.573	0.505	0.069	---	---	---	---	---	12.856
	SE	135	---	0.241	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.241
	S	180	0.011	0.195	0.103	0.023	---	---	---	---	---	---	---	0.333
	SW	225	0.023	0.390	0.253	0.138	---	0.011	---	---	---	---	---	0.815
	W	270	1.963	8.127	6.543	5.303	3.501	1.894	1.286	0.884	0.746	0.459	0.356	31.061
	NW	315	1.871	2.743	2.422	1.251	0.505	0.287	0.092	0.034	0.080	0.057	0.046	9.389
TOTAL			15.450+	34.573	24.208	10.801	6.233	3.168	1.469	0.987	0.826	0.517	0.402	100%

Tableau des Résultats de la réfraction de la houle de secteur Nord 315 des points d'extraction.

wave dir point2	wave dir point3	wave dir point4	wave dir point5	wave dir point6	wave dir point7	wave dir point8
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.300	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.300	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.300	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.299	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.299	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.299	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.301	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.301	12.587
344.767	343.316	338.230	345.296	342.394	328.303	12.587
344.767	343.316	338.230	345.297	342.394	328.304	12.587
344.767	343.316	338.231	345.297	342.393	328.307	12.587
344.767	343.316	338.231	345.297	342.393	328.308	12.587
344.767	343.316	338.231	345.297	342.393	328.310	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.310	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.310	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.310	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.310	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.311	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.311	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.313	12.587
344.767	343.316	338.232	345.297	342.393	328.313	12.587
344.767	343.316	338.233	345.298	342.393	328.316	12.587
344.767	343.316	338.233	345.298	342.393	328.317	12.587
344.767	343.316	338.233	345.298	342.393	328.320	12.587
344.767	343.316	338.233	345.298	342.393	328.321	12.587

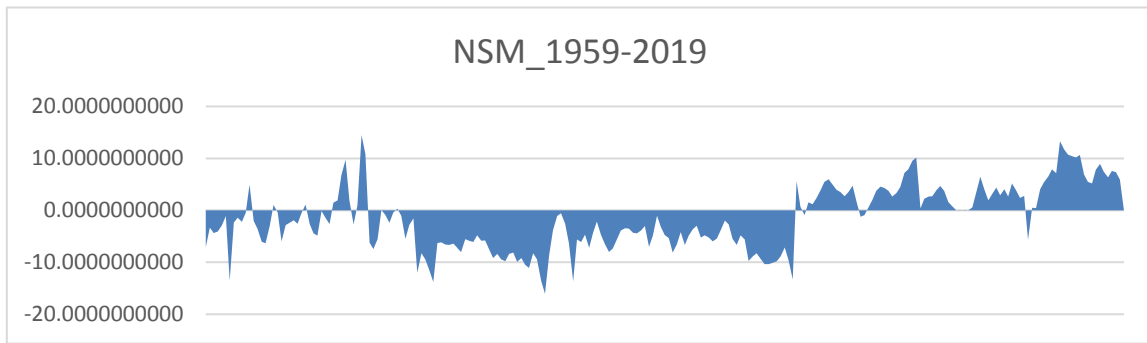
Tableau des Résultats des directions de houle réfractées de secteur Nord 315 des points d'extraction.

Time	HS point1	HS point2	HS point3	HS point4	HS point5	HS point6	HS point7	HS point8
1.70031	1.64540	1.65601	1.59369	0.92409	1.03985	0.95668	0.72701	345.75200
1.70032	1.64540	1.65601	1.59369	0.92409	1.03987	0.95669	0.72699	345.75200
1.70032	1.64540	1.65601	1.59369	0.92408	1.03988	0.95671	0.72692	345.75200
1.70032	1.64540	1.65601	1.59369	0.92408	1.03989	0.95672	0.72689	345.75200
1.70032	1.64541	1.65601	1.59369	0.92407	1.03990	0.95673	0.72684	345.75200
1.70032	1.64541	1.65601	1.59369	0.92407	1.03991	0.95674	0.72681	345.75200
1.70032	1.64541	1.65601	1.59369	0.92406	1.03993	0.95675	0.72677	345.75200
1.70032	1.64541	1.65602	1.59369	0.92405	1.03994	0.95676	0.72675	345.75200
1.70032	1.64541	1.65602	1.59369	0.92404	1.03996	0.95678	0.72673	345.75200
1.70032	1.64541	1.65602	1.59369	0.92404	1.03997	0.95680	0.72672	345.75200
1.70032	1.64541	1.65602	1.59369	0.92403	1.04000	0.95682	0.72668	345.75200
1.70032	1.64541	1.65602	1.59370	0.92402	1.04002	0.95684	0.72666	345.75200
1.70032	1.64542	1.65602	1.59370	0.92401	1.04005	0.95687	0.72660	345.75200
1.70032	1.64542	1.65602	1.59370	0.92400	1.04007	0.95688	0.72659	345.75200
1.70032	1.64542	1.65602	1.59370	0.92399	1.04009	0.95690	0.72651	345.75200
1.70033	1.64542	1.65602	1.59370	0.92398	1.04010	0.95692	0.72649	345.75300
1.70033	1.64542	1.65603	1.59370	0.92397	1.04011	0.95693	0.72643	345.75300
1.70033	1.64542	1.65603	1.59370	0.92397	1.04012	0.95694	0.72641	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92396	1.04013	0.95695	0.72635	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92396	1.04014	0.95696	0.72634	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92395	1.04016	0.95698	0.72630	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92395	1.04017	0.95699	0.72629	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92394	1.04019	0.95701	0.72626	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92393	1.04021	0.95703	0.72625	345.75300
1.70033	1.64543	1.65603	1.59370	0.92392	1.04024	0.95706	0.72620	345.75300
1.70033	1.64544	1.65603	1.59370	0.92391	1.04026	0.95707	0.72618	345.75300

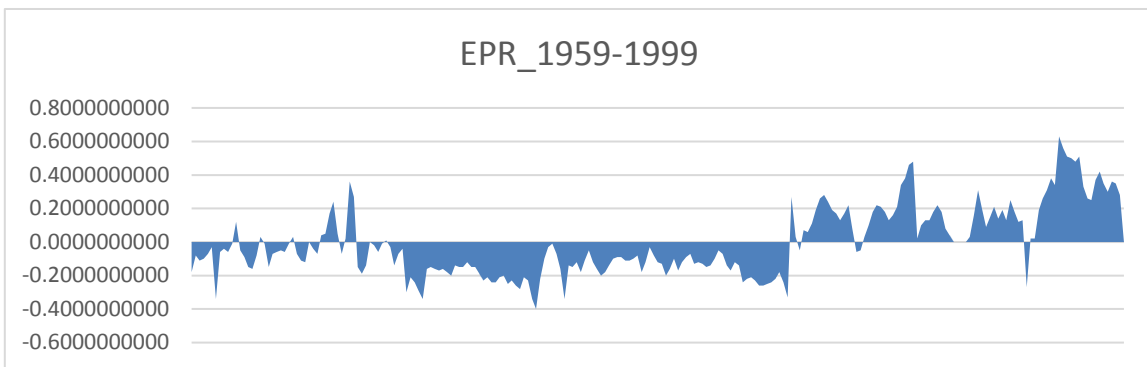
Tableau des résultats du Dsas pour les 39 premiers transects créés.

