

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER  
OPTION : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**ETUDE DE FAISABILITE DE LA PROTECTION DES  
RIVAGES DU SITE D'AIN TAGOURAIT. W. DE TIPAZA**

Présenté par :

**AOUMEUR Karima**

**BENZIANE Djamel Eddine**

Soutenu le 26 / 10 /2021 devant le jury :

M <sup>r</sup> OTMANI.H	Président	ENSSMAL
M <sup>me</sup> ABDEDDAIM.H	Promotrice	ENSSMAL
M <sup>elle</sup> LOUANCHI.S	Co- Promotrice	LEM
M <sup>r</sup> MEZOUAR.K	Examineur	ENSSMAL
M <sup>r</sup> DAHMANI.A	Examineur	ENSSMAL

**Promotion : 2020-2021**

## **REMERCIEMENTS**

*" Le succès est l'Art d'aller d'un échec à un autre sans perdre son enthousiasme. "*

*(Winston. Churchill, 1874-1965)*

*Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons aussi à remercier les membres du jury :*

*Nous remercions **Mm ABDEDDAIM HAKIMA** d'avoir accepté D'encadrer et de diriger ce mémoire, et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.*

*Nous tenons à remercier **Mr OTMANI.H** qui nous fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance et pour ses aides et son soutien.*

*Nous tenons à remercier **Mr MEZOUAR.K** d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Mr DAHMANI.A** pour ses aides et son soutien, et d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous remercions notre Co-promotrice, **Melle LOUANCHI.S**, pour son aide, ses conseils, ses recommandations.*

*Enfin, c'est avec beaucoup de reconnaissance et d'affection que nous pensons à nos proches, à nos familles et à nos amies, sans les citer, elles se reconnaîtront. Nous remercions nos parents pour leur soutien au cours de ces longues années d'études et pour n'avoir jamais bridé notre passion.*

## **DEDICACES 01**

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ceux qui m'ont toujours poussé vers le chemin du savoir, au plus beau cadeau qu'offre dieu dans ma vie mes chères parents, et que DIEU guérisse mon père INSHALLAH.*

*A toute ma famille.*

*A mes chères copines : MALEK NIDHAL, KAYDI DJIHED, SALMI SOUNDES, BOUZIANE SOURAYA, ATBA MANSOURIA, AMIRA DJEMAI, BOULEM AHLEM, DELMI KHADIDJA. Pour leur soutien, compréhensive et leur encouragement.*

*A quelqu'un spécial qu'il n'est pas avec moi aujourd'hui.*

**KARIMA**

## **DEDICACES 02**

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui tout au long de mon parcours scolaire ont été présents à côté de moi en toutes circonstances, pour leur sacrifice, leur soutien inconditionnel moral et matériel. A mes frères et sœurs qui m'ont toujours guidé et prodigué des conseils précieux et m'ont accompagné tout au long de mon cursus.*

**DJAMEL EDDINE**

## *LISTE DES FIGURES*

Figure 1: Situation géographique de la ville de Tipaza.....	4
Figure 2: Situation géographique du site d'étude réalisée par le logiciel Arc Gis sur un fond d'image satellitaire. ....	5
Figure 3: Morphologie côtière de la baie de Bou Ismail (Grimes ,2004).....	7
Figure 4: Carte morpho-géologique du la Mitidja et ses environs (Domzig ,2006).....	9
Figure 5: Topographie de la zone d'étude Source :(MNT +données IFN) .....	10
Figure 6: Variation des températures (minimales, maximales) et précipitation entre 2014 et 2021 à Tipaza.....	11
Figure 7: Rose trimestrielle et annuelle de vent.....	12
Figure 8: Rose des vents annuelles de Ain Tagourait (Puerto del Estado) période 2014-2021 .....	13
Figure 9: Carte pluviométrique de la zone côtière de Tipaza (LEM ,2016).....	14
Figure 10 : carte du Réseau hydro graphique de la bai de Bou Ismail « Source du fond de carte : MNT +données de IFN » .....	14
Figure 11 : Carte sédimentaire de la baie de Bou Ismail (LEM).....	16
Figure 12: Rose trimestrielles et annuelle des houles .....	17
Figure 13: Rose des houles annuelles de Ain Tagourait (Puerto del Estado) période 2014-2021 .....	18
Figure 14: Principe de la mesure bathymétrique avec le système sondeur/GPS (Emilies,2007) .....	25
Figure 15: Carte des levés bathymétrique par MIKE 21 .....	25
Figure 16: Organigramme récapitulatif des étapes de modélisation numérique .....	28
Figure 17: La direction de la houle au site d'étude .....	30
Figure 18: Maillage du site d'étude à l'état initial .....	31
Figure 19: Interface du Coupled Model (FM).....	31
Figure 20: Image satellitaire du site d'étude en 2009 .....	34
Figure 21: Image satellitaire du site d'étude en 2014 .....	34
Figure 22: Image satellitaire du site d'étude en 2018 .....	34
Figure 23: Image satellitaire du site d'étude en 2020 .....	34
Figure 24: Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro.....	35
Figure 25: Trait de côte géoréférencé sur Arc Gis .....	36
Figure 26: Transects et trait de côte de 2009-2014-2018-2020.....	37
Figure 27: Table attributaire issue lors du traitement sous ArcMap .....	38
Figure 28: End point Rate (mètre/an) entre 2009- 2014 .....	41
Figure 29: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2009-2014 .....	41
Figure 30: Résultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2009 et 2014 .....	41
Figure 31: End point Rate (mètre /an) entre 2014-2018 .....	42
Figure 32: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2014-2018 .....	42
Figure 33: Résultat cartographie de l'état d'érosion sur DSAS entre 2014 et 2018 .....	42
Figure 34: End point Rate (mètre/ an) entre 2018-2020 .....	43
Figure 35: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2018-2020 .....	43
Figure 36: Résultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2018 et 2020 .....	43
Figure 37: End point Rate (mètre/an) entre 2009-2020 .....	44
Figure 38: Mouvement net du trait de côte (mette) entre 2009-2020.....	44
Figure 39: Resultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2009 et 2020 .....	44
Figure 40: Carte bathymétrique du site d'étude réalisé par MIKE 21 .....	45
Figure 41: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N360°, Tp=8s, Hs=2.67m.....	47
Figure 42: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N45°, Tp=8s, Hs=2,56m.....	48

Figure 43: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N315°, Tp =8s, Hs=2.64m.....	49
Figure 44:La modélisation numérique de HD de direction N360°, Tp=8s, Hs=2.67m.....	50
Figure 45: La modélisation numérique de HD de direction N45°, Tp=8s, Hs=2.56m.....	51
Figure 46: La modélisation numérique de HD de direction N315°, Tp=8s, Hs=2.64m.....	52
Figure 47: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N360°, Tp=8s, Hs=2.67m.....	53
Figure 48: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N45°, Tp=8s, Hs=2.56m.....	54
Figure 49: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N315°, Tp=8s, Hs=2.64m.....	55
Figure 50: profil en travers du brise-lame.....	64
Figure 51:Resultat de réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	65
Figure 52: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	66
Figure 53: Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	67
Figure 54: Résultat de la courantologie Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	68
Figure 55: Résultat de la courantologie Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	69
Figure 56: Résultat de la courantologie Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	70
Figure 57: Résultat du transport sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	71
Figure 58: Résultat du transport sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	72
Figure 59: Résultat du transport sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.....	73
Figure 60 : Résultat de la réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	76
Figure 61: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	77
Figure 62: Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	77
Figure 63: Résultat de courantologie Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi ...	78
Figure 64: Résultat de courantologie Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi .....	78
Figure 65: Résultat de courantologie Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi ...	79
Figure 66: Résultat du transit sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	79
Figure 67: Résultat du transit sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	80
Figure 68: Résultat du transit sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi.....	80
Figure 69: Résultat de la réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	84

Figure 70: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	85
Figure 71: Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	86
Figure 72: Résultat de courantologie Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	87
Figure 73: Résultat de courantologie Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	88
Figure 74: Résultat de courantologie Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	89
Figure 75: Résultat du transit sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	90
Figure 76: Résultat du transit sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	91
Figure 77: Résultat du transit sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage.....	92

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: : Variation des températures (minimales, moyennes, maximales) à Tipaza entre 2014 et 2021 ( <a href="https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/tipaza_algerie">https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/tipaza_algerie</a> ) .....	11
Tableau 3:Frequences mensuelles de la houle au large par direction .....	17
Tableau 4:Hauteurs des houles extrêmes par direction de provenance au large (LEM,2016) .....	19
Tableau 5: intensité de la houle annuelle au large pour les 3 secteurs de la houle retenues .....	29
Tableau 6:Caractéristique de la houle cinquantennale dans le large de la zone d'étude (LEM, 2016). .....	29
Tableau 7:Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 360° .....	56
Tableau 8:Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 45° .....	56
Tableau 9:Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 315° .....	56
Tableau 11:Effacité des épis en fonction de leur longueur .....	75
Tableau 10:le diamètre des grains .....	83
Tableau 12: Tableau représentatifs des différents aspects de chaque variante proposée .....	94
Tableau 13:Comparaison des variantes.....	95
Tableau 14: Devis quantitatif et estimatif de brise-lame émergé .....	95
Tableau 15: Devis quantitatif et estimatif du rechargement de la plage .....	96
Tableau 16: Devis quantitatif et estimatif du l'épi .....	96

## *LISTE DES PHOTOS*

Photo 1 : Vue d'ensemble du site d'étude.....	06
Photo 2 : Accès au site (piste).....	06
Photo 3 : zone de la plage.....	06
Photo 4 : Mur de clôture et dalle existante à l'arrière du CRF.....	06

## Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre I : Presentation du contexte général du site d'étude .....	4
I.1. Cadre géographique :.....	4
I.2. Cadre géomorphologique : .....	7
I.3. Cadre géologique :.....	8
I.4. Cadre topographique : .....	9
I.5. Cadre sismique : .....	10
I.6. Cadre météorologique : .....	10
I.6.1. Climat :.....	10
I.6.2. Température et précipitation : .....	11
I.6.3. Vent :.....	12
I.6.4. Pluviométrie : .....	13
I.7. Cadre hydrographique : .....	14
I.7.1. Réseaux hydrographiques au niveau de la baie de Bou Ismail : .....	14
I.8. Cadre sédimentologique : .....	15
I.8.1. Nature et répartition des sédiments au niveau de la baie de Bou-Ismaïl : .....	15
I.9. Cadre Océanographique : .....	16
I.9.1. Houle :.....	16
I.9.2. Courants : .....	19
I.10. Facteurs influant sur le site d'étude : .....	20
I.10.1. Érosion : .....	20
I.10.2. Impact anthropique :.....	20
I.10.3. Changement climatique :.....	21
Chapitre II : Méterials et Méthodes .....	23
Introduction : .....	23
I.1. Étude bathymétrique :.....	23
II.1.1. Système utilisé et coordonnées : .....	23
II.1.2. Mode de levé bathymétrique : .....	24
II.1.3. Traitement des données bathymétrique :.....	25

II.1.3.1	Aperçu du logiciel MIKE 21 : .....	26
II.1.4	Les données de base : .....	28
II.2.	Configuration du fichier de simulation <Coupled Model FM> : .....	31
II.3.	Évolution diagnostique de trait de côte : .....	32
II.3.1	Les outils de l'étude : .....	32
II.3.2	Les données disponibles : .....	34
III.1.	Méthodologie de travail : .....	35
Chapitre III: Résultats et Discussion .....		40
Introduction : .....		40
III.1.	Résultats de l'étude de l'évolution diachronique du trait de côte : .....	40
III.1.1	Résultats cartographiques : .....	40
a)	L'intervalle de l'année 2009 à 2014 : .....	40
b)	L'intervalle de l'année 2014 à 2018 : .....	42
c)	L'intervalle de l'année 2018 à 2020 : .....	43
d)	L'intervalle de l'année 2009 à 2020 : .....	44
III.2	Résultats de l'étude bathymétrique : .....	45
III.3	Résultats de l'étude de la réfraction de la houle à l'état initial : .....	46
III.3.2	Interprétation des résultats de simulation : .....	56
Conclusion : .....		58
Chapitre IV : Modélisation des solutions d'aménagement.....		60
Introduction : .....		60
IV.1.	Variante 01 : batterie de brise-lame : .....	60
IV.1.1	Objectifs et fonctionnement : .....	60
IV.1.2	Dimensionnement : .....	61
IV.1.3	Conception : .....	62
IV.1.4	Application au site d'étude : .....	63
IV.1.5	Vérification sur le Modèle Numérique : .....	64
IV.2.	Variante 02 : Épi et brise lame : .....	74
IV.2.1	Brise lame : .....	74
IV.2.2	Batterie d'épi : .....	74
IV.2.2.1	Objectifs et fonctionnement : .....	74
IV.2.2.2	Dimensionnement de l'épi en L : .....	75

IV.2.2.3	Application au site d'étude :.....	76
IV.2.2.4	Vérification sur le Modèle Numérique :.....	76
IV.3	Variante 03 : Brise lame et Rechargement de la plage :.....	81
IV.3.1	Brise lame :.....	81
IV.3.2	Les plages artificielles :.....	81
IV.3.2.1	Dimensionnement des plages artificielles :.....	82
IV.3.2.2	Rechargement de la plage : .....	82
IV.3.3	Vérification sur le Modèle Numérique :.....	83
IV.4	Choix de la solution la plus faisable :.....	93
	Conclusion :.....	97
	Conclusion générale : .....	99
	Références bibliographiques : .....	101
	ANNEXES .....	104

## *Liste des Abréviations*

RTR : dynamique temps réel (résolution d'ambiguïté en mode OTF de GPS)

UHF : Ultra High Frequency

3D : Trois dimensions

m : mètre

S : seconde

SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observations

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

LEM : laboratoire d'Etude Maritime

DHI : Danish Hydraulics Institute

Tp : période u routeur de la houle

Km : kilomètre

ADAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

mm : millimètre

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

µm : micromètre

D<sub>50</sub> : diamètre moyenne des grains

EPR: End point rate

NSM: Net Shore Movement.

T : période.

H : hauteur.

K<sub>r</sub> : coefficient de réfraction de la houle.

K<sub>d</sub> : coefficient de stabilité.

I<sub>r</sub> : Paramètre d'Iribarne.

TVC : Tous Venant Carrière.

TTC : Toutes taxes compris.

TVA : Taxes sur la valeur ajoutée.

T : tonne.



***INTRODUCTION  
GENERALE***

## Introduction générale

Le littoral est un lieu de convergence et de compétition entre des nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme. (Mezouar, 2009)

L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action des vagues, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard et al, 2005). Ce phénomène est plus accentué au niveau des littoraux sableux.

Le site de AIN TAGOURAIT, connaît des réels problèmes à savoir d'érosion qui a pour cause notamment les aléas naturels (forçage des houles, changement climatique) et implantation de l'homme sur ce littoral aussi accumulation et recul de trait de côte.

Pour cela une étude descriptive du milieu dynamique est nécessaire afin de pouvoir évaluer les paramètres physiques et hydrodynamiques du site Ain Tagourait et identifier les facteurs érosifs, leur intensité et fréquence d'occurrence.

Cet objectif, fait ressortir une question majeure : **Quel type de protection faut-il préconiser dans le site d'étude ? Aussi une validation de l'efficacité des ouvrages proposés est nécessaire afin de bien cerner et solutionner les problèmes du site à savoir les dépôts, les érosions et le recul du trait de côte.**

Pour répondre à cette interrogation, une collecte de données essentielle a été élaborée afin de rassembler le maximum d'informations descriptives de site d'étude (Ain Tagourait), afin de pouvoir vérifier des solutions adéquates au problème posé.

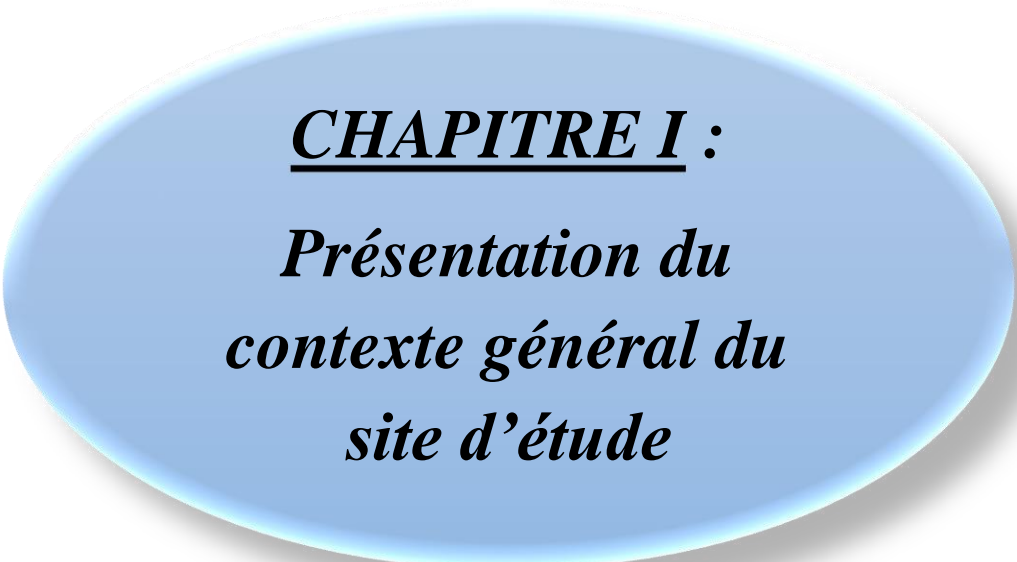
Pour cela notre travail a été structuré en quatre chapitres, comme suit :

Le premier chapitre est réservé à la présentation des zones choisies pour la réalisation de ce mémoire. Chaque zone d'étude sera ensuite replacée dans son contexte géographique, géologique, géomorphologique, hydrologique, climatologique et enfin hydrodynamique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la bathymétrie et l'hydrodynamique. Il expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la propagation de la houle de nos zones d'étude.

Le troisième chapitre vise à expliquer les résultats obtenus lors de chapitre précédent.

Le quatrième chapitre concernera la proposition des solutions de protection, et de vérifier la stabilité de la solution proposée et étudier leur impact.



**CHAPITRE I :**  
***Présentation du  
contexte général du  
site d'étude***

## Chapitre I : Presentation du contexte général du site d'étude

### I.1. Cadre géographique :

Le site de Ain Tagourait, appartient à la Commune de Ain Tagourait, Daira de Bou Ismail, wilaya de Tipaza.

Sur le plan géographique (Figure 1), la Wilaya de Tipaza est limitée :

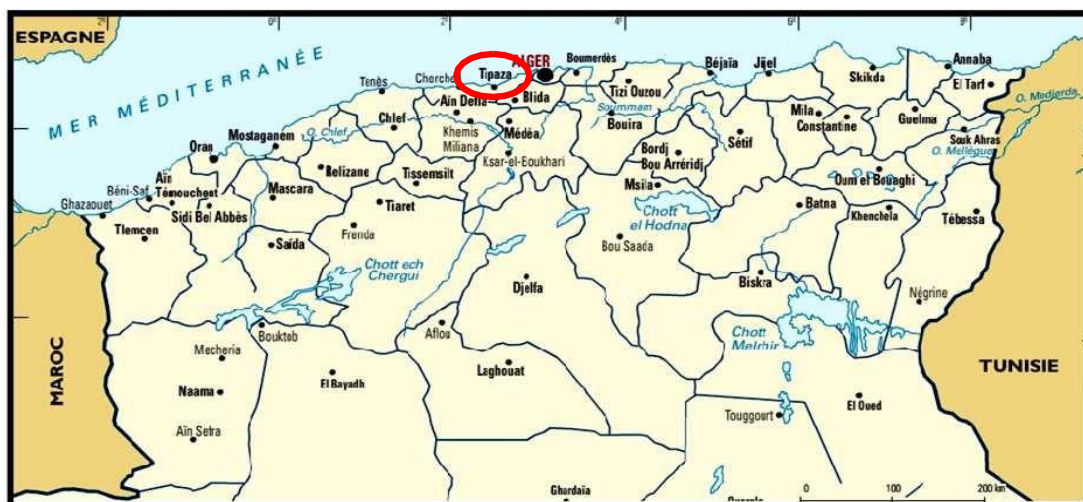
- La mer Méditerranée, au Nord.
- La Wilaya de Chlef, à l'Ouest.
- La Wilaya d'Alger, à l'Est.
- Les Wilayas d'Aïn Defla et Blida au Sud.

Ce site fait partie de la baie de Bou-Ismaïl, l'ouverture de cette baie est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord-Est. La baie est limitée par le rivage qui dessine un cercle à grand rayon de courbure interrompu à l'Est par la presqu'île de Sidi Fredj. (**Dagorne, 1970 in Ahfir, 2016**)

Le rivage de Ain Tagourait se situe à l'Ouest du port de Bouharoun à environ 4 Km et à l'Est du port de Tipasa à environ 12 Km. L'agglomération de Ain Tagourait occupe une bande littorale de 3 km de long pour moins de 800 m de large.

Le site d'étude se situe à environ 7 km à l'Ouest du port de Bouharoun. Il correspond à la frange littorale en forme de crique limitée au Nord par la mer méditerranée, au Sud par la route nationale 11, à l'Est par la piste qui mène au site d'étude et à l'Ouest par le Centre (CRF<sup>1</sup> - DGSN<sup>2</sup>). (Voir figure 2)

Les coordonnées géographiques du site étant : Latitude : **36° 36' 8''** Nord et Longitude : **02° 37' 6''** Est.



**Figure 1:** Situation géographique de la ville de Tipaza

<sup>1</sup> CRF : Centre de Repos Familial

<sup>2</sup> DGSN : Direction Générale de Sureté Nationale

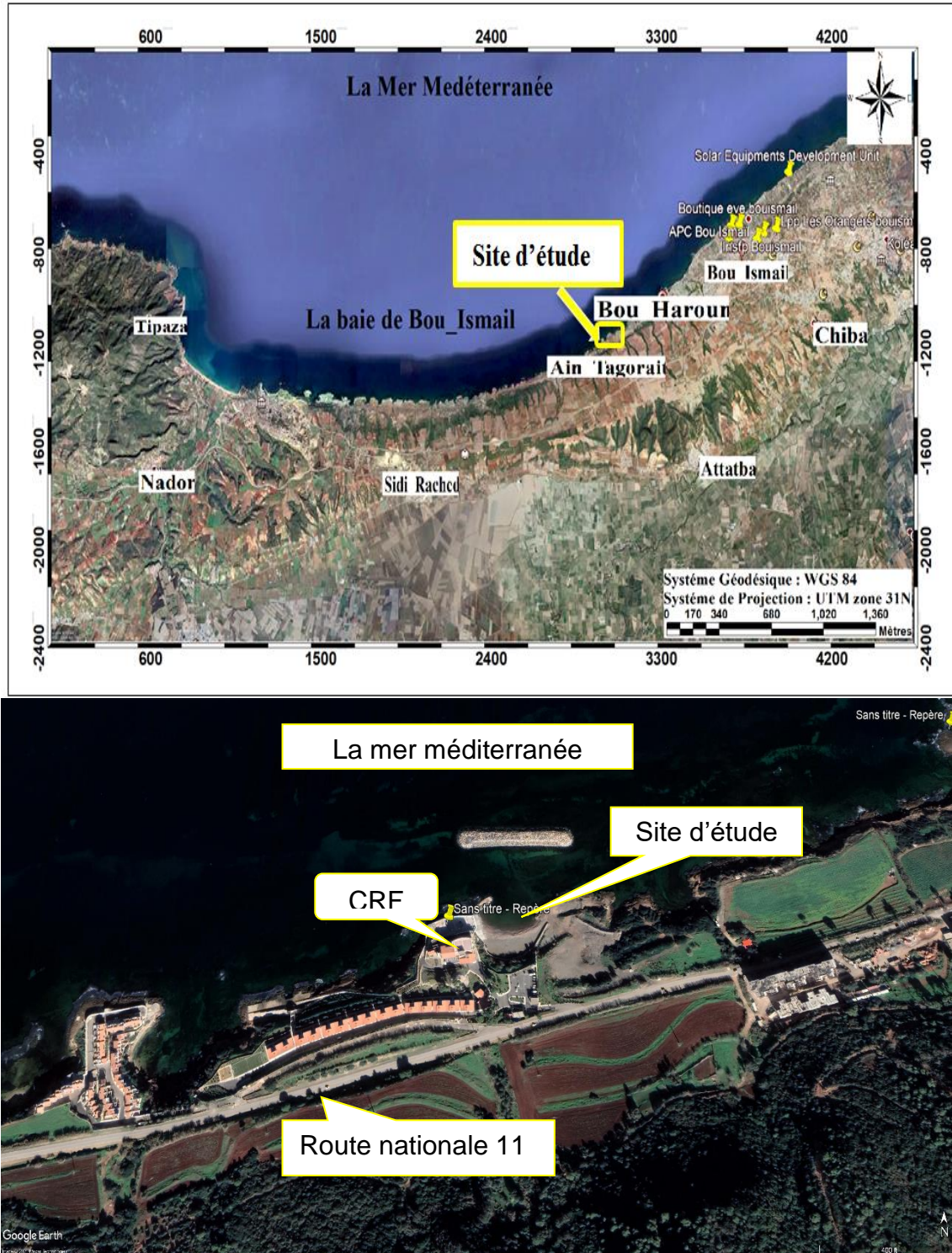


Figure 2 : Situation géographique du site d'étude réalisée par le logiciel Arc Gis sur un fond d' image satellitaire.

Les photos (prises en Mai 2016) ci-dessous, illustrent l'état du site.



**Photo 1 :** Vue d'ensemble du site d'étude



**Photo 2 :** Accès au site (piste)



**Photo 3 :** Mur de clôture et dalle existante à l'arrière du CRF



**Photo 4 :** zone de la plage

## I.2. Cadre géomorphologique :

De point de vue régional, la baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée de côtes rocheuses, falaises, plages et dunes. (Grimes, 2004)

- **Les falaises :**

La falaise la plus importante dans la baie de Bou Ismaïl est celle du Mont Chenoua qui est située à l'Ouest de la commune du chef-lieu de Tipaza.

- **Les côtes rocheuses :**

Il s'agit de formes rocheuses quelconques localisées entre Tipaza (Les différentes Anses) et Bou Haroun (Rocher Plat), qui constitue notre zone d'étude.

- **Les plages :**

La baie de Bou-Ismaïl comprend 16 plages dont la plus développée est celle du Colonel Abbas (Située dans la commune de Douaouda) qui s'étale sur une longueur de 3000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyen et de galets.

- **Les dunes :**

Ce sont des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation (voir figure 2).

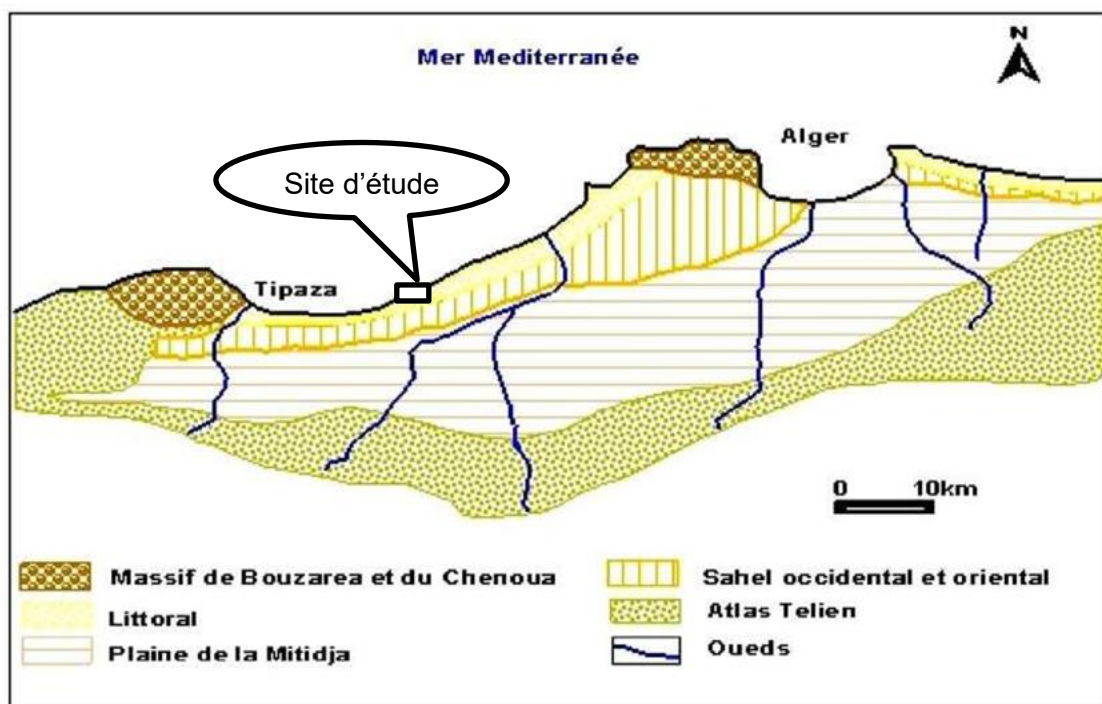


Figure 3: Morphologie côtière de la baie de Bou Ismaïl (Grimes, 2004)

### I.3. Cadre géologique :

#### a) Le massif d'Alger :

Il est essentiellement composé de terrains métamorphiques correspondant à une série gneissique à micas, du marbre (Cipolin) des schistes, des micaschistes et des pegmatites. Ces terrains composent les différentes unités tectoniques reconnues dans le massif d'Alger.

#### b) Le massif de Chenoua :

La série stratigraphique du Chenoua comprend :

**Le Paléozoïque** : Il est essentiellement composé de Dévonien correspondant à des grès fins alternés d'argiles rouges que surmonte du Carbonifère.

**Le Mésozoïque** : Il est constitué de formations rapportées au Trias, au jurassique et Crétacé. Le Trias est représenté par une série argilo - gréseux rouge comportant plusieurs niveaux métriques de conglomérats. La série du jurassique correspond à des calcaires dolomitiques massifs alternés de marnes calcaires et des marno - calcaires. Ces calcaires et grès du Trias constituent l'ossature de Djebel Chenoua. Le Crétacé dans le Chenoua est argilo- gréseux. Il représente les dépôts dénommés flysch qui correspond à une succession de grès et d'argiles.

**Le Trias** : La série du Trias du Djebel Chenoua comprend de l'oligocène composé de conglomérat et argile rouge et du Miocène argilo-gréseux constitué à la base par des grès calcaires surmontés par des conglomérats, grès et pélites rouges auxquelles succède une série volcano- sédimentaire qui passe au sommet à des marno-calcaires.

#### c) Le Sahel :

Les séries affleurant dans le sahel sont rapportées à du Miocène, du Pliocène, du Villafranchien et du Quaternaire.

**Le Miocène** : Dans la cluse d'oued Mazafran, le Miocène est composé de bas en haut, des marnes gréseuses du Burdigalien surmontées par un banc de grès repère marquant le passage au Miocène supérieur, puis des marnes légèrement gypseuses et enfin des marnes intercalées de bancs minces ou de lentilles de grès.

**Le Pliocène** : Il est représenté dans le secteur de la Mitidja par le Plaisancien et l'Astien. il repose en discordance sur les formations antérieures notamment celles du Miocène.

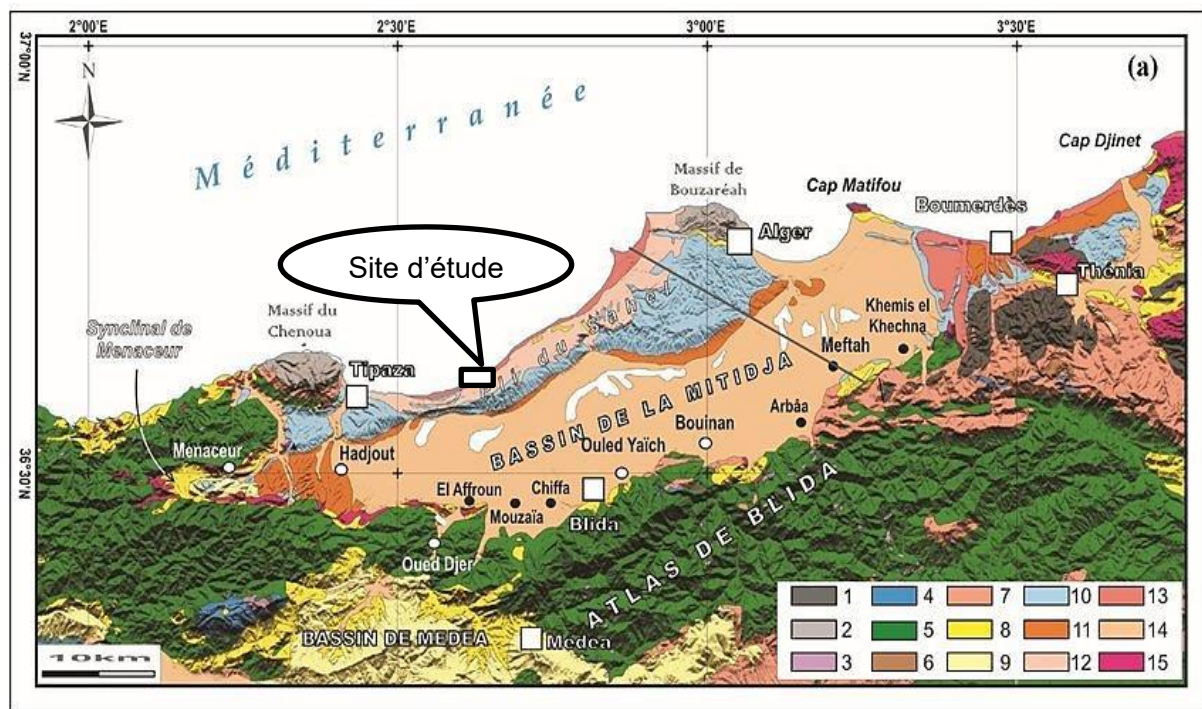
**Le Plaisancien** : Il est représenté par une série uniforme de marnes argileuses de couleurs grise et bleue devenant jaune ocre lorsque la roche est altérée, pouvant inclure localement des bancs de grès faiblement glauconieux.

**L'Astien** : il affleure essentiellement dans le massif d'Alger et le long du flanc sud du pli du sahel jusqu'au Chenoua. Il correspond à une sédimentation en eau peu profonde (plate-forme) essentiellement gréseuse. La série Astienne débute par un niveau repère à glauconie de couleur vert sombre dont l'épaisseur est variable. Cette série se manifeste sous quatre principaux facies :

- un faciès marno-sableux, à fossiles abondants quand le terme sableux domine. - un faciès calcaréo-gréseux sous forme de dalles massives à grands bivalves (*Pecten*, *Ostrea*, *cardium*, *Venus*,) mais rares gastéropodes.

- un faciès molassique récifal à sub-récifal localisé autour d'Alger et Chenoua, à bivalves abondants, oursins et lithothamniées. - un faciès gréseux et sableux, à sables et galets à éléments de l'Atlas.

**Le Villafranchien** : Ce niveau repose en discordance sur les niveaux gréseux de l'Astien. Il est formé par une succession de niveaux décimétriques de conglomérats et sables non consolidés.



1 : Terrains métamorphiques ; 2 : Socle primaire ; 3 : Trias ; 4 : Jurassique ; 5 : Crétacé ; 6 : Eocène ; 7 : Oligocène ; 8 : Miocène anté-nappes ; 10 : Pliocène ; 11 : Villafranchien ; 12 : Calabrien ; 13 : Quaternaire marin ; 14 : Quaternaire continental ; 15 : Magmatisme indifférencié.

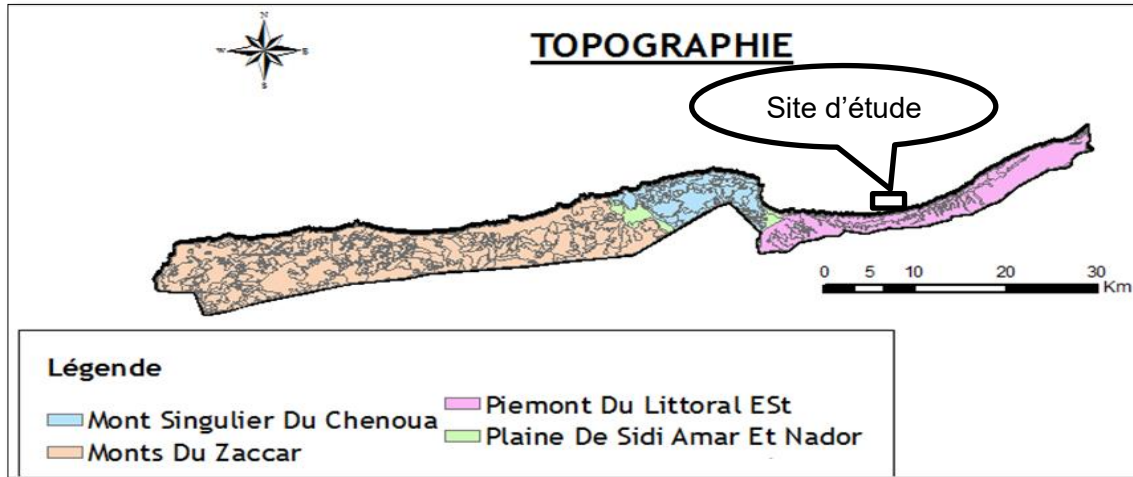
**Figure 4:** Carte morpho-géologique de la Mitidja et ses environs (Domzig, 2006)

#### I.4 Cadre topographique :

Le relief de la zone côtière de la wilaya de Tipasa est caractérisé par :

- Les monts du Dahra et du Zaccar qui se situent au Nord-Ouest de la wilaya, où les altitudes varient entre (0-800) m, ils représentent la continuité de la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien.
- Le mont du Chenoua Au Nord Est, la Mitidja s'étendant essentiellement sur la wilaya de Blida se trouve limitée au niveau de la wilaya de Tipasa par le bourrelet constitué par le Sahel (altitude moyenne 200 m).

- Au Nord du sahel un cordon littoral présente un rétrécissement et une élévation graduelle d'Est en Ouest jusqu'à disparition par endroits à Tipasa et dans la daïra de Cherchell et Sidi Amar ou le relief très accidenté, autour du mont du Chenoua présente des escarpements importants en bordure de la mer. (Voir figure 5)



**Figure 5:** Topographie de la zone d'étude Source :(MNT +données IFN)

### I.5. Cadre sismique :

Ain Tagourait est sujette aux séismes venant d'Ouest (Tipasa-Nador), du Sud-ouest (Oued Djer), du Sud (Flexure de la Mitidja- Sahel et flexure Mitidja -Atlas Tellien), de l'Est venant de AinBenian, d'Alger, de Thénia ou de Zemmouri. Il est important de connaître l'historique de la sismicité de la région, car il reflète l'aptitude de la liquéfaction du sol suite au déroulement d'un séisme, phénomène qu'il faut tenir en compte lors de n'importe quel aménagement.

### I.6. Cadre météorologique :

#### I.6.1. Climat :

La wilaya de Tipasa se situe dans deux étages bioclimatiques :

- L'étage Sub-Humide doux dans la partie Sud ;
- L'étage Sub-Humide chaud caractérisé dans la partie Nord, où se trouve notre zone d'étude,

-Concernent l'humidité relative relevée à la station de Staoueli, le mois le plus humide est le mois de janvier avec 72,8%. Alors que le mois le moins humide coïncide avec le mois de juin avec 60,2%.

-Pour l'ensoleillement, On remarque le maximum dans le mois de Juillet (448 heures) et le minimum en Décembre (303 heures).

### I.6.2. Température et précipitation :

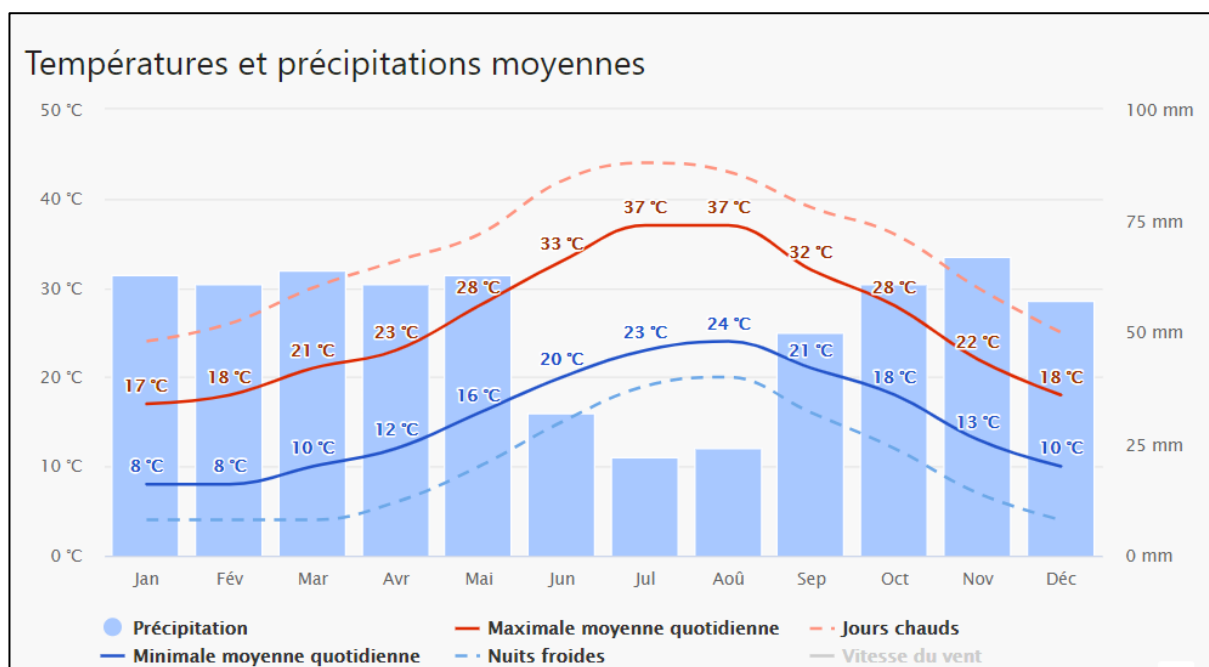
La température est un facteur constitutif d'un climat qui influe considérablement sur l'environnement en général, c'est un élément essentiel pour caractériser le climat régional selon plusieurs variables et avec une évolution spatio-temporelle.

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. On distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à Octobre où les températures maximales varient entre 28°C et 37°C, et se rafraichissent en Novembre et une autre saison qui débute en Décembre et s'achève en mars où les températures maximales varient entre 17°C et 21°C. (Voir le tableau ci-dessous et figure 6)

**Tableau 1 :** Variation des températures (minimales, moyennes, maximales) à Tipaza entre 2014 et 2021

([https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/tipaza\\_algerie](https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/tipaza_algerie))

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmax(°C)	17	18	21	23	28	33	37	37	32	28	22	18
Tmin(°C)	8	8	10	12	16	20	23	24	21	18	13	10
Tmoy(°C)	12.5	13	15.5	17	22	26.5	30	30.5	26.5	23	17.5	14



**Figure 6:** Variation des températures (minimales, maximales) et précipitation entre 2014 et 2021 à Tipaza.

Les précipitations varient en fonction de l'altitude et de l'orientation des chaînes de montagnes, elles sont déterminées par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents.

