

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'ingénieur en sciences de la mer**

**OPTION : Gestion et protection du littoral**

**Etude de protection du rivage Club Hippique dans la  
willaya de Béjaïa**

Présenté par :

- **IDRIS Nassima**
- **SAIDANI Sara**

Soutenu le **31 Octobre 2021** devant le jury suivant :

<b>Mme. BENTCHIKO.L</b>	Maître Assistante A	(ENSSMAL)	Présidente
<b>Mr. BELKESSA.R</b>	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
<b>Mr. OTMANI.H</b>	Maître-assistant B	(ENSSMAL)	Examineur
<b>Mme MAHDID.S</b>	Maitre-assistante A	(ENSSMAL)	Examinatrice

**Année universitaire : 2020- 2021**

*Tout d'abord, on adresse un grand remerciement à Dieu (ALLAH), qui nous a guidé au chemin du savoir et nous a donné la volonté et la force tout au long de nos études.*

*C'est avec plaisir et reconnaissance que nous profitons de ces quelques paragraphes pour témoigner toute notre gratitude et exprimer nos vifs remerciements à toutes les personnes qui ont apporté leurs aides à l'aboutissement de ce travail de fin d'étude.*

*Je remercie particulièrement mon promoteur, **M. Belkessa. R** pour sa très grande disponibilité, son soutien constant, ses critiques fort constructives et ses conseils avisés furent très précieux pour nous tout au long de ce mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance pour son soutien moral sans faille, ses encouragements et son appui scientifique inestimable depuis le début jusqu'au dernier jour de la rédaction de ce mémoire. Ces quelques mois de collaboration nous ont permis aussi d'apprécier ses grandes qualités humaines.*

*J'adresse également mes vifs remerciements aux membres du jury :*

*- Mme BENCHIKO.L qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury*

*-Mme MAHDID ; M OTMANI, d'avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury et dont les critiques me serviront sûrement.*

*Je n'oublie pas de remercier mes enseignants, qui tout au long du cycle d'étude m'ont transmis leur savoir qu'on considère « l'or de la vie ».*

*Enfin nos vifs remerciements à nos camarades Alem Abelkader, Merzougui Salem Wajih, Saf Brahim.*

*Et à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*

*Nous finissons par un immense merci à nos **parents** qui nous ont soutenus pendant toutes notre vie.*

## *Dédicace*

*A mes très chers parents*

*A mes frères Nassim, Anis*

*A mon adorable tante Mariama*

*A mes petits anges Anis et Louiza*

*A mes chères cousines Lydia et Nisrine*

*A mon pilier Walid*

*A la plus belle des binômes et meilleure amie Sara*

*A mes amies Heda, Fahima, Imen, Dallal, Tina et Soraya*

*A la mémoire de mes chères grand parents que Dieu offre à leurs âmes le Paradis.*

*A tous mes amis surtout la promo GPL*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

*Je dédie ce travail*

***Nassima***

## ***Dédicace***

*A mes très chers parents*

*A mes frères Mohammed et Redouane*

*A mes jolies sœurs Fatima Zahraa et Maroua*

*A Mes anges Hadjer, Nour, Souad, Khaoula, Aya, Habiba*

*A mon porte bonheur Louai*

*A la plus belle des binômes et meilleure amie Nassima*

*A la mémoire de ma chère grand-mère que Dieu offre à son âme le Paradis.*

*A tous mes amis surtout la promo GPL*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

*Je dédie ce travail*

***Sara***

# Table des matières

.....	1
Liste des Abréviations : .....	8
Liste des figures .....	10
Listes des tableaux .....	15
Introduction.....	1
Chapitre I : .....	3
Généralités .....	3
1. La situation géographique :.....	4
1.1. Les caractéristiques géographiques de la zone d'étude :.....	4
1.2. Localisation de la zone d'étude : .....	5
2. Cadre géologique et morphologique :.....	5
2.1. Géologie de la cote de Bejaia : .....	5
2.2. Principales unités structurales : .....	6
3. Aspect morphologique du golfe de Bejaia :.....	7
3.1. Les plages de Bejaia : .....	7
4. Sédimentologie du plateau du golfe de Bejaia :.....	8
4.1. Les sédiments calcaires : .....	8
4.2. Les sédiments siliceux : .....	8
4.3. Les sédiments argileux : .....	9
5. Cadre climatique et océanographique :.....	9
5.1. Le Climat : .....	9
5.2. Les Précipitations : .....	9
5.3. Les Températures : .....	11