OBJECTID	Baseline ID	trans num	Azimuth	SHAPE_Leng	OBJECTID_1	TransectId	TCD	EPR	ECI	NSM
1	1	1	328.1	5.9	1.0	1.0	0.0	-0.1	0.1	-6.1
2	1	2	328.1	7.3	2.0	2.0	10.0	0.0	0.1	-2.2
3	1	3	328.1	7.6	3.0	3.0	20.0	0.1	0.1	7.3
4	1	4	328.1	6.3	4.0	4.0	30.0	-0.2	0.1	-10.0
5	1	5	328.1	7.4	5.0	5.0	40.0	-0.2	0.1	-13.5
6	1	6	328.1	8.9	6.0	6.0	50.0	0.0	0.1	-2.3
7	1	7	328.1	7.9	7.0	7.0	60.0	0.1	0.1	3.1
8	1	8	328.1	5.2	8.0	8.0	70.0	0.2	0.1	13.3
9	1	9	328.1	5.5	9.0	9.0	80.0	0.1	0.1	3.2
10	1	10	328.1	6.9	10.0	10.0	90.0	0.0	0.1	2.1
11	1	11	328.1	10.7	11.0	11.0	100.0	0.2	0.1	9.1
12	1	12	328.1	10.2	12.0	12.0	110.0	0.1	0.1	6.7
13	1	13	328.1	10.4	13.0	13.0	120.0	0.1	0.1	3.3
14	1	14	328.1	10.7	14.0	14.0	130.0	0.0	0.1	0.6
15	1	15	328.1	11.7	15.0	15.0	140.0	-0.1	0.1	-5.6
16	1	16	328.1	13.3	16.0	16.0	150.0	-0.1	0.1	-5.4
17	1	17	328.1	7.1	17.0	17.0	160.0	-0.1	0.1	-5.8
18	1	18	328.1	7.9	18.0	18.0	170.0	-0.1	0.1	-6.6
19	1	19	328.1	6.5	19.0	19.0	180.0	-0.1	0.1	-6.1
20	1	20	328.1	5.5	20.0	20.0	190.0	-0.1	0.1	-7.3
21	1	21	328.1	4.1	21.0	21.0	200.0	-0.1	0.1	-5.4
22	1	22	328.1	0.4	22.0	22.0	210.0	-0.1	0.1	-4.4
23	1	23	328.1	0.5	23.0	23.0	220.0	-0.1	0.1	-3.0
24	1	24	328.1	5.7	24.0	24.0	230.0	0.0	0.1	-2.4
25	1	25	328.1	2.7	25.0	25.0	240.0	0.0	0.1	-0.7
26	1	26	328.1	2.4	26.0	26.0	250.0	0.0	0.1	1.4

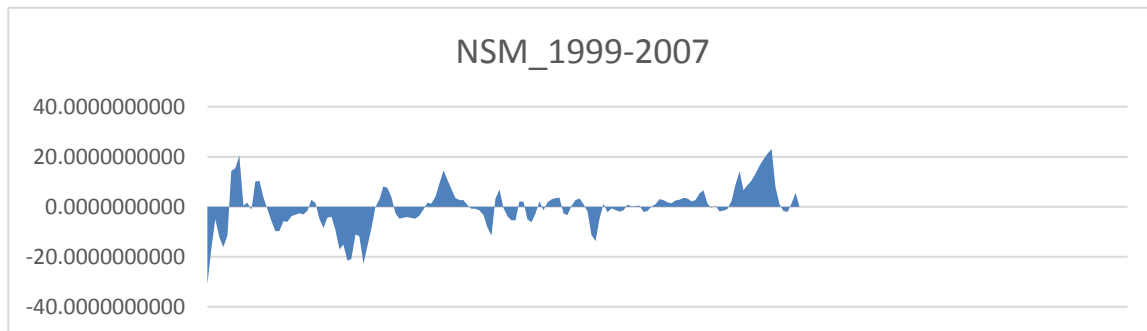
27	1	27	328.1	3.8	27.0	27.0	260.0	0.0	0.1	1.3
28	1	28	328.1	5.2	28.0	28.0	270.0	0.0	0.1	1.8
29	1	29	328.1	2.7	29.0	29.0	280.0	0.0	0.1	-1.4
30	1	30	328.1	4.1	30.0	30.0	290.0	0.0	0.1	0.1
31	1	31	328.1	2.9	31.0	31.0	300.0	0.1	0.1	3.8
32	1	32	328.1	4.4	32.0	32.0	310.0	0.1	0.1	2.8
33	1	33	328.1	3.2	33.0	33.0	320.0	0.0	0.1	-0.9
34	1	34	328.1	1.9	34.0	34.0	330.0	-0.1	0.1	-8.1
35	1	35	328.1	4.1	35.0	35.0	340.0	-0.1	0.1	-3.1
36	1	36	328.1	6.5	36.0	36.0	350.0	-0.1	0.1	-4.9
37	1	37	328.1	3.4	37.0	37.0	360.0	-0.2	0.1	-9.3
38	1	38	328.1	0.5	38.0	38.0	370.0	-0.1	0.1	-7.6
39	1	39	328.1	0.0	39.0	39.0	380.0	-0.1	0.1	-7.8