Les précipitations de la région de Tipaza varient de 65 mm entre le plus sec et le plus humide des mois. (Voir figure 6)

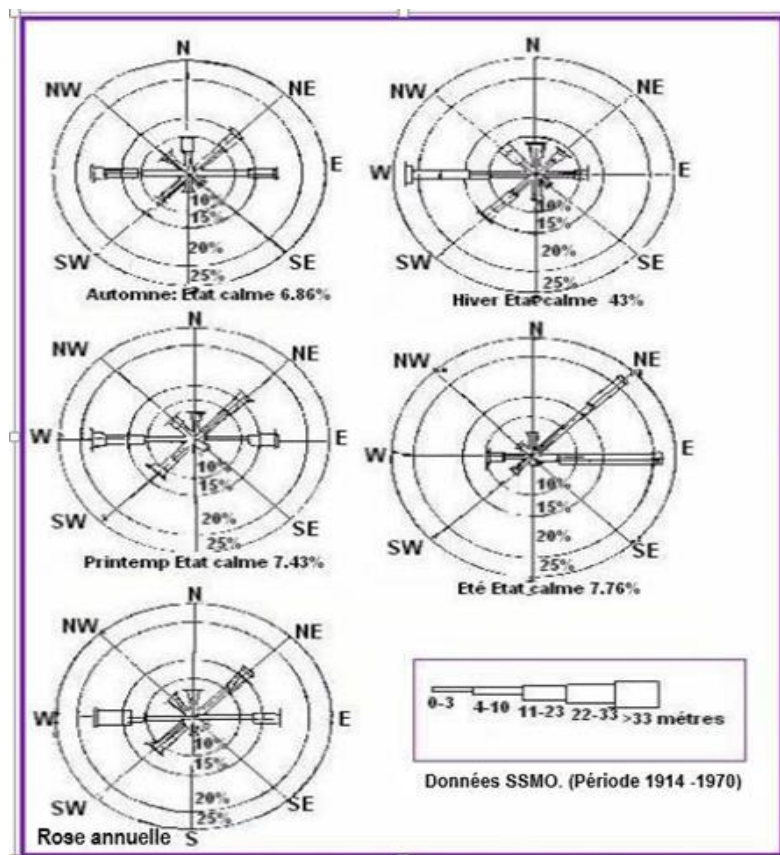
### I.6.3. Vent :

Le vent joue un rôle essentiel dans les transferts sédimentaires directement sur la partie aérienne et par les différents agents hydrodynamiques générés par ce dernier sur la partie immergée.

#### - Observations des vents au large (données du SSMO<sup>3</sup> -1914 à 1970) :

Les résultats des observations du vent effectuées au large des côtes algériennes, sont rapportés sous forme de roses de vents pour chaque trimestre et pour toute l'année. (Voir Figure 7)

Ces roses montrent, que pendant l'hiver (Octobre à Mars) les vents des secteurs Ouest et Sud-Ouest sont dominants et qu'une grande partie de ces vents présentent une vitesse supérieure à 16 nœuds. Les vents d'Est et Nord Est dominant au cours de l'été, mais la majorité de ceux-ci ont des vitesses inférieures à 16 nœuds. La zone d'étude est soumise aux vents provenant du secteur Nord - Est et Est qui se distinguent beaucoup plus par leur fréquence que par leur vitesse. Par contre, les vents du secteur Nord- Ouest et Nord- Nord -Ouest sont appréciables par leur force mais non par leur fréquence.

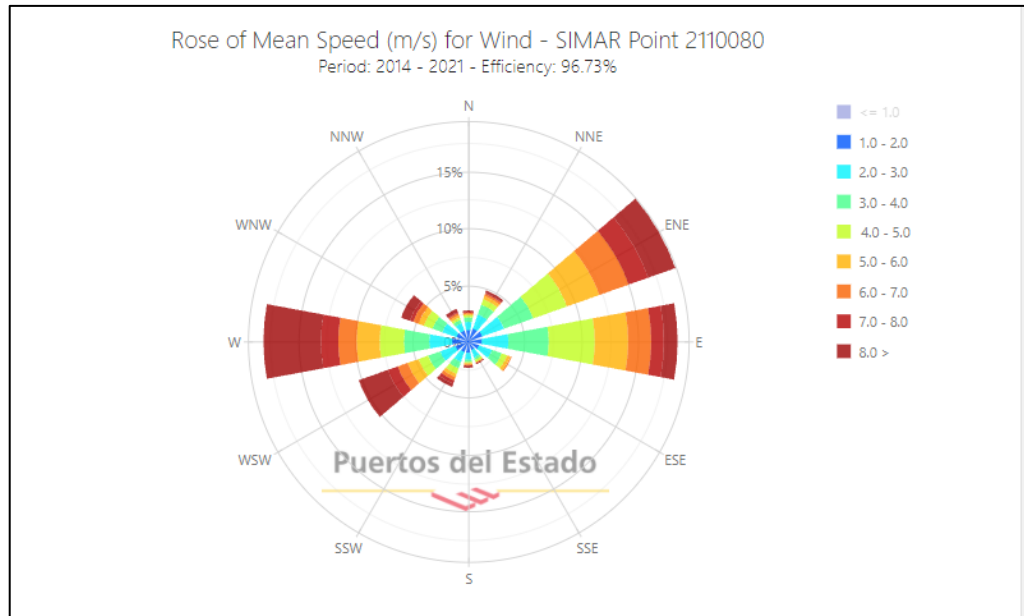


**Figure 7:** Rose trimestrielle et annuelle de vent

<sup>3</sup> SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observation

Grace au site de Puerto Del estado « <http://www.puertos.es/en-us> » en modelé numérique et à partir d'un point de mesure dans le large de AIN TAGOURAIT (dite Smart Point) avec les coordonnées de Longitude 2.17°E et Latitude : 36.67°N.

On a pu reconstituer les données de vent de 2014 à 2021 avec les résultats suivants :



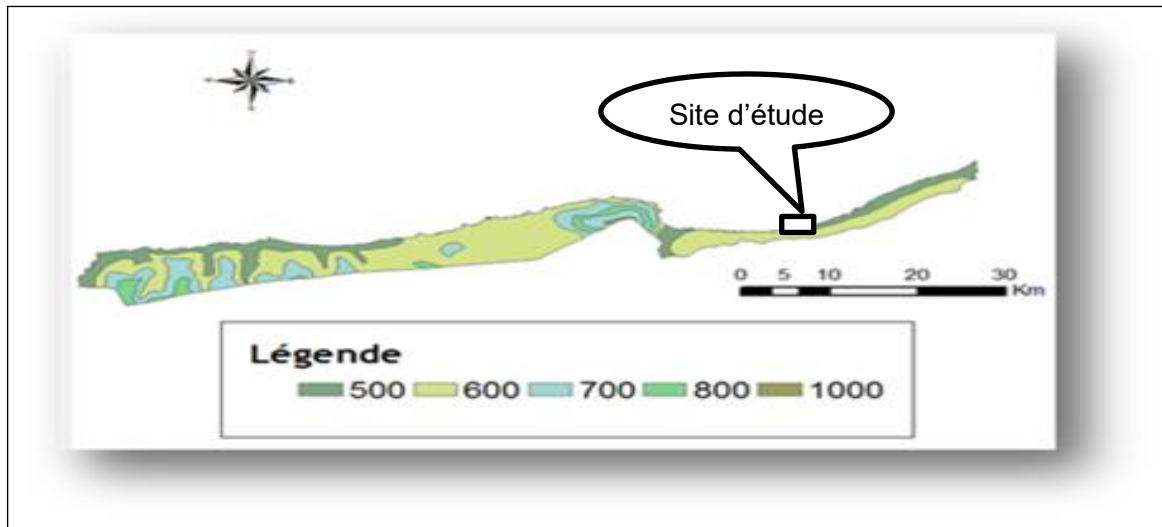
**Figure 8:** Rose des vents annuelles de Ain Tagourait (Puerto del Estado) période 2014-2021

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

#### **I.6.4. Pluviométrie :**

La pluviométrie spatiale des pluies sur la région littorale est intimement liée à l'orographie. En effet, les précipitations varient en fonction de l'altitude et de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition.

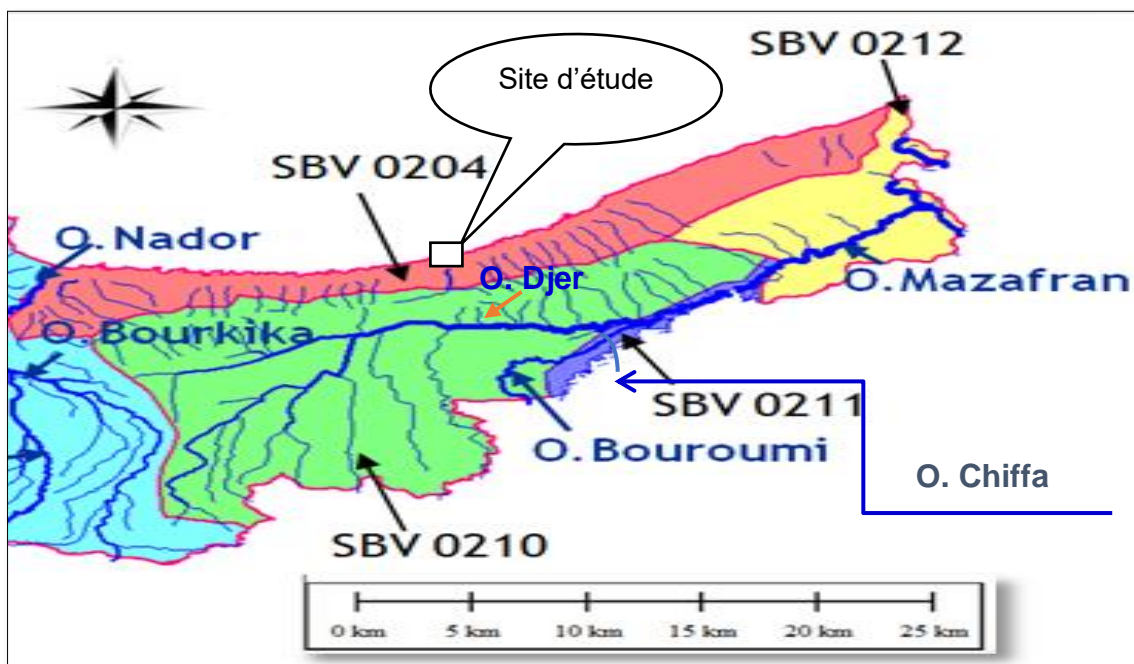
La pluviométrie de la wilaya de Tipasa varie entre 500 mm au niveau du cordon littoral des communes de Damous – Larhat – Gouraya – Messelmoune - Hadjret Ennous -Tipasa-Ain tagourait-Bouharoune – Khemisti -Bousmail - Fouka - Douaouda et 1 000 mm au sommet des monts de Chenoua. (Voir figure 9)



**Figure 9:** Carte pluviométrique de la zone côtière de Tipaza (LEM<sup>4</sup>, 2016)

## 1.7. Cadre hydrographique :

### 1.7.1. Réseaux hydrographiques au niveau de la baie de Bou Ismail :



**Figure 10 :** carte du Réseau hydrographique de la baie de Bou Ismail « Source du fond de carte : MNT<sup>5</sup> + données de IFN<sup>6</sup> »

<sup>4</sup> LEM : Laboratoire des études maritimes

<sup>5</sup> MNT : Modèle Numérique de Terrain

<sup>6</sup> IFN : Inventaire Forestier National

Les sous bassins qui couvrent la partie Est de la wilaya de Tipasa sont drainés par un réseau hydrographique formé de deux (02) oueds et leurs affluents dont la plupart d'entre eux sont de type exoréique à écoulement irrégulier avec un débit moyen et saisonnier, la majorité des talwegs déversent dans la mer méditerranée (voir figure 9), les deux cours d'eau principaux de cette partie de la wilaya sont :

- **Oued Mazafran** : Ce talweg tire son nom de la couleur de ses eaux : El Ma Essafra (eau jaune), il correspond au cours d'eau le plus important de la région, son ordre de classement  $i=5$  selon la classification proposée par STRAHLER. Il en résulte de la confluence de trois oueds importants: oued Djer, oued Bourroumi et oued Chiffa. C'est un cours d'eau permanent et chaque année une grande masse de matériaux est arrachée à l'Atlas et charriée par l'oued Mazafran. Son débit solide est estimé entre 1400 et 1800 T/km<sup>2</sup>, tandis que le débit liquide à 43.8 Millions m<sup>3</sup>/an.
- **Oued Nador** : Cet oued présente un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 Km<sup>2</sup>. Son débit liquide est de 28 Millions m<sup>3</sup>/an (0.89 m<sup>3</sup>/an).

## I.8. Cadre sédimentologique :

### I.8.1. Nature et répartition des sédiments au niveau de la baie de Bou-Ismaïl :

Les fonds marins constituent bien souvent, le prolongement naturel des structures terrestres et il y a donc des relations fréquentes entre la géomorphologie du littoral et celle du fond marin.

La diversité morphologique et géologique du littoral conduit à une grande variété de sédiments :

- **Fonds rocheux** : l'action des houles et des courants est alors sans effets réels.
- **Blocs de grosses tailles (éboulis de falaises), galets, graviers** : ce type de matériaux n'est déplacé qu'en bordure du littoral (zone de déferlement) où dans les cours d'eau et leur débouché en mer en période de débits soutenus.
- **Sables plus ou moins grossiers** que l'on peut trouver jusqu'à des fonds de -25 m en Méditerranée (et de - 40 m en Atlantique).
- **Vases dans lesquelles on englobe les limons, boues, argiles** : que l'on trouve essentiellement dans les baies ou zones abritées des houles et des courants, les fonds marins au large des zones sableuses et les estuaires.

Selon l'étude USTHB<sup>7</sup>, des foraminifères benthiques de la marge continentale Algéroise (Baie de Bou-Ismaïl) et leur relation avec les sédiments entre la côte et 20 m de profondeur, la frange littorale se caractérise par des sables fins gris bien classés renfermant moins de 10% de pélites.

Ces sables sont constitués de débris de schistes calcaires gris (50%) accompagnés de grains de quartz arrondis et de moules internes de foraminifères limonitisés.

<sup>7</sup> USTHB : Université des sciences et de la technologie houari Boumediene

Sur les 10 premiers mètres, ces sables présentent une médiane comprise entre 100 et 150 microns. Elle diminue rapidement pour atteindre 10 à 100 microns à 20 m de profondeur. Ce sable est très pauvre en organisme benthique du macrofaune.

La surface de la plateforme continentale de la baie de Bou Ismail est généralement recouverte de vase et de boues argilo-silteuse au-delà de 20 m de profondeur. (Voir figure 11)

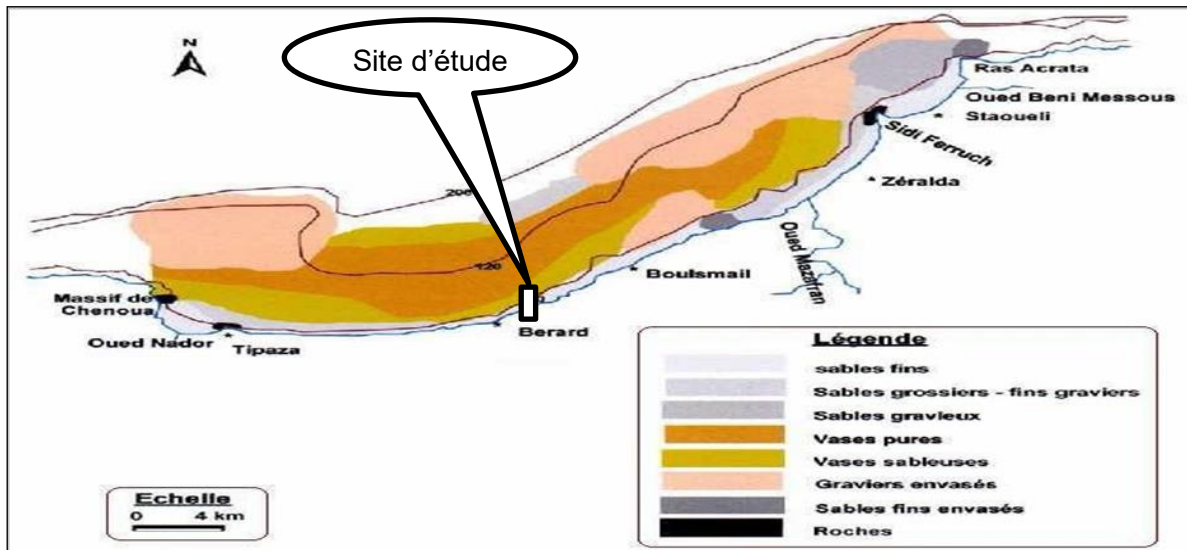


Figure 11 : Carte sédimentaire de la baie de Bou Ismail (LEM)

## 1.9. Cadre Océanographique :

### 1.9.1. Houle :

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui est formé par un champ de vent éloigné de la zone d'observation. (Mezouare, 2019)

Les houles jouent un rôle important dans la morphogenèse 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)

### Données de la houle au large :

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites par le SSMO, à bord des navires, s'étalant sur une période de 7 ans (1963 à 1970). (Voir figure 12)

L'analyse statistique de ces données a permis de définir les secteurs de houle prédominants et leurs amplitudes respectives. Des roses de houles sont établies trimestriellement et annuellement.

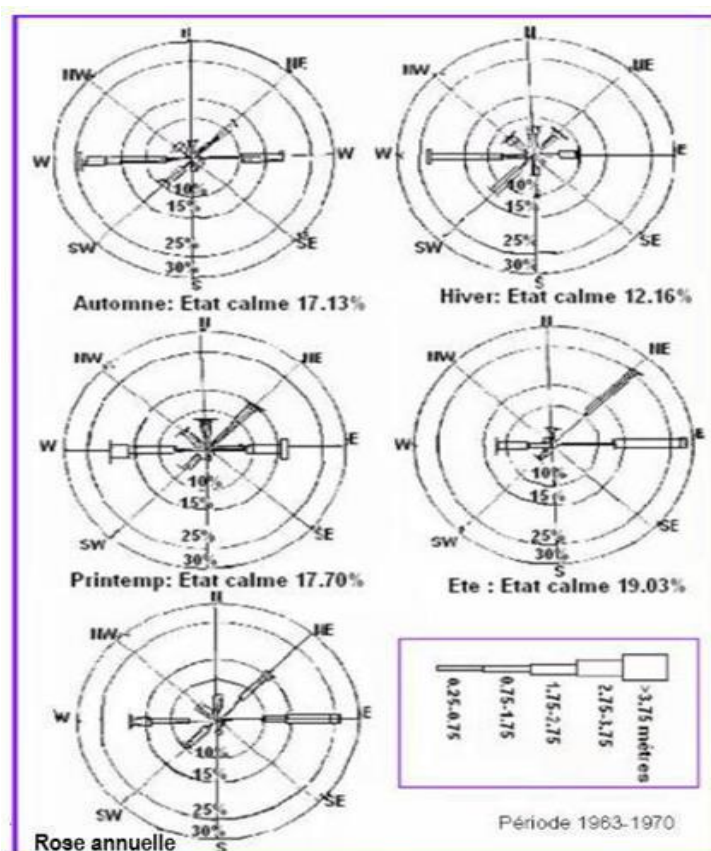


Figure 12: Rose trimestrielles et annuelle des houles

**Fréquences mensuelles de la houle au large :**

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

**Tableau 2:** Fréquences mensuelles de la houle au large par direction

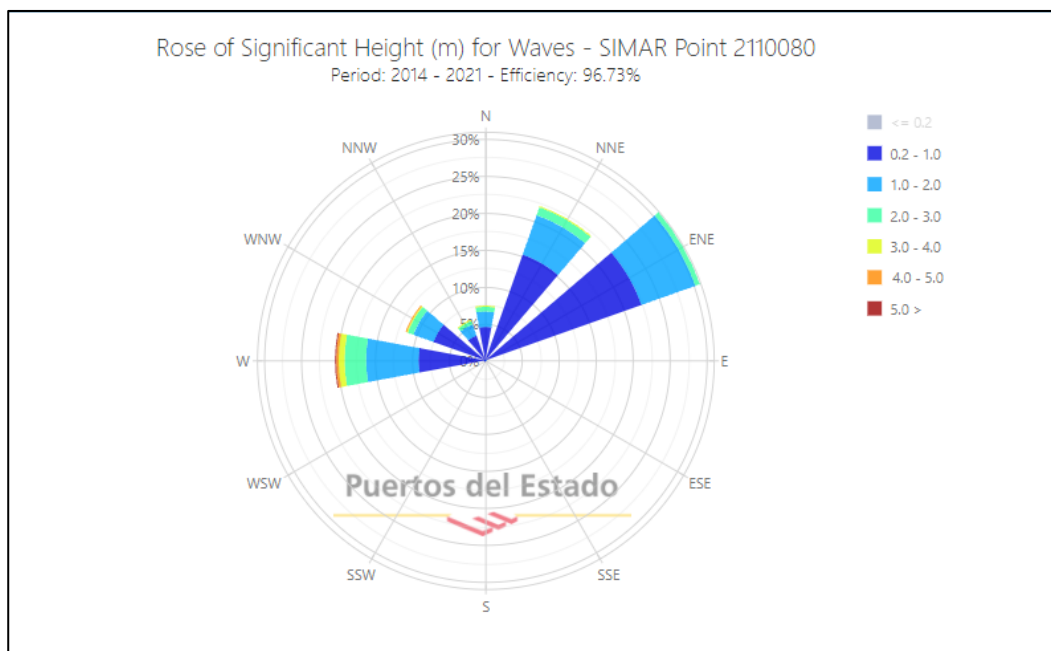
Mois	DIRECTION DE LA HOULE							
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.00	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	10.30	12.60	4.00	6.10	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	12.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.40	16.00	2.00	4.40	13.70	26.70	10.20
Mai	8.20	26.30	31.90	3.00	3.30	7.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	8.20	16.40	4.20
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	1.00	5.90	16.30	2.00
Août	8.80	27.70	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.40	40.50	2.20	2.30	4.60	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.20	14.80	28.80	6.80
Novembre	5.50	5.80	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.40	4.60	7.50	15.00	37.10	10.00

Les résultats de cette analyse groupés dans le tableau ci-dessus dénotent ce qui suit :

- Les houles les plus fréquemment observées appartiennent aux secteurs Ouest, Est et Nord Est.
- La fréquence d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance du secteur Ouest.
- En été, les houles d'Est prédominent.
- En hiver, les houles d'Ouest prédominent.
- Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

Grace au site de Puerto Del estado « <http://www.puertos.es/en-us> » en modelé numérique et à partir d'un point de mesure dans le large de AIN TAGOURAIT (dite Simart Point) avec les coordonnées de Longitude 2.17°E et Latitude : 36.67°N.

On a pu reconstituer les données de houle de 2014 à 2021 avec les résultats suivants :



**Figure 13:** Rose des houles annuelles de Ain Tagourait (Puerto del Estado) période 2014-2021

On remarque que les houles les plus dominants sont de direction Est-nord-est et nord-nord-ouest et ouest avec des valeurs de (W 4,2%), (E-N-E 2,56 %) et (N-N-W 1,20 %).

#### **Caractéristiques de la houle au large :**

Les caractéristiques de la houle extrêmes sont par direction de provenance et pour toutes directions confondues, données dans le tableau suivant :

**Tableau 3:** Hauteurs des houles extrêmes par direction de provenance au large (LEM,2016)

DIRECTION DE HOULE	EST	NORD EST	NORD	NORD OUEST	OUEST	TOUTES DIRECTIONS
<b>Biennale</b>	4,12 m	4,93 m	4,90 m	4,16 m	7,36 m	7,44 m
<b>Quinquennale</b>	4,70 m	5,67 m	5,75 m	4,87 m	8,43 m	8,34 m
<b>Décennale</b>	5,14 m	6,23 m	6,38 m	5,40 m	9,22 m	9,02 m
<b>Vingtennale</b>	5,59 m	6,79 m	7,02 m	5,94 m	10,02 m	9,70 m
<b>Cinquantennale</b>	6,17 m	7,53 m	7,87 m	6,65 m	11,08 m	10,60 m
<b>Centennale</b>	6,62 m	8,08 m	8,50 m	7,18 m	11,88 m	11,27 m

En conclusion, plus de 80% des houles appartenant au secteur Ouest- Nord-Ouest prédominent en hiver avec des périodes variant entre 8 et 9 secondes, et atteignent les valeurs maximales de 13s en période de tempêtes.

L'amplitude moyenne la plus fréquente est de 2 à 3 m, des houles peuvent atteindre des amplitudes maximales de 4 à 6 m.

Pendant l'été, les houles de directions Nord – Nord Est se distinguent par une période moyenne de 6 à 7s et une amplitude de 0.50 à 1.50 m, près de 50% des houles ont des périodes de 6 à 9s n'atteignant que rarement 3 m d'amplitude.

Pour une période de 6 s, la longueur d'onde des houles d'été est 130m et la célérité de 10 m/s.

### **I.9.2 Courants :**

#### **-Les courants de généraux :**

Un courant par définition est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée. **(Otmani, 2014)**

Dans le bassin Ouest au niveau de la côte algérienne les gyres commencent à être clairement identifiés par des caractéristiques qui ont justifié l'identification d'un « courant algérien ». **(Taupier.L et al, 2005)**

La mer Méditerranée représente en échelles spatiale et temporelle un modèle réduit de la circulation globale. **(Doglioli, 2010)**

#### **-Les courants côtiers :**

Les courants agissent pendant l'hiver et ont une direction Ouest - Est par houle NW, le reste de l'année les courants ont une direction Est - Ouest.

Ces courants locaux peuvent favoriser le transport près de la côte, induit par le déferlement des houles et des courants de houles le long de la côte (transport littoral et transport perpendiculairement au rivage).

Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude et de l'incidence par rapport à la côte, mais également de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie.

#### **-Les courants de dérive littorale :**

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale ; la vitesse de ce courant est maximale pour un angle de 50° - 60°.

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement ou l'énergie est maximale. Dans le cas général, de petite et moyenne amplitude, les courants assurent le triage des sables et graviers de la frange littorale (-10m). Par contre les houles de fortes amplitudes, pourraient agir en fonction de l'amplitude jusqu'aux fonds de - 40m à - 60 m.

#### **-Les courants de retour ou « rip curent »**

L'apport d'eau à la côte, dû au déferlement qui transforme les vagues d'oscillation en vagues de translation, doit logiquement être compensé par un retour d'eau vers le large, produisant un courant qui se manifeste près du fond dans l'espace infralittoral et auquel on donne parfois le nom de rip curent ou encore courant d'arrachement. Il est perpendiculaire à la côte lorsqu'il naît de la rencontre de deux dérives littorales de sens opposé. Mais ils sont le plus souvent obliques. (Senechal, 2003)

### **I.10. Facteurs influant sur le site d'étude :**

#### **I.10.1 Érosion :**

##### **• Les agents littoraux :**

L'action des houles est mécanique, les lames qui déferlent contre les parois de la falaise exercent des pressions considérables. La multiplication des chocs finit par éroder la base des falaises et provoquent leurs éboulements et ainsi le recul du trait de côte.

##### **• Les agents subaériens :**

Des agents subaériens contribuent également à l'érosion littorale. Le ruissellement est le type d'érosion le plus fréquent sur terre, il peut être diffus ou concentré. Dans certains points de la côte, leur action est aussi importante que celle des houles. En effet, le ruissellement et le drainage superficiel des eaux de pluies sont à l'origine du ravinement des terrasses des rives au niveau des points de rejets. Ces points considérés comme points singuliers sont clairement identifiés sur notre rivage.

#### **I.10.2 Impact anthropique :**

Depuis quelques années le terme d'anthropisation est utilisé de façon extrêmement courante dans les textes relatifs à l'impact de l'Homme sur le littoral ainsi qu'au sujet du développement durable, ce terme est présente :

- L'urbanisation.
- Construction du front de mer : la structure rigide constitue un support de réflexion de la surtension, provoquant l'érosion et l'agitation de l'eau.

**I.10.3 Changement climatique :**

L'observation du système climatique est basée sur la mesure directe et la télédétection. À l'échelle mondiale, l'observation de l'ère des instruments a commencé vers le milieu du XIXe siècle, y compris certaines variables telles que la température et les données d'observation, et est devenue plus complète et diversifiée depuis les années 1950.

Grâce à la reconstruction d'archives paléoclimatiques, certains documents peuvent être étendus à des centaines, voire des millions d'années. Dans l'ensemble, ces données fournissent une vue holistique de la variabilité et des changements à long terme de l'atmosphère, de l'océan, de la cryosphère et de la surface terrestre. Le réchauffement de l'atmosphère et des océans, la couverture de neige et de glace est réduite, le niveau de la mer augmente et les concentrations de gaz à effet de serre augmentent. (GIEC, 2013)

**I.10.4 Pollution marine :**

La pollution marine est définie comme l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins.

80% de la pollution marine est d'origine terrestre. Les polluants sont transportés par le ruissellement des eaux suivant la dynamique des bassins versants mais aussi par l'air du fait du régime des vents, les surfaces marines recevant de nombreux dépôts atmosphériques. Or des phénomènes de saturation génèrent des désordres écologiques grandissant au point de menacer toutes les autres activités.



**CHAPITRE II :**  
***Matériels et Méthodes***

**Chapitre II : Méterials et Méthodes****Introduction :**

Ce chapitre porte sur l'étude de l'interaction entre les différents forçages hydrodynamiques de notre zone d'étude afin de savoir les zones menacées par l'érosion et les zones d'accrétion en utilisant des simulations numériques sur Mike 21. Ainsi que, une étude qui porte sur l'évaluation de l'évolution de trait de côte. Et pour ce faire, nous avons suivi les 5 étapes suivantes :

- Étude bathymétrique.
- La modélisation de la réfraction de la houle avec le modèle SW<sup>8</sup>.
- La modélisation des champs de courants générés par la houle au moyen du modèle HD<sup>9</sup>.
- La modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de la houle et les courants à l'aide du modèle ST<sup>10</sup>.
- Etude diachronique (EPR<sup>11</sup>, NSM<sup>12</sup>...) de trait de côte à partir de 2009 jusqu'au 2020.

**I.1 Étude bathymétrique :**

La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief sous la surface de l'eau pour déterminer la topographie d'un fond marin. L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution du problème d'érosion des plages.

La carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières.

**II.1.1. Système utilisé et coordonnées :**

Conformément à l'arrêté du 25 février 2003 publié sur le journal officiel du 30 avril 2003 fixant les systèmes de coordonnées en Algérie, le système de référence géodésique WGS84 approprié au GPS<sup>13</sup> est un système officiel en Algérie.

**Système géodésique : WGS84****Ellipsoïde : WGS84**

Demi grand axe :  $a = 6\,378\,137\,000$  m

Aplatissement :  $f = 1/298.257\,223\,563$

---

<sup>8</sup> SW: spectral waves

<sup>9</sup> HD: Hydro Dynamic

<sup>10</sup> ST: Sand Transport

<sup>11</sup> EPR: End point rate

<sup>12</sup> NSM: Net movement of shorelines

<sup>13</sup> GPS: Global Positioning System

**Projection : UTM zone 31 Nord**

Latitude Origine : 00°00'00.0000 N

Longitude Origine : 03°00'00.0000 Est (Zone 31)

Facteur d'échelle à l'origine : 0.9996000000

Constante Nord : 0.0000 m

Constante Est : 500 000.0000

**II.1.2 Mode de levé bathymétrique :**

Une étude de levé bathymétrique a été réalisée par laboratoire des études maritimes en 2016. Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un récepteur GPS et d'un échosondeur. Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK<sup>14</sup>) permet de mesurer un point à quelques centimètres près. Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées au temps réel).

Donc pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

Une antenne GPS, qui reçoit les données des satellites, est fixée sur le point de référence. Le récepteur 5700 émet ces données par liaison radio au récepteur mobile à l'aide d'un modem externe PACIFIC CREST et d'une antenne UHF<sup>15</sup>.

Le récepteur mobile placé à bord de l'embarcation fonctionne en mode RTK (résolution des ambiguïtés en mode OTF<sup>16</sup>) reçoit les données des satellites de la station de référence et fournit instantanément la position tridimensionnelle de l'antenne GPS.

L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS. Quel que soit la variation du plan d'eau, la longueur du support est constante, par conséquent tous les échos mesurés sont référencés par rapport à l'antenne GPS.

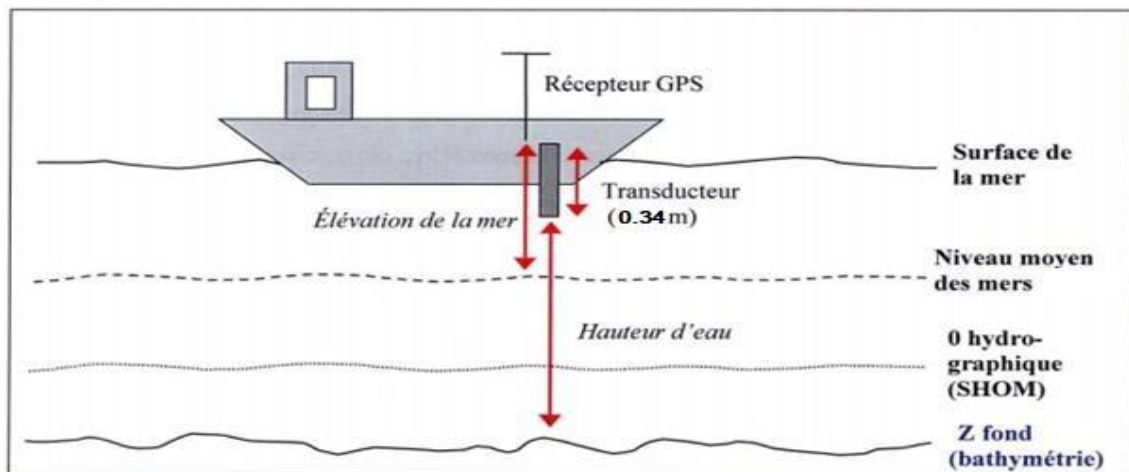
La partie immergée du support ainsi que celle située hors de l'eau sont mesurées avant le début des levés. (Voir figure 14)

---

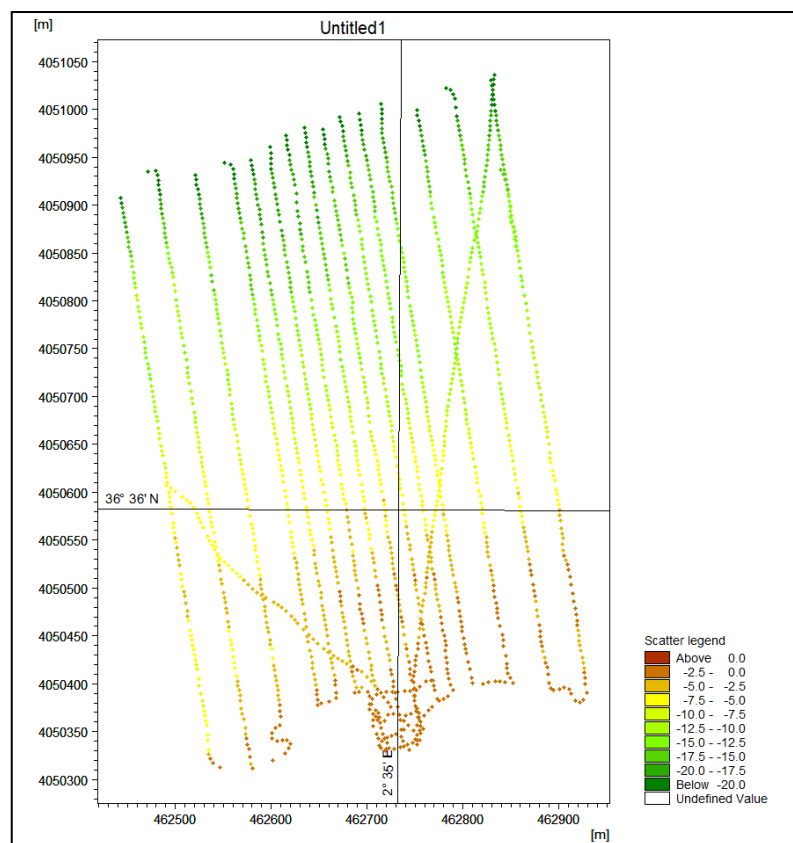
<sup>14</sup> RTK: Real Time Kinematic

<sup>15</sup> UHF: Ultra High Frequency

<sup>16</sup> OTF: On the Fly (résolution de GPS)



**Figure 14:** Principe de la mesure bathymétrique avec le système sondeur/GPS (Emilies,2007)



**Figure 15:** Carte des levés bathymétrique par MIKE 21

### II.1.3 Traitement des données bathymétrique :

Après l'acquisition des données topos bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées (LEM), on a pu passer au traitement numérique de ces données à l'aide d'un logiciel de calcul qui s'appelle Mike 21.

**II.1.3.1 Aperçu du logiciel MIKE 21 :**

« MIKE 21 » est un produit modulaire développé par DHI<sup>17</sup> 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) :**

Modèle spectral de vague de 3ème génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle MIKE21-NSW. (DHI, 2014)

L'équation de base : l'équation de base de ce modèle est l'équation de conservation de l'action de vague. (Komen, et al, 1996)

L'équation de conservation pour l'action des vagues peut être écrite comme :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v} \mathbf{N}) = S \sigma \text{ ----- (1)}$$

Avec :  $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$  densité d'action,  $t$  le temps,  $\vec{x} = (x, y)$  les coordonnées cartésiennes,  $\mathbf{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$  Est la vitesse de propagation d'un groupe de vagues dans l'espace de phase à quatre dimensions, et  $S$  est le terme source pour l'équation de l'équilibre énergétique.

$\nabla$  Est l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace  $x, y, \sigma, \theta$ . Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \mathbf{c} \mathbf{g} + \mathbf{U} \text{ ----- (2)}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla \mathbf{x}^d \right] - c g k \cdot \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial s} \text{ ----- (3)}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -1 k \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + k \cdot \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial m} \right] \text{ ----- (4)}$$

Ici,  $S$  est la coordonnée de l'espace dans la direction de l'onde  $\theta$ , et  $m$  est une coordonnée perpendiculaire à  $S$ .  $\nabla$  est l'opérateur différentiel bidimensionnel dans l'espace  $x, y$ .

**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 Bousinesq, 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.

Les équations suivantes, la conservation de la masse et la dynamique intégrée à la verticale, décrivent les variations du débit et de l'eau :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \text{ ----- (5)}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (p^2 h) + \frac{\partial}{\partial y} (pq h) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + gp \sqrt{p^2 + q^2} C2.h^2 - 1 \rho w \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVx + h \rho w \frac{\partial}{\partial x} (p\alpha) = 0 \text{ ----- (6)}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (q^2 h) + \frac{\partial}{\partial x} (pq h) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + gp \sqrt{p^2 + q^2} C2.h^2 - 1 \rho w \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p - fVy + h \rho w \frac{\partial}{\partial y} (p\alpha) = 0 \text{ ----- (7)}$$

<sup>17</sup> DHI : Danish Hydraulics Institute

Les symboles suivants sont utilisés dans ces équations (DHI, 2014):

$h(x, y, t)$  : Profondeur de l'eau (m).

$d(x, y, t)$  : Variation temporelle de la profondeur de l'eau (m).

$\zeta(x, y, t)$  : L'élévation de surface (m).

$p, q(x, y, t)$  : Densités de flux dans les directions x et y ( $m^3/s/m$ ).

$C(x, y)$  : Coefficient de Chezy ( $m^{1/2}/s$ ).

$g$  : L'accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ ).

$f(V)$ : Facteur de frottement de vent.

$V, V_X, V_Y(x, y, t)$  : Vitesse et composantes du vent dans les directions x et y (m/s).

$\Omega(x, y)$  : Paramètre de Coriolis ( $s^{-1}$ ).

$Pa(x, y, t)$  : Pression atmosphérique ( $kg/m/s^2$ ).

$\rho_w$  : Masse volumique de l'eau ( $kg/m^3$ ).

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  : Composantes de l'effort de cisaillement effectif.

### **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 ;  $D_{n50}$ <sup>18</sup> et coefficient de cohésion) générées par le module (Mike 21 Toolbox).

On est amené à résoudre cette équation de transport-diffusion pour calculer la concentration des sédiments transportés.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}((\vec{U} + \vec{W}_s)C) = \text{div}(\gamma t * \vec{V} C) \text{ -----(8)}$$

Avec :  $\vec{U}$  : Étant le champ de vitesse 3D ;

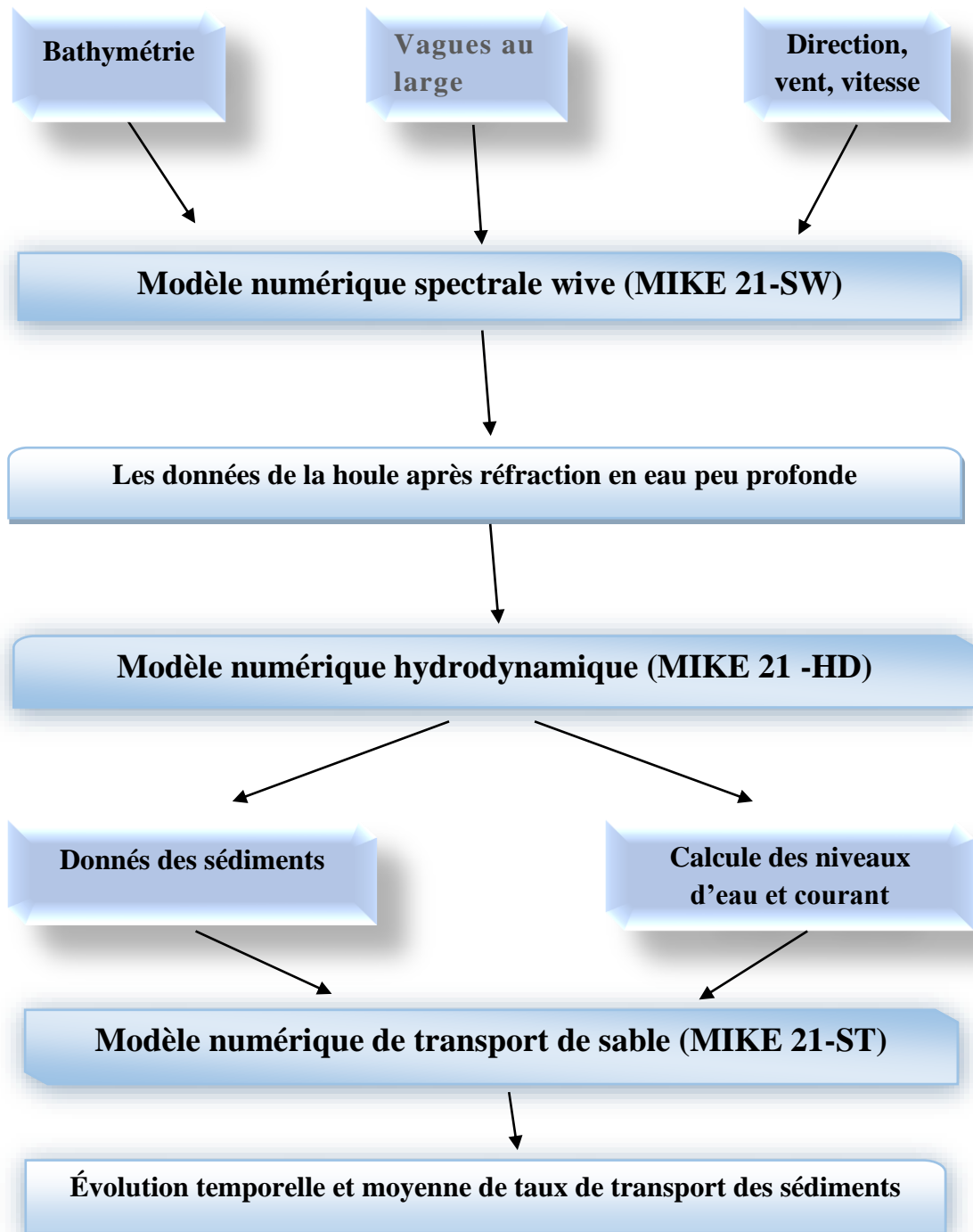
$\vec{W}_s$ : vecteur vitesse de chute des particules dirigé vers le bas ;

$\gamma t$  : le coefficient de diffusivité turbulente des sédiments. (DHI, 2014)

La variation correspondante de la hauteur de la houle (Par rapport à la hauteur de la houle au large,  $H_s$ ), due à la redistribution de l'énergie le long des crêtes, est habituellement exprimée par le coefficient de réfraction  $K_r$ . (Benoît et al, 2009) Le coefficient de réfraction correspondant,  $K_r$  est donc calculé comme suit (Benoît et al, 2009) :

$$K_r = H_{s \text{ locale}} / H_{s \text{ large}} \text{ -----(9)}$$

<sup>18</sup>  $D_{n50}$  : Diamètre moyenne des sédiments



**Figure 16:** Organigramme récapitulatif des étapes de modélisation numérique

#### II.1.4 Les données de base :

**Donnée bathymétrique** : La bathymétrie utilisée pour cette étude initiale de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM<sup>19</sup> n°3030 intitulée « Cote septentrionale d’Afrique – partie comprise entre Alger et Cherchell », échelle 1 / 100 720, ainsi que celle issue de la

<sup>19</sup> SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois d'Avril de l'année 2016 par le LEM dans le cadre de cette étude. Et le site Navionics pour l'étude bathymétrique en 2020.