6.	Cadre océanographique :.....	12
6.1.	Le vent :.....	12
6.2.	La houle :.....	13
7.	La réduction des apports des sédiments :.....	16
8.	Présence des ouvrages côtiers :.....	16
Chapitre II : Matériels et Méthodes .....		18
1.	Introduction :.....	19
2.	Evolution du trait de côte :.....	19
2.1.	Logiciel utilisé :.....	20
2.2.	Données utilisées :.....	22
2.3.	Méthodologie de travail :.....	23
3.	Etude bathymétrique et Hydro sédimentaire : .....	30
3.1.	Description de modèle Mike 21 : .....	30
3.2.	Méthodologie :.....	31
3.3.	Présentation de modèle utilisée : .....	33
Chapitre III :.....		37
Résultats et discussions.....		37
1.	Evolution de trait de côte :.....	38
1.1.	La cinématique du trait de côte : .....	38
1.2.	PERIODE GLOBALE DE 1985 à 2021 : .....	39
1.1.	PERIODE 1985 2004 :.....	42
1.2.	Période 2004 à 2014 :.....	44
1.1.	Période 2014 à 2019 :.....	46
1.2.	Période 2019 à 2021 :.....	48
1.3.	Projection à l’horizon 2025 du trait de côte : .....	50

2. Etude bathymétrique et Hydro sédimentaire.....	52
2.1. Etude bathymétrique.....	52
3. Etude bathymétrique .....	52
3.1. Etude des profils bathymétriques .....	53
3.2. Etude de réfraction de la houle :.....	56
CHAPITRE IV :.....	68
Solution d'aménagement .....	68
1. Introduction :.....	69
2. Analyse des simulations numériques après l'implantation des ouvrages :.....	69
3. Choix des variantes :.....	69
3.1. Variante 1 : Brises lames émergés :.....	69
3.2. Variante 2 : Géotubes immergés et rechargements .....	79
3.3. Variante 3 : Epis .....	88
Conclusion générale.....	98
Référence : .....	101
Annexes.....	104
<b>Résumé</b> .....	119

## **Liste des Abréviations :**

SIG : Système d'information Géographique

SCE : Shoreline Change Envelope

GPS : Global Positioning System

3D : Trois dimensions

m : mètre

S : seconde

Deg : degré

SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observations

LEM : laboratoire d'Etude Maritime

STP : Period Transport Sediment model

DHI : Danish Hydraulics Institute

Hm : amplitude des houles

He : hectare

Tp : période u routeur de le houle

Km : kilomètre

mm : millimètre

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

ANCC : Agence Nationale Des Changements Climatiques

ONM : Office national météorologique

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

$\mu\text{m}$  : micromètre

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

NSM : Net Shore Mouvment.

EPR : End Point Rate

T : période.

H : hauteur.

$K_r$  : coefficient de réfraction de la houle.

$K_d$  : coefficient de stabilité.

$Z$  : hauteur d'ascensions.

$I_r$  : Paramètre d'Iribarenne.

TVC : Tous Venant Carrière.

Kg : Kilogramme.

T : tonne.

### **Liste des formules :**

Formule (1) : Longueur des brise-lames.

Formule (2) : Longueur relative des brise-lames.

Formule (3) : Espacement entre les brise-lames.

Formule (4) : Hauteur d'ascensions.

Formule (5) : Paramètre d'Iribarenne.

Formule (6) : Longueur d'onde de la houle au large.

Formule (7) : Carapace.

Formule (8) : Sous couche.

Formule (9) : Epaisseur.

Formule (10) : Espacement entre les épis.