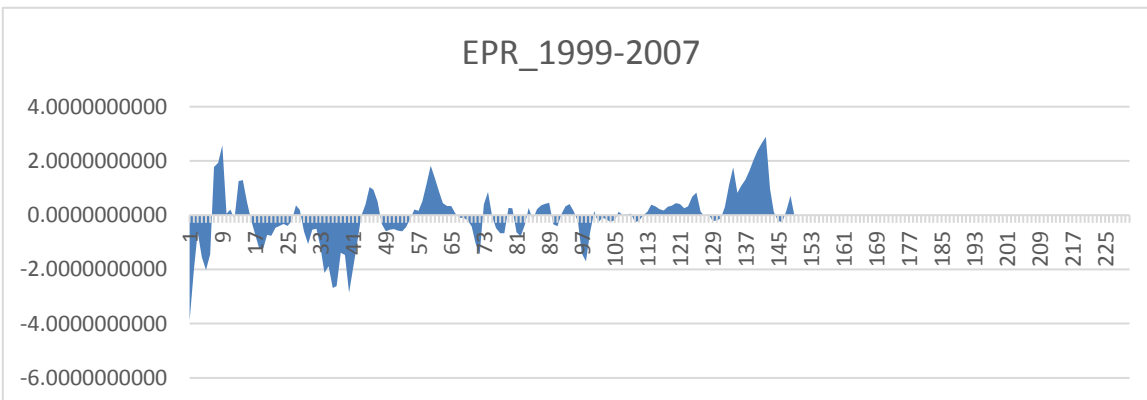
Résultats graphiques de L'NSM entre 1959-1990.



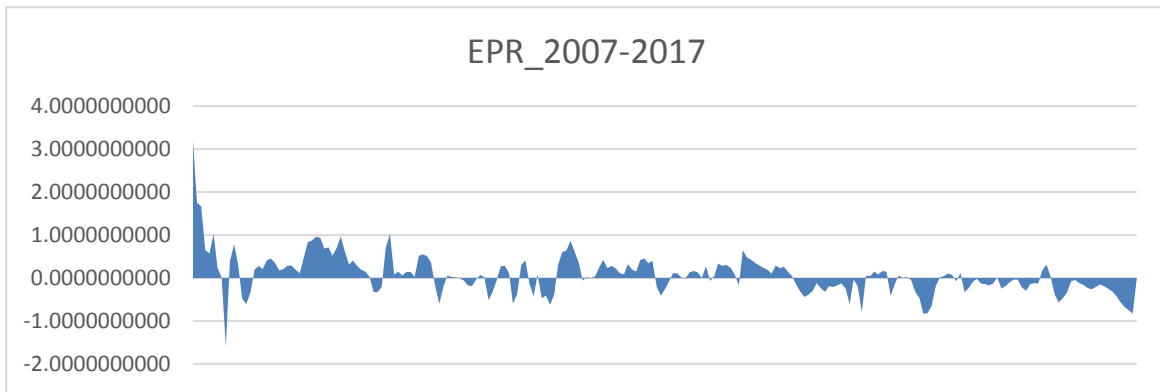
Résultats graphiques de l'EPR entre 1959-199.



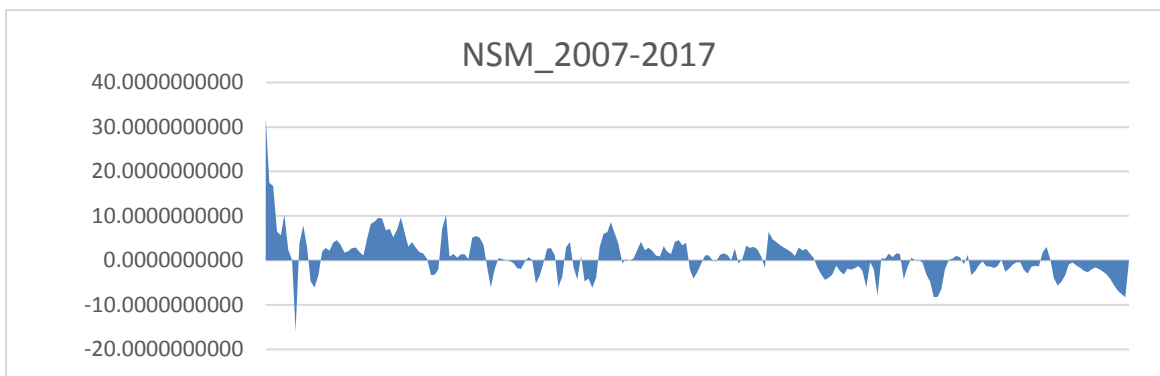
Résultats graphiques de L'NSM entre 1999-2007.



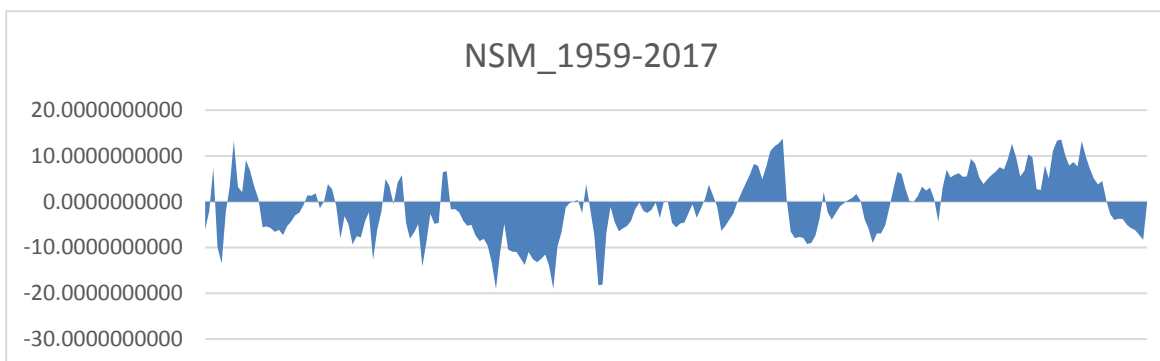
Résultats graphiques de l'EPR entre 1999-2007.