**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 4:** intensité de la houle annuelle au large pour les 3 secteurs de la houle retenues

Secteur de la 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

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

**Tableau 5:**Caractéristique de la houle cinquantennale dans le large de la zone d'étude (LEM, 2016) (Voir ANNEXE 02)

Secteur de la houle	Nord 360°(Nord)	Nord 315°(Nord-Ouest)	Nord 45°(Nord-Est)
Période Ts (s)	13.58	12.61	13.33
Hs (m)	7.87	6.65	7.53

### **Choix du secteur angulaire :**

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

Au total trois (03) directions ont été retenues (Voir figure 17) :

- Une direction (01) approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (360°N).
- Deux (02) directions de houle à incidence oblique (N 45°, N315°).



Figure 17: La direction de la houle au site d'étude

**Données du trait de côte** : Les données point du trait de côte ont été obtenues par la digitalisation de trait de côte à partir de Google Earth Pro.

**Données sédimentaires** : le diamètre moyen ( $D_{n50}$ ) du grain ont été obtenus à partir de LEM en 2016, qui est 0,163 avec coefficient de gradation égale 1,93 .

### **Création de la MESH :**

Importation des données :

Ouvrir Mesh Génération et choisir le système de projection : **WGS\_1984\_UTM\_Z31N**, 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), **view → zoom de extended of data**.

Génération du maillage triangulaire avec la commande Generate mesh. (Voir figure 18)

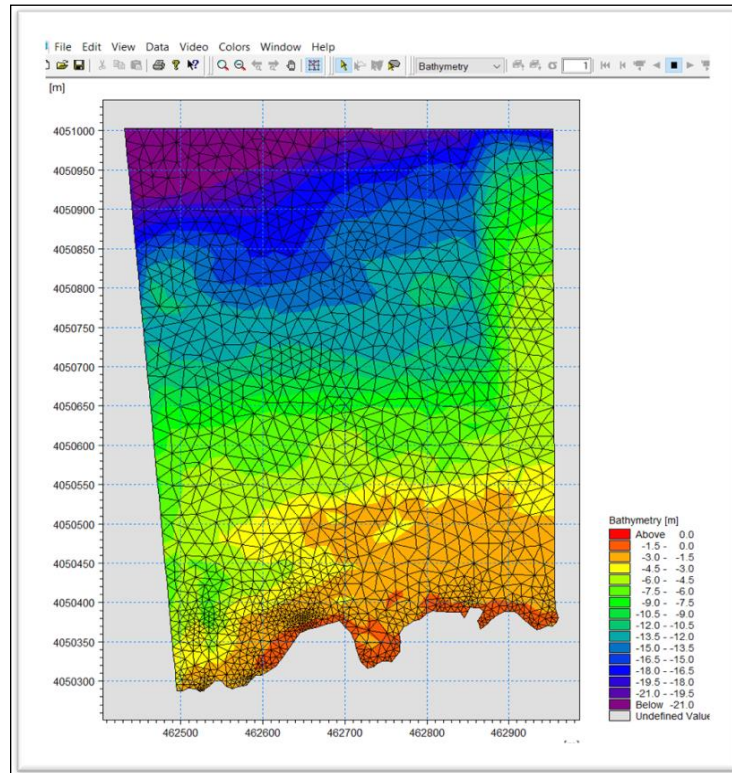


Figure 18: Maillage du site d'étude à l'état initial

II.2. Configuration du fichier de simulation <Coupled Model FM> :

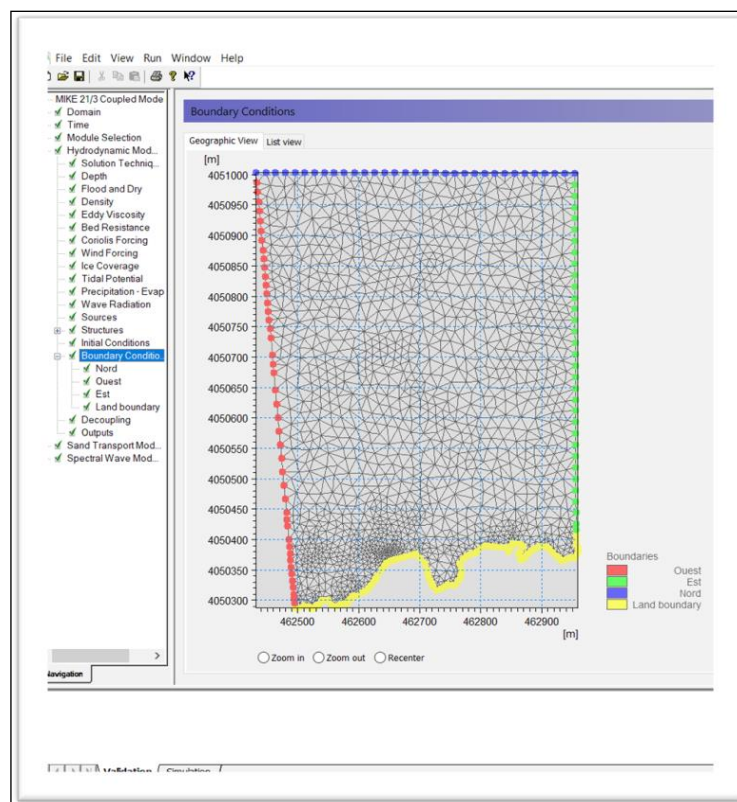


Figure 19: Interface du Coupled Model (FM)

Avant de lancer la simulation, on a suivi les ces étapes :

- « **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 lançant les « **Time paramètre** » à l'instant initial (0).
- 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** ».
- « **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.

### II.3. Évolution diagnostique de trait de côte :

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. (Benassi ,2006)

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion. (Williams. S, 1990)

Pour traiter l'évolution du trait de côte nous avons utilisé l'extension DSAS de logiciel Arc Gis10.2.

#### II.3.1 Les outils de l'étude :

##### -Google Earth Pro :

Google Earth Pro est un logiciel qui permet de voyager dans le monde via un globe virtuel et d'afficher des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments 3D<sup>20</sup>. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 10m (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,). Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure. L'utilisation gratuite des images présentées par le logiciel n'est autorisée que par des captures d'écran ou une utilisation en ligne. Google Earth Pro permet

---

<sup>20</sup> 3D : Trois dimensionnements

d'imprimer des images en haute résolution, alors qu'il faut se contenter de la résolution de l'écran avec la version basique. (Ahfir et Meziane, 2016)

### **-ArcGIS 10.2 :**

Est une suite de logiciels d'information géographique, ou logiciels SIG<sup>21</sup> développés par la société américaine ESRI<sup>22</sup>. 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. (Tefahi, 2018)

Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

**ArcCatalog** : est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser des données tabulaires et des couches géographiques ainsi que leur exploration.

**ArcMap** : est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisée sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.

**ArcToolbox** : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et des transferts de format et aussi de projection. (Kame, 2006)

### **-DSAS<sup>23</sup> V5 :**

Est une extension logicielle pour ArcGIS qui a été initialement développé au début des années 90 et a été continuellement perfectionné. Cette extension permet de faire des calculs automatisés de changement de rivage le long de la côte. L'utilisateur doit fournir les données du littoral et le logiciel aide l'utilisateur à créer des emplacements de mesure (transects) et effectue les calculs de changement de rivage à chaque emplacement. Le résultat est une représentation visuelle du changement de rivage le long d'un littoral. Cette représentation est beaucoup plus utile pour l'analyse qu'une moyenne globale. Des taux inhabituellement élevés d'érosion / d'accrétion sont facilement reconnaissables à partir de la carte résultante.

DSAS calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral. Les méthodes utilisées peuvent être décrites comme suit :

**Mouvement net des rivages (NSM)** : Le mouvement du littoral net signale une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il rend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil. (Faye, 2012)

---

<sup>21</sup> SIG : Système d'information géographique

<sup>22</sup> ESRI: Environmental System Research Institute

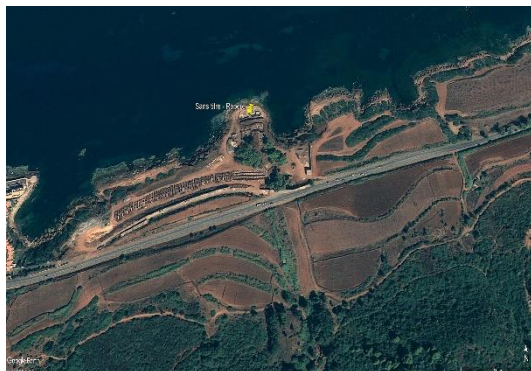
<sup>23</sup> DSAS: Digital shoreline analysis system

**Le taux de point final (EPR) :** Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la rive la plus ancienne et la rive la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et l'exigence minimale de seulement deux dates du littoral, L'inconvénient majeur est que dans les cas où plus de données sont disponibles, les informations supplémentaires sont ignorées. Les changements dans le signe (par exemple, l'accrétion à l'érosion), l'ampleur ou les tendances cycliques peuvent être manquées. **(Crowell et autres, 1997, Dolan et autres, 1991)**

**Le Linear Régression Rate-of-change (LRR):** Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formés par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de transept et des traits de côte comparés. Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transept, il est intéressant si l'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée. **(Faye, Giraudet, Françoise, & Alain, 2012)**

### II.3.2 Les données disponibles :

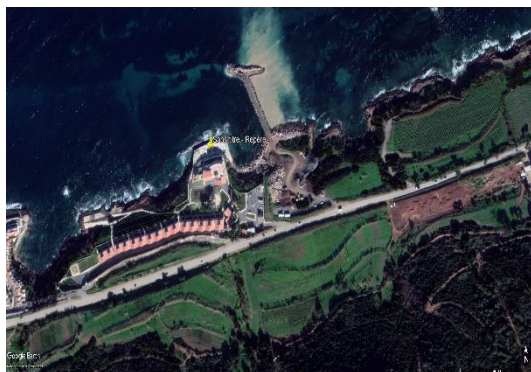
Les données disponibles utilisées pour analyser l'évolution passée et actuelle du trait de côte sont des images satellitaires extraites de Google Earth Pro (2009\_2014\_2018\_2020).



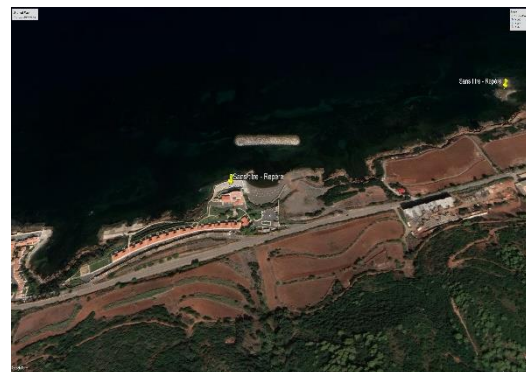
**Figure 20:** Image satellitaire du site d'étude en 2009



**Figure 21:** Image satellitaire du site d'étude en 2014



**Figure 22:** Image satellitaire du site d'étude en 2018

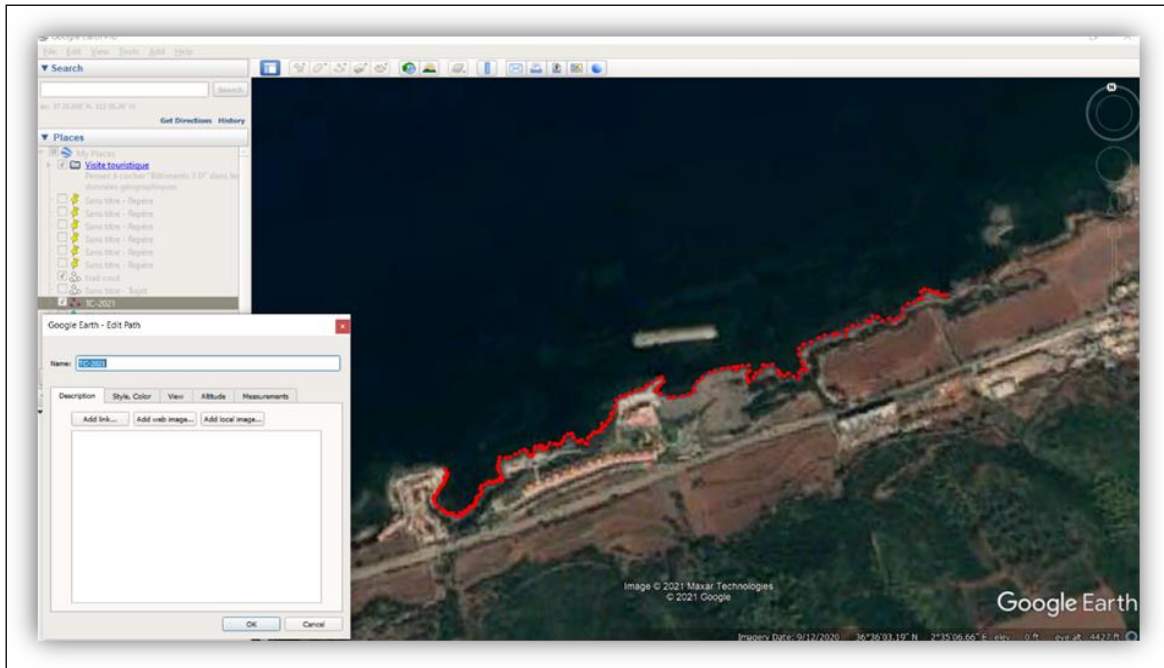


**Figure 23:** Image satellitaire du site d'étude en 2020

### III.1. Méthodologie de travail :

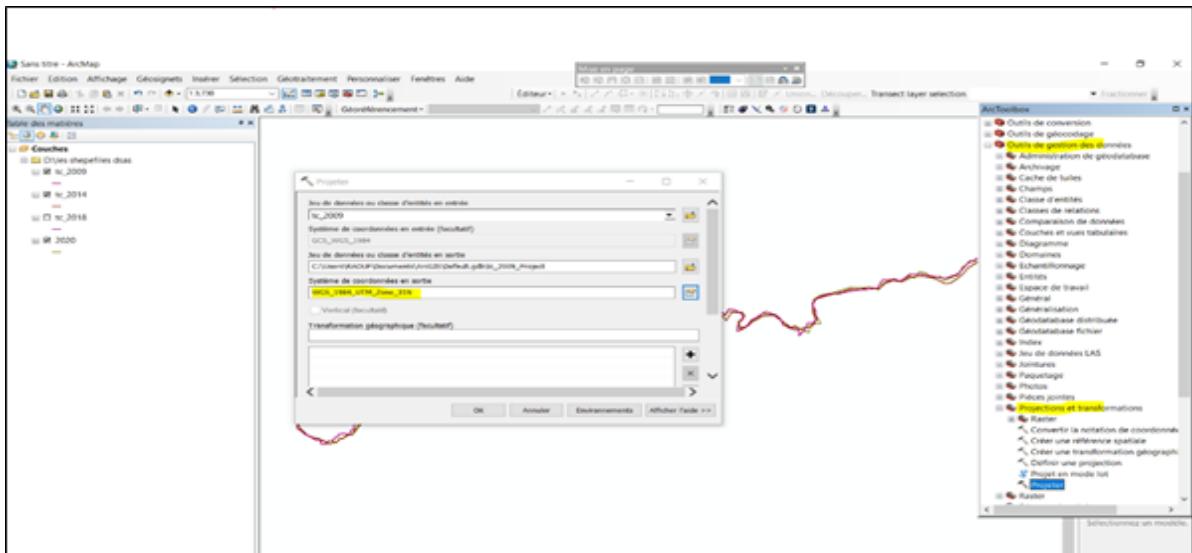
#### **-La digitalisation :**

Sous Google Earth Pro, le trait de côte a été digitalisé pour chaque année et pour chaque zone d'étude, manuellement, à l'aide de l'extension « Ajouter un trajet » puis enregistrer au format KML. (Voir figure 24)



**Figure 24:** Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro

Les traits de côte enregistrés en KML dans Google Earth Pro ont été intégrés dans ArcGIS puis convertis en Shapefile, en utilisant l'extension « KML To Layer » dont les entités en sortie sont générées dans le système de coordonnées géographiques WGS84. Ces dernières ont été reprojétés dans un autre système de coordonnées WGS84\_UTM\_ZONE 31N à l'aide de l'outil projet. (Voir figure 25)



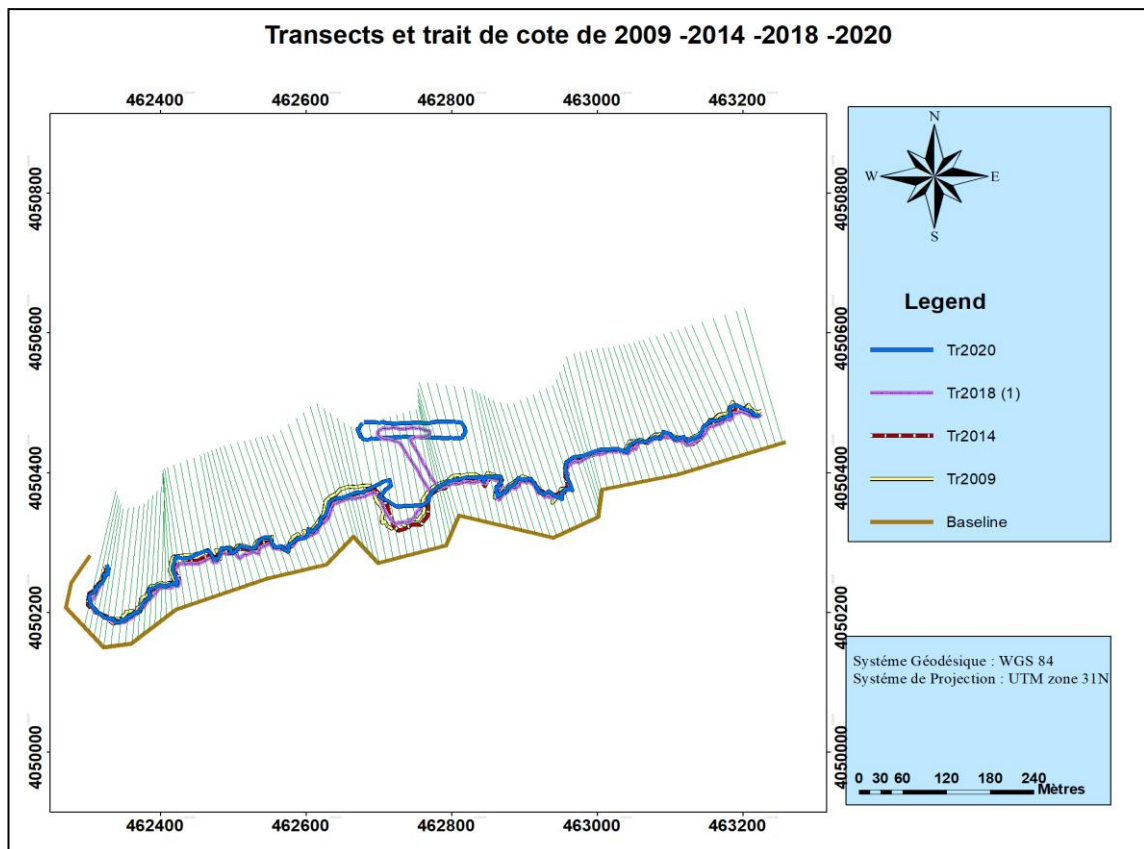
**Figure 25:** Trait de côte géoréférencé sur Arc Gis

### **-Génération des transects :**

ArcGIS 10.2 a été utilisé pour créer et traiter les données pour cette étude. Toutes les données créées seront stockées dans une géodatabase dans laquelle un jeu de classe d'entité « feature dataset » a été créé. Il permet de regrouper toutes les classes d'entités (traits de côte) qui seront créées et qui auront le même système de coordonnées projeté « WGS84\_UTM » et le même type de géométrie « shapefile ».

La géodatabase, le jeu de classe d'entité et les classes d'entité sont créés dans ArcCatalog avec une classe d'entité pour chaque trait de côte. En plus, deux autres classes d'entité sont créées, une pour la ligne de base et l'autre pour les transects ayant aussi le même type géométrique.

La génération des transects perpendiculaires sur la ligne de base a été réalisée à l'aide de l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS). (Voir figure 26)



**Figure 26:** Transects et trait de côte de 2009-2014-2018-2020

Lorsque tous les paramètres d'entrées sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transect. Cette analyse automatique de tous ces transects permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Dans les tables attributaires des transects, on dispose, à l'issue du traitement, en plus des attributs géographiques, des attributs statistiques dont deux, au moins, sont à retenir. (Voir figure 27)

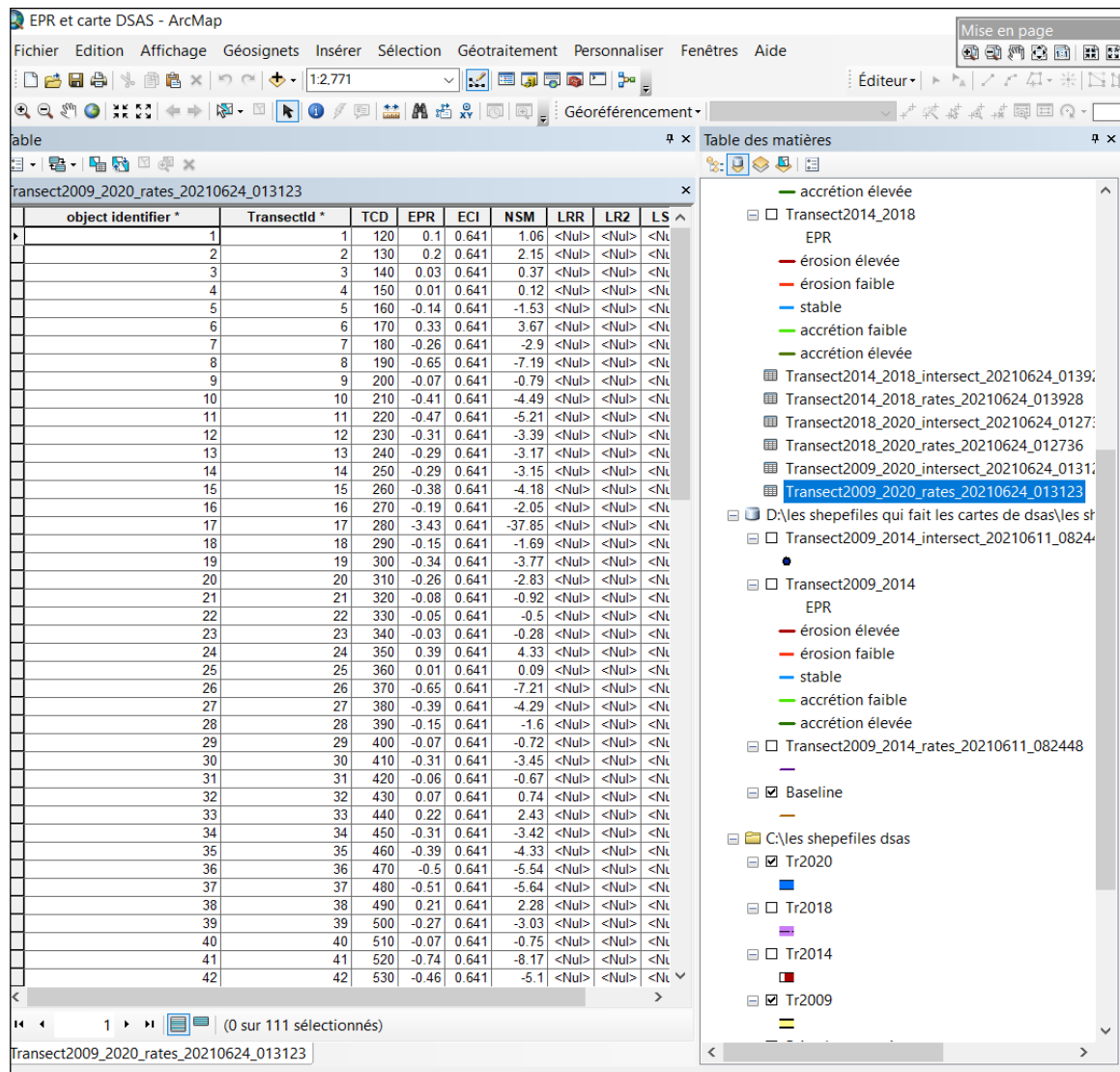


Figure 27: Table attributive issue lors du traitement sous ArcMap

Le Net Shoreline Movement (NSM) est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne. L’End Point Rate (EPR) est le rapport de 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/an, C’est cet attribut que l’on retrouve dans le modèle cartographique sous le libellé « vitesse de l’évolution ». L’EPR convient bien lorsque l’on ne dispose que deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale. (Thieler et al., 2005

$$EPR = \text{NSM} / \text{Nombre d'années entre le plus ancien trait de cote et le plus récent.}$$

**CHAPITRE III:**

***Résultats et  
discussion***

**Chapitre III: Résultats et Discussion****Introduction :**

Les résultats du chapitre précédant sont représentés ci-dessous, ainsi que les commentaires apportés par ces derniers. Ces résultats sont une ligne de départ pertinente au choix d'aménagement et de protection pouvant être proposé durant cette étude.

**III.1. Résultats de l'étude de l'évolution diachronique du trait de côte :****III.1.1 Résultats cartographiques :**

À l'aide l'extension DSAS du logiciel ArcGIS, en utilisant un ensemble de trait de côte s'étalant dans une période de 11 ans, nous a permis de créer automatiquement 113 transepts d'une longueur de 200m espacés entre eux de 10m, et une incertitude de 0.3m (cette incertitude reflète la somme de l'incertitude lie à l'opérateur et celle liée au système GPS utilisé pour la réalisation des levés) Ces résultats sont superposés à une carte satellitaire géoréférencée de la zone d'étude.

Les taux de changements de rivages sont calculés en utilisant des méthodes EPR et NSM.

**a) L'intervalle de l'année 2009 à 2014 :**

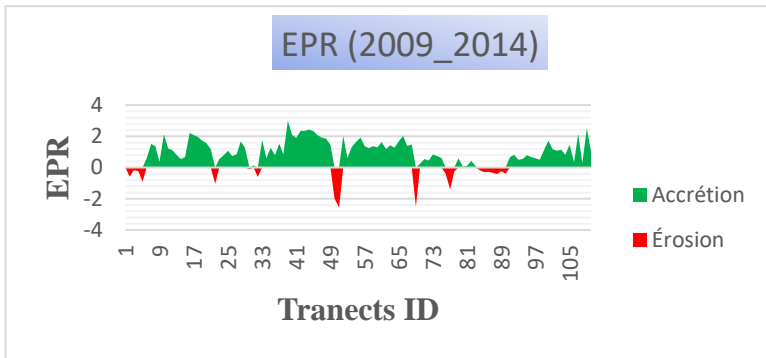


Figure 28: End point Rate (mètre/an) entre 2009- 2014

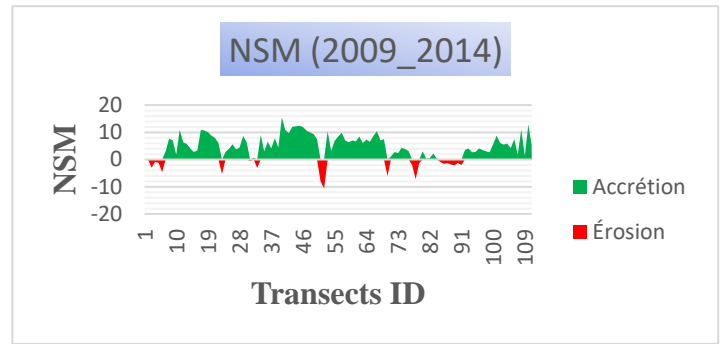


Figure 29: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2009-2014

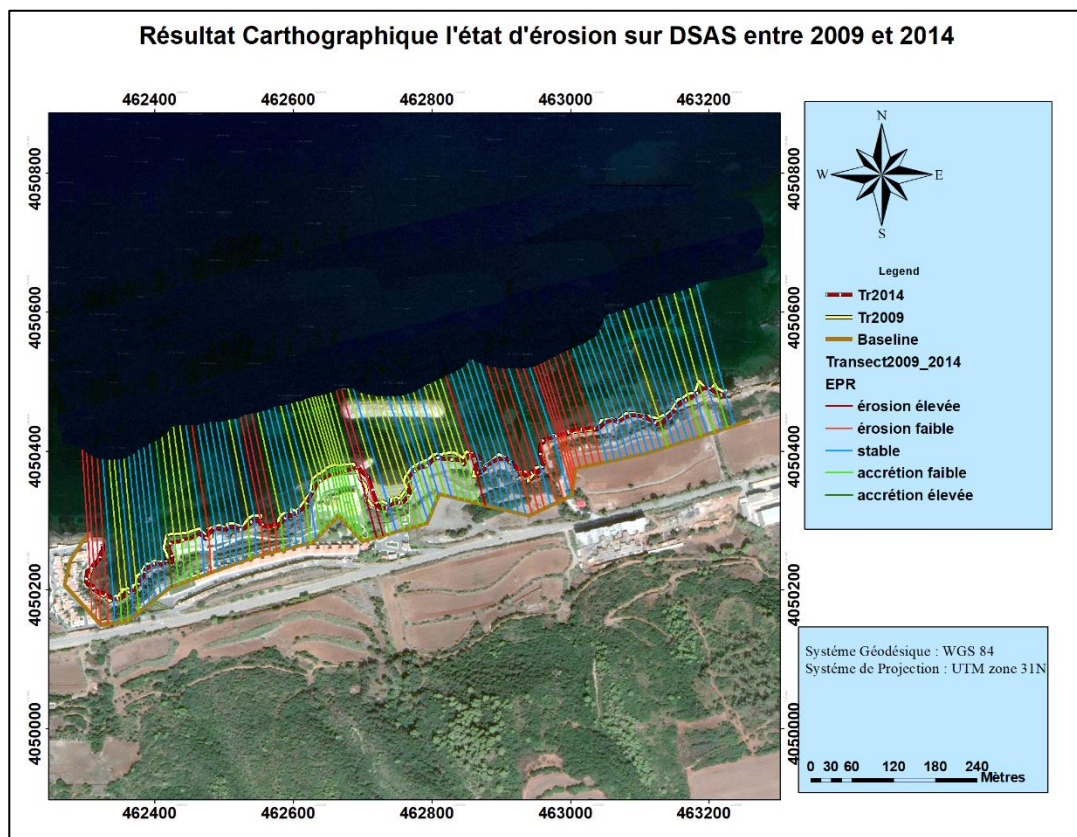


Figure 30: Résultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2009 et 2014

**Commentaire :**

D'après ces résultats, On remarque que la période entre 2009 et 2014 se caractérise par un avancement de trait de côte le long de la bande côtier de notre zone, pour la partie Est On enregistre un avancement faible de 0.50m/an. Tandis que la partie Centrale signifie un avancement très important de 1.42m/ans. On remarque un avancement plus ou moins dans la plage de la partie Ouest de 0.82m/an. On conclut que la zone d'étude a subi une accrétion évolutive qui pourrait trouver son explication dans les variations annuelles des apports en sédiments d'oued MAZAFRAN et oued EL NADOR.

b) L'intervalle de l'année 2014 à 2018 :

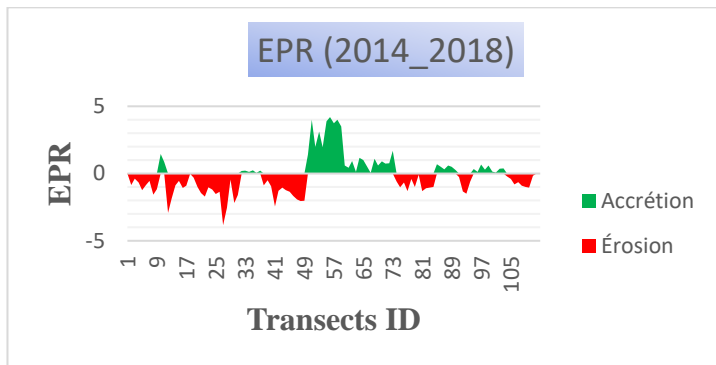


Figure 31: End point Rate (mètre /an) entre 2014-2018

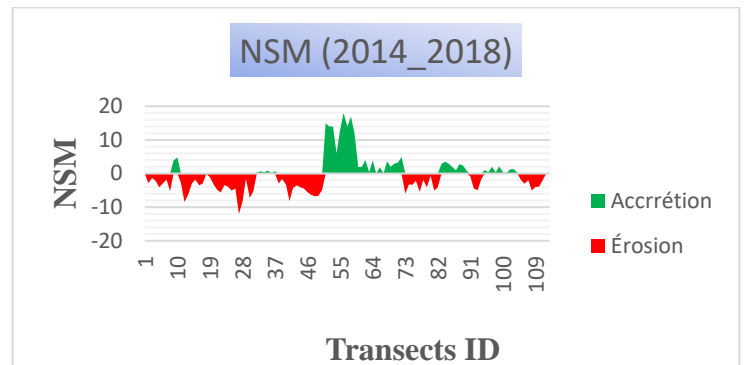


Figure 32: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2014-2018

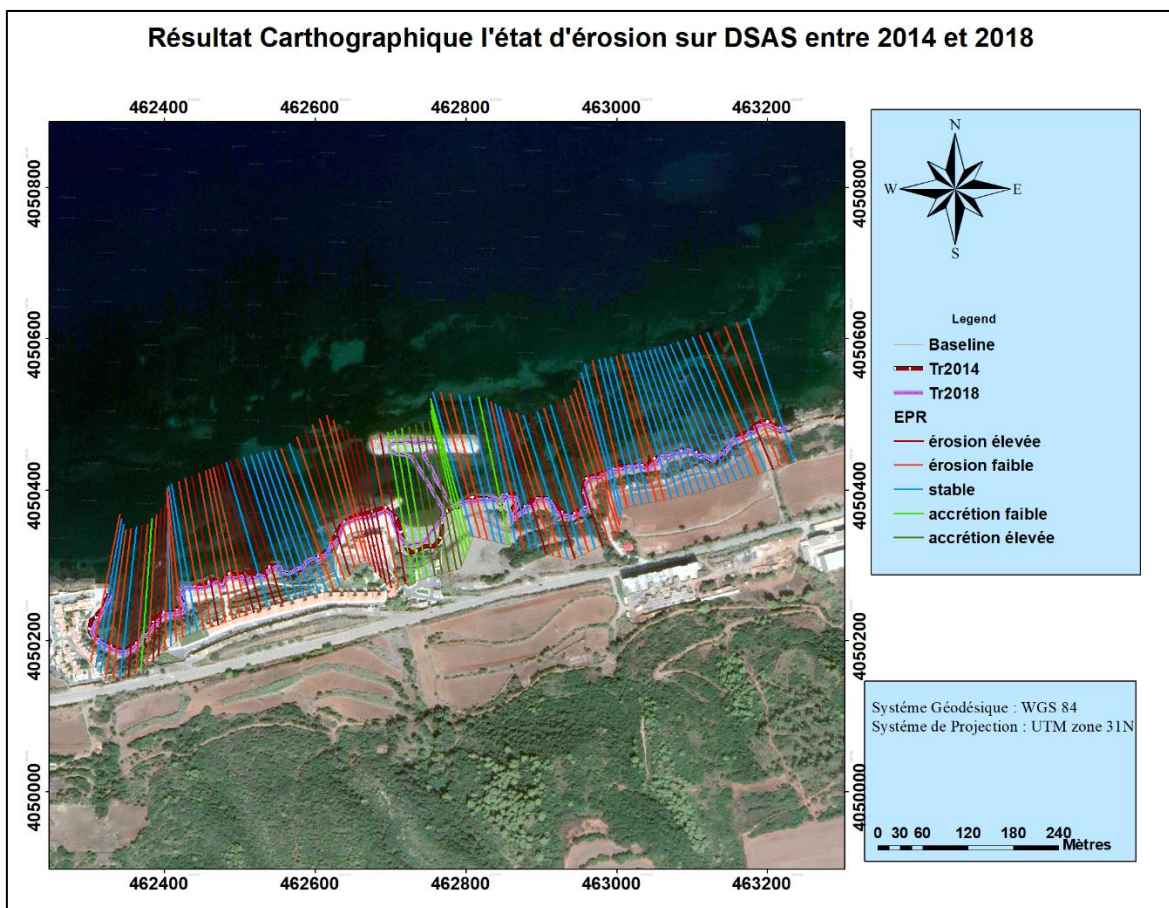


Figure 33: Résultat cartographie de l'état d'érosion sur DSAS entre 2014 et 2018

Commentaire :

On remarque que la période entre 2014 et 2018 se caractérise par un recul de trait de côte le long de la bande côtier de notre zone, pour la partie Est On enregistre un recul faible de -0.34m/an. Tandis que la partie Ouest signifie un recul important de -0.90m/an. Par contre la

partie centrale caractérisée par un très faible avancement de 0.63m/an. On conclut que la zone d'étude a subi une érosion durant cette période.

c) L'intervalle de l'année 2018 à 2020 :

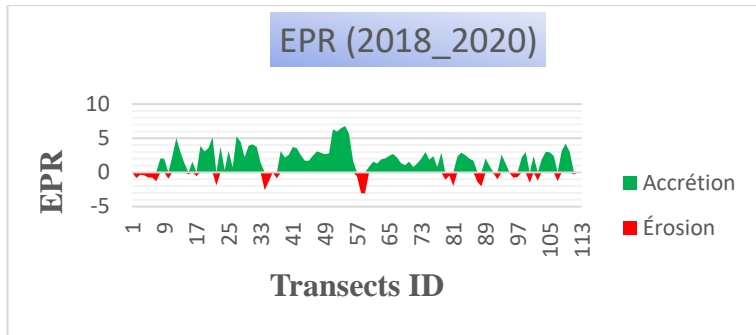


Figure 34: End point Rate (mètre/ an) entre 2018-2020

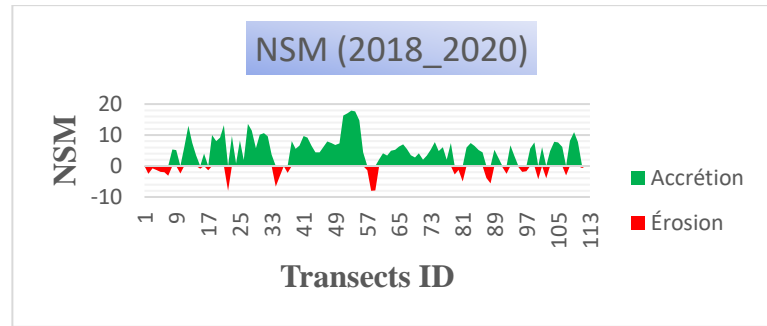


Figure 35: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2018-2020

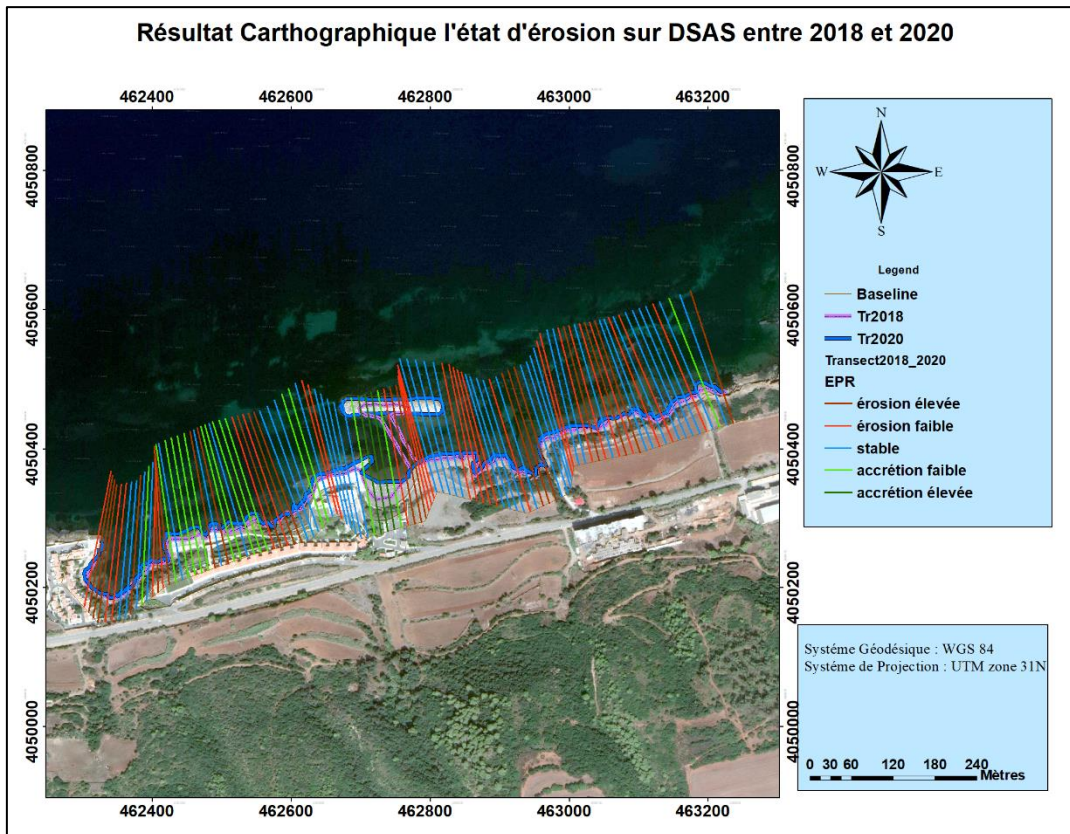


Figure 36: Résultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2018 et 2020

Commentaire :

On remarque que la période entre 2018 et 2020 se caractérise par un avancement remarquable de trait de côte le long de la bande côtière de la zone d'étude, pour la partie Est et Ouest. On enregistre un avancement important de 1.3m/an. Tandis que la partie Centrale signifie un avancement très important de 2.26m/an. On conclut que la zone d'étude a subi une accrétion

durant cette période due à l'installation d'un brise lame émergé, débarcadère et un rechargement de la plage qui fait par le LEM.