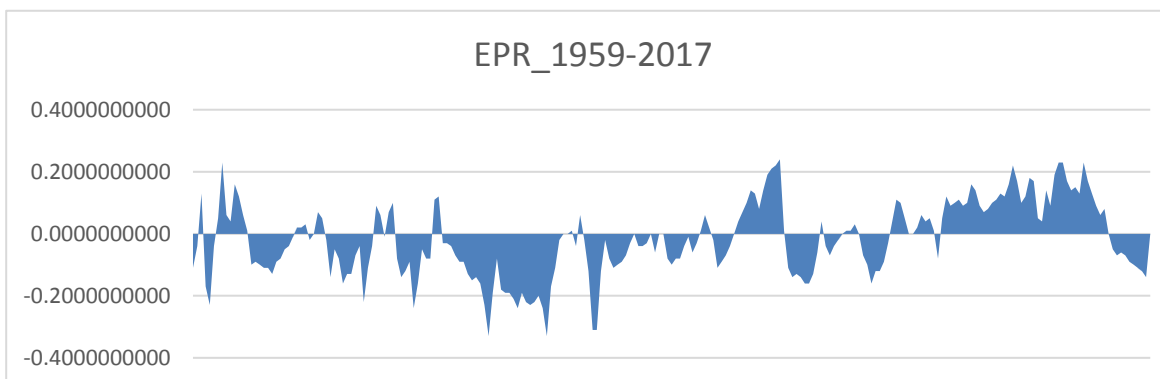
Résultats graphiques de l'EPR entre 2007-2017.



Résultats graphiques de L'NSM entre 2007-2017.



Résultats graphiques de L'NSM entre 1959-2017.



Résultats graphiques de L'EPR entre 1959-2017.

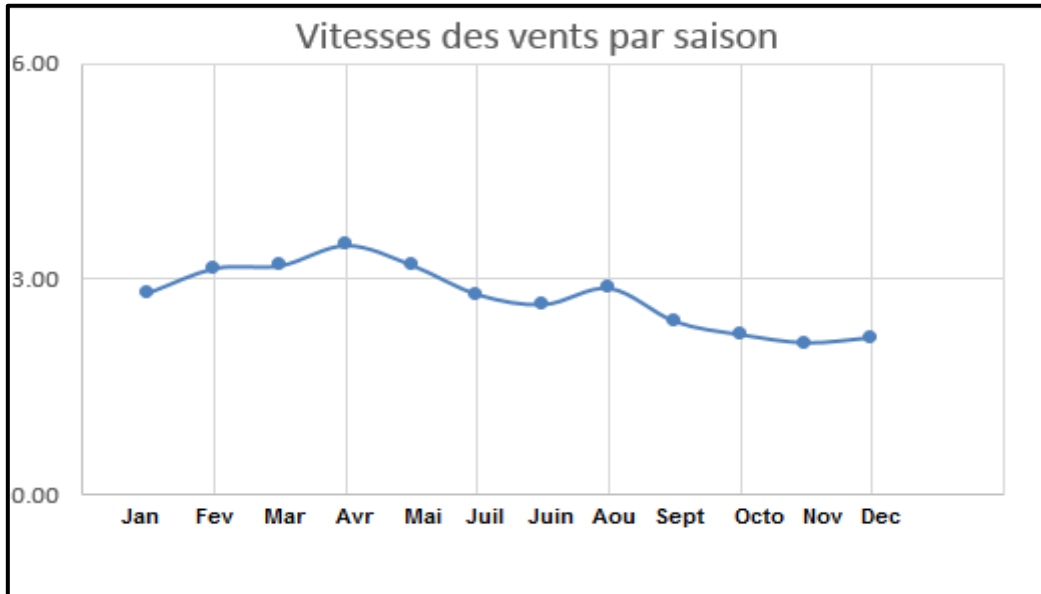
Annexes

Tableau de Fréquence mensuelle de la houle au large par directions en pourcentage (SSMO ,1963-1970).

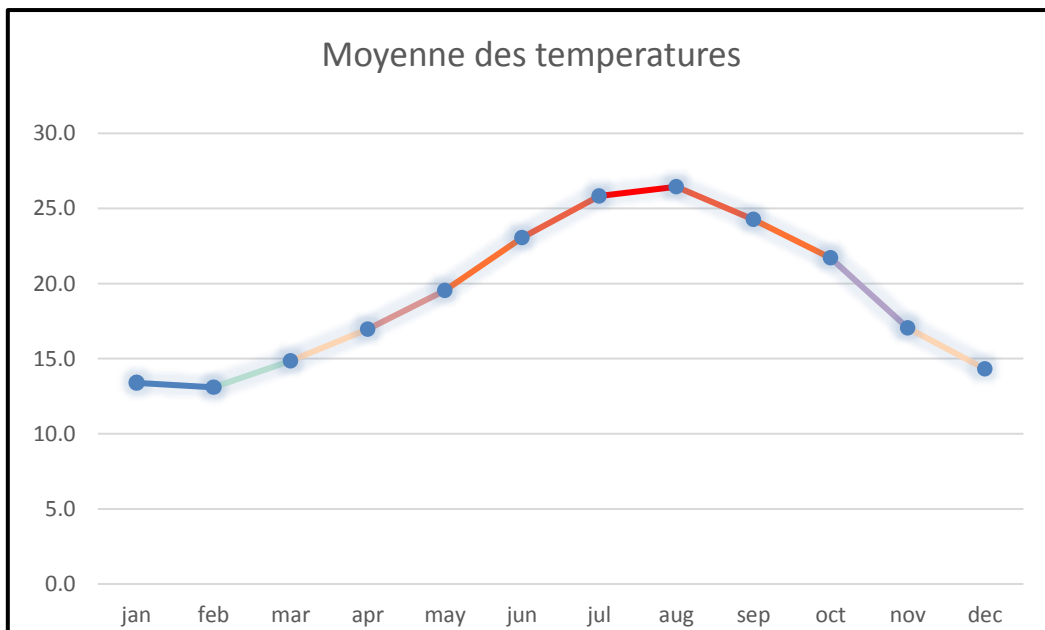
Direction		Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
Saison	Mois								
Hivernale	Décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
	Janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
	Février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
	Septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
	Octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	1,8	28,8	6,8
	Novembre	5,5	5,8	5,8	1	8	15,9	4,4	9,4
	Moyennes	7,9	12,6	13,5	17,0	5,8	11,2	24,9	7,0
Estivale	Mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
	Avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
	Mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3	7,2	13,9	5,2
	Juin	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
	Juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
	Août	8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
	Moyennes	9,1	23,9	23,9	27,7	2,6	8,7	19,5	6,0
Moyennes annuel		8,5	18,3	18,7	22,3	4,2	10,0	22,2	6,5

Tableau des taux de précipitations par moi en melimetres.

Precipitations mm/mois	Moyenne	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janvier	45.5	21.0	96.0	0.0	31.4	9.9	86.0	40.1	42.8	33.7	93.8
Fevrier	49.1	17.6	21.0	6.0	59.5	122.7	69.9	17.6	97.3	65.9	14.0
mars	44.4	73.0	60.0	65.2	27.9	39.9	45.2	31.2	24.2	58.2	19.5
Avril	50.9	15.0	82.0	73.2	7.3	78.7	234.0	0.8	0.0	12.7	4.9
Mai	35.4	111.0	27.0	29.9	102.9	8.3	51.7	3.5	8.4	9.8	1.9
Juin	5.5	8.0	0.0	7.7	7.2	0.9	0.2	22.5	4.5	0.5	3.4
Juillet	1.5	4.0	4.0	2.7	0.6	0.0	0.3	0.5	0.0	1.3	2.0
Aout	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	2.0	0.5	1.0	0.2	0.9
September	41.3	0.0	83.0	22.5	254.8	4.3	13.4	10.2	5.9	10.0	9.4
October	44.0	34.0	35.0	186.9	18.3	31.8	15.3	22.9	85.3	1.6	9.1
November	79.7	153.0	68.0	110.5	120.4	34.8	104.1	23.8	54.6	75.8	51.9
December	61.1	190.0	78.0	54.2	44.0	19.3	26.2	90.4	0.0	31.9	77.6
	Total	627	554	559	674	353	648	264	324	302	288



Courbe de la vitesse du vent par mois en mètres/secondes.



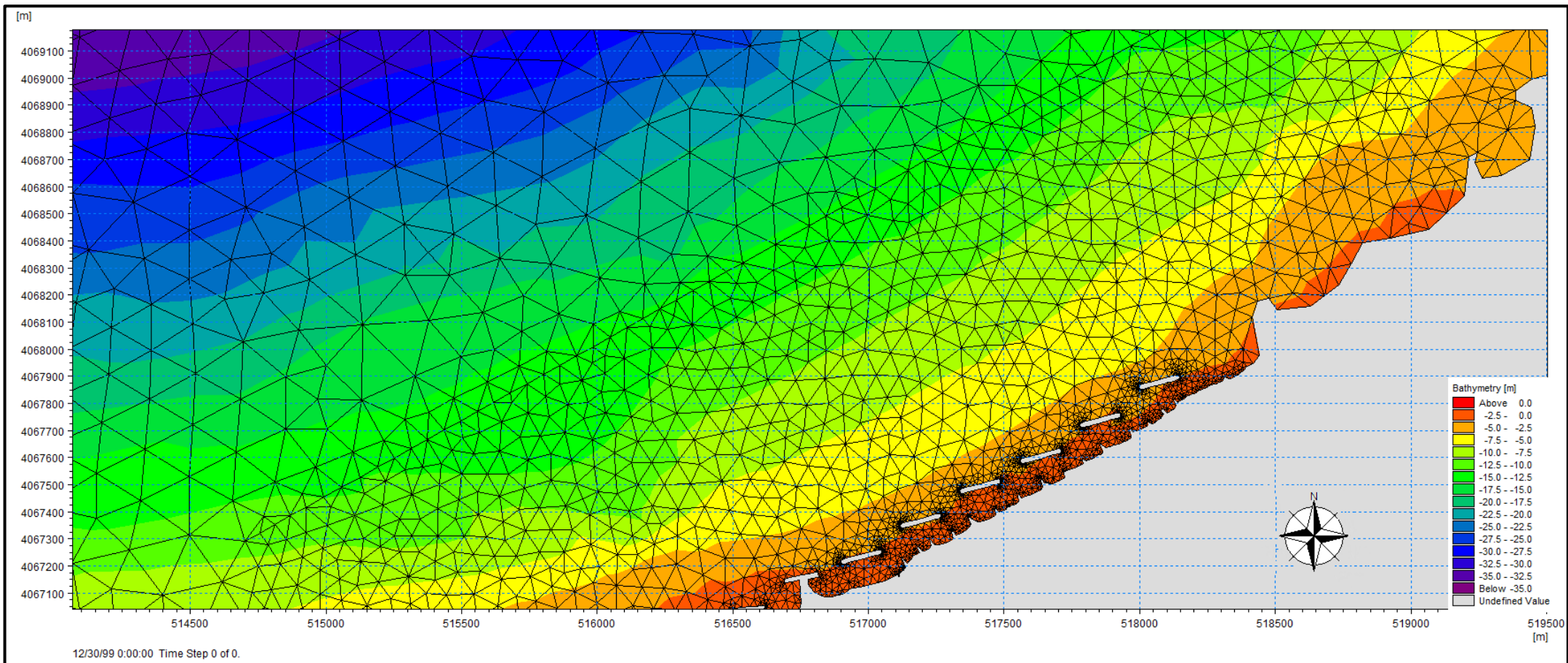
Courbe d'évolution de la température en °C par mois.

Tableau des températures par mois en °C.