d) L'intervalle de l'année 2009 à 2020 :

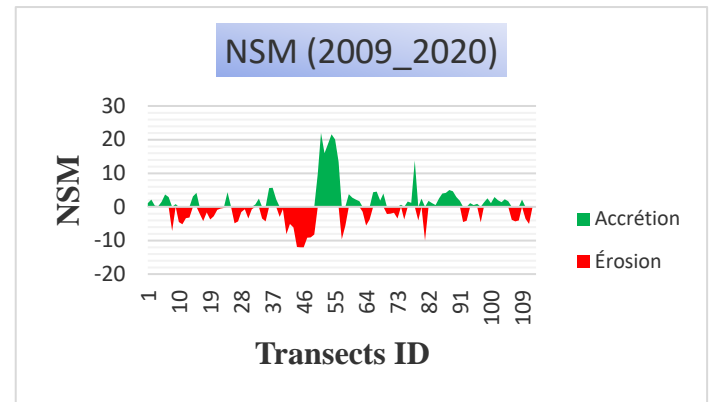
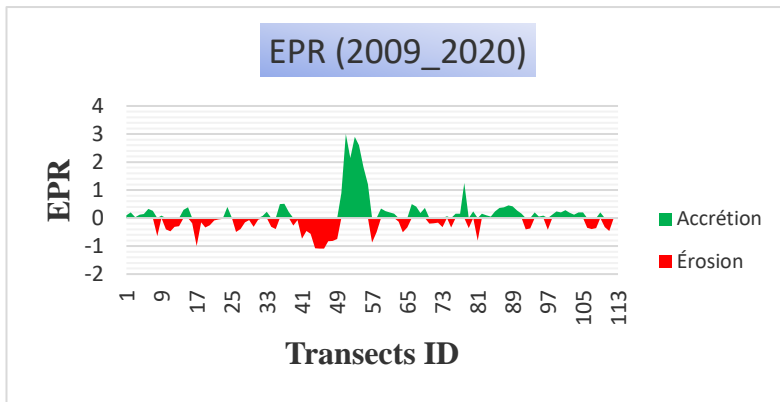


Figure 37: End point Rate (mètre/an) entre 2009-2020

Figure 38: Mouvement net du trait de côte (mètre) entre 2009-2020

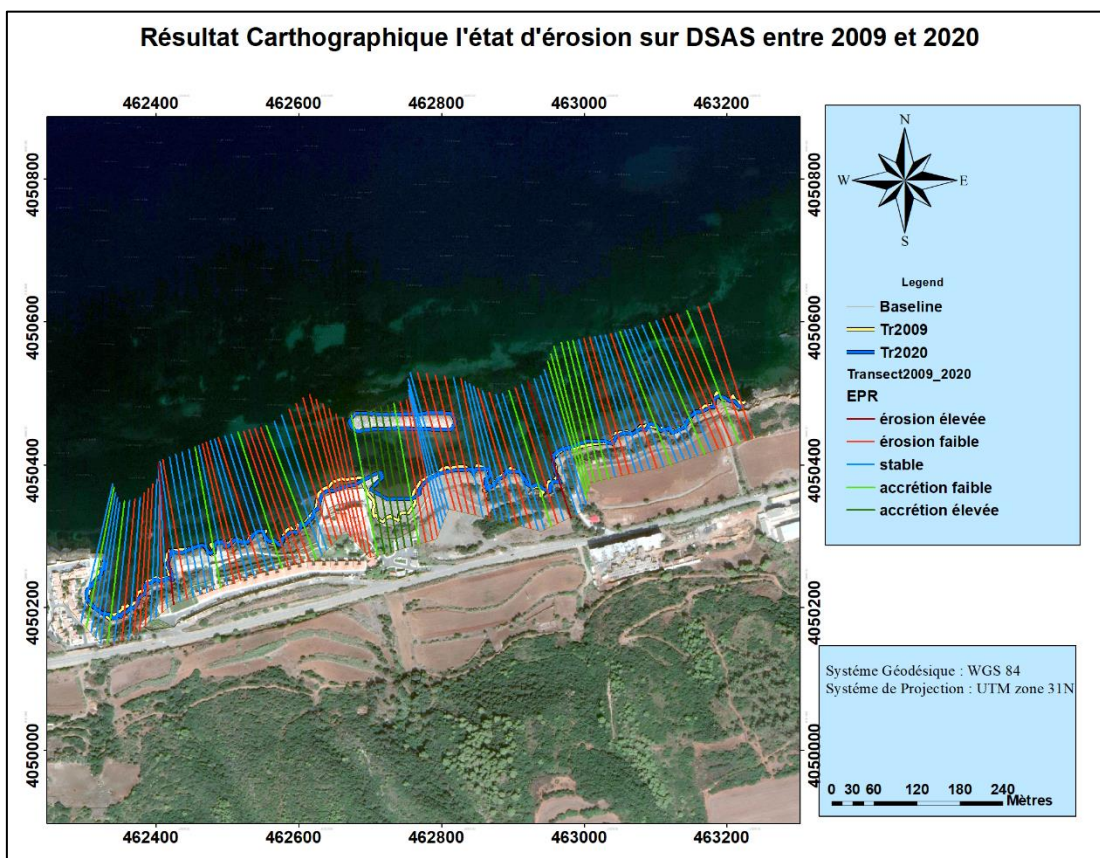


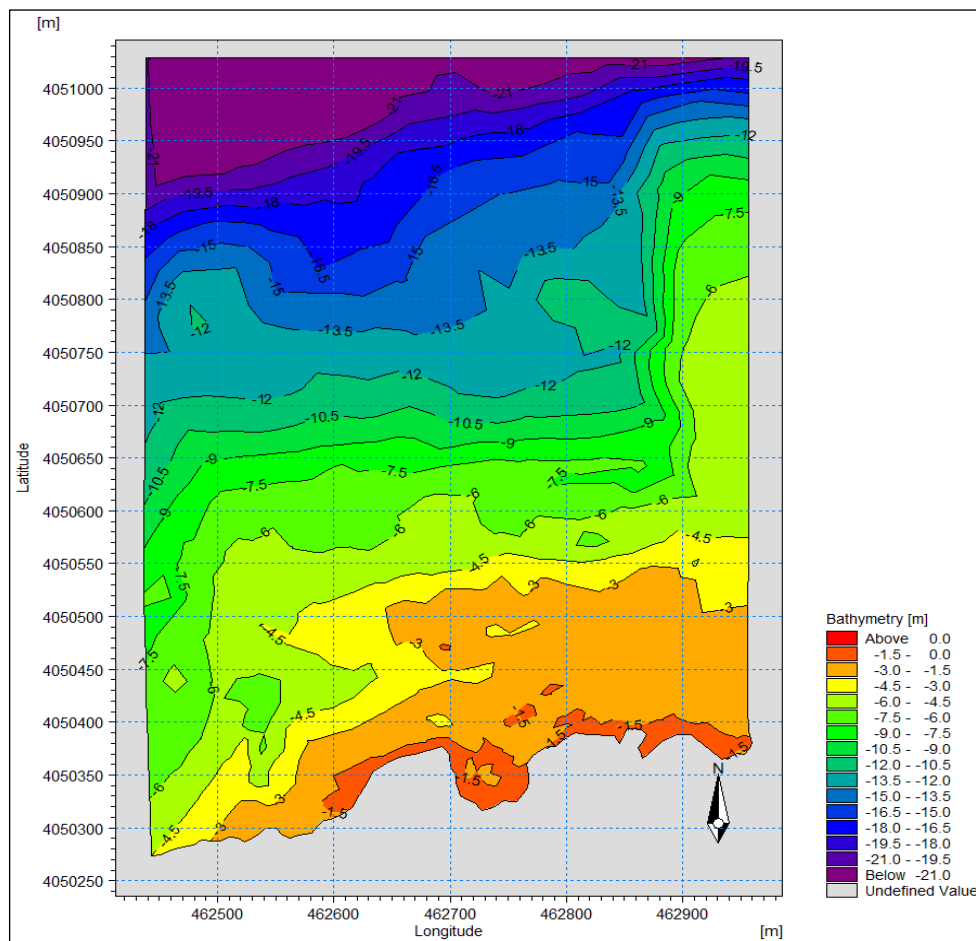
Figure 39: Résultat cartographique de l'état d'érosion sur DSAS entre 2009 et 2020

**Commentaire :**

On remarque que les graphiques de l'EPR sont superposables à ceux du NSM qui donnent approximativement les mêmes résultats que la représentation graphique Avec des reculs allant jusqu'à plus de -30m du côté Ouest de la zone d'étude. Des accrétions dans la partie Est qui dépassent les 40m sont aussi enregistrées.

**III.2 Résultats de l'étude bathymétrique :**

La bathymétrie obtenue pour le site d'étude présente des valeurs comprises entre 0m et -21m. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques.



**Figure 40:** Carte bathymétrique du site d'étude réalisé par MIKE 21

**Commentaire :**

L'analyse de la carte bathymétrique témoigne une morphologie sous-marine chahutée à la côte mais qui tend à devenir régulière vers le large. Les isobathes sont plus ou moins parallèles de la côte jusqu'à 7 m de profondeur puis deviennent parallèles avec un espace inter isobathes serré entre 7 et 21 m, cet aspect traduit une rupture de pente.

Toutefois, il est observé d'Ouest en Est, entre 12 et 18 m de profondeur maximum, un relâchement de l'espace entre isobathes témoignant ainsi un adoucissement de la pente.

### **III.3 Résultats de l'étude de la réfraction de la houle à l'état initial :**

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte. Les données de la houle à la côte serviront de données d'entrée pour le dimensionnement des ouvrages maritimes. La modélisation de la réfraction de la houle du large vers la côte est représentée avec des cartes où les valeurs de hauteurs de houles sont présentées. Le coefficient de réfraction  $K_r$  est défini de la manière suivante:  **$K_r = H_s \text{ locale} / H_s \text{ large}$**

#### **III.3.1 Les cartes de simulation :**

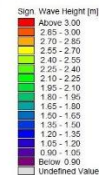
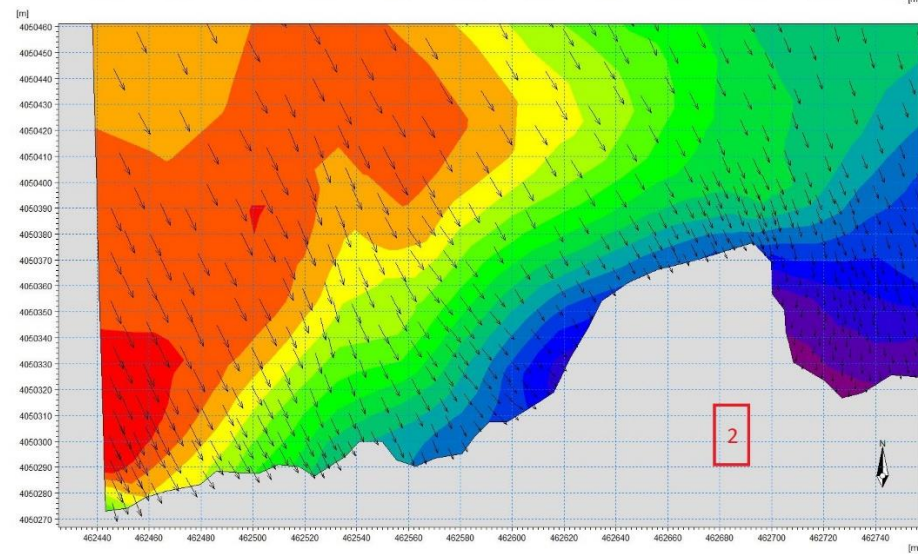
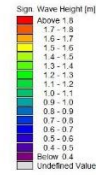
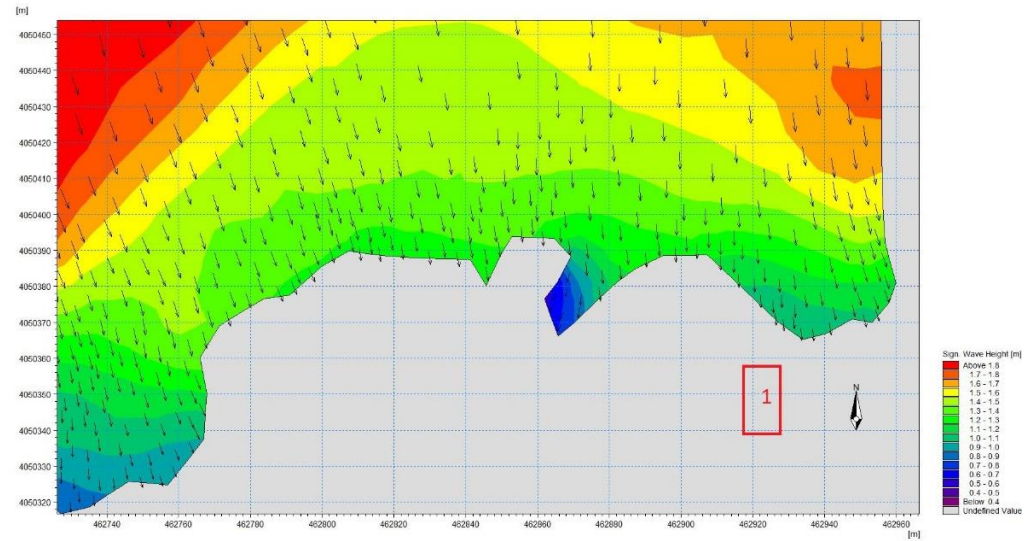
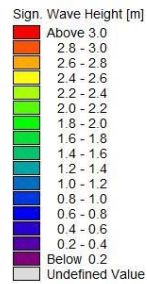
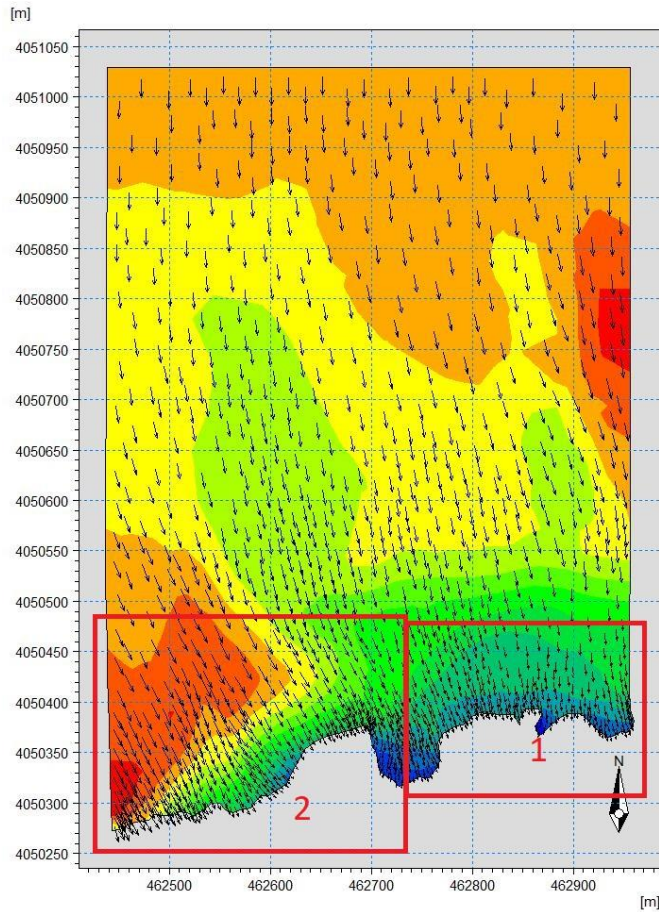


Figure 41: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N360°, T<sub>p</sub>=8s, H<sub>s</sub>=2.67m

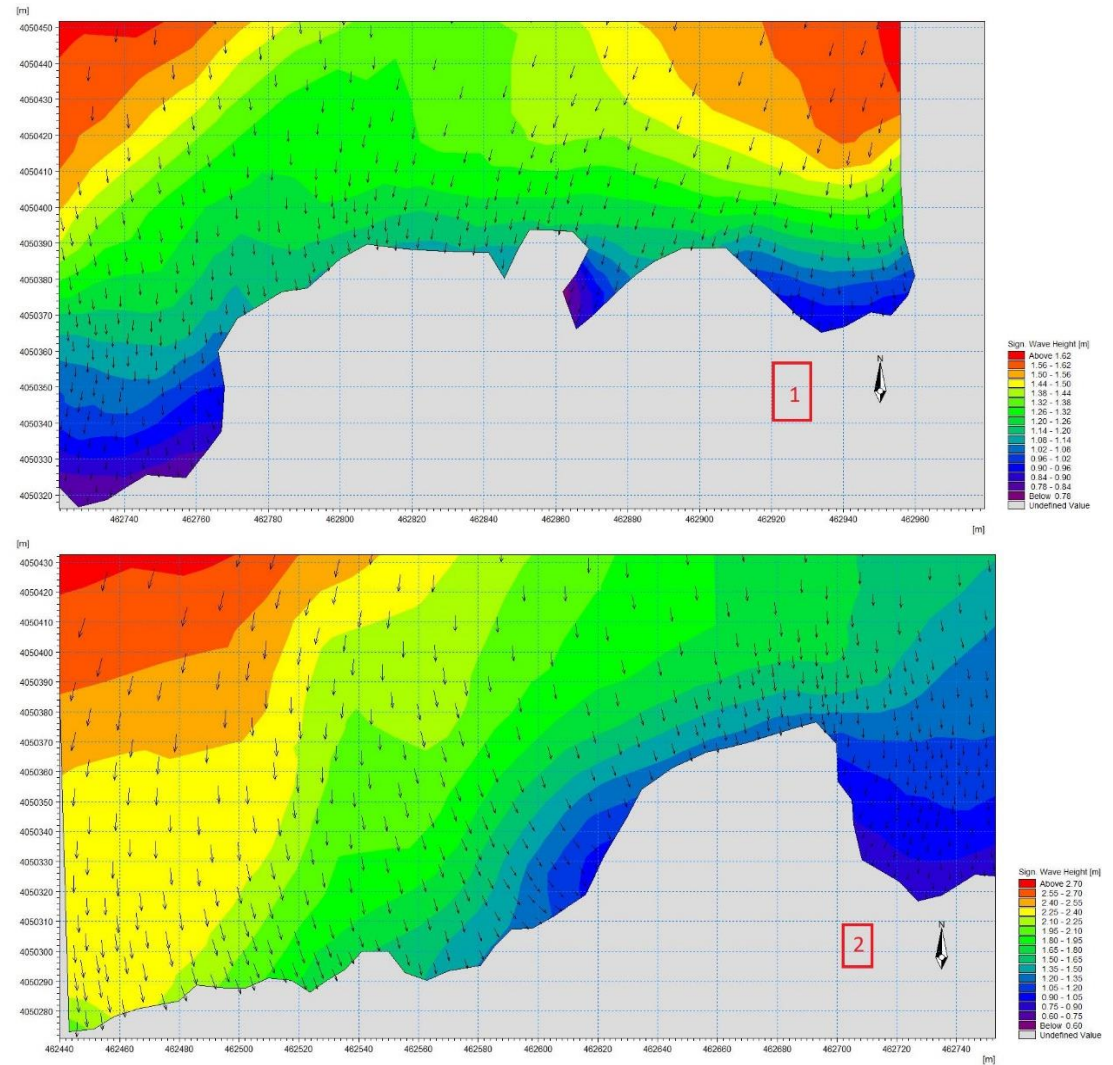
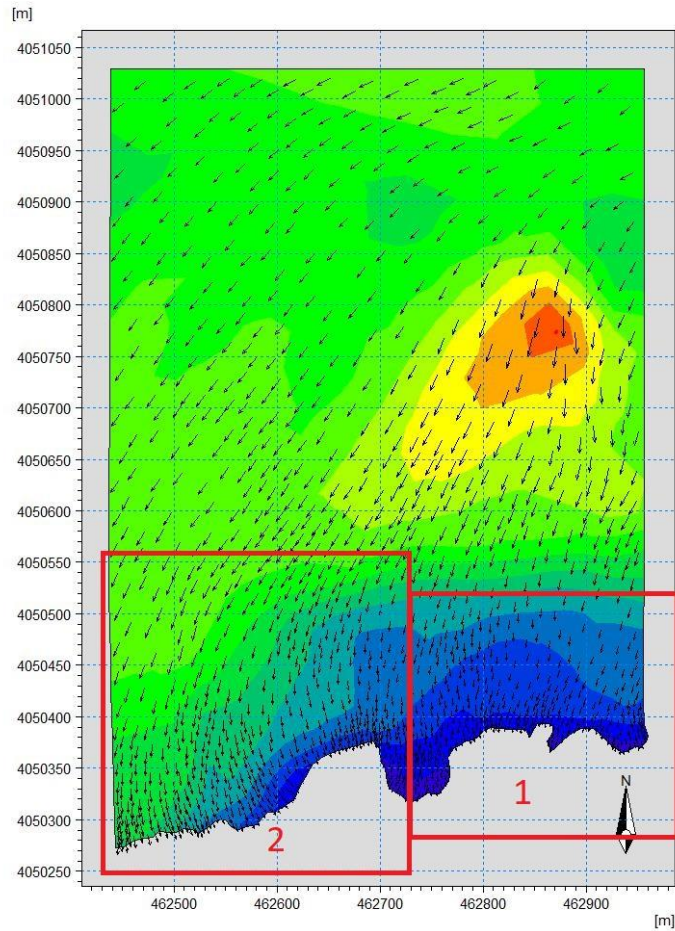


Figure 42: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N45°, T<sub>p</sub>=8s, H<sub>s</sub>=2,56m

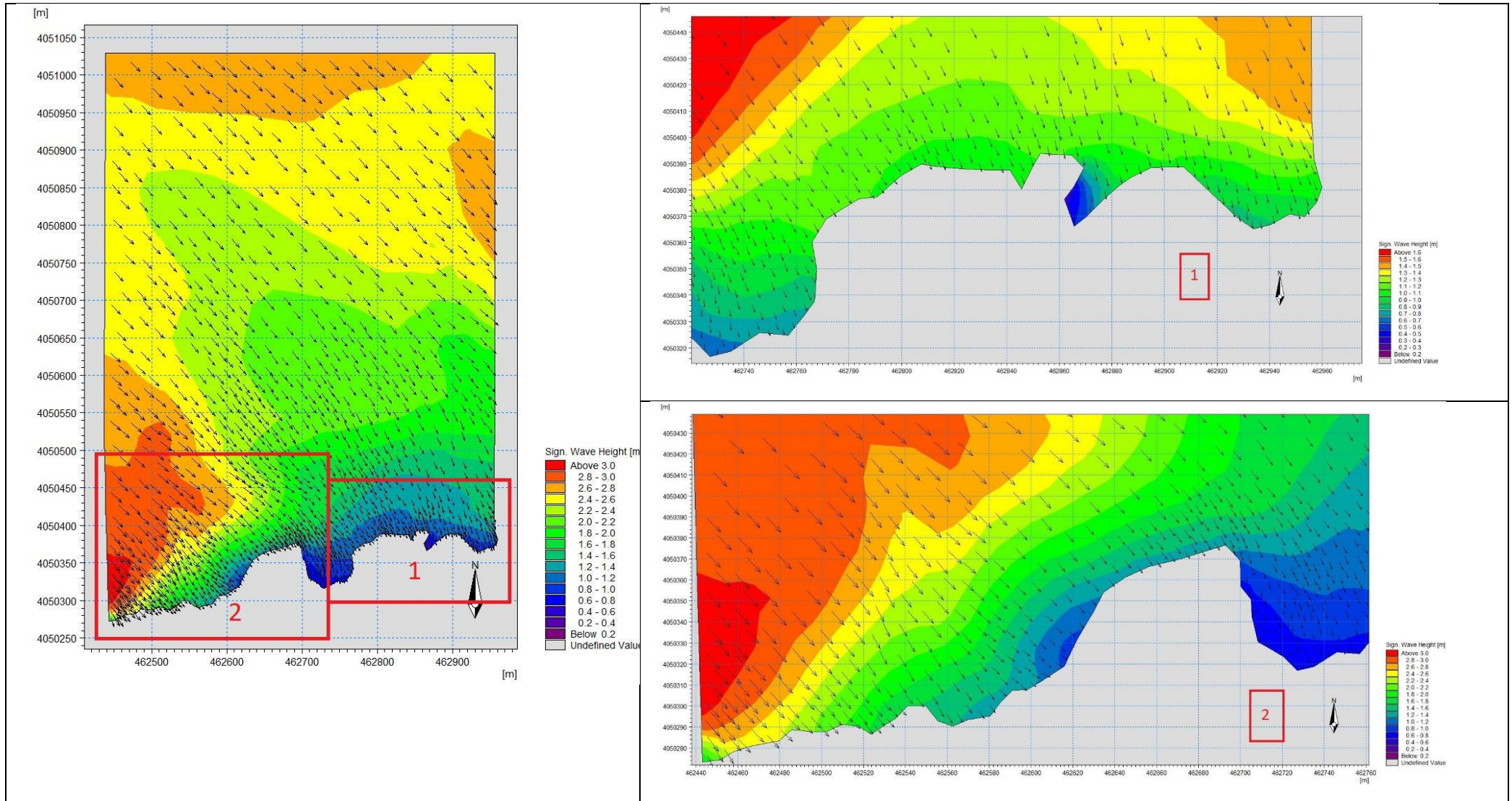


Figure 43: La modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction N315°,  $T_p = 8s$ ,  $H_s = 2.64m$

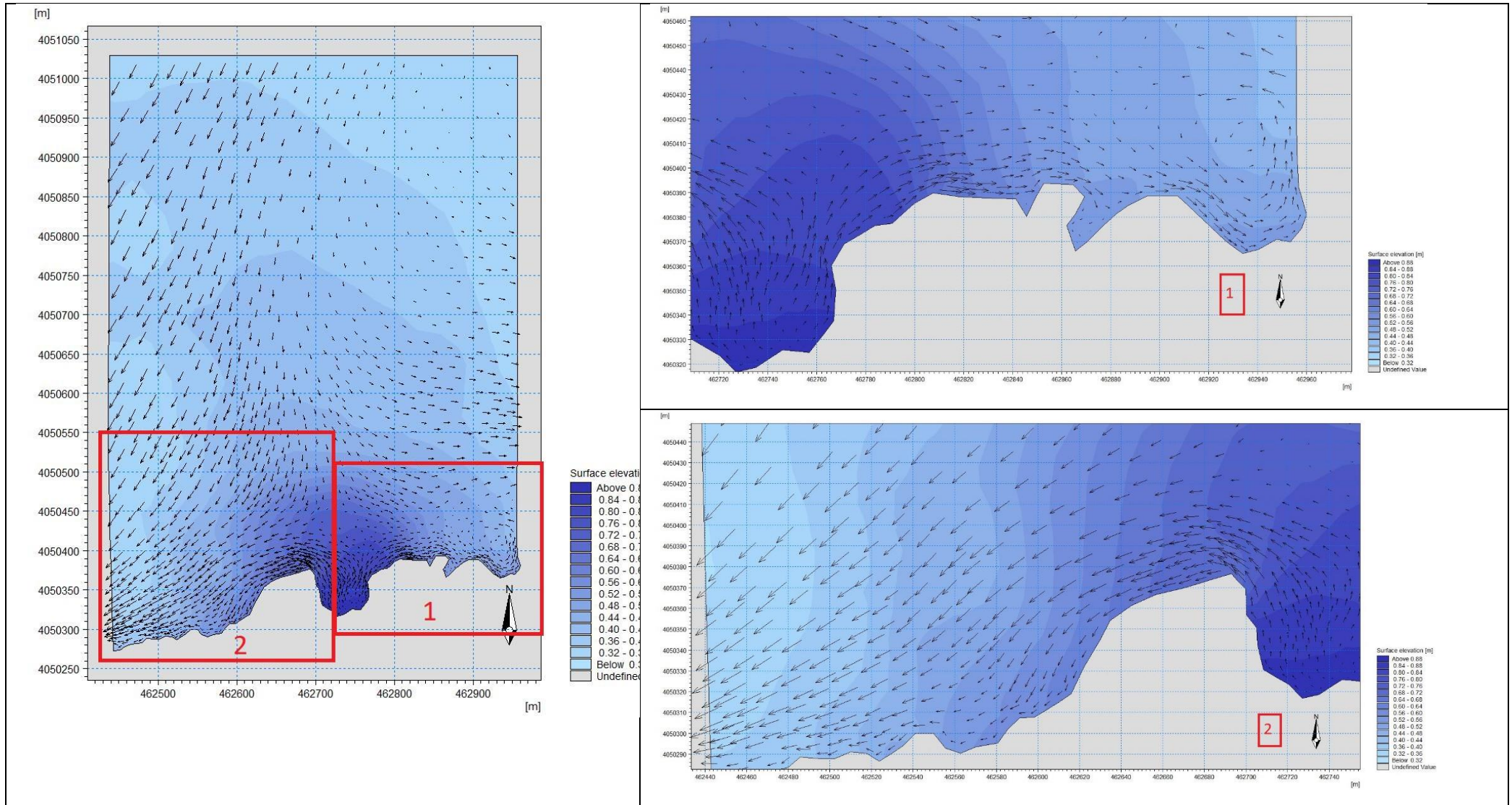


Figure 44: La modélisation numérique de HD de direction N360°,  $T_p=8s$ ,  $H_s=2.67m$

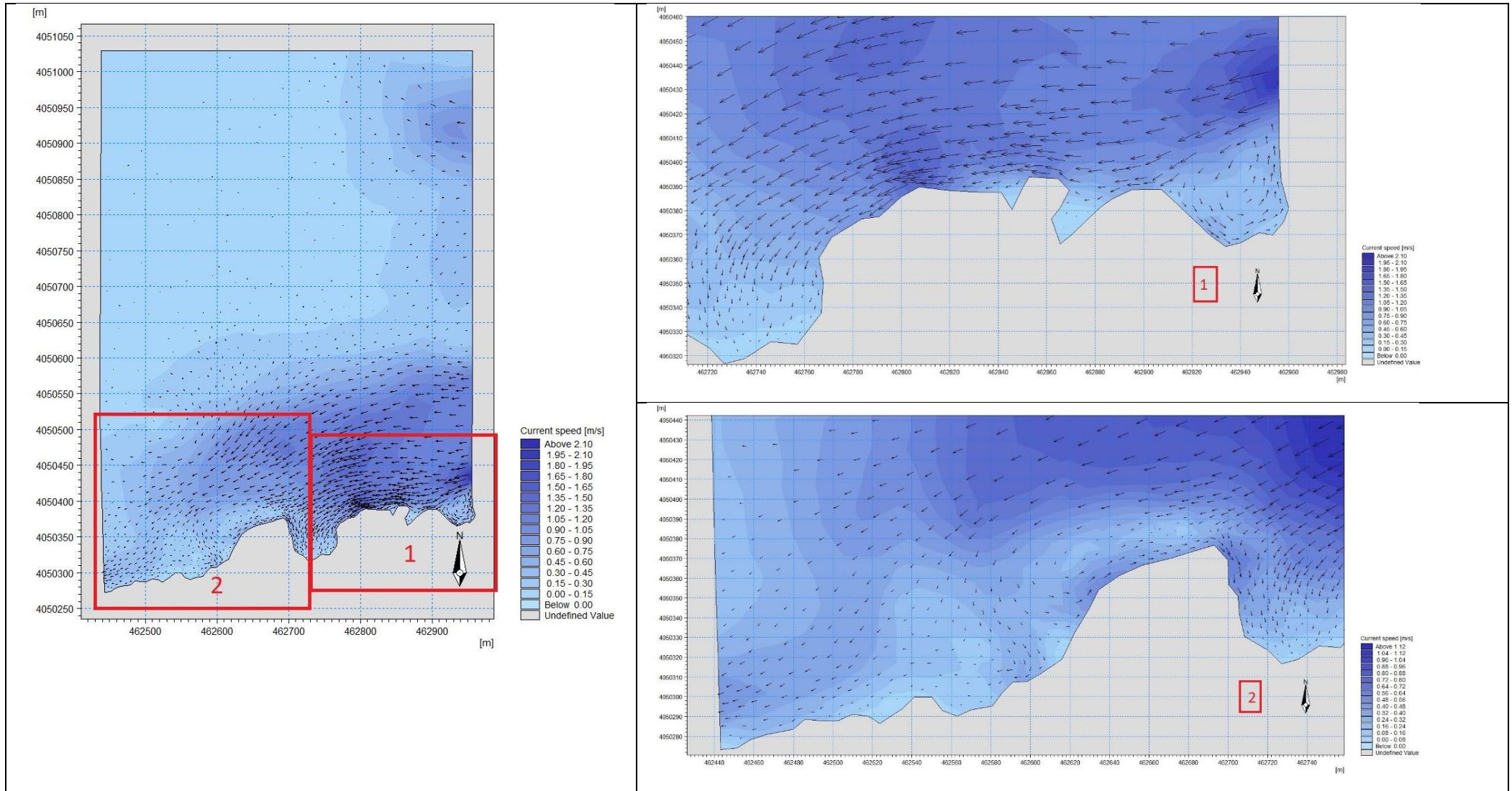


Figure 45: La modélisation numérique de HD de direction  $N45^\circ$ ,  $T_p=8s$ ,  $H_s=2.56m$

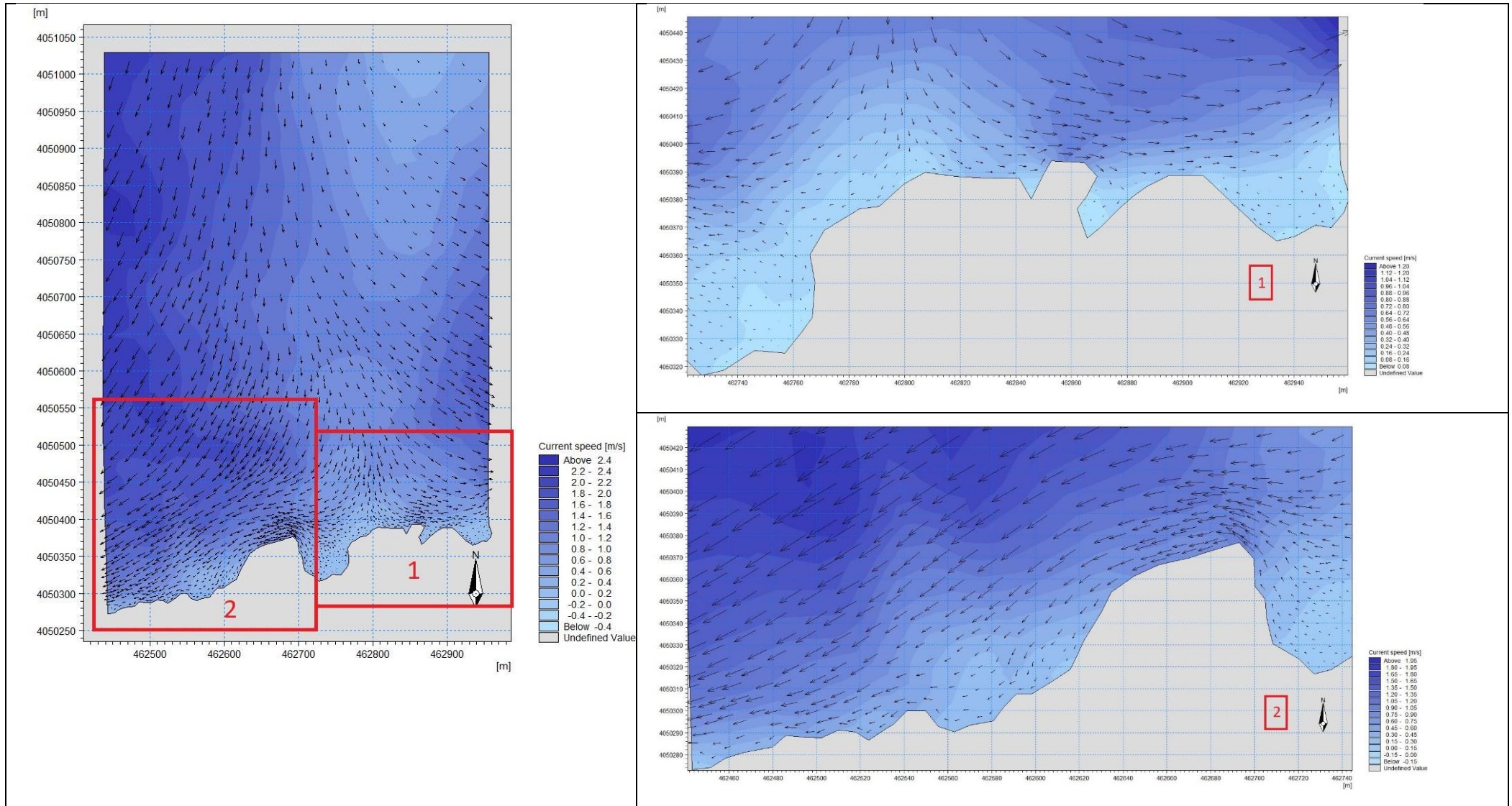


Figure 46: La modélisation numérique de HD de direction N315°,  $T_p=8s$ ,  $H_s=2.64m$

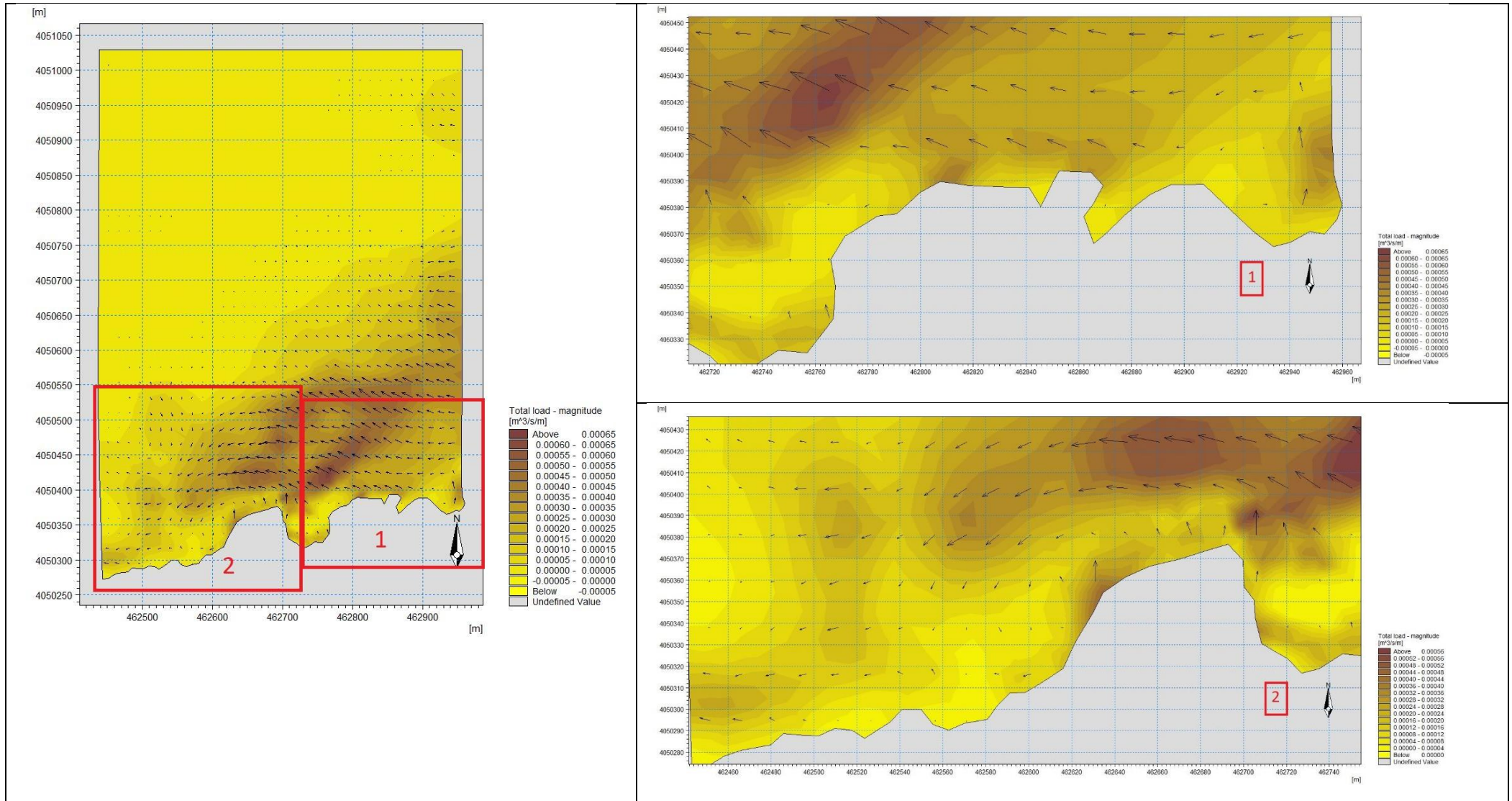


Figure 47: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N360°,  $T_p=8s$ ,  $H_s=2.67m$

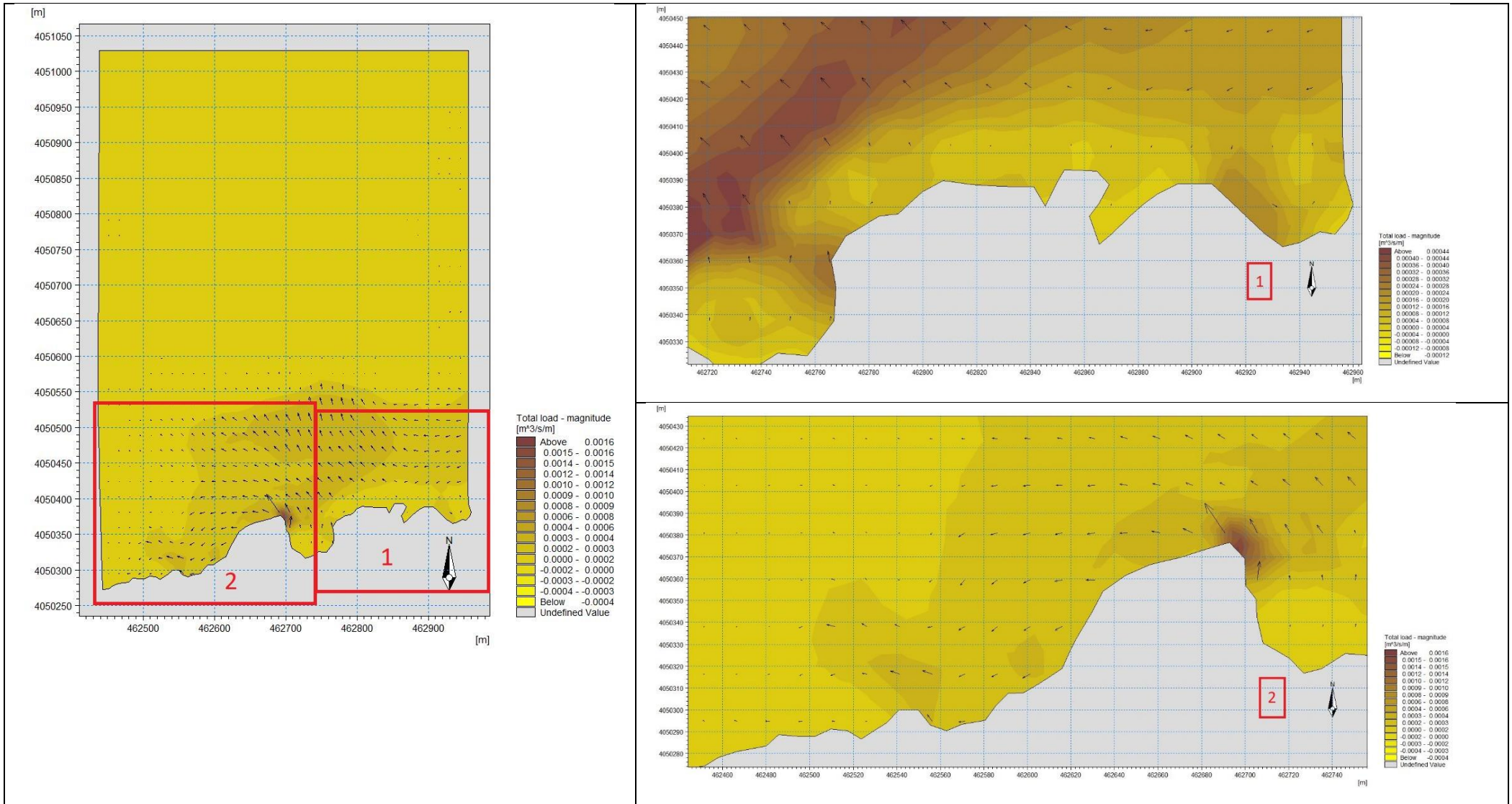


Figure 48: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N45°,  $T_p=8s$ ,  $H_s=2.56m$

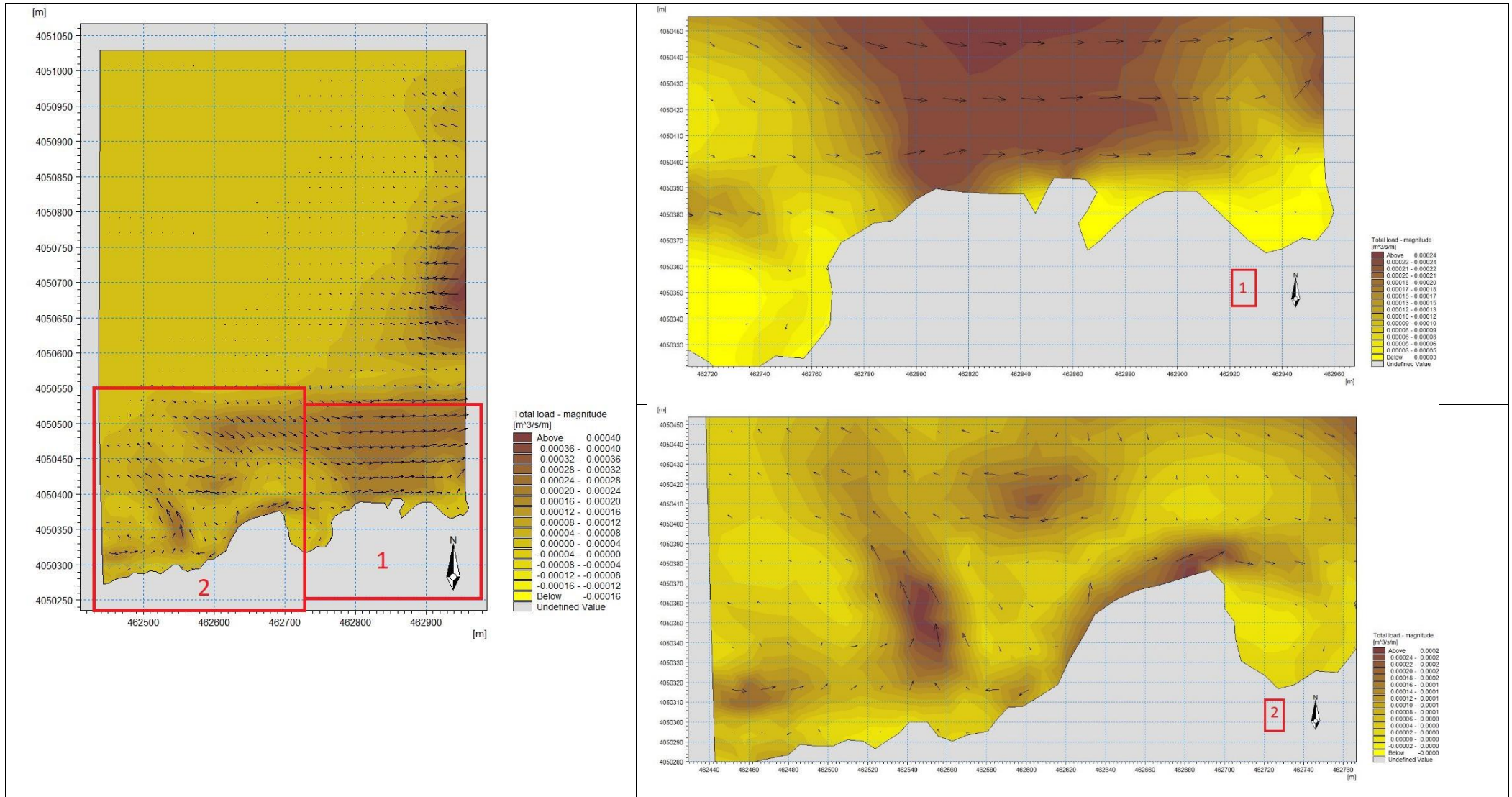


Figure 49: La modélisation numérique de transport sédimentaire de direction N315°, Tp=8s, Hs=2.64m

**III.3.2 Interprétation des résultats de simulation :****-Pour la réfraction de la houle SW :****Tableau 6:**Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 360°

Profondeur(m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Kr	Réfraction
-5	360°	2.67	1.35	0.505617	49 %
-1	360°	2.67	0.6	0.224719	78 %

**Tableau 7:**Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 45°

Profondeur(m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Kr	Réfraction
-5	45°	2.56	1.65	0.644531	36 %
-1	45°	2.56	1.9	0.468750	53 %

**Tableau 8:**Résultats des points d'extraction pour la houle Nord N 315°

Profondeur(m)	Direction	Hs large (m)	Hs local (m)	Kr	Réfraction
-5	45°	2.56	1.65	0.644531	36 %
-1	45°	2.56	1.9	0.468750	53 %

**Commentaire :****Pour N360° :**

La réfraction de la houle pour une direction Nord 360° qui connaît des hauteurs significatives varient globalement entre 0.2m et 3m pour une période  $T=8s$ .