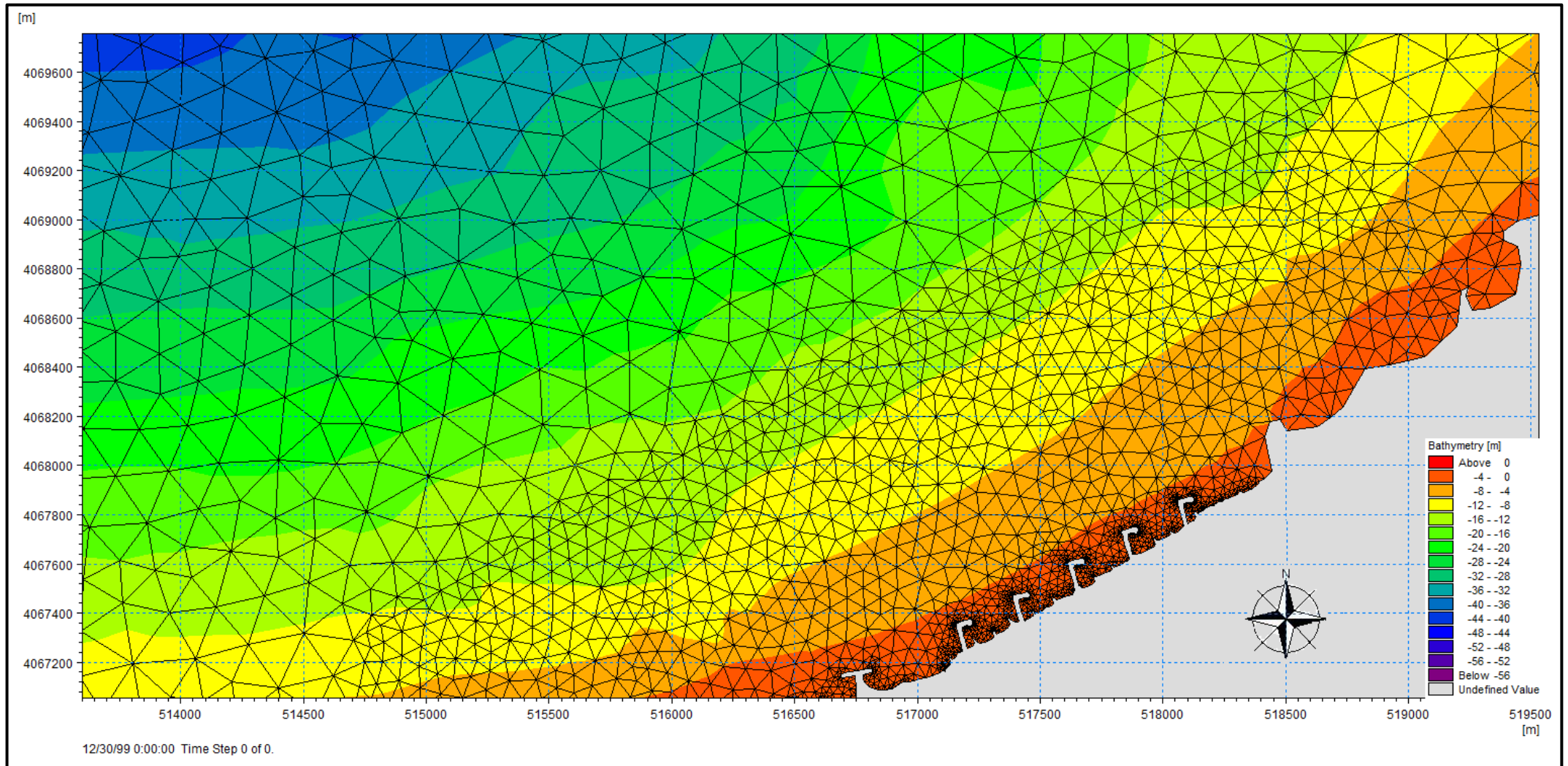
Temp °C	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
jan	13.4	11.0	11.7	10.8	14.1	14.4	15.5	13.8	16.1	13.1
feb	13.1	10.2	13.5	10.7	10.4	13.2	15.6	13.0	15.5	15.8
mar	14.9	11.9	13.9	14.0	14.8	16.9	15.2	15.4	15.1	16.5
apr	17.0	13.9	16.0	17.0	17.2	17.0	19.0	17.7	17.3	17.6
may	19.5	20.4	17.8	19.7	19.6	18.8	19.2	20.6	19.5	20.2
jun	23.1	23.8	22.1	22.5	24.7	21.3	23.4	23.2	22.8	23.7
jul	25.8	27.2	25.8	26.3	25.7	24.6	25.5	26.8	24.3	26.3
aug	26.4	26.3	25.3	26.7	28.3	25.9	26.3	27.0	24.9	27.3
sep	24.3	21.9	23.3	23.7	24.4	24.6	26.5	24.9	24.7	24.4
oct	21.7	18.9	19.1	19.6	22.9	24.3	23.2	22.3	23.7	21.5
nov	17.0	15.6	14.6	16.0	17.0	16.5	19.7	17.9	18.6	17.6
dec	14.3	12.8	12.1	11.8	15.7	14.9	14.6	16.6	16.0	14.4
Moyenne	19.20	17.8	17.9	18.2	19.6	19.4	20.3	19.9	19.9	19.9

Tableau des vitesses du vent par saison en mètres/ secondes.

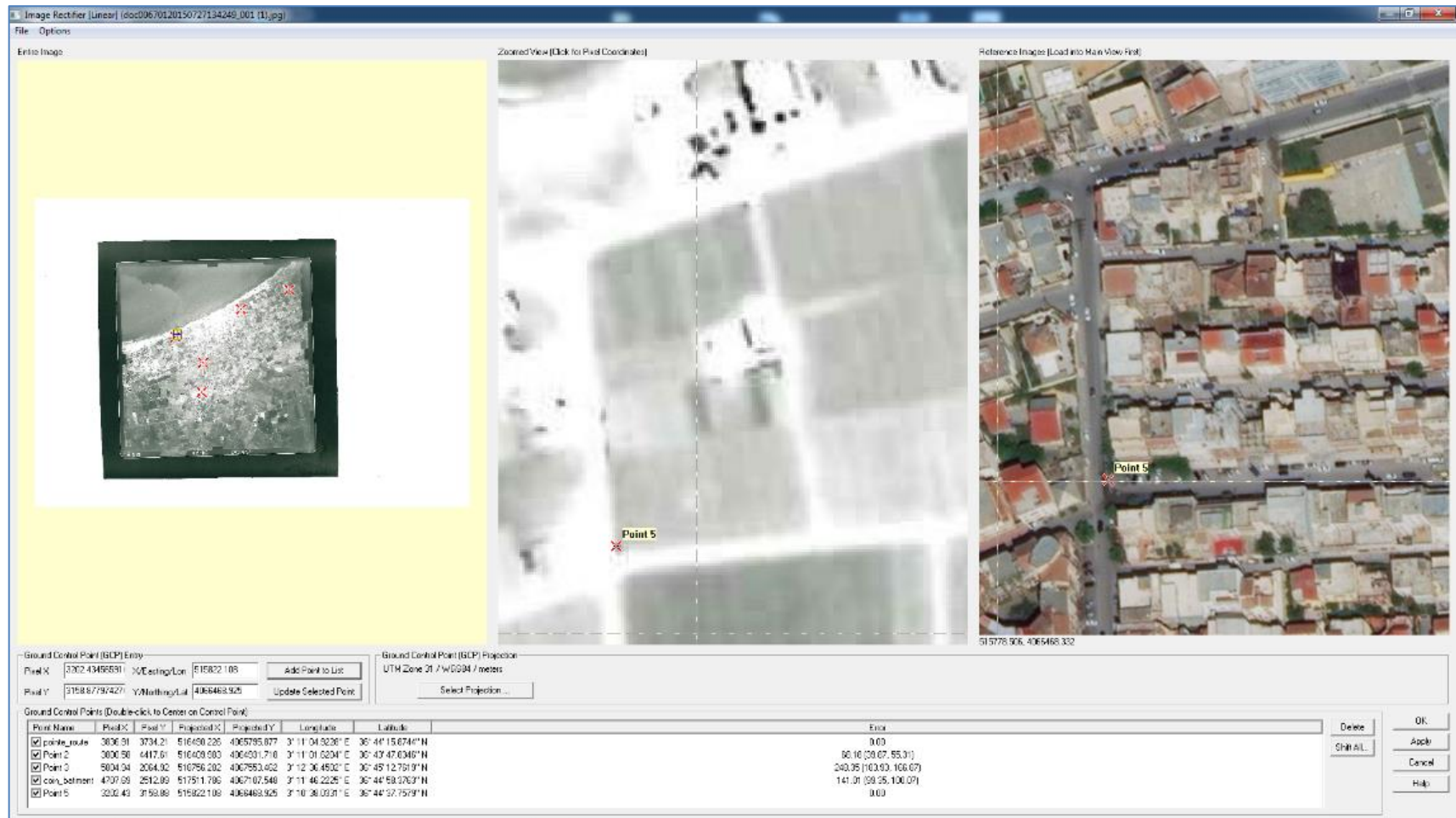
Vitesse vent m/s	Moyenne	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janvier	2.81	3.25	3.18	2.11	2.55	4.92	2.35	2.57	2.13	2.20
Fevrier	3.15	3.12	3.48	2.81	2.90	4.04	2.58	4.00	2.87	2.54
Mars	3.19	2.94	3.09	3.46	3.74	4.84	3.28	2.39	2.61	2.34
Avril	3.47	2.68	2.83	2.99	3.33	4.16	5.86	3.73	2.62	3.07
Mai	3.19	3.18	3.08	2.97	2.96	4.46	4.50	2.83	2.59	2.15
Juin	2.78	3.15	3.00	2.78	2.56	3.78	2.67	2.30	2.55	2.20
Juillet	2.64	2.87	3.42	3.07	3.11	2.77	2.36	1.48	2.36	2.31
Aout	2.87	3.32	2.92	3.05	2.56	3.47	2.78	2.68	2.50	2.53
Septembre	2.40	2.99	2.96	2.98	2.80	2.47	0.00	2.89	2.28	2.21
Octobre	2.21	2.13	2.42	2.33	3.21	2.15	2.02	2.21	2.11	1.34
Novembre	2.10	2.18	2.85	2.71	2.77	2.70	0.00	2.02	1.95	1.72
Decembre	2.17	2.75	2.51	2.14	2.99	1.83	2.50	1.51	1.55	1.77