Les vagues gardent en moyenne 51% de leur intensité du large à (-5m) de profondeur près des côtes et 22% à (-1m). La propagation de la houle atteint notre zone sans modifier de direction à l'Est par contre dans la zone Ouest on observe un changement de direction qui peut être due à la morphologie de la côte, la houle propage avec une énergie qui diminue par réfraction au fur et à mesure en se rapprochant de la côte.

**Pour N45° :**

Les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de la direction Nord-Est 45° pour la période 8s. Dans ce cas, les hauteurs significatives varient de 0,75m à 2.85m. La propagation de la houle atteint notre zone avec une modification de direction.

Les vagues gardent leur intensité à 64% à (-5m) de profondeur et jusqu'à 47% à (-1m).

**Pour N315° :**

La réfraction de la houle pour une direction Nord-Ouest 315° qui connaît des hauteurs significatives varient globalement entre 0.2m et 3m pour une période  $T=8s$ . La propagation de la houle atteint notre zone sans être modifier de direction.

Les houles gardent leur intensité à 53% à (-5m) de profondeur et jusqu'à 30% à (-1m).

On conclue que les houles provenant de la direction N360° sont les plus réfractées, elles présentent un coefficient de réfraction  $K_r$  compris entre 0,22 et 0,50. Par contre, les houles de la direction N315° et N45° gardent presque la totalité de leur énergie du large.

Ces déformations sont dues essentiellement à l'orientation du trait de côte par rapport le nord et aux directions des houles dominantes.

**-Pour la courantologie HD :****Pour N360° :**

La variation des courants et leur direction qui sont générés par une houle du Nord 360° sont d'ordre de 0m/s à 2.1m/s et évoluent d'une manière parallèle au rivage. Ils sont liés possiblement au courant de la dérive littorale par une vitesse maximale 2.1m/s du Nord-Est de la zone. On voir l'absence des courants de routeur.

**Pour N45° :**

Les courants littoraux générés par la réfraction de la houle du Nord-Est 45° présentés montre des champs de courant répartis dans toute la zone d'étude. La vitesse des courants varie entre 0m/s et 2.1m/s. Le gradient de vitesse atteint un maximum 2.1m/s au niveau de la partie Nord-Est.

**Pour N315° :**

Les champs de courant induits par une houle du Nord-Ouest 315° avec une variation de vitesse entre 0.4m/s et 2.4m/s, on observe d'après la carte que les courants sont évolués avec une vitesse maximale 2.4m/s au Sud-Est et Nord -Ouest de la zone d'étude, deux courant parallèle au rivage de direction différente se rencontrent ce qui engendre un courant de retour.

**-Pour le transport sédimentaire :****Pour N360° :**

Le transport sédimentaire généré par la houle de direction Nord360° avec une période de  $T=8s$ . Les flux sédimentaires sont proportionnels avec la direction des courants. On observe un taux de transport qui devient moins important avec une forte perte des sédiments d'ordre de  $9331.2 \text{ m}^3 / \text{an}/\text{m}$ .

**Pour N45° :**

Le transport sédimentaire généré par la houle de direction Nord Est 45° avec une période de  $T=8s$ . Nous avons une forte perte de sédiments qui est plus proche à la cote par rapport aux celles qui sont générés par des houles d'autres secteurs. Il est également à noter que le courant de la dérive induit par les houles de cette direction cause un transit sédimentaire de secteur Nord-Est vers le Sud-Ouest et transport majoritairement les sédiments d'origine d'Oued MAZAFRAN vers le rivage.

**Pour N315° :**

Le transport sédimentaire généré par la houle de direction Nord-Ouest315° avec une période de  $T=8s$ . Les flux sédimentaires sont proportionnels avec la direction des courants avec un ordre de  $4976.64 \text{ m}^3 / \text{an}/\text{m}$ . d'après la carte on observe un transport sédimentaire important et deux courants de dérive littoral de directions différentes qui se rencontrent pour engendrer un courant qui transporte les sédiments de la côte vers le large.

**Conclusion :**

- Les houles de direction N360° restent les plus importantes en termes de hauteur de la houle.
- Un transport sédimentaire important jusqu'à  $4976.64 \text{ m}^3 / \text{ans}/\text{m}$  de la direction N315, contrairement au direction N360 et N45 qui il y a une forte perte des sédiments.



**Chapitre IV :**  
***Les solutions de  
protections***

**Chapitre IV : Modélisation des solutions d'aménagement****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)

Pour cela nous proposons pour protéger le site d'Ain Tagourait la variante suivante composée :

- Un Brise-lames émergé en enrochements naturels.
- Un Brise-lames émergé et Épi.
- Un Brise-lames émergé et rechargement de la plage.

**IV.1. Variante 01 : batterie de brise-lame :****IV.1.1 Objectifs et fonctionnement :**

Les brise-lames sont des ouvrages mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé. Ils ont pour but d'atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent. En provoquant, par voie de conséquence, une décélération de la dérive littorale, en diffractant aussi la houle lorsqu'elle heurte leurs extrémités, les brise-lames induisent une sédimentation à leur abri. Des langues de sable ou de galets, d'allure triangulaire, se développent à partir du rivage. (Paskoff, 1993)

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

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

Dans le cas d'un brise-lames, la différence de hauteurs de houle crée un courant à l'arrière de l'ouvrage, quelle que soit la direction de la houle incidente. Ce courant, associé à des hauteurs de houle réduites, entraîne le dépôt de matériau derrière le brise-lames.

En l'absence d'autres influences, les sédiments seront transportés à l'arrière de l'ouvrage et formeront un tombolo ou un salient.

Si le brise-lames est positionné de telle manière qu'un tombolo peut se former, il faut tenir compte des problématiques de sécurité du public puisque le public aura accès sans restriction à l'ouvrage. (Dahmani,2020)

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

- La longueur L.
- La distance D à la ligne de rivage.
- La profondeur h de son implantation.
- L'orientation  $\delta$  par rapport à la ligne de rivage.
- La distance E entre les ouvrages.

#### **IV.1.2 Dimensionnement :**

Il n'existe pas actuellement de critères bien définis quant aux caractéristiques optimales des brise-lames, mais un certain nombre de règles de dimensionnement basées sur la théorie de LCHF<sup>24</sup> qui régissent leur dimensionnement.

##### **-Longueur des brise-lames :**

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

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

J. Charpentier (L.C.H.F.) propose la relation qui est en accord avec le fait que la formation des tombolos dépend de la distance relative et de la longueur d'onde relative :

$$L > 1.2(D + 0.3l)$$

##### **-La distance D à la ligne de rivage :**

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

$$0.6 D < L < 1.2 D$$

##### **-Longueur relative des brise-lames :**

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

$$(L/D) > 1$$

##### **-L'espacement entre les brise-lames :**

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

<sup>24</sup> LCHF : Laboratoire de Conception Hydraulique Français

$$E < 0.83D + \frac{1}{2} \lambda$$

### IV.1.3 Conception :

#### -La cote d'arase :

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

- Hauteur d'acensions :

$$Z = 0.67.HD. Ir^{0.51}. \sqrt{\tan(\alpha)} / 2$$

- Paramètre d'Iribarenne :

$$Ir = \tan(\alpha) / \sqrt{HD/L}$$

- Longueur d'onde de la houle au large :

$$L = gT^2 / 2\pi$$

Avec :

P : Probabilité de franchissement.

$\alpha$  : Pente du talus de la carapace avec l'horizontale.

T : Période de la houle.

g : accélération de la pesanteur  $m \cdot s^{-1}$ .

#### -Carapace :

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

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

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

Avec :

$K_d$  = coefficient de stabilité.

$\rho_s$  = Masse volumique des matériaux en  $kg / m^3$ .

$\rho_w$  = Masse volumique de l'eau en  $kg / m^3$ .

**-Sous Couche :**

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

**-Épaisseur :**

On utilise cette formule pour calculer l'épaisseur des couches et des sous- couches :

$$e = n \times c \times m_{50}^{1/3}$$

Avec :

n : Nombre de rangées

c : Coefficient de couche dépendant de la forme des blocs 1.15 pour les enrochements.

m50 : Volume des blocs en tonne.

#### **IV.1.4 Application au site d'étude :**

Pour notre cas on a proposé une brise lame d'une longueur de L=107 m, implantés à une distance D=105m de la ligne du rivage, soit en moyenne à une profondeur de (-3m), avec un largeur de berme 14m. Le brise lame sera constitués de :

**-La partie Courante :**

- D'une carapace du côté mer arasée à +1,20 m réalisée en enrochements naturels de catégorie (2 - 4T) en deux couches, une pente de 3/2, une épaisseur de 2,40 m et ancrée dans une souille.
- D'un filtre en enrochements naturels de catégorie (0.5-1T) arasé à 0.00 m du côté mer et +1.20 m du côté plage en deux couches et une pente de 3/2.
- D'un noyau en TVC<sup>25</sup> de catégorie (1-500 kg) arasé à +0.50 m.
- D'une butée de pied en enrochement naturelle de catégorie (2-4 T), du côté plage arasée à - 0.20 m.

**-La partie Musoir :**

Formant les extrémités du brises- lames, cette partie comporte :

- Une carapace arasée à +1.40 réalisée en enrochements naturels de catégorie (3-6T) en deux couches, une pente de 3/2, une épaisseur de 2,74 m et ancrée dans une souille.
- Un filtre en enrochements naturels de catégorie (0.5-1T) arasé à 0.00 m
- Un noyau en TVC de catégorie (1-500 kg) arasé à +0.50 m.

<sup>25</sup> TVC : tout venant de carrière

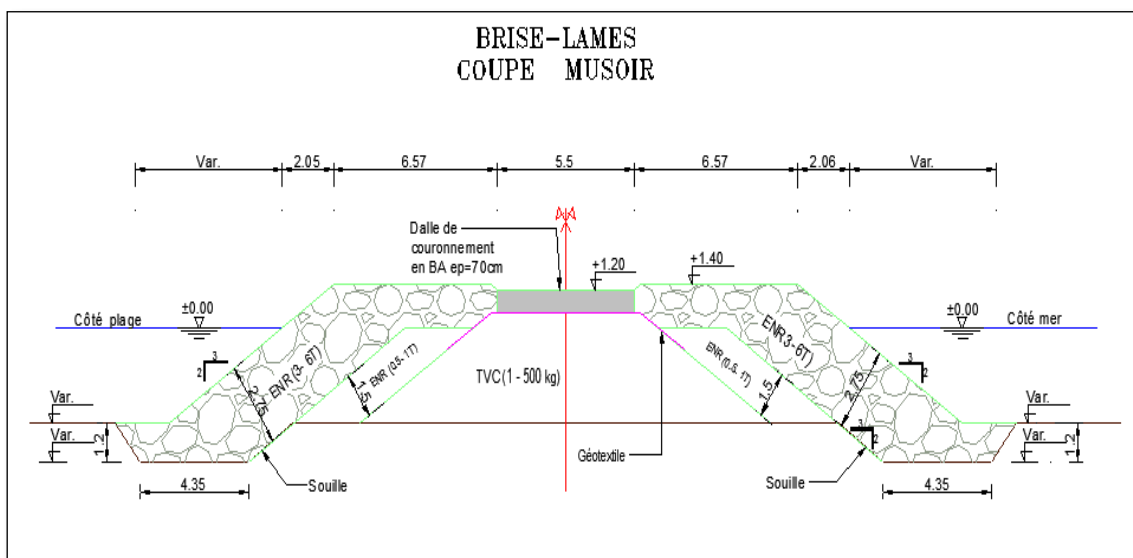
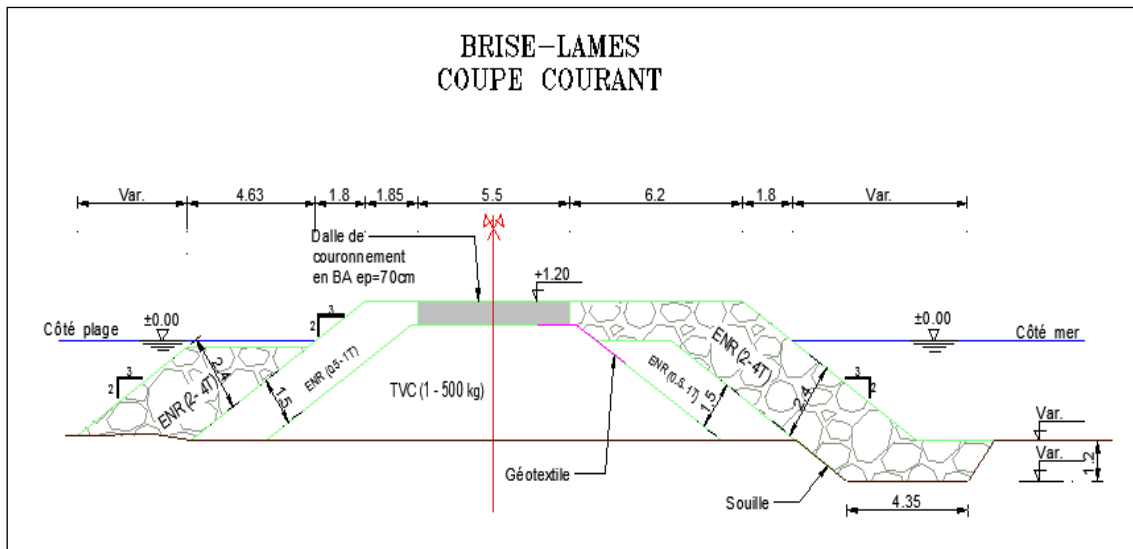


Figure 50: profil en travers du brise-lame

#### IV.1.5 Vérification sur le Modèle Numérique :

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

#### -Les Cartes de Simulation :

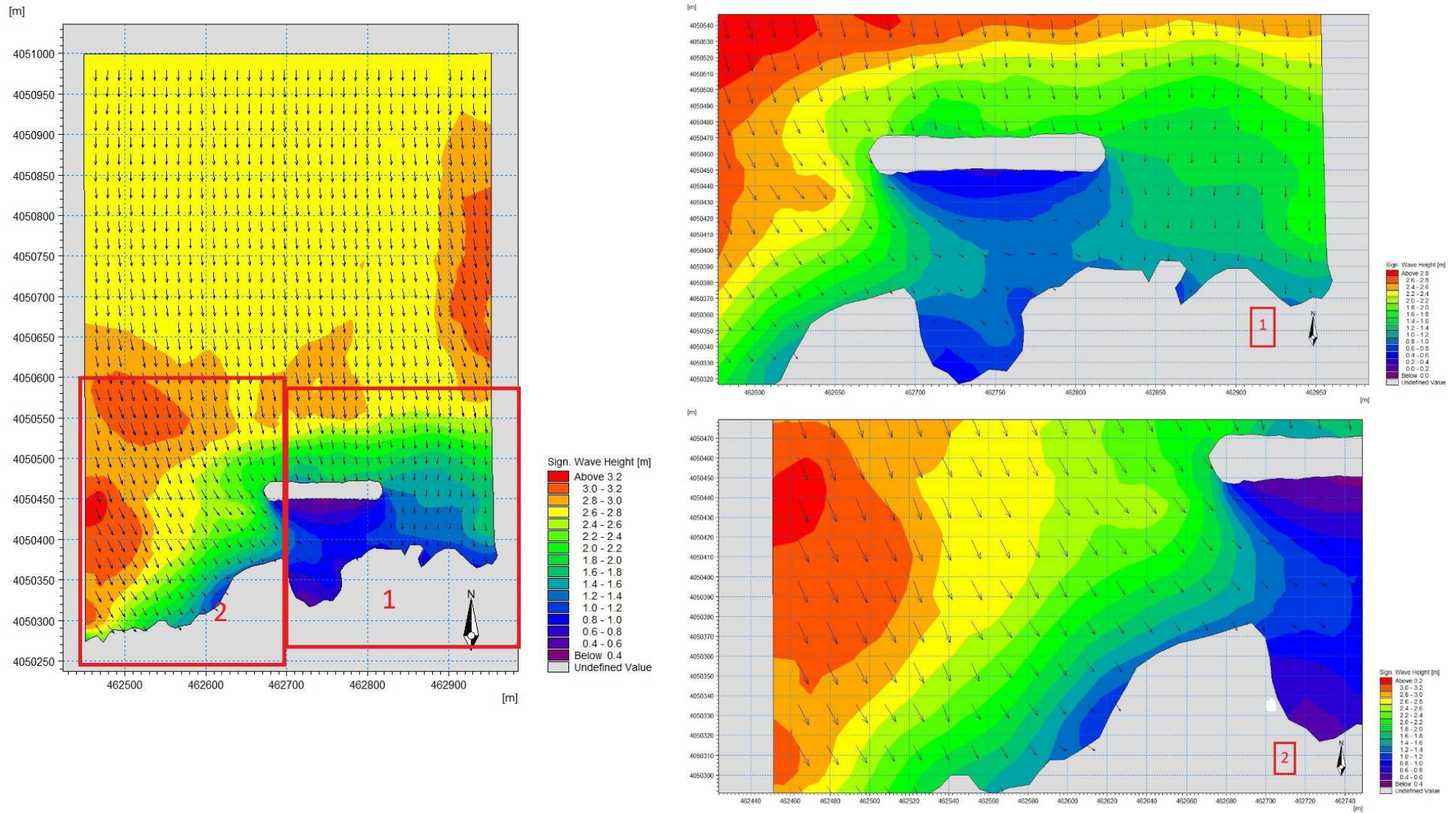


Figure 51: Resultat de réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

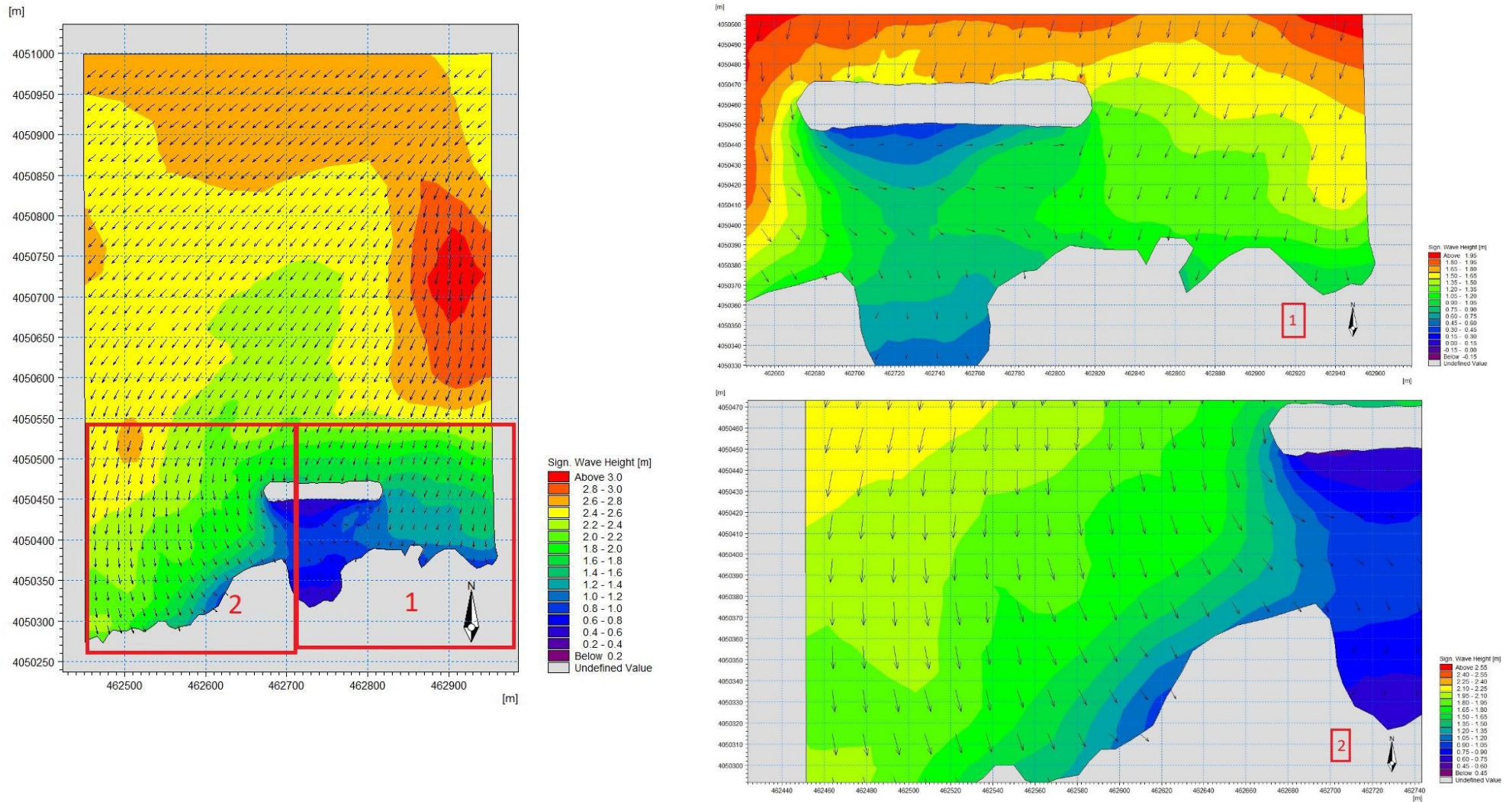


Figure 52: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

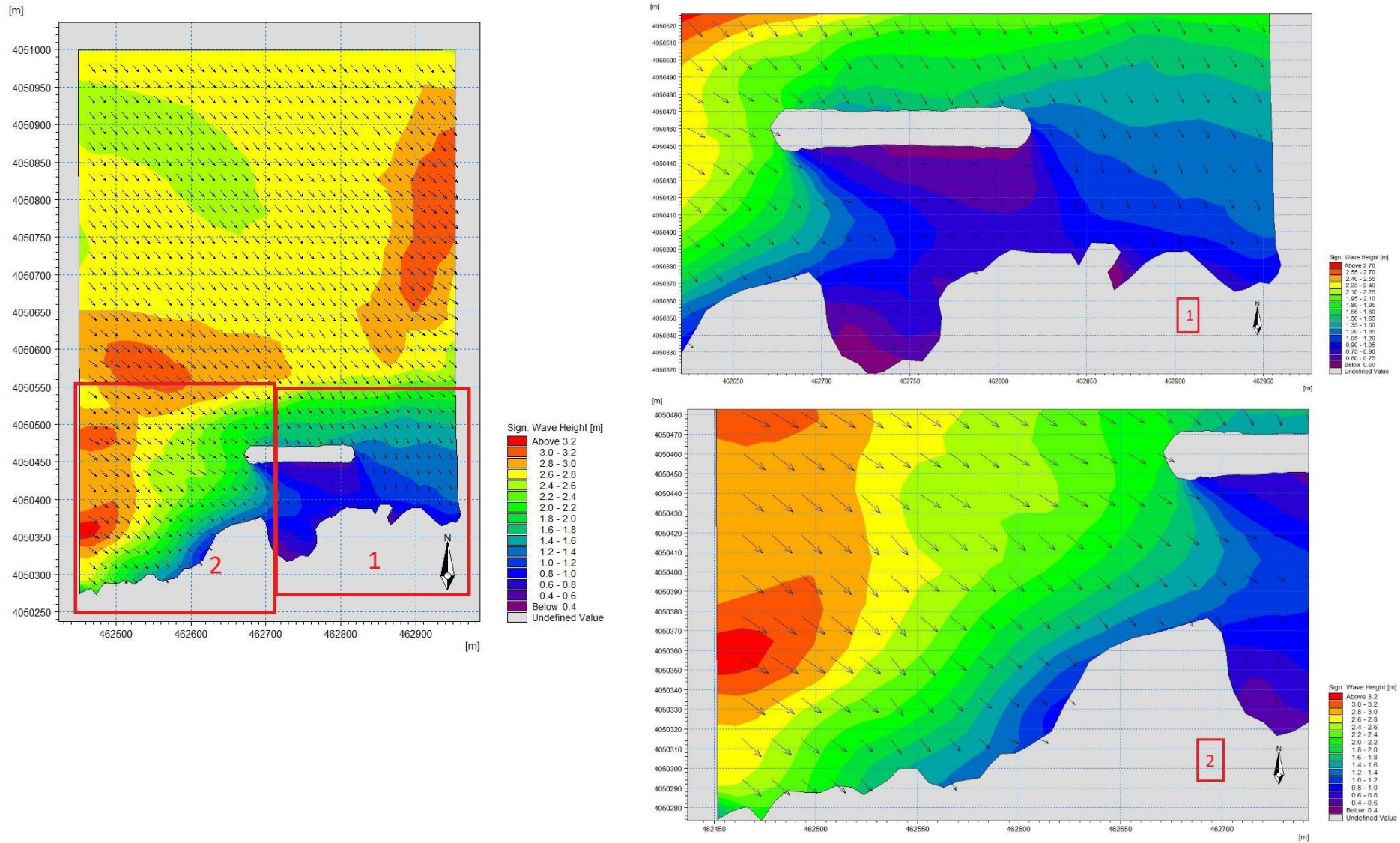


Figure 53: Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

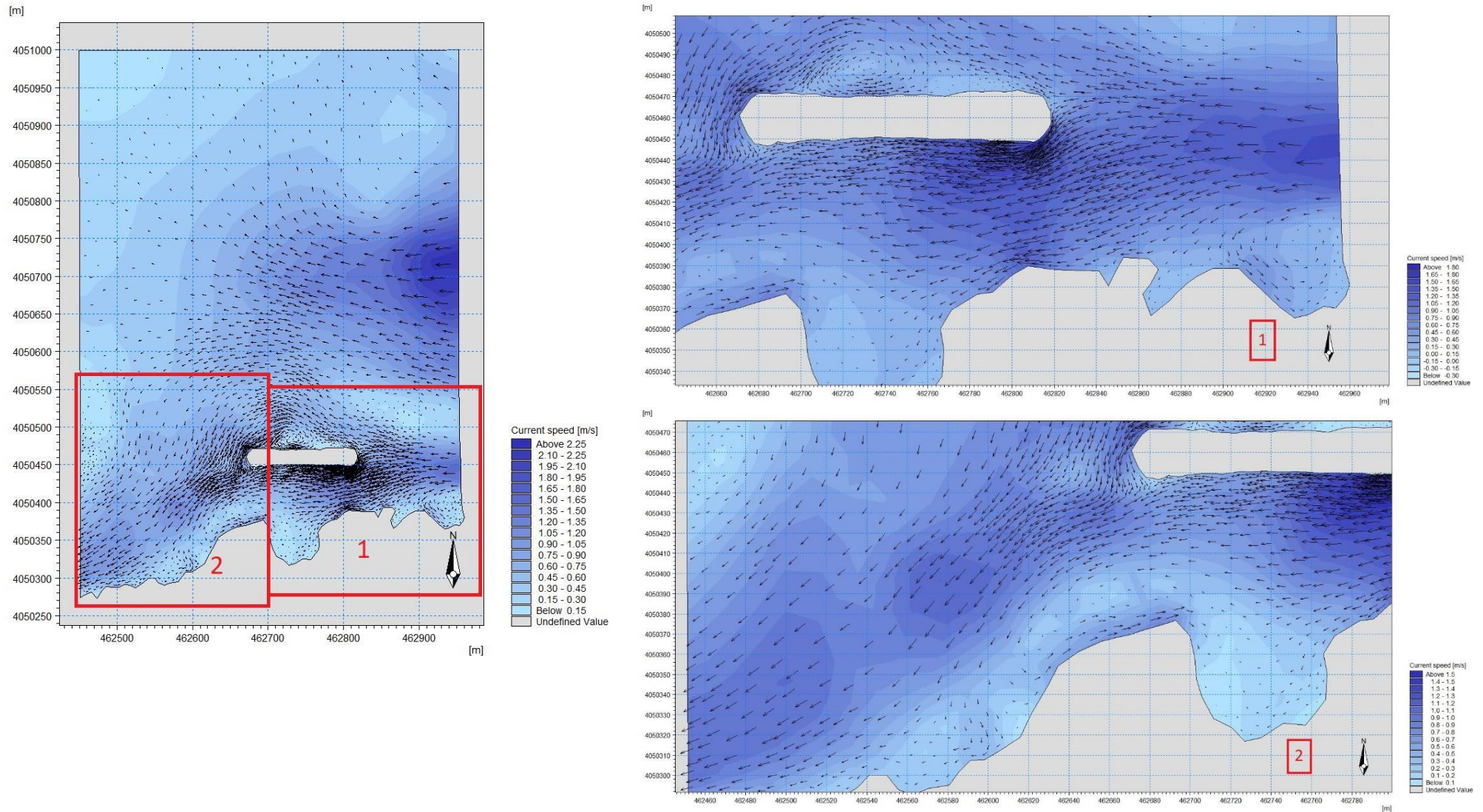


Figure 54: Résultat de la courantologie Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

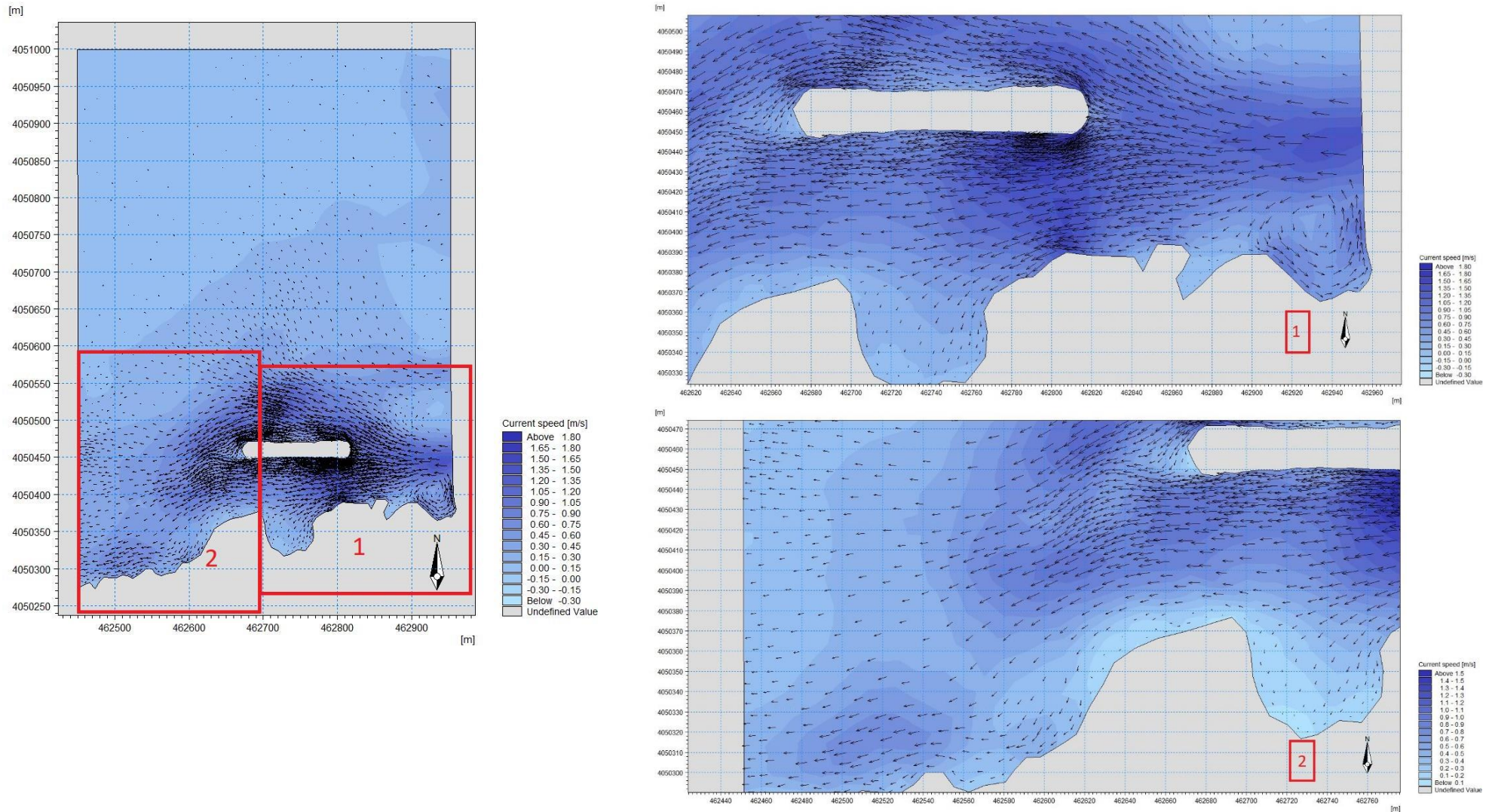


Figure 55: Résultat de la courantologie Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

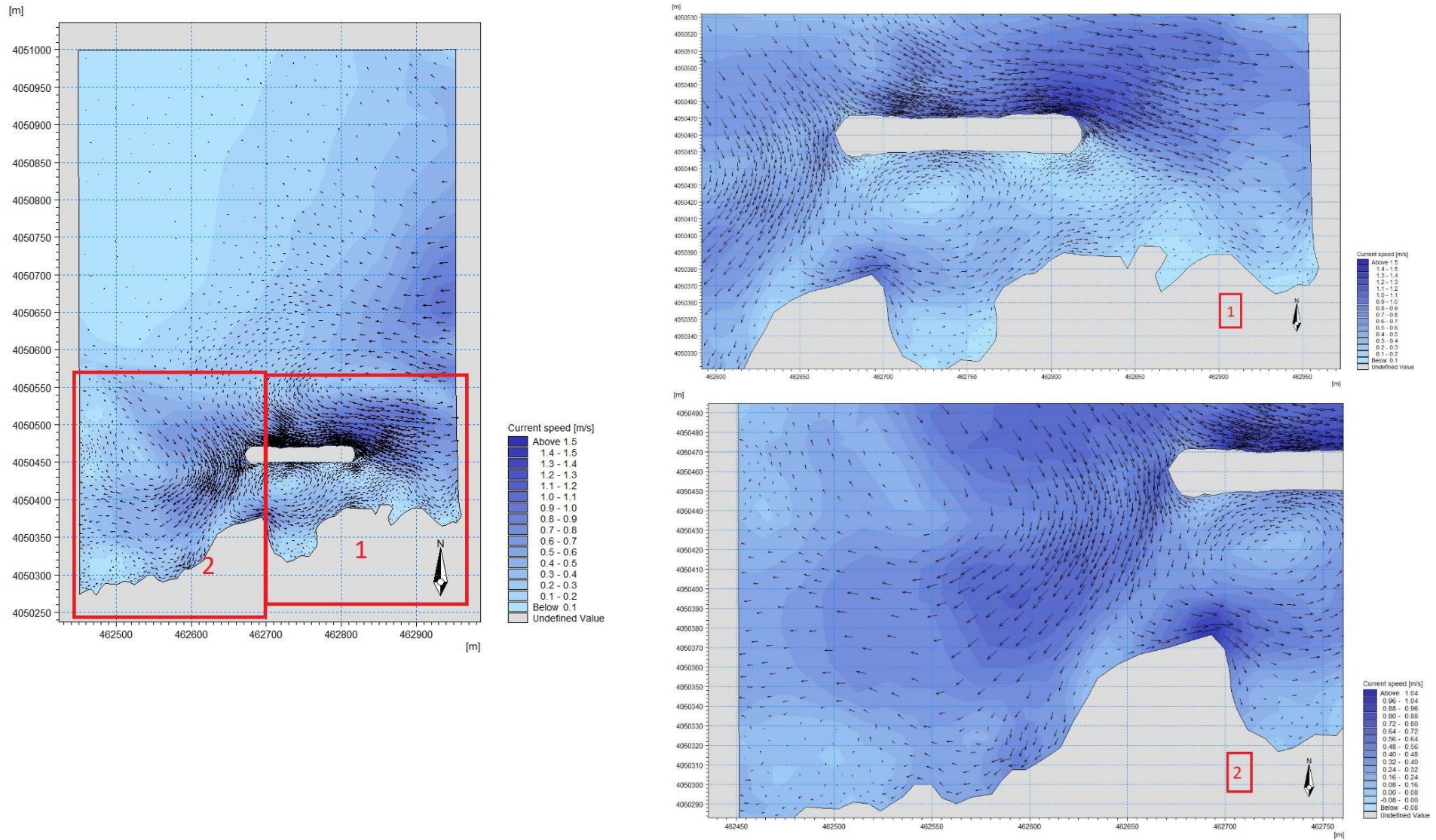


Figure 56: Résultat de la courantologie Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