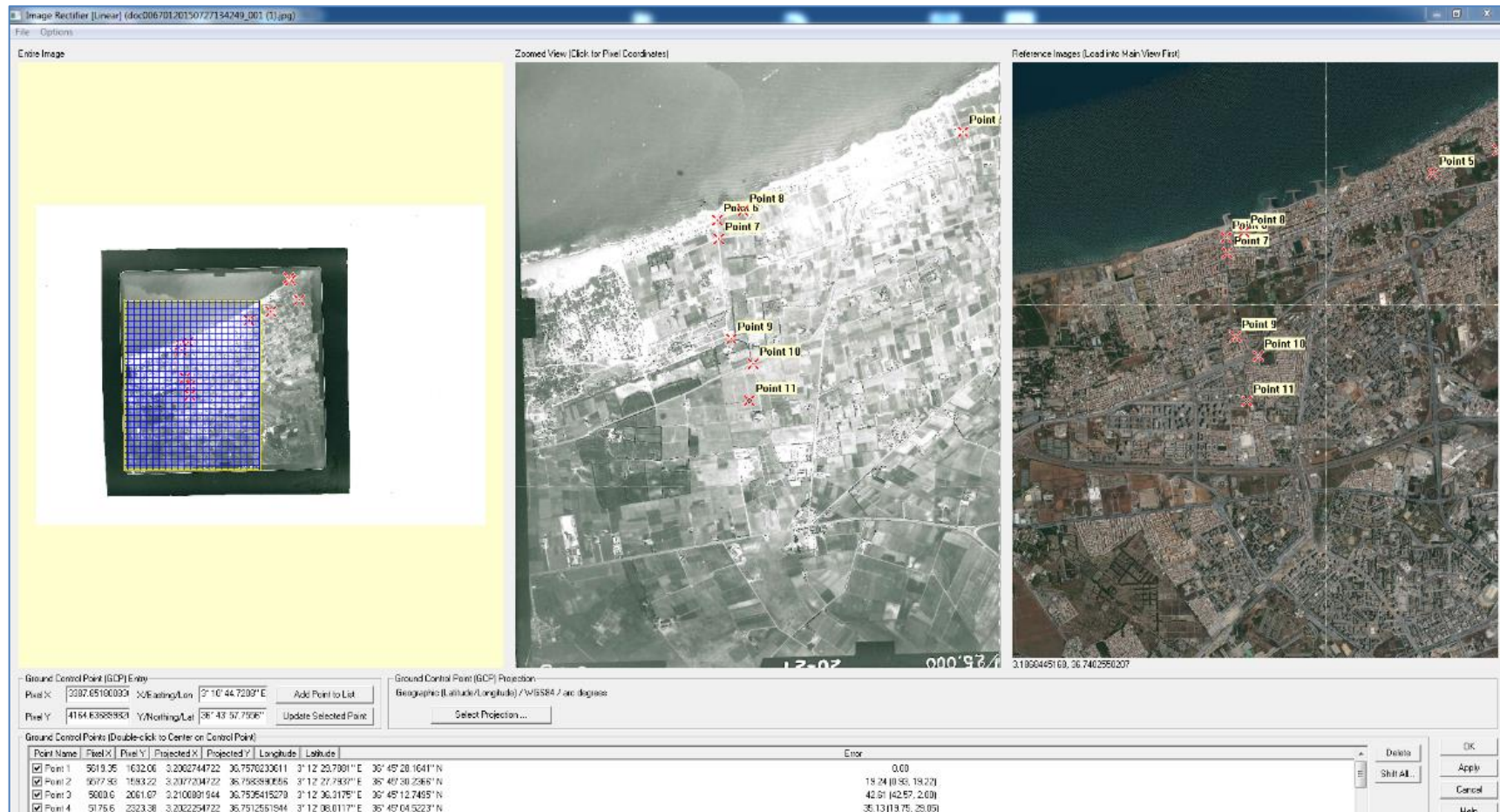
Mesh généré avec implantation de la première variante (Brise-lames) au site d'étude.