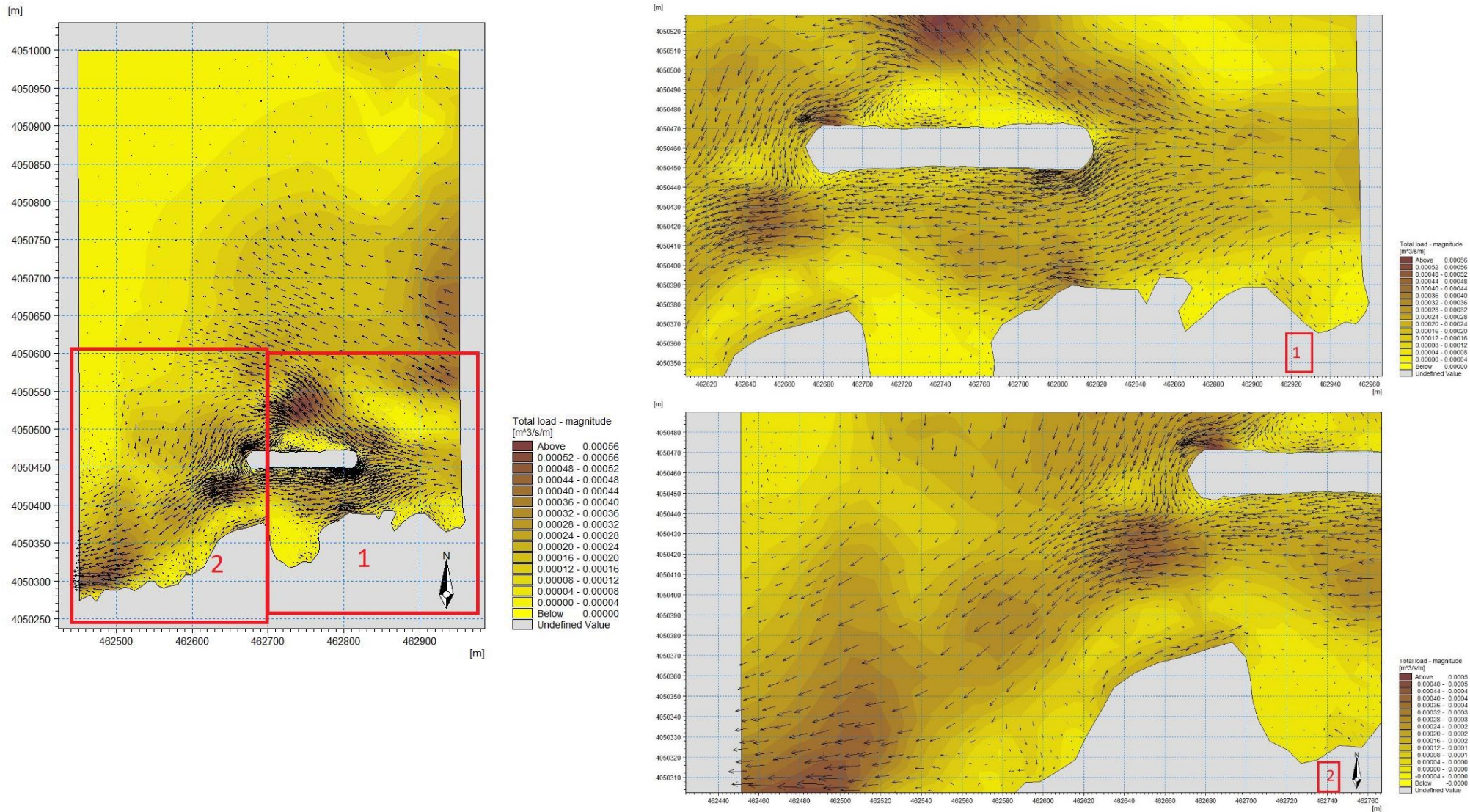


Figure 57: Résultat du transport sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

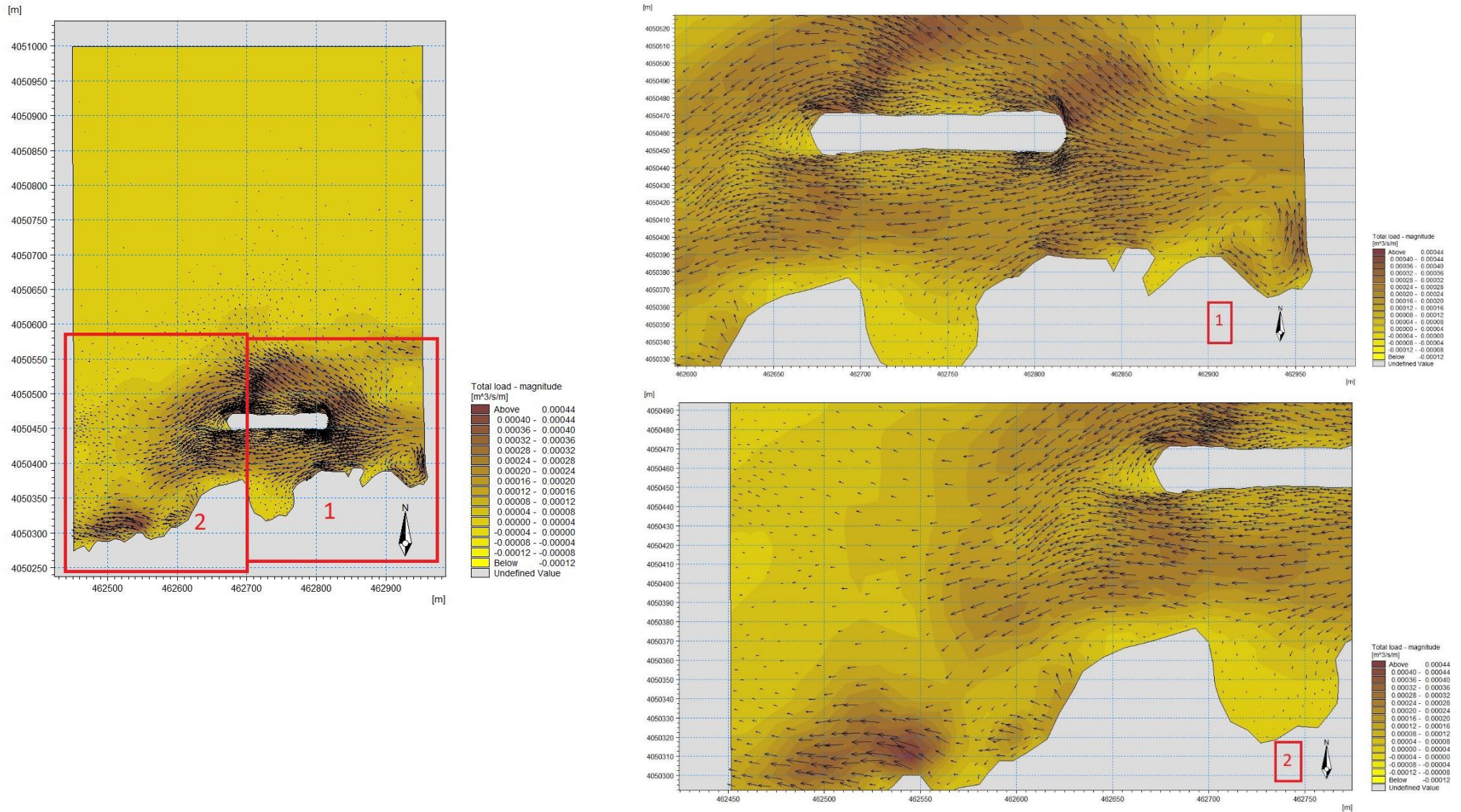


Figure 58: Résultat du transport sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

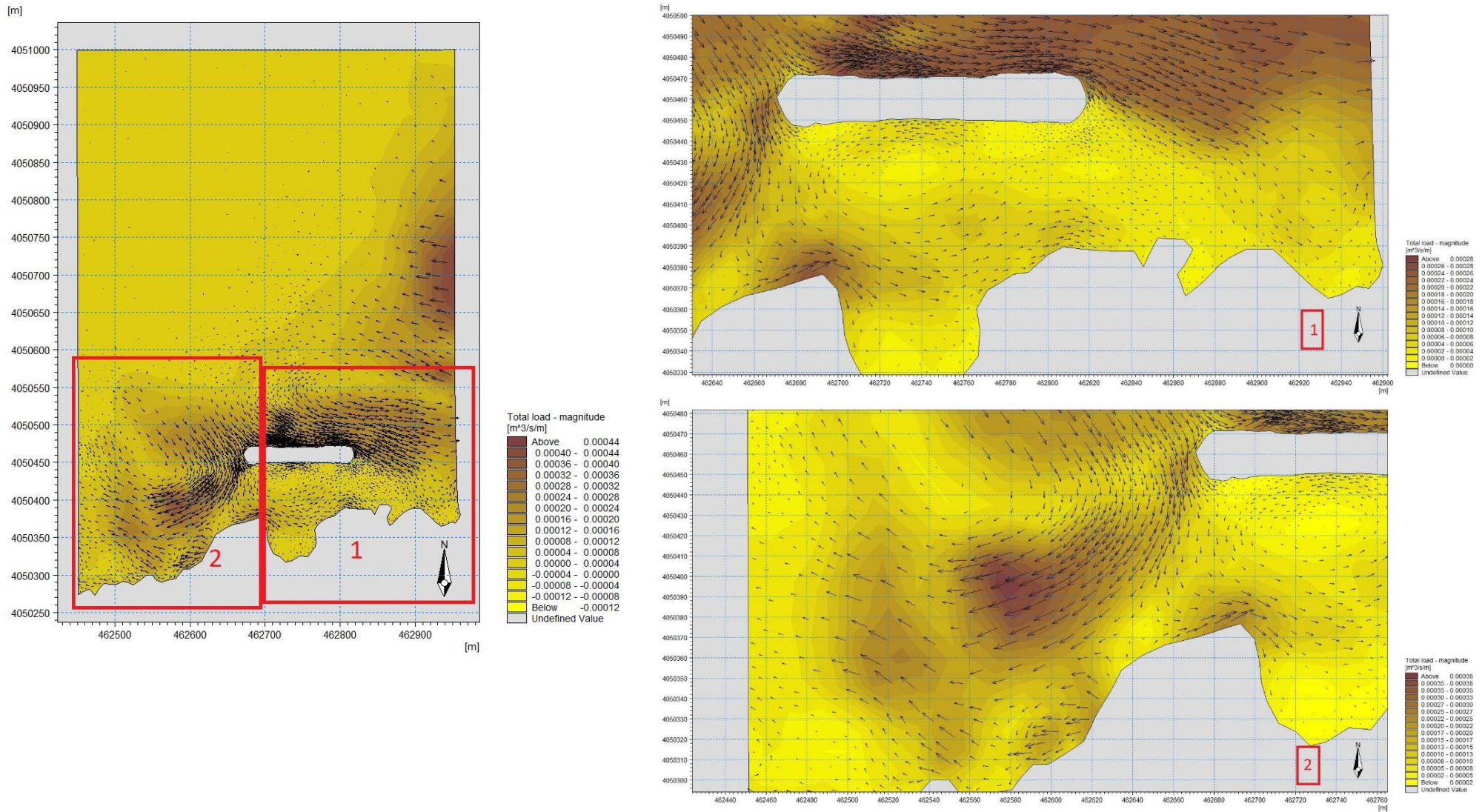


Figure 59: Résultat du transport sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement d'une batterie de brise-lame.

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

Les houles de secteurs Nord se voient être diminuées avec une hauteur significative de 2m à l'amont et de 0.4m à 1m de hauteur de houle à l'arrière de l'ouvrage pour les trois directions de houle. Cette diminution des hauteurs significatives vers la côte pourrait s'expliquer par les fonds marins qui deviennent de plus en plus hauts au niveau de la plage. Aussi dû à l'effet de brise lame émergée implanté dans la zone qui favorisent la diffraction du champ de houle.

**Pour la courantologie et le transport sédimentaire (HD) et (ST) :**

Les courants gardent le même sens que dans l'état initial, Le gradient de vitesse atteint un maximum au niveau de la partie aval de l'ouvrage d'environ 1.6m/s, ce que peut provoquer de fortes érosions dans cette partie et des vitesses minimales au large de la zone d'étude de l'ordre 0.1m/s à 0.5 m/s ce que peut favoriser un dépôt sédimentaire.

Pour le transport sédimentaire engendré par la houle et les courants, La direction des flèches représente la direction du transport sédimentaire et la longueur des flèches représente l'intensité du transit sédimentaire, on remarque des zones de dépôt derrière l'ouvrage.

**Comparaison entre les résultats de simulations de variante (01) et l'état initial :**

L'implantation de brise lame émergée a une efficacité importante dans l'atténuation de l'énergie de la houle, mais reste une possibilité de produire une érosion dans la plage. Il est clair dans les résultats que les taux de transports sont relativement plus importants que l'état initiale surtout dans le secteur Ouest-Est qui dépassent  $0.00030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . (houle incidente N  $315^\circ$ ), malgré la faisabilité du cet ouvrage, il est nécessaire de proposer autre variante pour meilleure protection de site d'étude.

**IV.2. Variante 02 : Épi et brise lame :****IV.2.1 Brise lame :**

Pour les dimensionnements de brise lame on utilise les mêmes dimensionnements que celle de brise lame de la variante (01).

**IV.2.2 Batterie d'épi :****IV.2.2.1 Objectifs et fonctionnement :**

Un épi est un ouvrage en enrochement relativement court qui avance dans la mer depuis la plage et dont la fonction principale est d'interrompre le transit littoral de sédiments afin de constituer ou de retenir des plages à un niveau plus élevé.

Il n'existe aucune règle simple et absolue concernant la longueur des épis et leur espacement, dans la mesure où ces éléments dépendent des conditions locales (sédiment constitutif de la plage, hauteur d'eau, climat de houle, disponibilité des sédiments de la plage, régimes de transport longitudinal et dans le profil).

Les épis en enrochement ont habituellement une longueur de l'ordre de 50 m, mais ils peuvent être plus grands dans le cas des épis d'extrémité qui se trouvent au bout d'une longue plage par ailleurs dépourvue d'épis. Il existe d'autre type d'épis, comme les épis en T ou en L, qui retiennent les sédiments également à l'arrière par diffraction de la houle autour de leur musoir.

Pour stabiliser une portion de trait de côte, les épis doivent être disposés en séries. Leur installation doit commencer par le côté aval du transport solide, et se continuer vers l'amont du transport solide au fur et à mesure qu'ils sont contournés. Le long de la défense, les épis doivent tous être de la même longueur.

#### IV.2.2.2 Dimensionnement de l'épi en L :

##### -Longueur :

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

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

**Tableau 9:** Efficacité des épis en fonction de leur longueur

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

##### -Espacement entre les épis :

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

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

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

### IV.2.2.3 Application au site d'étude :

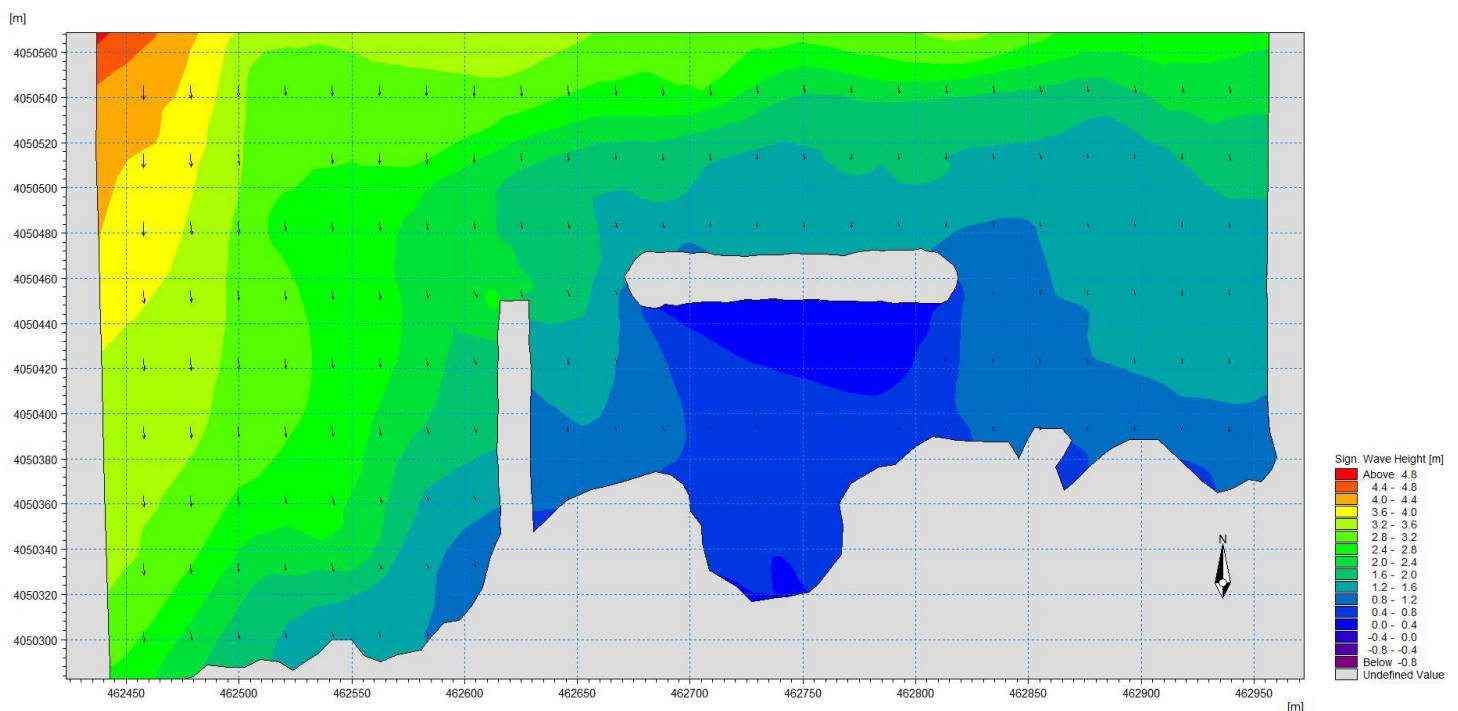
L'épi de 100m de longueur, à -3m de profondeur perpendiculaire à la côte, orientée vers le transit dominant avec un espacement de 50m entre les deux ouvrages.

#### Profil courant :

- Une côte d'arase de +1m.
- Une carapace en enrochement (3-5t) disposé en deux couches selon une pente de 3/2.
- Un noyau en TVC (1-500kg) disposé selon une pente de 3/2.
- Une dalle de roulement en béton armé de 7m de largeur

### IV.2.2.4 Vérification sur le Modèle Numérique :

#### -les cartes de simulation :



**Figure 60 :** Résultat de la réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

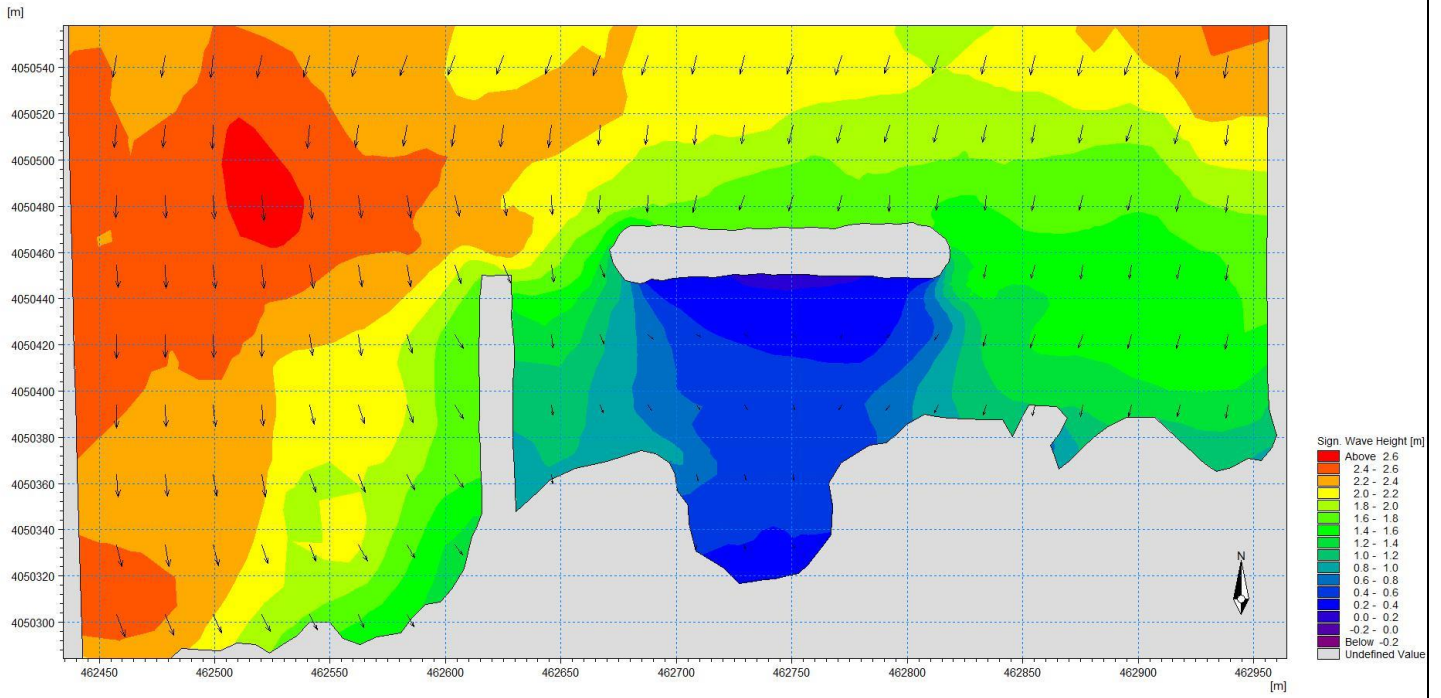


Figure 61: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

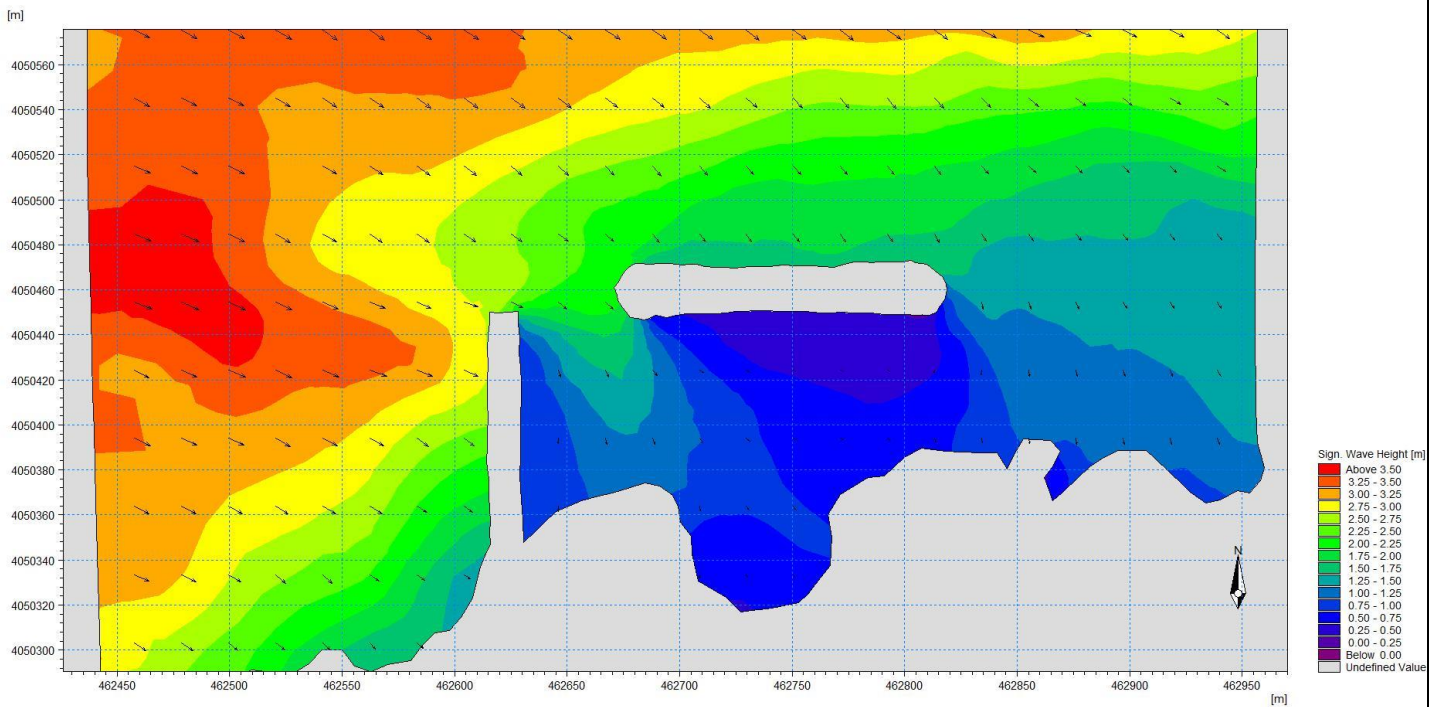


Figure 62: Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

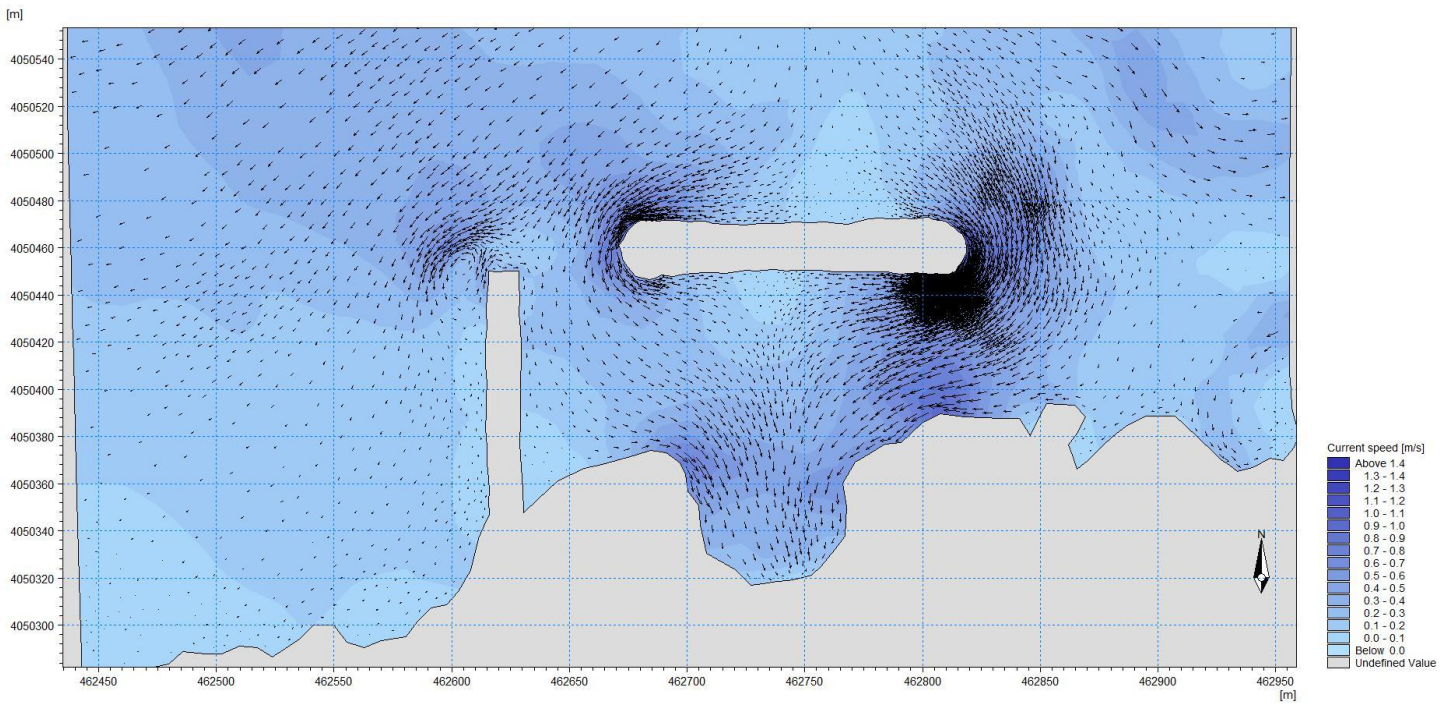


Figure 63: Résultat de courantologie Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

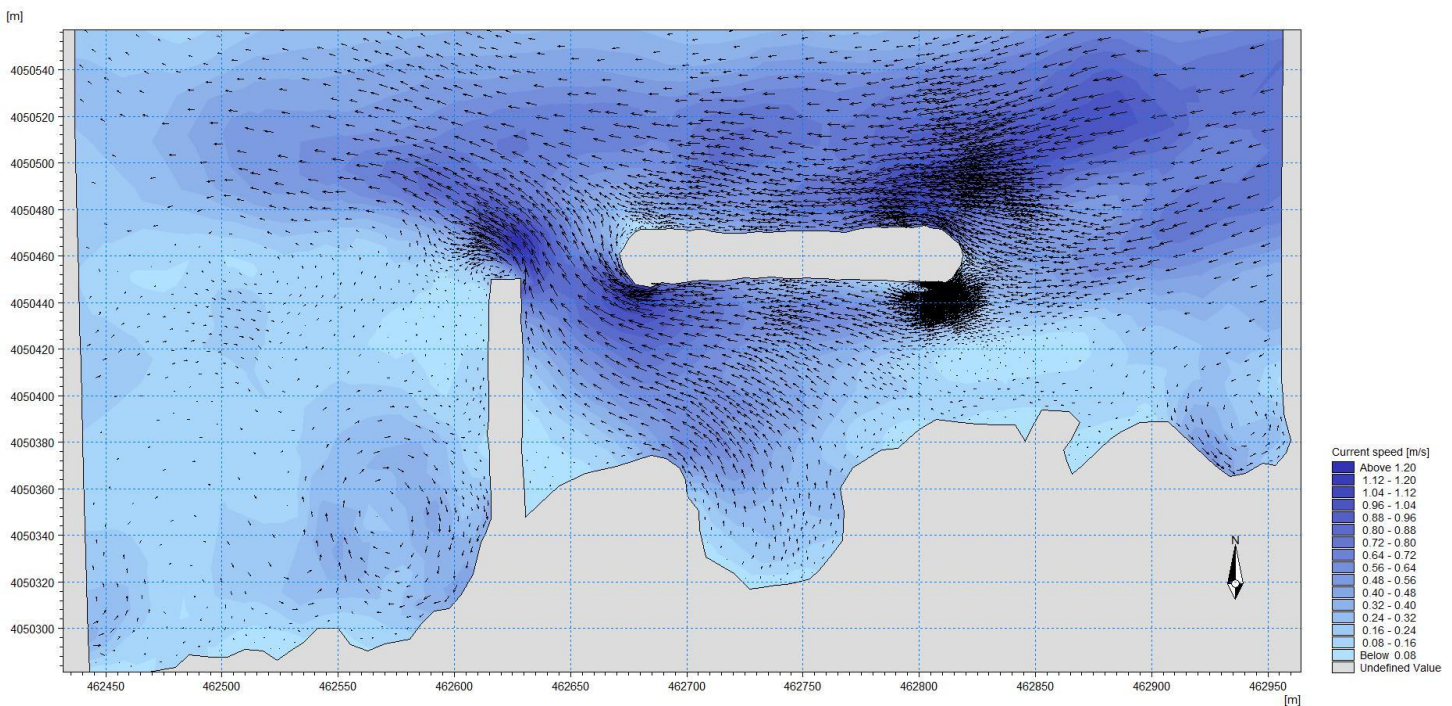


Figure 64: Résultat de courantologie Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

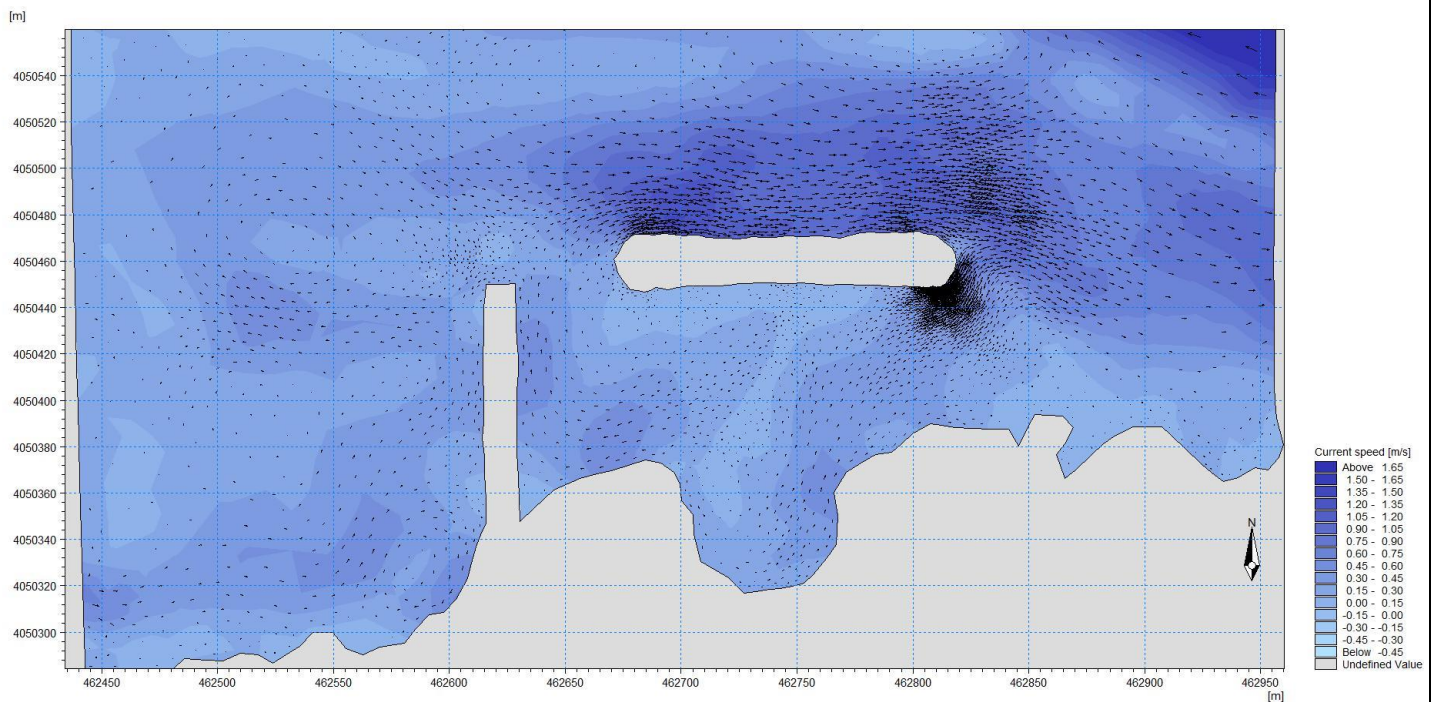


Figure 65: Résultat de courantologie Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

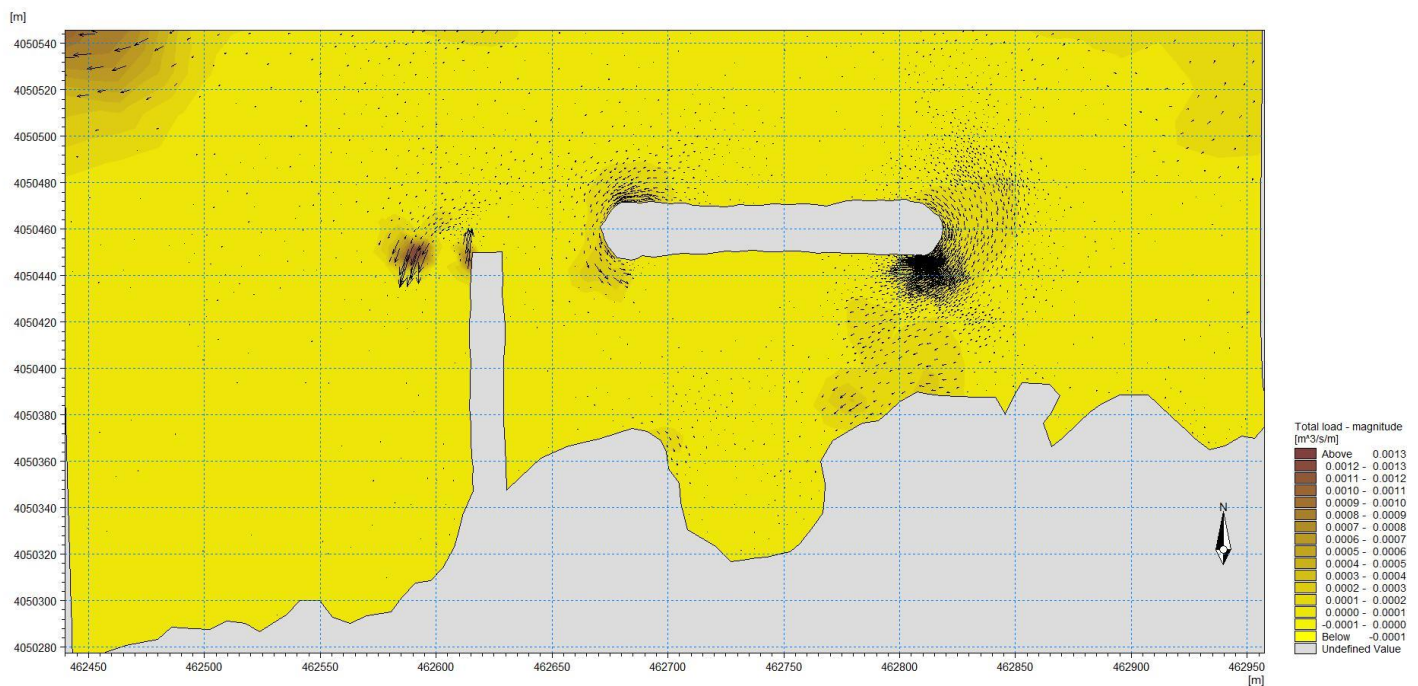


Figure 66: Résultat du transit sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

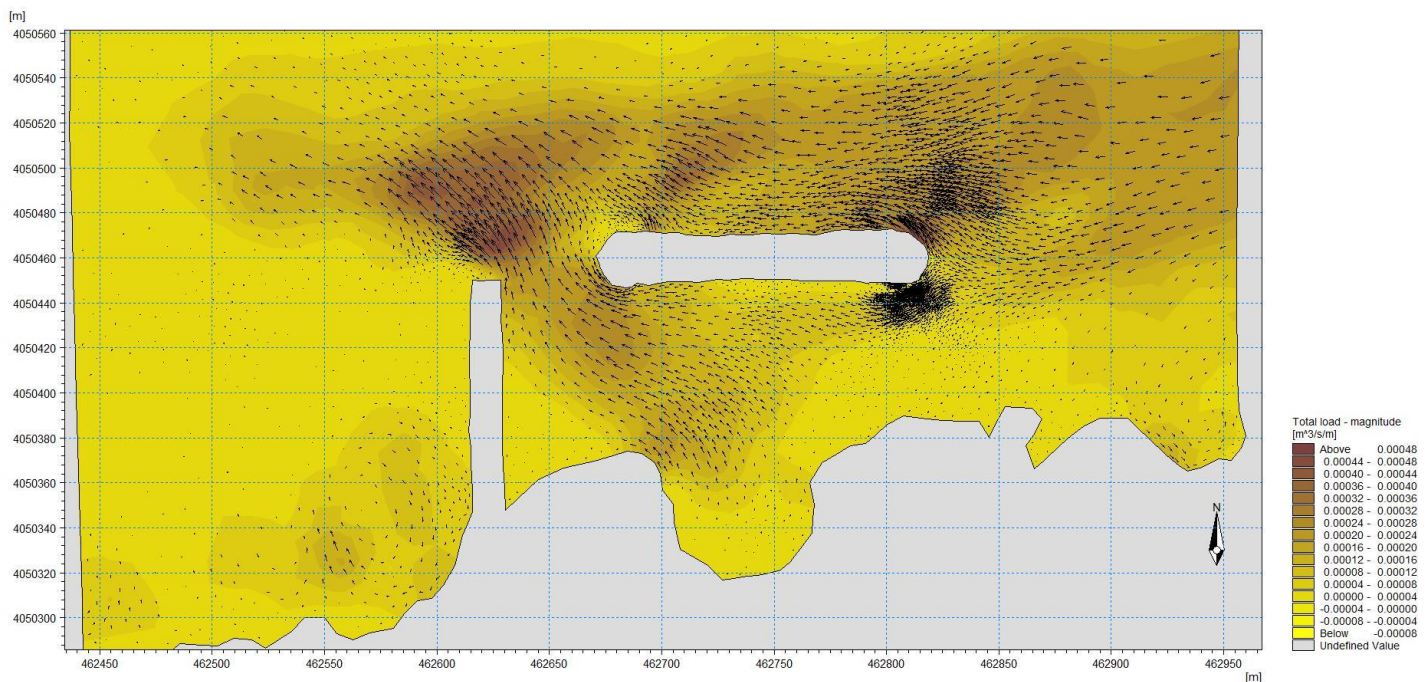


Figure 67: Résultat du transit sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

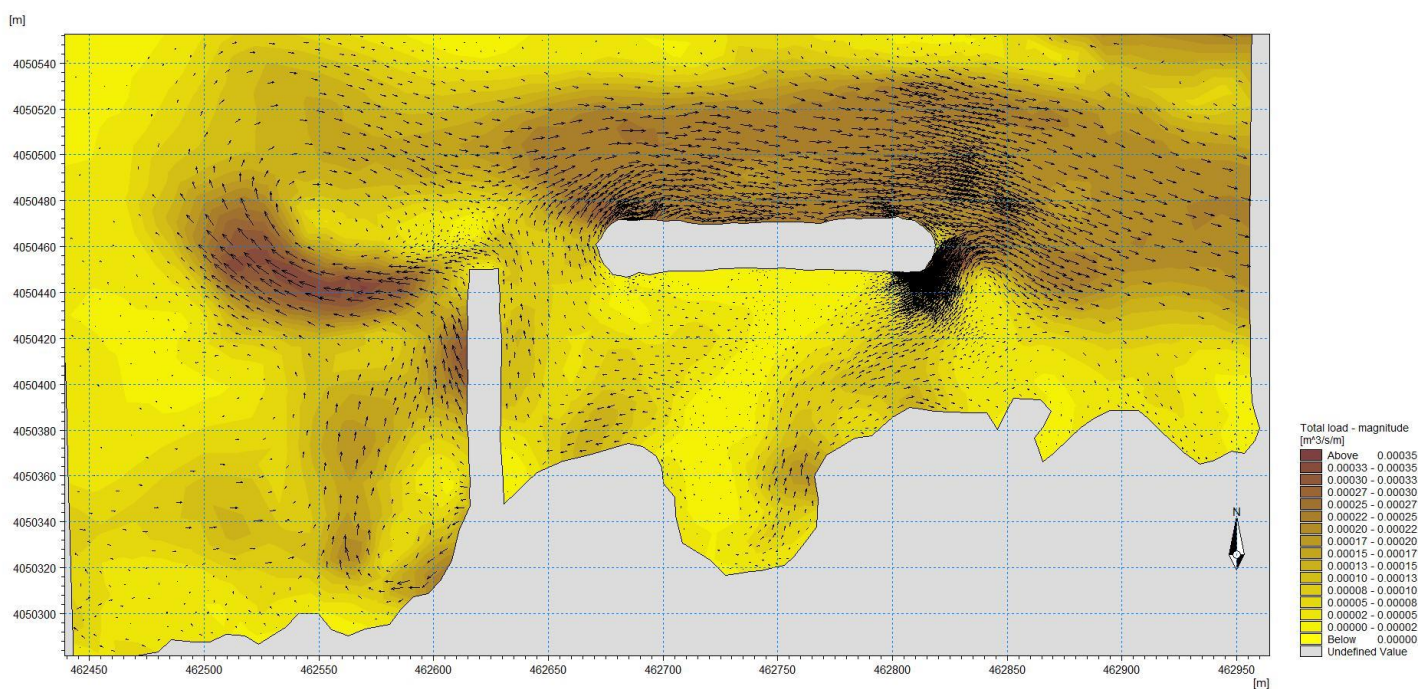


Figure 68: Résultat du transit sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et épi

**Interprétation des résultats :****Pour la réfraction de la houle (SW) :**

On remarque que la diminution de l'énergie de la houle avec un hauteur max des vagues égales 0.6m avec Présence des tourbillons à l'amant de l'épi et entre les deux ouvrages.

**Pour la courantologie (HD) :**

On remarque qu'il y'a une atténuation des courants longitudinaux dans la zone d'épi ouest dans les trois directions jusqu'à une moyenne de 0.80m/s donc une faible régénération de l'eau avec Présence de tourbillons dans les trois secteurs à l'amant de l'épi et entre les deux ouvrages.

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

On remarque la présence des zones de dépôts au niveau de l'amont des ouvrages où le transport sédimentaire dans cette partie atteint  $0.00008\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$  avec des entrées de sédiments au niveau de l'ouverture, et présence des tourbillons au niveau des ouvrages de protections.

**Comparaison entre la variante 02 et l'état initiale :**

L'implantation de brise lame émergée et épi ont une efficacité importante dans l'atténuation de l'énergie de la houle, aussi les taux de transports sont relativement plus importants qui dépassent  $0.00020\text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , ces ouvrages ne sont pas vraiment faisables en raison de l'érosion qui en résulte derrière l'épi ainsi que l'énorme montant du projet.

**IV.3 Variante 03 : Brise lame et Rechargement de la plage :****IV.3.1 Brise lame :**

Pour les dimensionnements de brise lame on utilise les mêmes dimensionnements que celle de brise lame de la variante (01), avec une distance a la cote égale 90m.

**IV.3.2 Les plages artificielles :**

Le nom de plage artificielle recouvre **deux notions** qui méritent d'être distinguées :

- Les plages naturelles en voie d'érosion qui sont maintenues dans un état stable **au moyen d'ouvrages**, que ce soit à des fins de lutte contre l'érosion ou à des fins d'utilisation touristiques.
- Les plages constituées de matériaux naturels **apportés artificiellement par l'homme**.

#### IV.3.2.1 Dimensionnement des plages artificielles :

- Pour que les plages artificielles puissent répondre à l'attente des touristes, il convient de leur donner des dimensions minimales qui assurent un minimum de confort.
- La largeur  $L_m$  de la plage au-dessus des plus hautes eaux doit avoir une largeur minimale lui permettant d'assurer son rôle de protection de l'arrière plage contre les effets de la houle :  
$$L_m > 15 \text{ à } 20 \text{ m}$$
- Les baigneurs ne doivent pas pouvoir entrer involontairement en contact avec le soubassement de la plage, mais seulement avec le lit de sable. Ils doivent donc perdre pied avant d'arriver à l'extrémité du lit de sable qui se trouve à la hauteur  $h_m$  au-dessous de la plus basse mer :  
$$h_m > 1.5 \text{ m}$$
- Enfin la surface  $S$  de la plage émergente doit permettre d'accueillir le nombre  $N$  de touristes prévu :  
$$S > N.s$$

Avec une surface individuelle minimale  $s$  comprise entre **5** et **6 m<sup>2</sup>** par personne en **zone urbaine** et de l'ordre de **8 m<sup>2</sup>** à l'**extérieur des agglomérations**.

#### IV.3.2.2 Rechargement de la plage :

La réalisation d'ouvrages de stabilisation du transit littoral n'est pas suffisante pour assurer la reconstitution d'une plage. Il faut également que les matériaux sédimentaires soient disponibles de manière suffisante et continue. (Dahmani, 2020)

Le rechargement des plages est une technique dite « douce » qui consiste à alimenter artificiellement une plage en sable ou galet de manière à compenser son déficit sédimentaire. Cette technique consiste à prélever du sable d'une zone source et à alimenter la plage, en une fois ou graduellement. Elle permet généralement d'élargir et d'élever le niveau topographique de la plage. Sa finalité peut être touristique (améliorer son aspect visuel, conserver une largeur de plage et donc une capacité d'accueil suffisante) mais également sécuritaire (protéger l'arrière-côte en préservant le rôle tampon de la plage).

Le site d'étude se caractérise par une dominance rocheuse. Ainsi, un rechargement est effectué avec du granulat recouvert d'une couche de 1.00 m d'épaisseur en sable sur une largeur d'environ 40 m.

Pour la pérennité de la plage créée, le sable mis doit avoir un D50 supérieur ou égal à 0.4 mm vu qu'il s'agit d'un site exposé aux houles.

Les caractéristiques de la plage artificielle sont comme suit :

-Largeur de la berme : 15 m horizontalement.

-cote d'arase de la berme : + 2.00 m.

-pente à partir de la crête : 15/1.

La granulométrie ainsi que les volumes à mettre sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 10:le diamètre des grains

Sédiments	Diamètre des grains	Quantité
Granulats	3 – 10 (mm)	7200 T
Sable	400 – 800 (Øm)	5000 m <sup>3</sup>

#### IV.3.3 Vérification sur le Modèle Numérique :

**-Les cartes de simulations :**

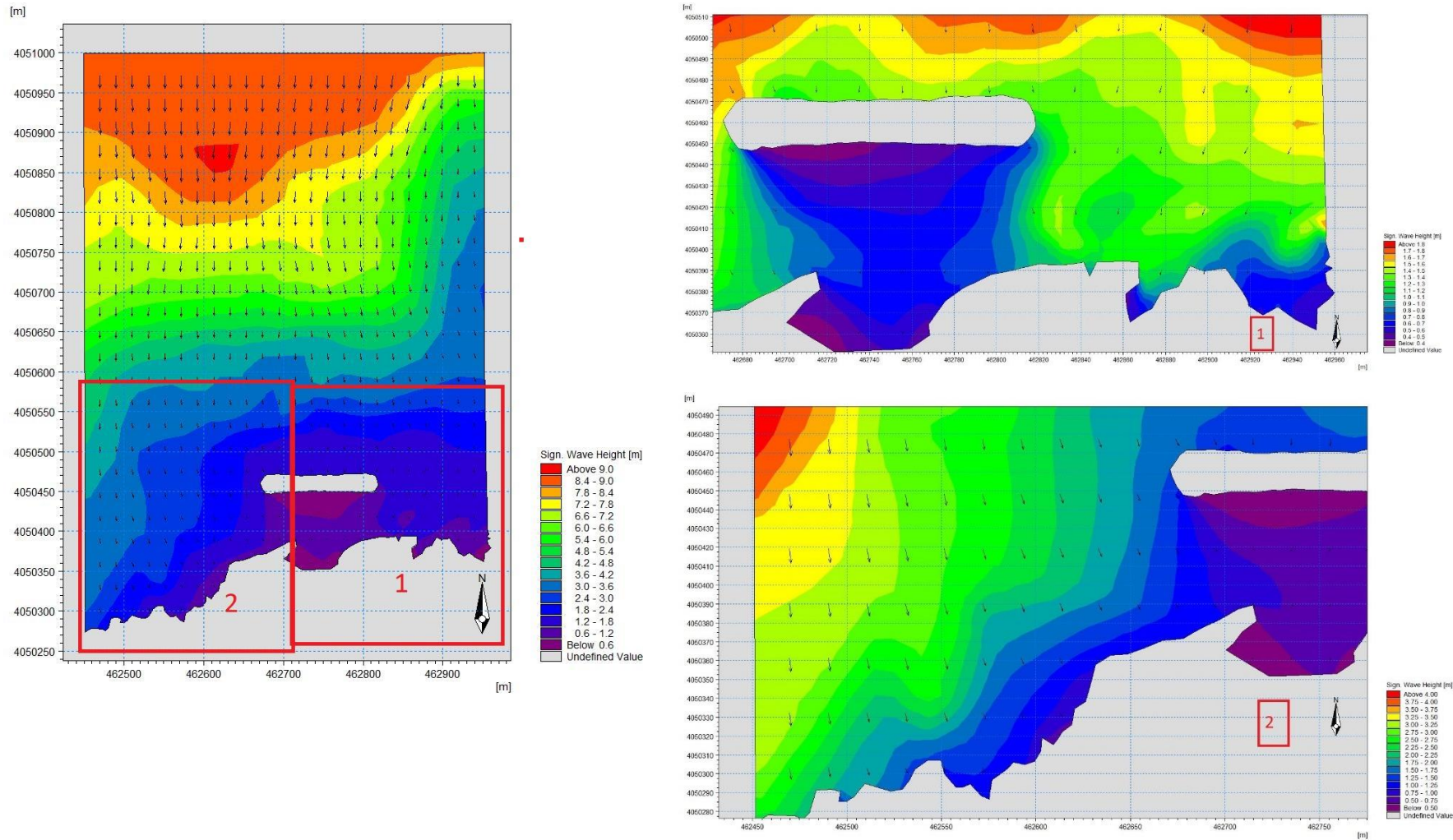


Figure 69: Résultat de la réfraction de la houle Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

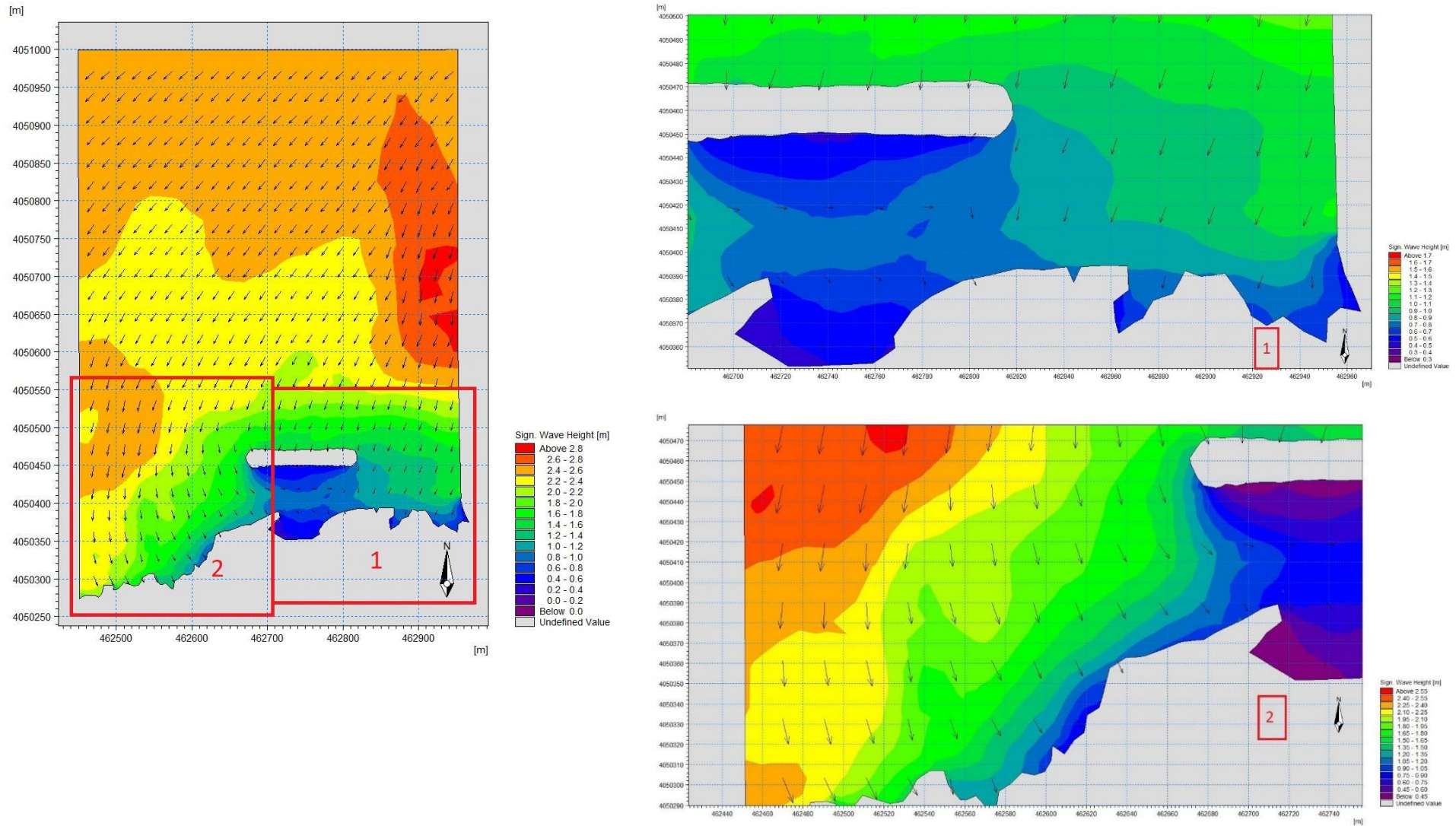
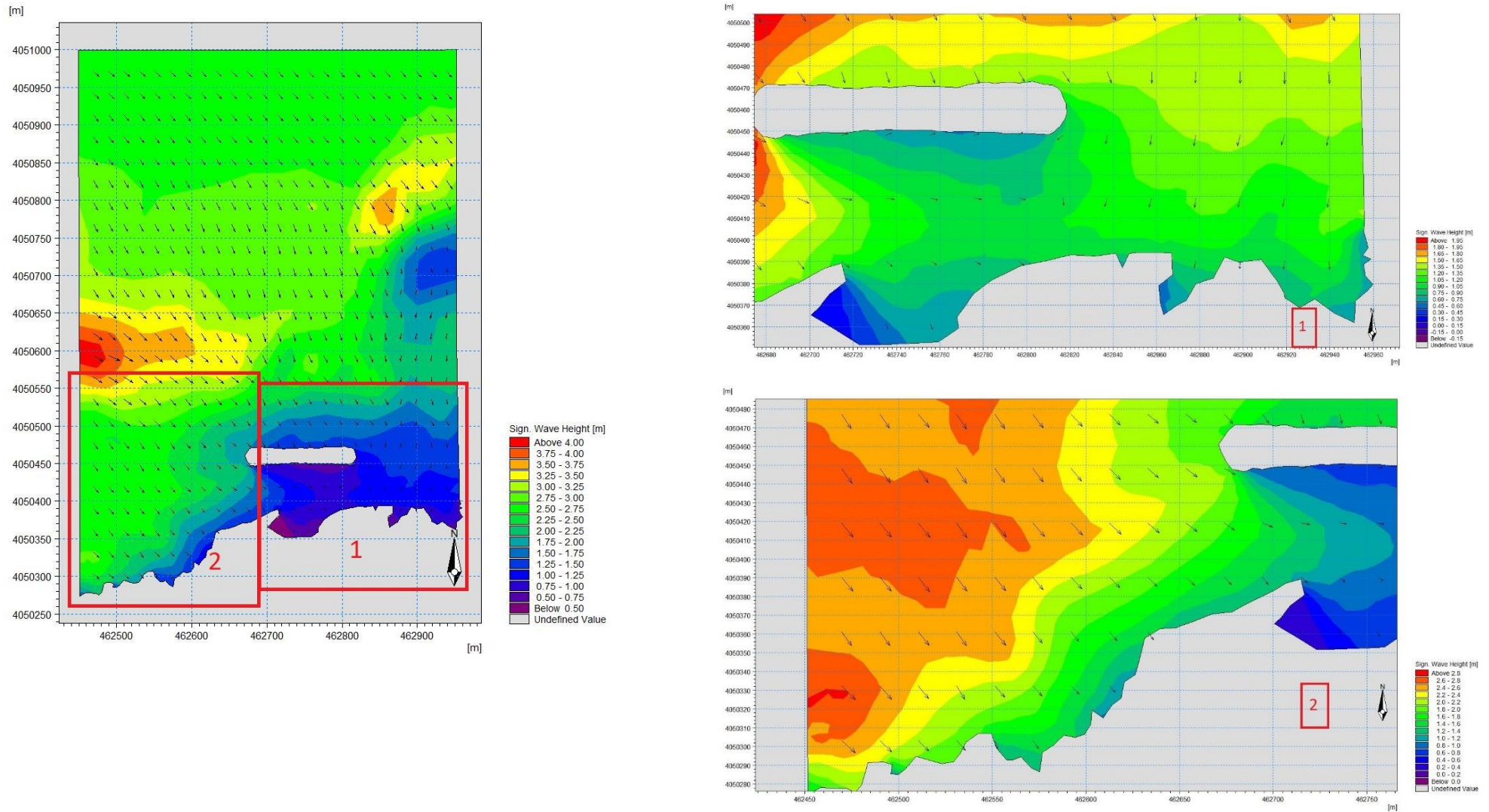


Figure 70: Résultat de la réfraction de la houle Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage



**Figure 71:** Résultat de la réfraction de la houle Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

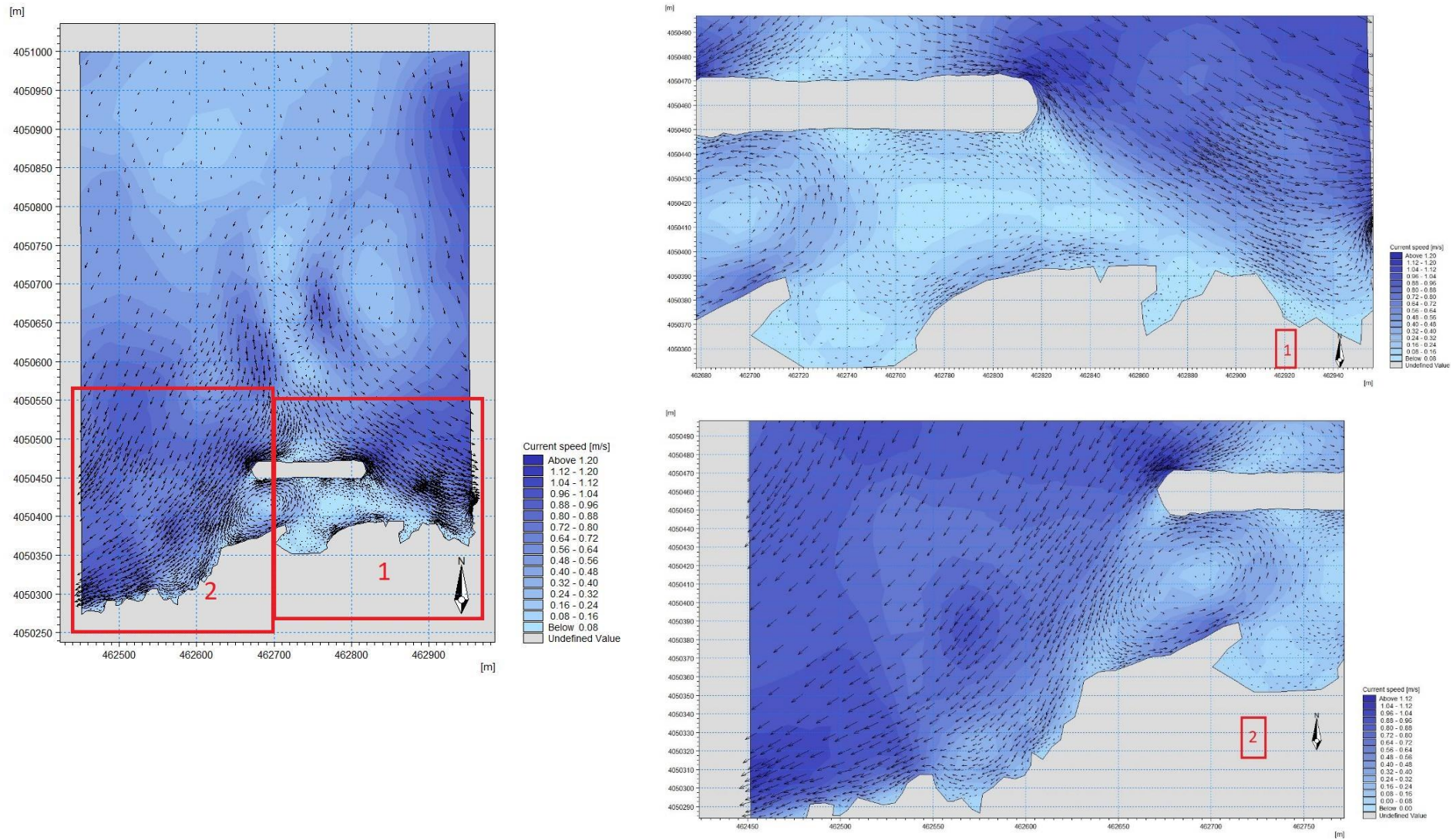


Figure 72: Résultat de courantologie Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

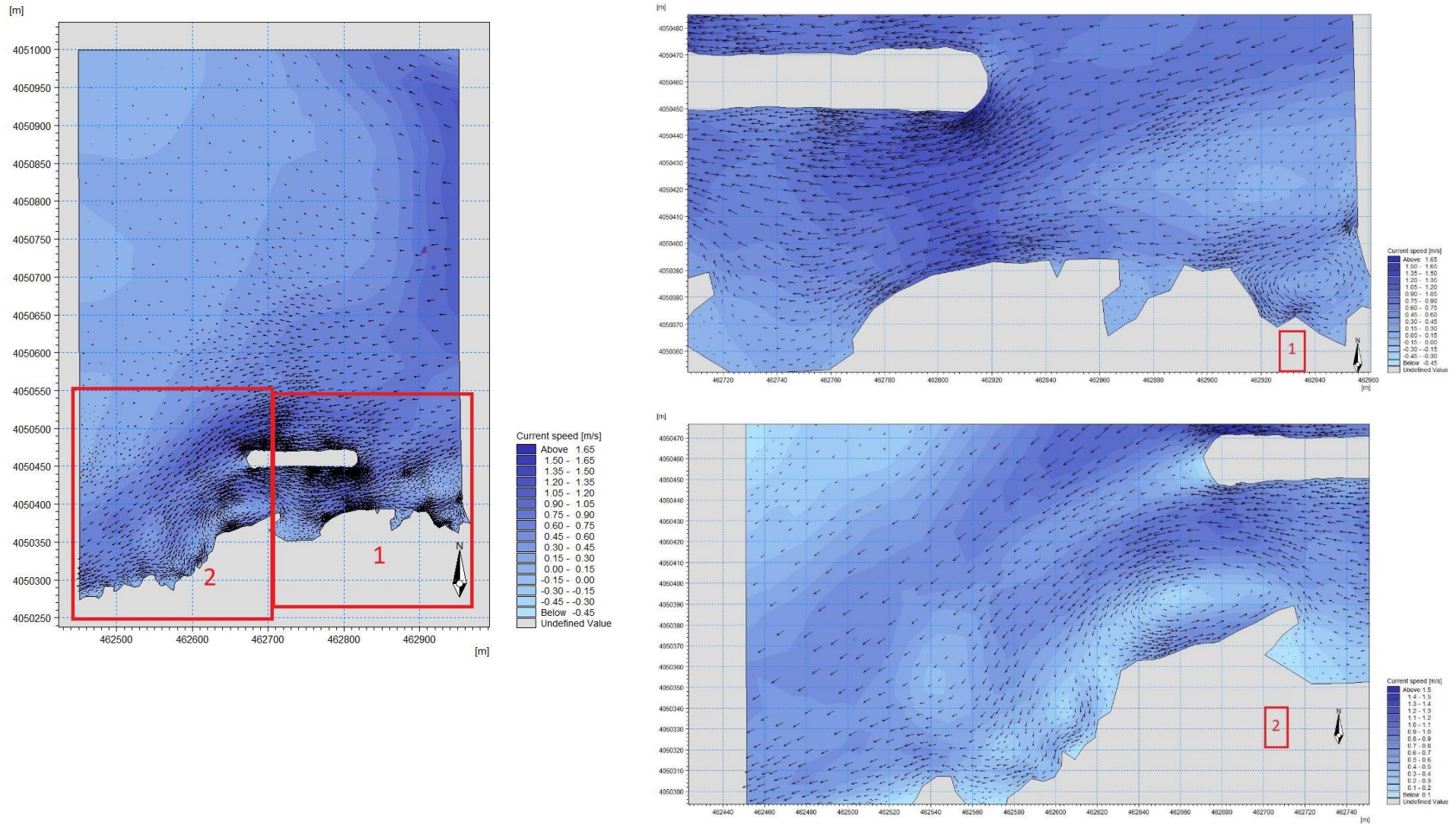


Figure 73: Résultat de courantologie Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et recharge de la plage

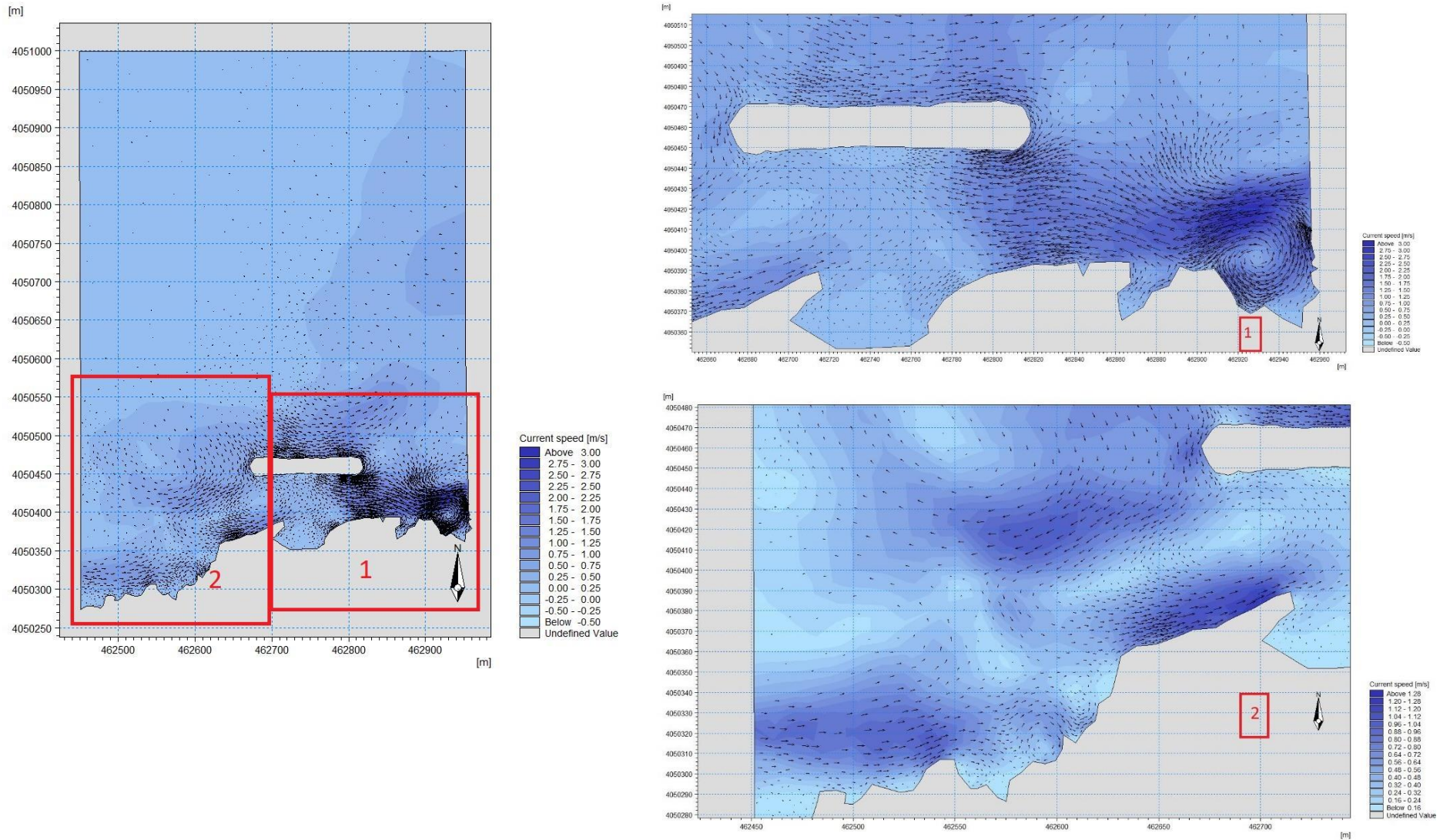


Figure 74: Résultat de courantologie Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

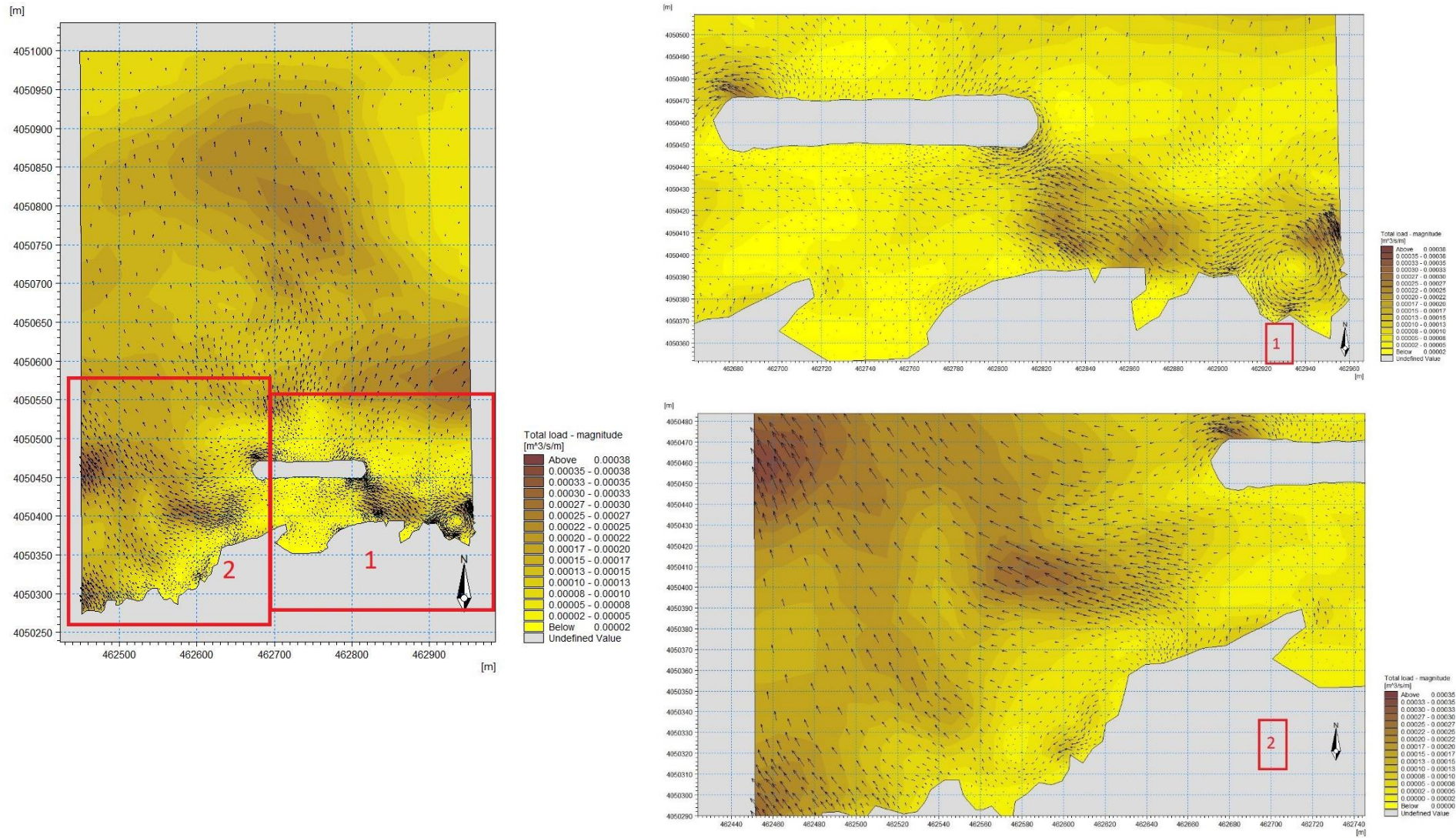


Figure 75: Résultat du transit sédimentaire Nord 360° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

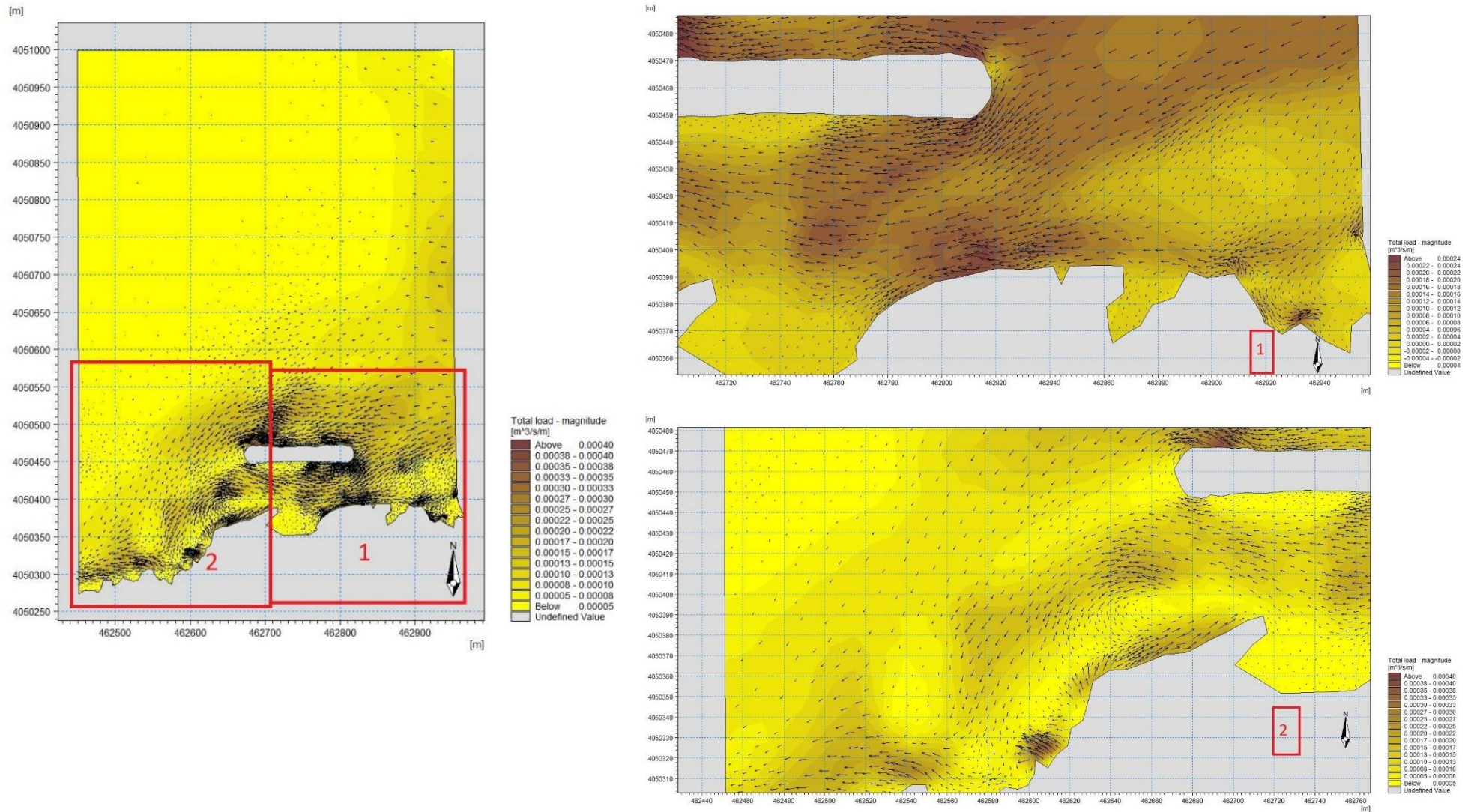


Figure 76: Résultat du transit sédimentaire Nord 45° incidente avec aménagement de brise-lame et rechargement de la plage

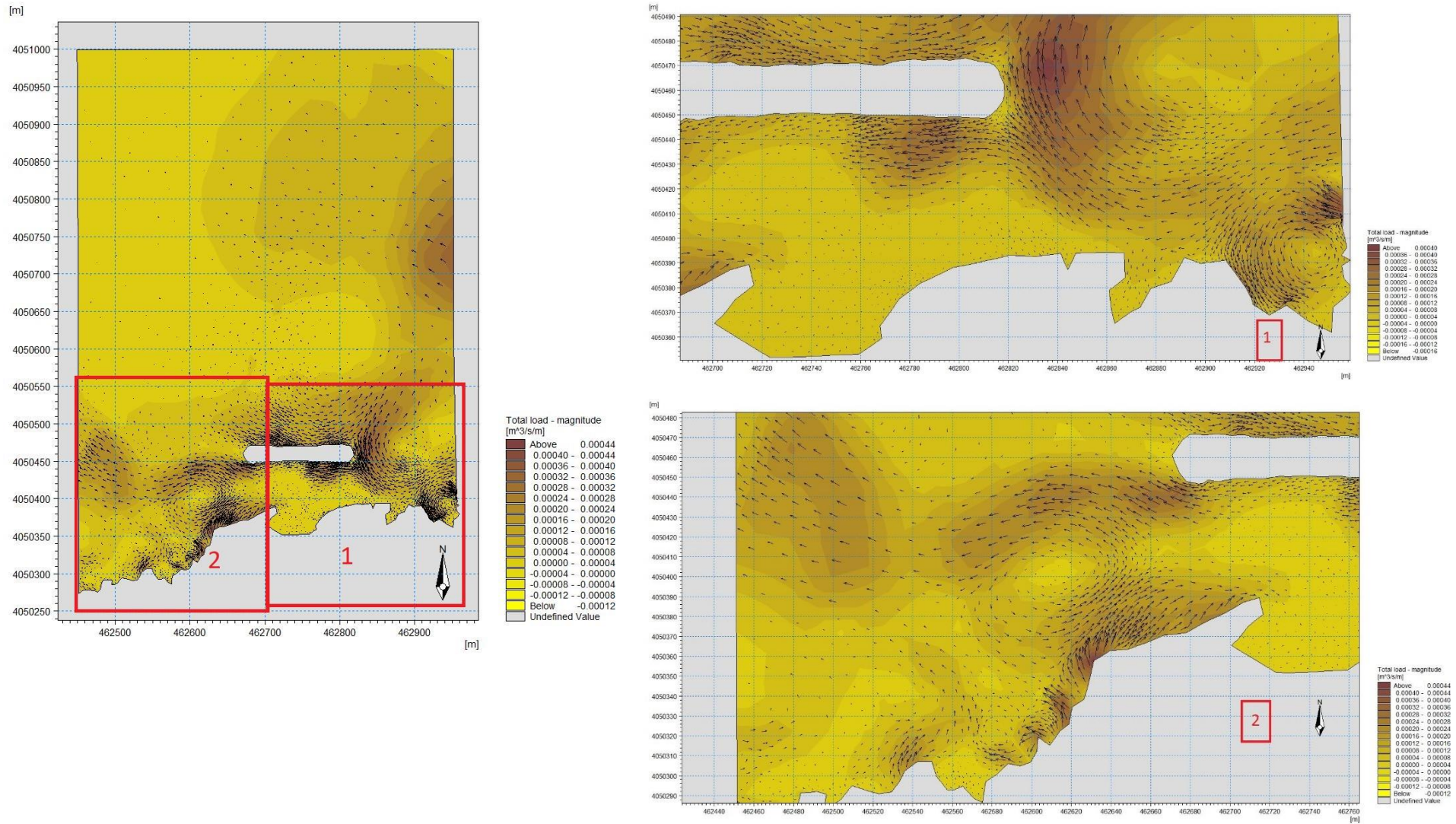


Figure 77: Résultat du transit sédimentaire Nord 315° incidente avec aménagement de brise-lame et recharge de la plage

**Interprétation des résultats :****Pour la réfraction de la houle (SW) :**

Les houles de secteurs Nord se voient être diminuées avec une hauteur significative de 2.4m à l'amont et de 0.6m à 1.25m de hauteur de houle à l'arrière de l'ouvrage pour les trois directions de houle. Cette diminution des hauteurs significatives vers la côte pourrait s'expliquer par les fonds marins qui deviennent de plus en plus hauts au niveau de la plage. Aussi dû à l'effet de brise lame émergée implanté dans la zone qui favorisent la diffraction du champ de houle.

**Pour la courantologie et le transport sédimentaire (HD) et (ST) :**

Les courants gardent le même sens que dans l'état initial, Le gradient de vitesse atteint un maximum au niveau de la partie aval de l'ouvrage d'environ 1.2m/s et des vitesses minimales au large de la zone d'étude de l'ordre 0.2m/s à 0.8 m/s ce que peut favoriser un dépôt sédimentaire.

Il est clair dans les résultats que les taux de transports sont relativement importants et intéressants qui dépassent  $0.00040 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , et formation des tourbillons derrière les ouvrages.

**Comparaison entre les résultats de simulations de variante (01) et l'état initial :**

L'implantation de brise lame émergée et le rechargement de la plage ont une efficacité importante dans l'atténuation de l'énergie de la houle. Il est clair dans les résultats que les taux de transports sont relativement plus importants que l'état initiale surtout dans le secteur Ouest-Est qui dépassent  $0.00040 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . (houle incidente N 315°)

***IV.4 Choix de la solution la plus faisable :***

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

**Tableau 11:** Tableau représentatifs des différents aspects de chaque variante proposée

Variantes	Type	Coût		Durée	Aspect visuelle	Aspect environnementale	Impacts	Les avantages	Les inconvénients
		(Million DA)	Classement						
Variante (01) Et (03)	Enrochements	67,30M (01)	<b>B</b>	01 siècle	Change Aspect visuel de la zone d'étude.	- Formation des nouveaux écosystèmes peuplés (faune, flore).	-Un brise lame de protection, ils frappent la structure et retournent vers le large, emportant avec elles une certaine quantité de sédiments présents à sa base On assiste alors à un type d'érosion nommé « affouillement ».  - joue un rôle de protection contre les vagues.	-Une bonne atténuation de la houle. -La zone abritée par le brise lame est souvent comblée avec du sable, formant un tombolo.  -la création dune plage artificiel offrira aux habitants un lieu de baignade et activités récréatives.	-Formations des petits courants tourbillonnants causés par l'orientation des brise-lames. -Limiter les activités nautiques.  -Artificialisation du littoral
		103,72M (2)							
Variante (02)	Enrochements	113,24 M	<b>A</b>	01 siècle	Change Aspect visuel de la zone d'étude.	- Formation des nouveaux écosystèmes peuplés (faune, flore).	- provoque une dissipation de l'énergie de la houle avant son déferlement sur la plage - joue un rôle d'obstacle pour le transport sédimentaire longitudinal.	-Création d'un gradient longitudinal des hauteurs des houles du côté de la plage. -Favorisation de l'engraissement du trait de côte.	-Une érosion en amont du l'ouvrage causé par le blocage des sédiments à l'aval.  -Impacts environnementaux négatifs par l'augmentation de la turbidité. -L'agitation est réduite du côté de la plage ce qui défavorise le renouvellement des eaux

À partir du tableau précédant et les critères notés et l'efficacité, en attribuant les notations (A) favorable, (B) peu favorable et (C) défavorable, on aboutit au tableau ci-après.

**Tableau 12:** Comparaison des variantes

Désignation	Efficacités	Aspects paysagers et environnementaux		Aspect économique	L'impact	Les avantages et les inconvénients		Total note
		Qualité paysagère	Valorisation du site	Coût de réalisation		Avantage	Inconvénient	
Variante 01	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B+B+C+A +A+A+B</b>
Variante 02	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A+B+A+C +A+A+B</b>
Variante 03	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A+B+A+B +B+A+B</b>

***-Estimation des quantités et cout de réalisation de chaque variante :***

L'estimation des coûts de réalisation est basée sur un avant métré des quantités à mettre en œuvre et des prix unitaires pratiqués par les entreprises spécialisées dans le domaine des travaux maritimes (voir tableaux ci-après- Devis quantitatif et Devis estimatif).