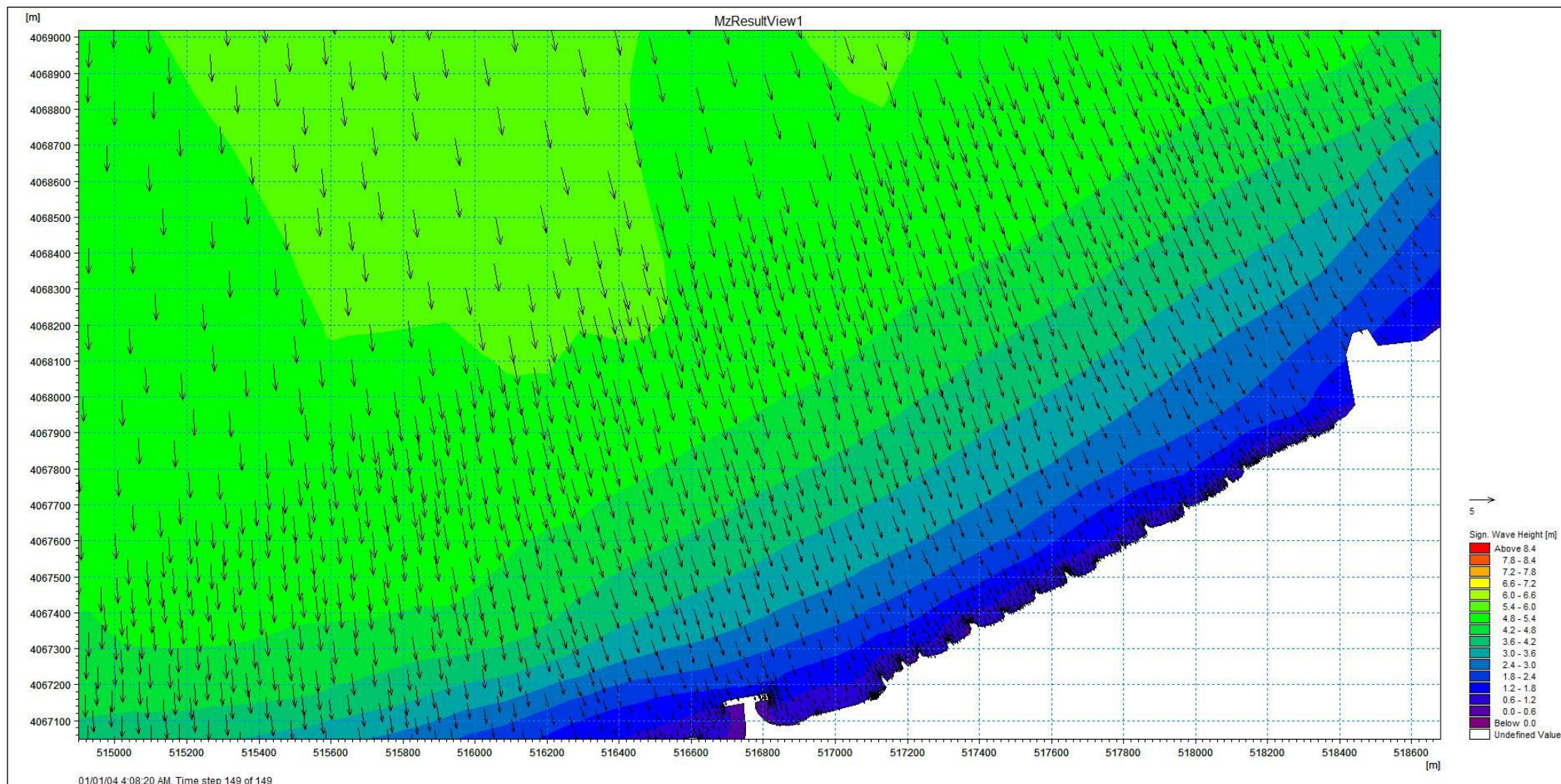
Mesh généré avec implantation de la première variante (épis en L) au site d'étude.



Fenêtre de géo-référencement sur Global Mapper.



Choix des points de repères pour le géo-référencement sur Global Mapper.



Modélisation de la réfraction de la houle Cinquantennale de secteur nord 360° .

La plage de la « **Verte Rive** » fait partie des nombreuses plages Algéroises touchées par un grave phénomène de recule. Victime de son propre succès, il est notable que le littoral algérois a connu, durant ces dernières années, une croissance urbanistique ainsi qu'une activité anthropique accentuée. Néanmoins les enjeux sont là, au côté d'un risque d'immersion marine des habitations souvent implantées trop près de la mer, se dresse une perspective d'expansion touristique le long de la baie d'Alger. Ce travail traitera des causes liées au phénomène d'érosion de cette plage, et proposera des solutions préservatrices de ce patrimoine, ainsi que des infrastructures qui s'y trouvent.

Mots clef : **Trait de côte, érosion, Verte Rive, Modélisation numérique, Mike 21.**

The beach of “**Verte Rive**” is one of the many beaches in Algiers affected by a serious phenomenon of decline. Victim of its own success, it is noteworthy that in recent years the Algerian coast has experienced urban growth as well as increased anthropic activity. Nevertheless, the stakes are there, alongside the risk of marine immersion of homes often located too close to the sea, stands a prospect of tourism expansion along the Bay of Algiers. This work will deal with causes related to the erosion phenomenon of this beach, and will propose solutions preserving this heritage, as well as the infrastructures that are there.

Key word: Coastline, erosion, Green Shore, Numerical modeling, Mike 21.

يعد "شاطئ الضفة الخضراء" أحد الشواطئ العديدة في الجزائر التي تأثرت بظاهرة تدهور خطيرة. ضحية لنجاحها، تجدر الإشارة إلى أن الساحل الجزائري شهد في السنوات الأخيرة نمواً حضرياً بالإضافة إلى زيادة النشاط البشري. ومع ذلك، فإن المخاطر موجودة، إلى جانب خطر الانغماس البحري للمنازل التي تقع في كثير من الأحيان بالقرب من البحر، تقف أمام احتمال التوسع السياحي على طول خليج الجزائر العاصمة. سيتعامل هذا العمل مع الأسباب المتعلقة بظاهرة التآكل في هذا الشاطئ، وسيقترح حلولاً للحفاظ على هذا التراث، وكذلك البنية التحتية الموجودة هناك

الكلمات الأساسية: الخط الساحلي، التآكل، الشور الأخضر، النمذجة العددية، مايك 21