**Tableau 13:** Devis quantitatif et estimatif de brise-lame émergé

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
01	Fourniture, transport et mise en place de T.V.C (1-500 kg) constituant le noyau du brise lames, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	10700	1000	10700000
02	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (0.5 – 1)T constituant la couche filtre du brise lames, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	7200	1300	9360000
03	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (3-6) T constituant la carapace du brise lames (côté mer),y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	9600	1500	14400000
04	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (2-4) T constituant la carapace du brise lames (coté plage), y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	4800	1500	7200000
05	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (2-4)T constituant la butée de pied (coté plage) ainsi que ceux mis au niveau de la souille (côté mer) , y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	4600	1500	6900000
06	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (6T) constituant	T	5000	1600	8000000

	la berme du brise lame, y compris toutes sujétions de bonne exécution.				
				Total HT	56560000.00
				TVA 19%	10746400.00
				Total TTC	67306400.00

**Tableau 14:** Devis quantitatif et estimatif du rechargement de la plage

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
01	Fourniture, transport et mise en place de sable (0.4 à 2 mm), y compris réglage de la pente et toutes sujétions.	M <sup>3</sup>	6300	2000	12600000
02	Fourniture, transport et mise en place de granulats (3-10mm), y compris réglage de la pente et toutes sujétions.	T	7200	2500	18000000
				Total HT	30600000.00
				TVA <sup>26</sup> 19%	5814000.00
				Total TTC <sup>27</sup>	36414000.00

**Tableau 15:** Devis quantitatif et estimatif du l'épi

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
01	Fourniture, transport et mise en place de T.V.C (1-500 kg) constituant le noyau du l'épi, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	10000	1000	10000000
02	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (0.5 – 1)T constituant la couche filtre du l'épi, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	7000	1300	9100000
03	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (3-6) T constituant la carapace du l'épi (côté mer),y compris toutes sujétions de bonne exécution.	T	9000	1500	13500000
04	Fourniture transport et mise en place des enrochements naturels de catégorie (1-3) T	T	4000	1500	6000000

<sup>26</sup> TVA : Taxe sur la valeur ajoutée<sup>27</sup> TTC : toutes taxes compris

	constituant la carapace du l'épi (coté plage), y compris toutes sujétions de bonne exécution.				
				Total HT	3860000.00
				TVA 19%	7334000.00
				Total TTC	45934000.00

**Commentaire :**

Les trois variantes 01 (brise-lame), 02(épi et brise lame) et 03 (brise lame et rechargement de plage) ont un impact important car les ouvrages en enrochements sont beaucoup faciles a réalisé.

La variante 01 (brise lame) a plus des avantages que les inconvénients, elle est moins chère que les deux autres variantes.

La variante 02 (brise lame et épi) est efficace, elle répond mieux à la qualité paysagère, du fait que les ouvrages ne sont pas apparents, cette variante a plus des avantages, et aussi la plus chère.

La variante 03 (brise lame et rechargement de la plage) a plus des avantages répond mieux à l'objectif de l'étude. Elle est plus efficace vis-à-vis de la protection et atténuation de l'énergie de la houle, ainsi que la possibilité d'accumuler une quantité importante des sédiments dans la plage, cette variante a un prix raisonnable par rapport à la deuxième variante.

**Conclusion :**

La solution de la troisième variante (Brise lame et rechargement de la plage) est dans les résultats semblent être les plus faisables, car la mise en place d'un brise lame et la plage artificielle a pour effet le blocage du transit littoral ce qui conduit à l'accumulation du sable sur la plage et l'évolution du trait de côte le long de la plage vers la mer, jusqu'à saturation ou profil d'équilibre avec une alimentation en apports solide régulière et continue, cette variante est moins chère par rapport la variante (02).



*Conclusion générale*

### **Conclusion générale :**

L'érosion est un phénomène naturel lié aux effets météorologiques et hydrodynamiques, mais qui peut toutefois être aggravé par les actions de l'homme entreprises au niveau du rivage.

En vue de diagnostiquer le trait de côte du rivage de Ain Tagourait qui a fait l'objet du site à protéger. Une étude plus ou moins poussée a été entreprise dans ce contexte, et qui a commencé par le recensement des données relatives au milieu dynamique dans les différents domaines (Géomorphologie, Géologie, Sismicité, Climatologie, Océanographie...) afin de bien caractériser le lieu étudié. La collecte de données a été faite à partir de bases de données déjà élaborées par le LEM et autres sources.

En parallèle, des simulations sont faites à partir de logiciel MIKE 21 en utilisant les modèles HD, SW, ST.

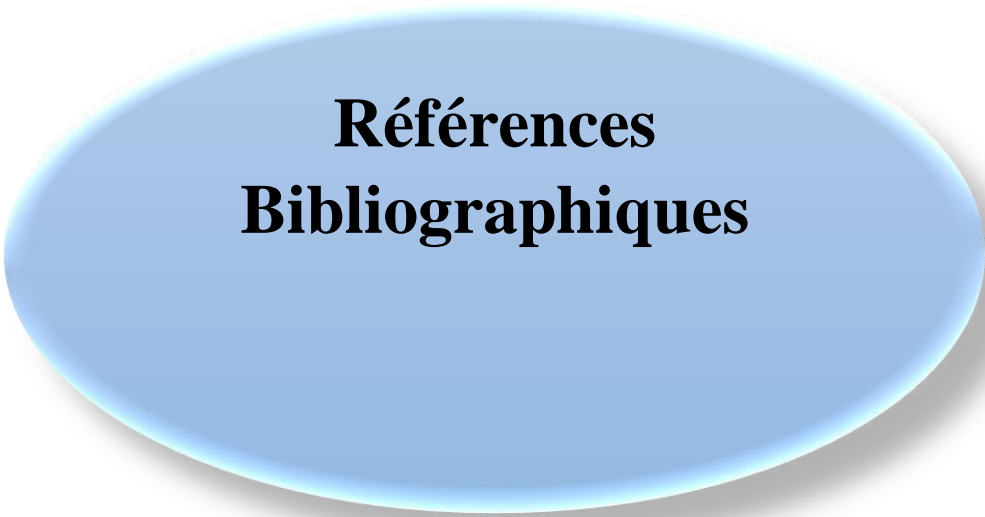
La suite de l'étude a consisté en l'interprétation des résultats obtenus sur la réfraction de la houle qui donne une hauteur max des vagues environ 2.4m, l'étude bathymétrique de site, et l'estimation des transits sédimentaires qui ne dépassent pas 5000 m<sup>3</sup>/an/m.

La dernière étape a consisté en la mise en place d'un tableau de protection à travers le dimensionnement du brise-lame dans le site et aussi l'épi et le rechargement de la plage tout en présentant à chaque cas de figure des avantages et des inconvénients de l'ouvrage dimensionné, afin de proposer la solution la plus efficace, et fixer le coût, dans notre Cas nous avons choisis la variante brise lame et rechargement de la plage.

Dans ce contexte, notre étude nous a permis de constater que l'érosion côtière dans la zone de Ain Tagourait n'est que la résultante d'une combinaison de plusieurs facteurs à la fois d'origine naturelle et humaine, opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace. Cette érosion due au trois houles dominante Nord, Nord-Ouest et Nord-Nord-Est.

Malgré la faisabilité prouvée en modèles de cette protection, il est recommandé de suivre son évolution dans le temps, de mettre en place des études d'observation de l'évolution du trait de côte afin d'évaluer l'impact de l'ouvrage et la nécessité d'effectuer des interventions d'entretien.

L'objectif principal de cette étude est l'implication de l'aménagiste au fait que l'aménagement côtier est intimement lié à l'environnement naturel et à la société qui le composent, au territoire auquel il s'intègre, et surtout à la conviction que son métier consiste à être au service de la population sans nuire à l'environnement et l'économie.



**Références  
Bibliographiques**

### Références bibliographiques :

- ✚ (Ahfir. Y et Meziane. I ,2016) Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa et Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj, Mémoire de fin d'étude.
- ✚ (Amarouche. K, 2015) Contribution à la recherche des zones à fort potentiel d'énergie houlomotrice à base d'un modèle hydrodynamique. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL. 111 P.
- ✚ (Badache. A et Chikr. F ,2016) contribution de l'étude quantitatives et qualitatives de peuplement phytoplanctoniques de la région centre algérienne Mémoire fin d'étude, P3 –P5.
- ✚ (Bartlett. D et Smith. J,2005) GIS for Coastal zone management.
- ✚ Belkessa.R, 2021., Réchauffement climatique. Cour de changement climatique 5eme année gestion et protection de littoral, ENSSMAL 2020, p1, p2, p3.
- ✚ (Benoit. M et Laborie. V, 2009) Caractérisation du site et collecte des données. In : CETMEF. Guide Enrochement : L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques Version française du Rock Manual. N° 02. France : CETMEF, 310-480 p Florida : CRC press, p. 2-6
- ✚ (Berkenou. N et Sallay. M ,2012) étude de protection de rivage du complexe culturel de Chinoua.
- ✚ (Bougis. J, 2003) Les états de mer naturels. Rapport. France : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, Université de Toulon et Du Var.
- ✚ (Bokreta. A et Ghouti. M, 2012) Étude de protection du rivage de Ain Tagourait. Mémoire fin d'étude. ENSSMAL.
- ✚ (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. P6
- ✚ (Dahmani .A, 2019) Cour de génie côtier, L'ENSSMAL.
- ✚ (Dahmani. A, 2019) Quelques notes essentielles du cours de la modélisation numérique, Généralités et application sur Mike. Cour de modélisation numérique 4eme année gestion et protection du littoral, ENSSMAL 2019, p 21, p13, 14,15.
- ✚ (DHI ,2014) MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Scientific Documentation.
- ✚ (DHI, 2014) MIKE 21/3 Couple Model FM. Disponible sur le web [www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE\\_213\\_Coupled\\_Model\\_FM.pdf](http://www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf).
- ✚ (Doglioli. A, 2010) Notes du Cours Circulation Générale en Méditerranée. Rapport. Marseille : Centre d'Océanologie de Marseille, Université de la Méditerranée.
- ✚ (Faye. I, 2010) Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par Photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de doctorat. Géographie. Bretagne : l'Université de Bretagne Occidentale.
- ✚ (Faye. I ; Giraudet. E ; Gourmelon. F et Alain. H, 2012) Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. Revue trimestrielle sur l'imagerie géographique et les formes

## Références Bibliographiques

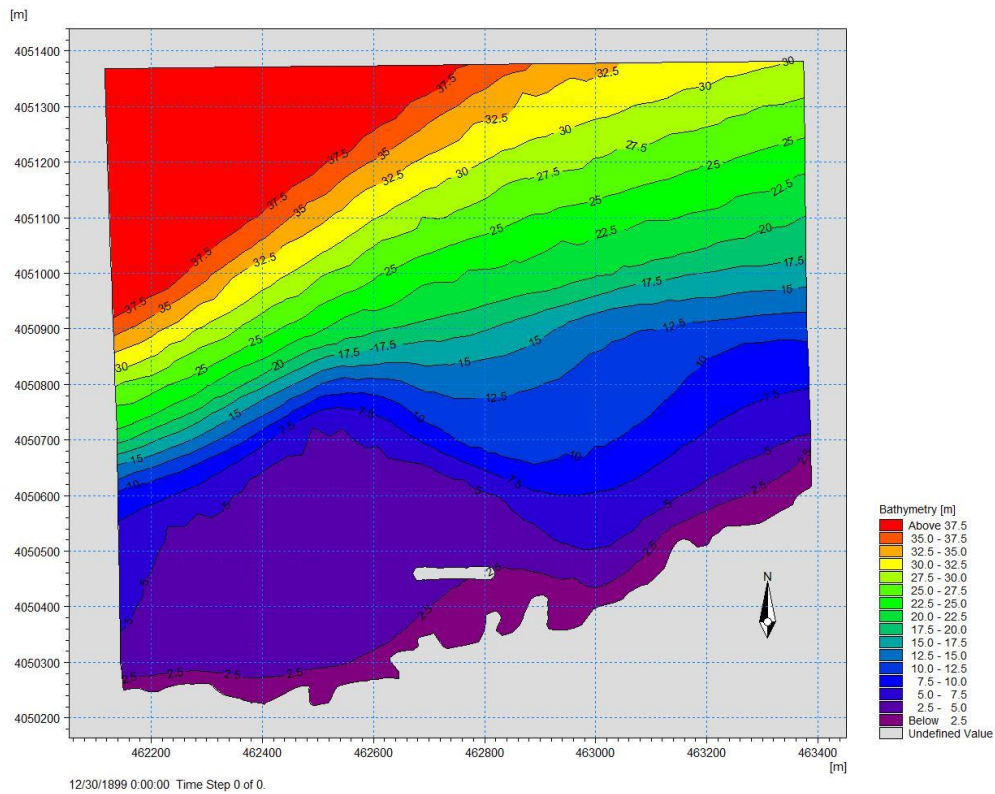
---

- du territoire. France : LETG UMR 6554 CNRS, laboratoire Géomer, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale. P15-17.
- ✚ (Fichaut. B et Suanez. S ,2008) Le rechargement de la plage de Sain le Anne-Duport zic (Brest-Finisiere) : quand la recherche fondamentale se met au service d'une gestion cohérente du littoral, Norois,208(3).
  - ✚ (Haddouche. I, 2003) Étude de la pollution en baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en juillet 2002. Mémoire d'ingénieur. Environment Marin. Alger: ENSSMAL, p. 22-40
  - ✚ (HEO. J, 2009) A new methodology for measuring coastline recession using buffering and non-linear least squares estimation. International Journal of geographical information science, N°23 (9), p. 1165 – 1177
  - ✚ (Houston, 1996) In, Analyse et interprétation des profils bathymétriques du SMNLR.
  - ✚ (Larbi. N ,2017) Étude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK), Mémoire de fin d'étude.
  - ✚ (Lazreg. B ,2012) dépôts quaternaires et évolution du pré continent Ouest algérois, Mémoire de doctorat.
  - ✚ (LEM, 2016) Étude et suivi des travaux de protection du rivage est de Ain Tagourait au niveau du centre de repos familial (CRF) de la direction générale de la sureté nationale
  - ✚ (Mezouar. K, 2009) Étude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain. Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie : Université Technique de Construction de Bucarest, 404 p.
  - ✚ (Otmani. H, 2014). Impacts des infrastructures maritimes sur le littoral : cas de Cap Djanet. Thèse de Magister. Alger : ENSSMAL.151P
  - ✚ (Ouahil. A, 2017) étude de pollution par matières particulaire et dissoutes dans le système fluvio-marin d oued Mazafran -embouchure baie de bouismaïl.
  - ✚ (Risso, 1826) Contribution à l'étude de la croissance du pagellus acarne dans la baie de Bou-Ismaïl –Mémoire Online.
  - ✚ (Sénéchal. N, 2003) Étude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf. Thèse de doctorat. France : Université de BORDEAUX I. 285P.
  - ✚ (Tabet. H, 2009) Évaluation 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.
  - ✚ (Than. V, 2015) Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens. Thèse de doctorat. France : l'université de Marseille, 427 p.
  - ✚ (Williams. S, 1990) Coasts in crisis. Germany: Geological survey circular, p. 32-40

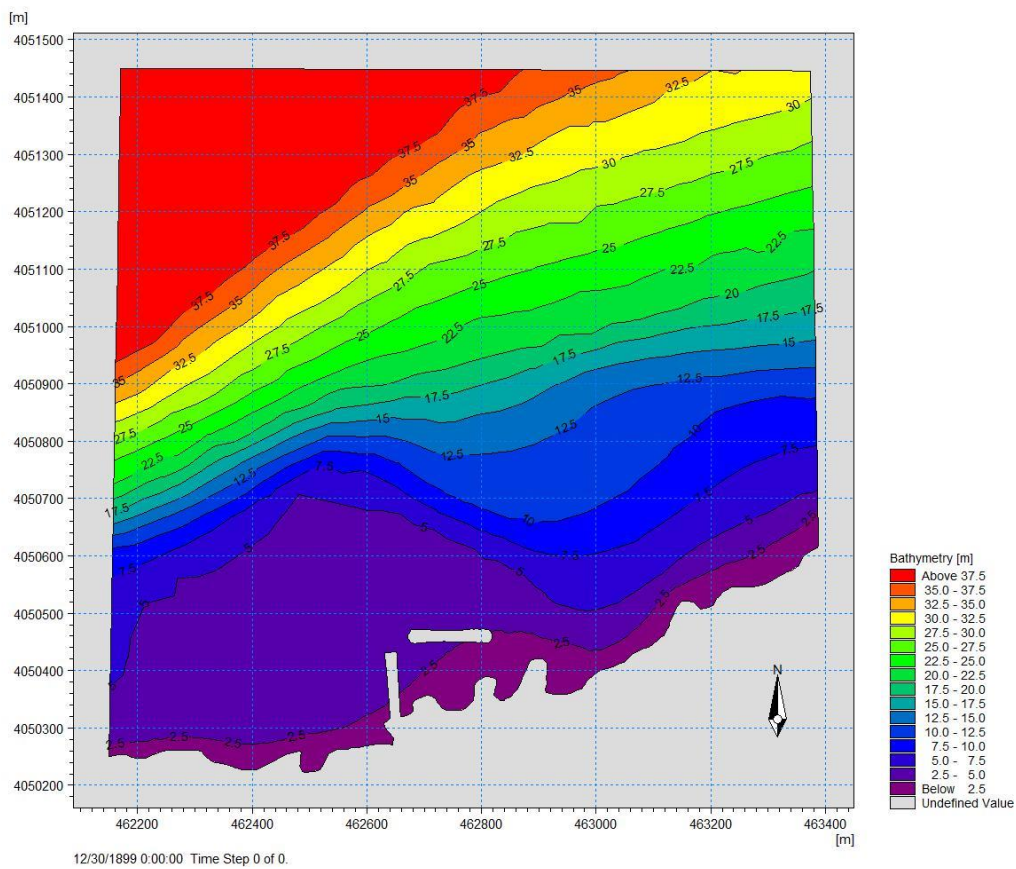


**ANNEXES**

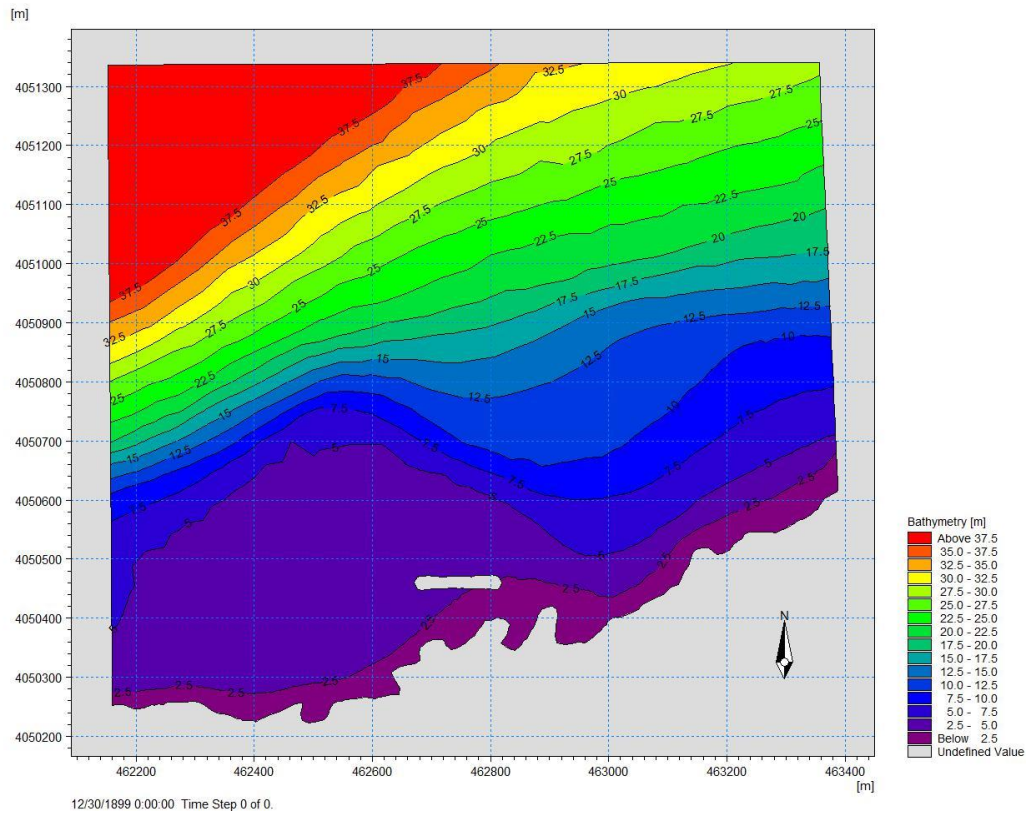
ANNEXES



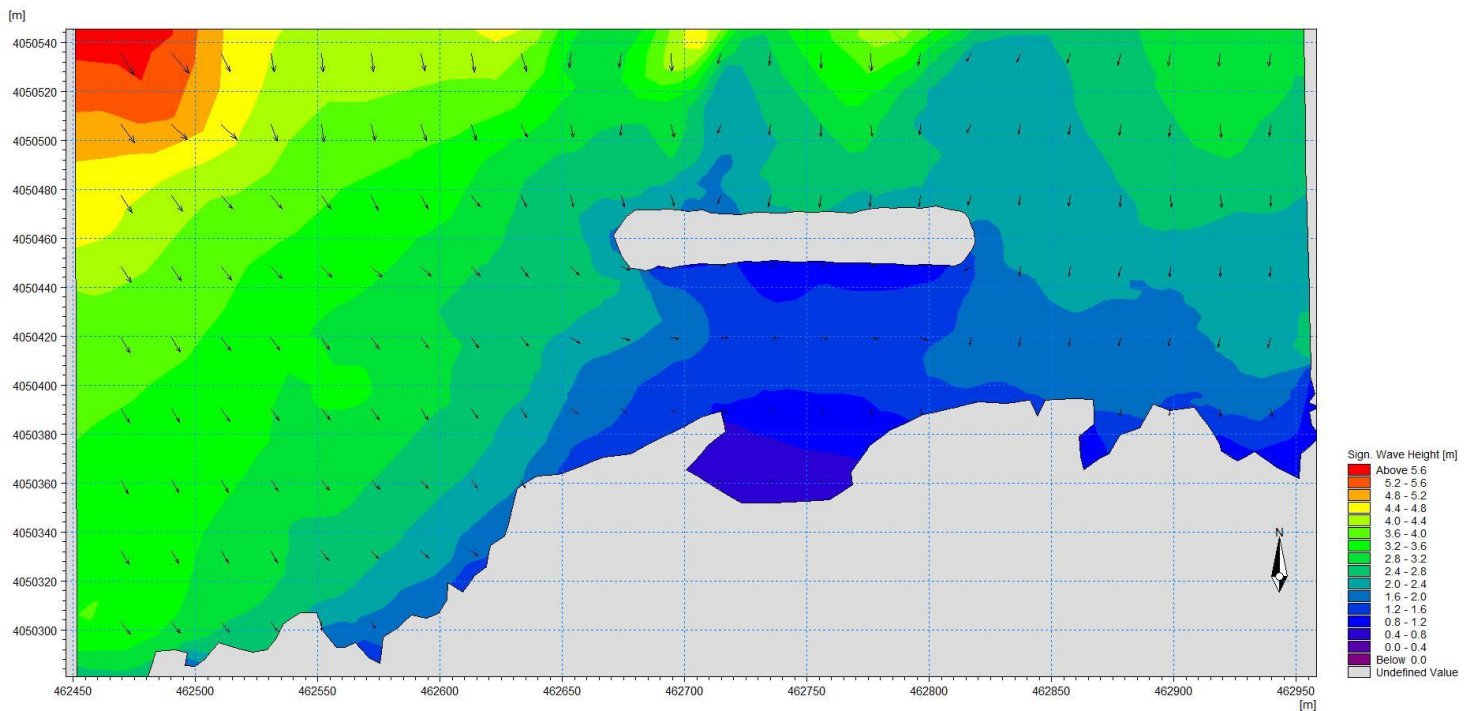
La bathymétrie de la zone d'étude avec le brise-lame

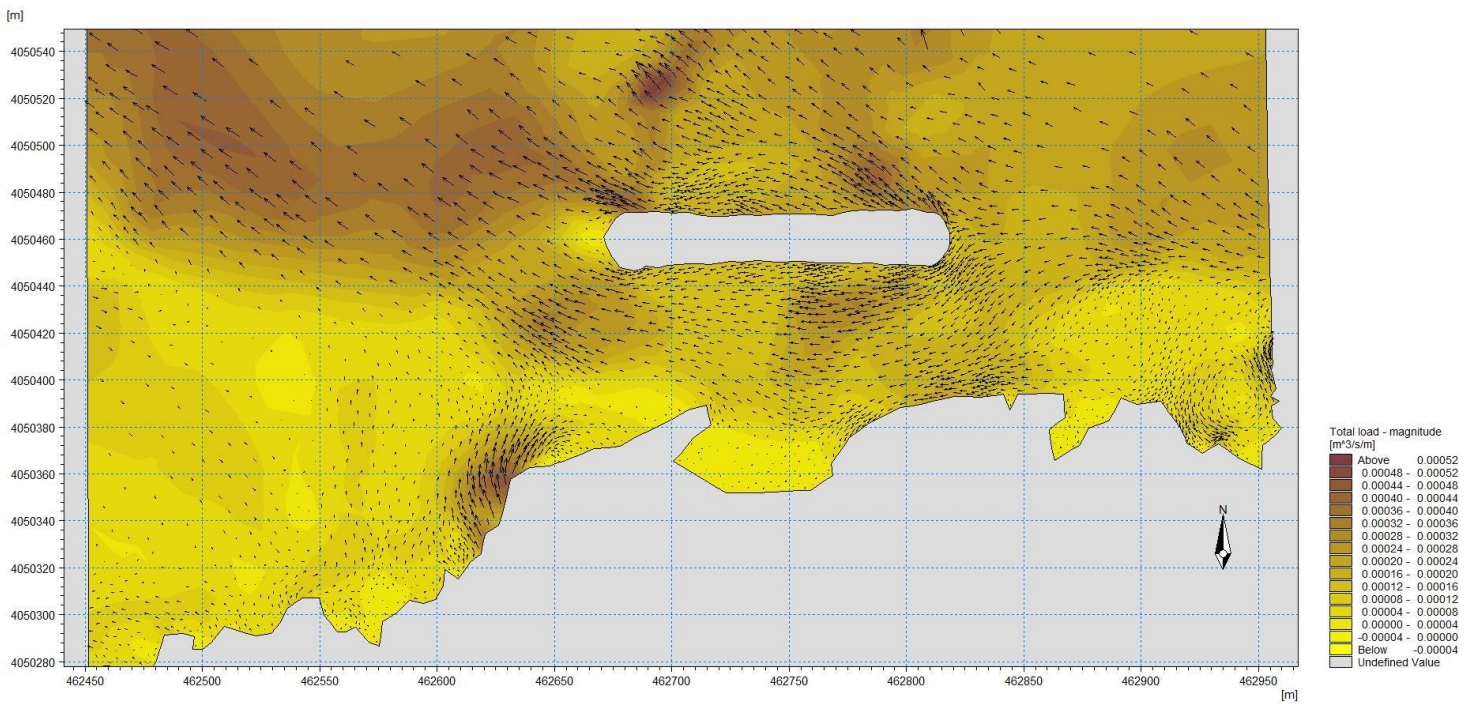
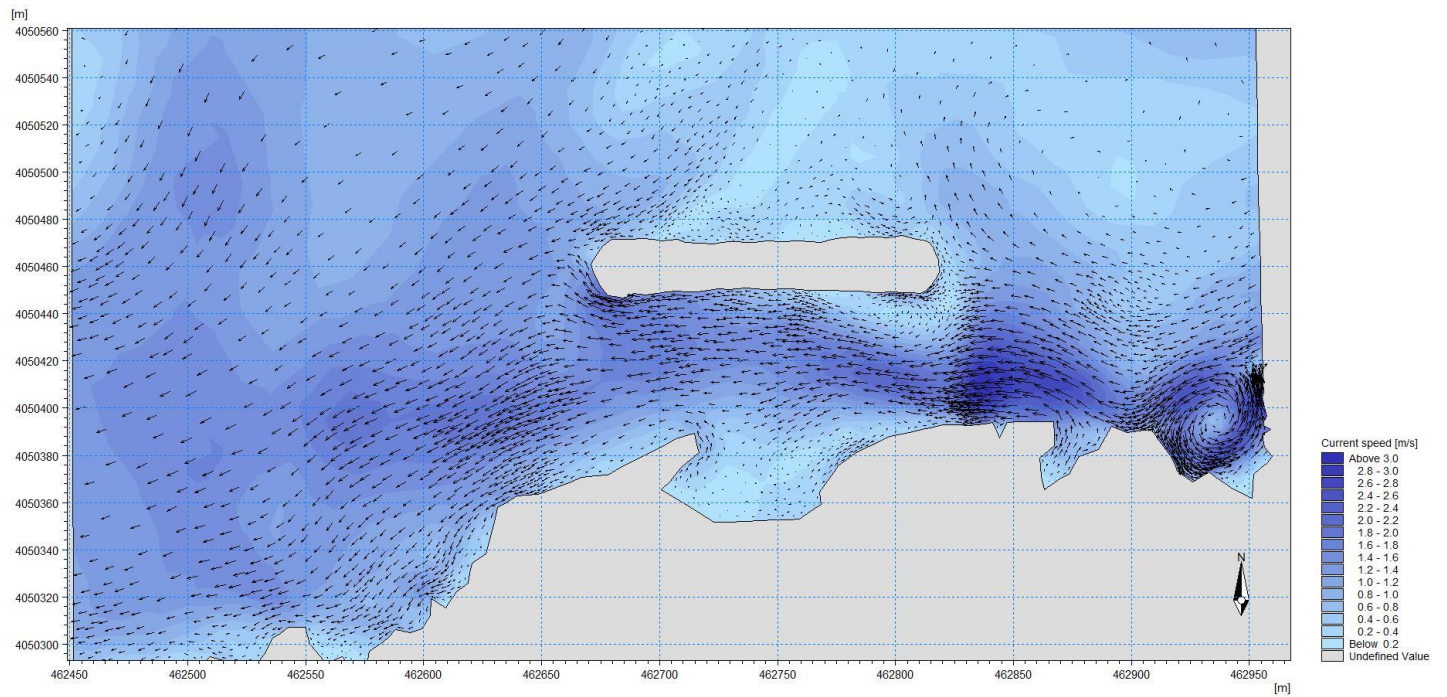


La bathymétrie de la zone d'étude avec un brise-lame et épi

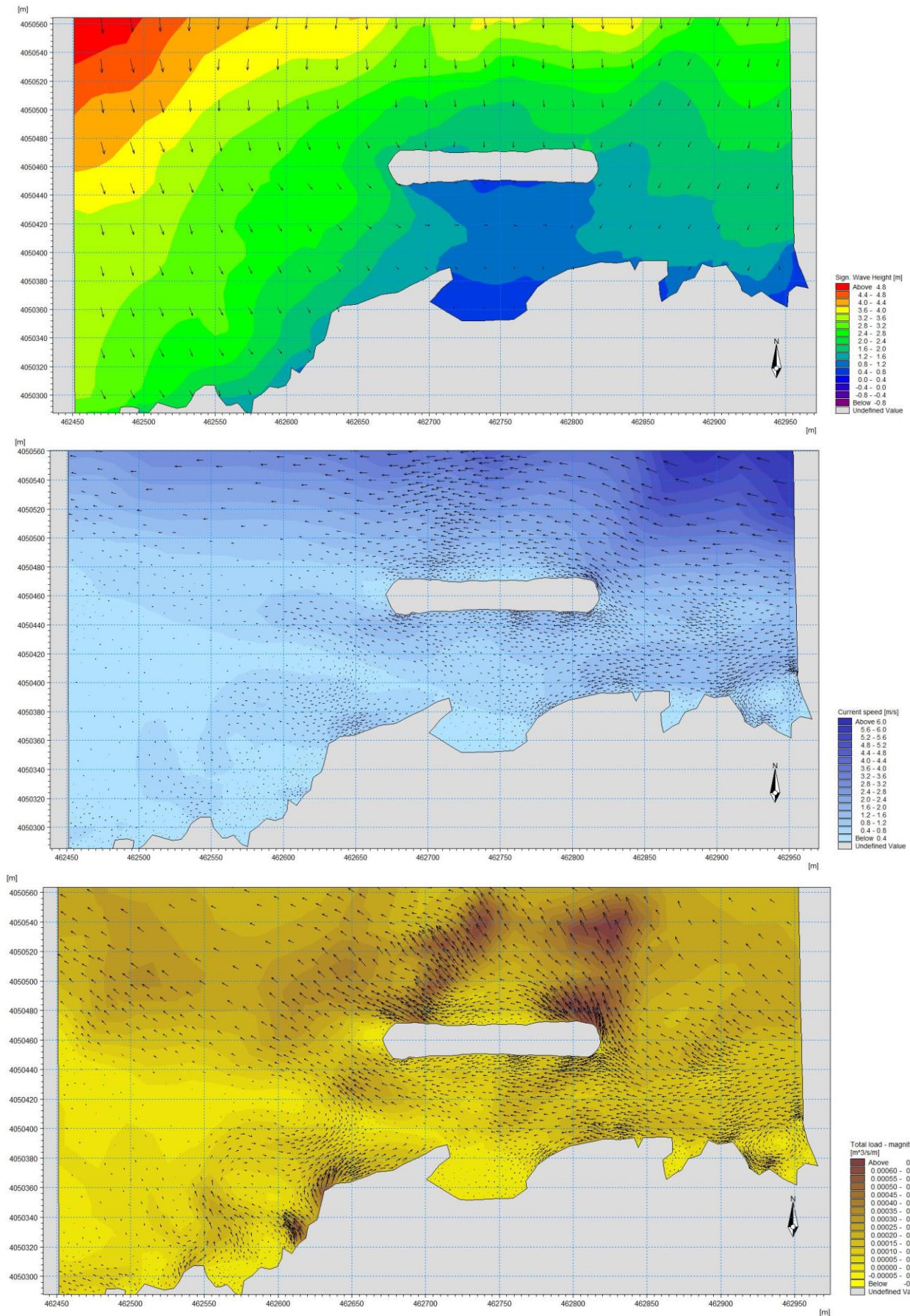


**La bathymétrie de la zone d'étude avec le brise-lame et rechargement de plage**

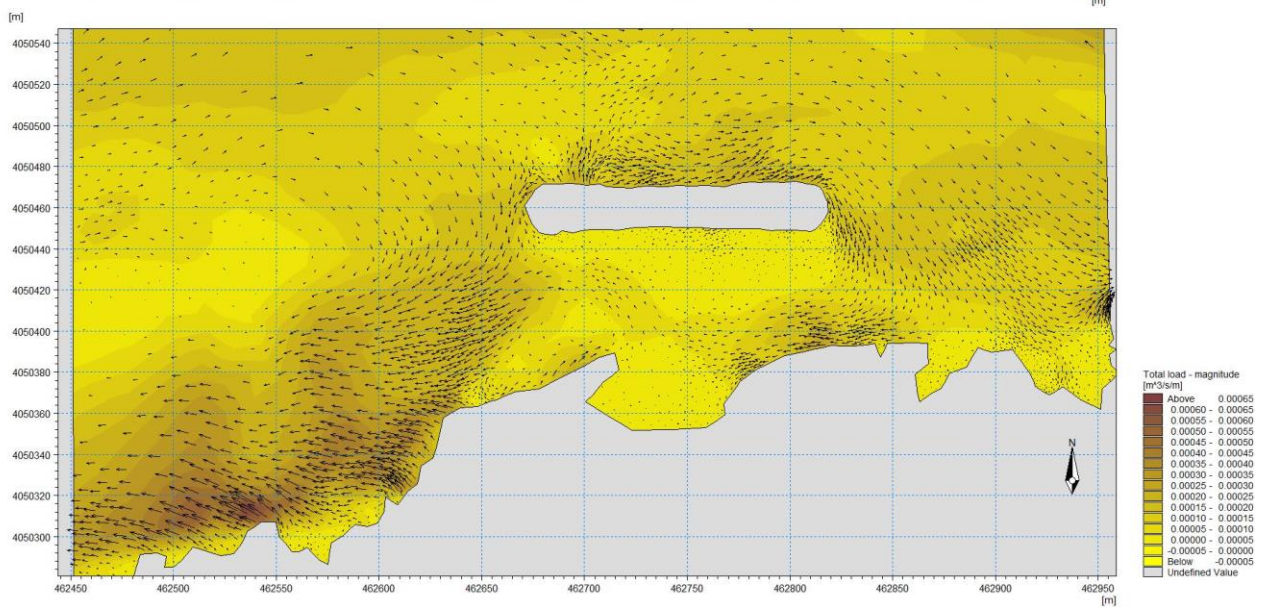
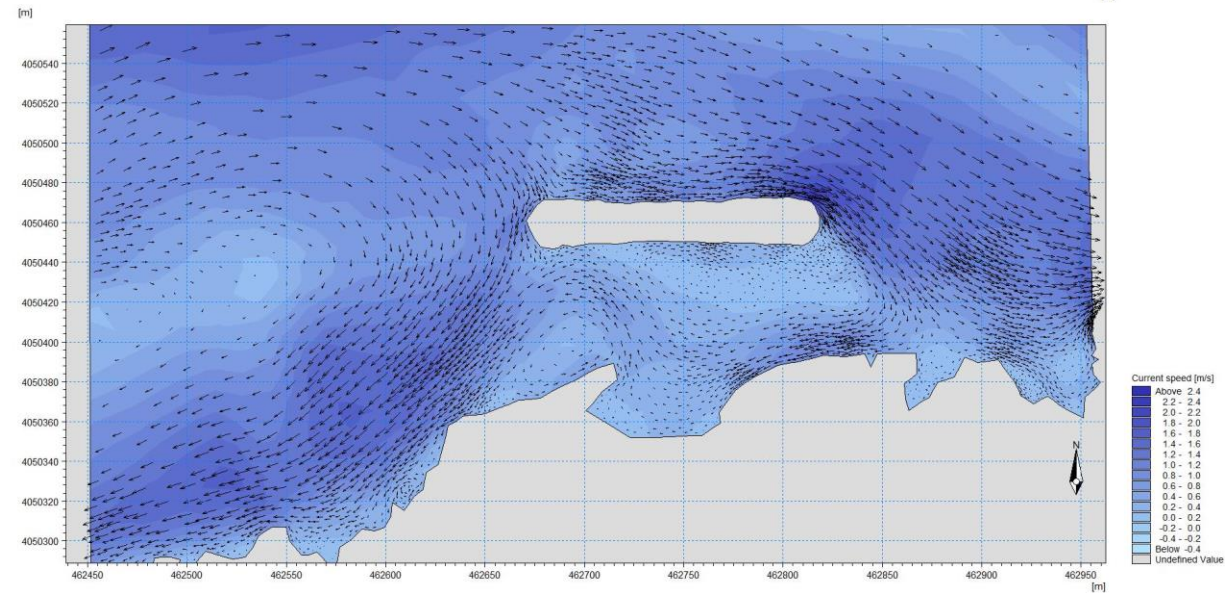
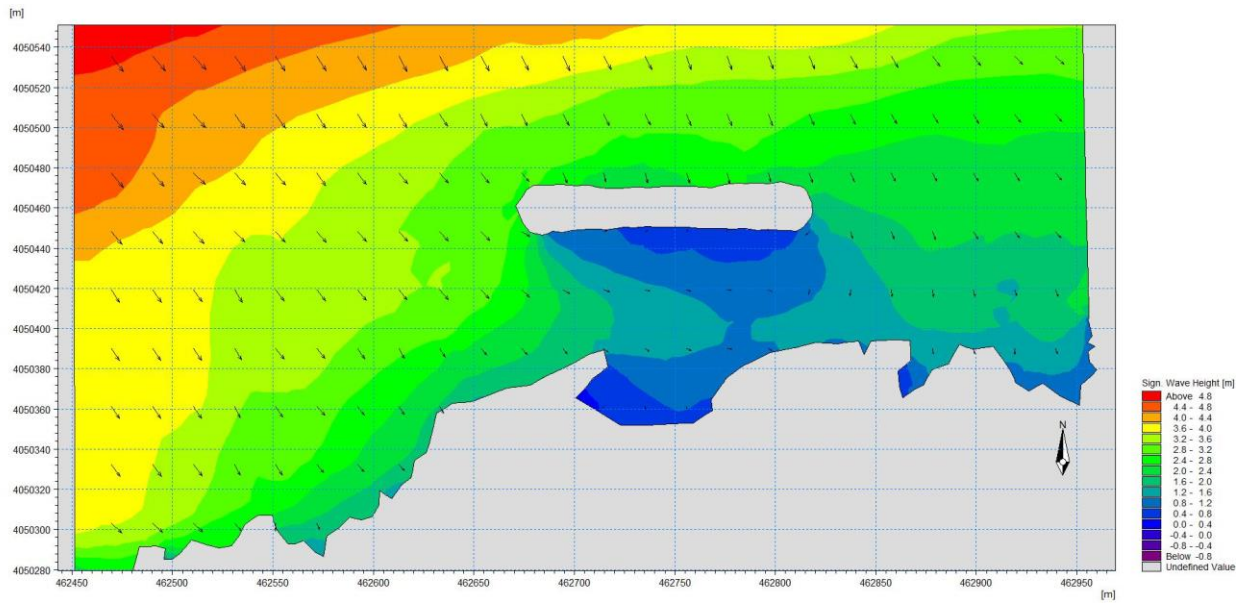




**Résultats de simulation cinquantennale de direction N360**



**Résultats de simulation cinquantennale de direction N45**



**Résultats de simulation cinquantennale de direction N315**

# **ÉTUDE DE FAISABILITE DE LA PROTECTION DES RIVAGES DU SITE D'AIN TAGOURAIT. W. DE TIPAZA**

## ***Résumé***

Les plages sableuses du littoral algérien constituent un exemple parfait des environnements côtiers où les échanges entre le continent, l'océan et l'atmosphère sont nombreux et dont l'équilibre sédimentaire est contrôlé par la combinaison de facteurs naturels et anthropiques. La présente étude porte sur le site d'Ain Tagourait Tipaza.

Une modélisation numérique expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la propagation afin de simuler l'évolution du trait de côte. Dans ce mémoire, nous précisons la dynamique sédimentaire au moyen d'une analyse diachronique des variations de la position du rivage, à l'aide des images satellitaires (2009, 2014, 2018 et 2020).

L'objectif du présent mémoire est de protéger le site d'étude et d'évaluer l'effet d'ouvrages de protection sur l'évolution historique de la ligne de côte et sur les caractéristiques morphologiques et morpho-dynamiques des côtes.

Pour pouvoir faire une comparaison entre un état vierge et un état artificialisé, l'outil de modélisation numérique MIKE21 et l'extension DSAS du progiciel ArcGIS ont été utilisés.

**Mots clés :** plage, Ain Tagourait, trait de côte, ouvrage de protection, modélisation numérique.

## ***Abstract***

The sandy beaches of the Algerian coast is a perfect example of coastal environments where numerous exchanges between the continent, the ocean and the atmosphere take place, where and whose sediment balance is controlled by the combination of natural and anthropogenic factors. This study focuses on the site of Ain Tagourait Tipaza.

A numerical modeling exposes the instructions that we followed in order to study the propagation that will help us to simulate the evolution of the coastline. In this paper, we specify sediment dynamics using a diachronic analysis of changes in the position of the shore, using satellite images (2009, 2014, 2018 and 2020).

The objective of this brief is to protect the study site and to assess the effect of protective works on the historical development of the coast line and on the morphological and morpho-dynamic characteristics of the coasts.

To be able to make a comparison between a Virgo state and an artificialized state the modeling tool MIKE 21 and the extension of Dsas of the software ArcGIS were used.

**Key words:** Beach, Ain Tagourait, coastline, protection structure, numerical modeling.