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Localisation de la zone d'étude (Idris & Saidani ,2021). .....	4
<b>Figure 2</b> : Plan de la plage du club hippique à Bejaia (LEM ...2019). .....	5
<b>Figure 3</b> : Environnement structural de la région de Bejaïa (Obert 1981) .....	6
<b>Figure 4</b> : Carte pluviométrique de l'Algérie du nord (source : A.N.R.H 1993).....	10
<b>Figure 5</b> : Moyennes mensuelles des précipitations relevées à la station de Béjaïa Aéroport (LEM) 2019 .....	10
<b>Figure 6</b> : Variation des températures (minimale, moyenne, maximale) au niveau de la willaya de Béjaïa. Source : Meteotube 2020. ....	12
<b>Figure 7</b> : Rose de vent pour Béjaïa (Meteoblue.2020).....	13
<b>Figure 8</b> : Ouvrages de protection implantés le long du rivage du golfe de Bejaïa.....	17
<b>Figure 9</b> : Carte des risques d'érosion du littoral de Béjaïa pendant la période 1958- 2016 (Djouder & Boutiba, 2017) modifiée.....	19
<b>Figure 10</b> : barre d'outils DSAS .....	21
<b>Figure 11</b> : Images satellitaires des années (1985,2004,2009,2014,2019,2021) de la région d'étude.....	22
<b>Figure 12</b> : Schéma méthodologique .....	23
<b>Figure 13</b> : Digitalisation des traits de côte de la zone d'étude (1985, 2004, 2009, 2014, 2019,2020,2021) .....	24
<b>Figure 14</b> : vecteur Shoreline.....	25
<b>Figure 15</b> : Vecteur shorelines et vecteur Baseline.....	26
<b>Figure 16</b> : les transects générés .....	26
<b>Figure 17</b> : Transects et ligne de base, créés par le DSAS pour mesurer l'évolution du trait de côte.....	28
<b>Figure 18</b> : tableau des calculs sur Excel.....	29
<b>Figure 19</b> : La digitalisation de la bathymétrie sous ArcGIS .....	32
<b>Figure 20</b> : Approche méthodologique adoptée pour la modélisation.....	32
<b>Figure 21</b> : Maillage du Mesh Generator sous MIKE 21. ....	33
<b>Figure 22</b> : Le concept du modèle de MIKE 21/3 Coupled Model FM.....	34
<b>Figure 23</b> : Bilan surfacique de la zone d'étude pour la période globale (1985-2021) .....	39

<b>Figure 24</b> : Carte de l'évolution du trait de côte pour la période globale (1985-2021) de la plage Club Hippique.....	41
<b>Figure 25</b> : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de1985-2021 au niveau de la zone du plage club hippique. ....	41
<b>Figure 26</b> : Carte d'évolution du trait de côte pour la période (1985-2004) au niveau de la plage Club Hippique.....	43
<b>Figure 27</b> : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de1985-2004au niveau de la zone du plage club hippique .....	43
<b>Figure 28</b> : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2004-2014) de la plage Club Hippique.....	45
<b>Figure 29</b> : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de2004-2014 au niveau de la zone du plage club hippique .....	45
<b>Figure 30</b> : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2014-2019).....	47
<b>Figure 31</b> : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de2014-2019 au niveau de la zone du plage club hippique .....	47
<b>Figure 32</b> : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de2019-2021 au niveau de la zone du plage club hippique .....	49
<b>Figure 33</b> : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2019-2021) au niveau de la plage Club Hippique.....	49
<b>Figure 34</b> : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2021-2050).....	51
<b>Figure 35</b> : Variation du NSM du trait de côte selon La période 2021-2050 au niveau de la zone du plage club hippique .....	51
<b>Figure 36</b> : Carte bathymétrique de la plage club hippique, (2021) .....	52
<b>Figure 37</b> : Carte bathymétrique et positionnement des profils au niveau de la plage Club Hippique.....	53
<b>Figure 38</b> : Profil bathymétrique 01.....	53
<b>Figure 39</b> : Profil bathymétrique 02.....	54
<b>Figure 40</b> : Profil bathymétrique 03.....	55
<b>Figure 41</b> : Profil bathymétrique 04.....	55
<b>Figure 42</b> : conditions des houles au large du littoral de Béjaïa .....	56
<b>Figure 43</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage Club Hippique....	58

<b>Figure 44</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique.....	59
<b>Figure 45</b> : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 20° à la plage Club Hippique. ...	60
<b>Figure 46</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage Club Hippique....	61
<b>Figure 47</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique.....	62
<b>Figure 48</b> : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Club Hippique ....	63
<b>Figure 49</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage Club Hippique....	64
<b>Figure 50</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique.....	65
<b>Figure 51</b> : Résultats du transport sédimentaire de la houle N 60° à la plage Club Hippique ....	66
<b>Figure 52</b> : Schéma du brise-lame (LEM, 2019). ....	70
<b>Figure 53</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	74
<b>Figure 54</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	74
<b>Figure 55</b> : Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	75
<b>Figure 56</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	75
<b>Figure 57</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	76
<b>Figure 58</b> : Résultats de transport sédimentaire Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	76
<b>Figure 59</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	77
<b>Figure 60</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	77
<b>Figure 61</b> : Résultats de transport sédimentaire Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.....	78
<b>Figure 62</b> : Schéma de géotube (LEM, 2019).....	80

<b>Figure 63</b> : Schéma de géotube+rechargement (LEM, 2019).....	80
<b>Figure 64</b> : Description des éléments d'effet de géotubes, (D'après J. Viguier 2002). ....	81
<b>Figure 65</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	83
<b>Figure 66</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	83
<b>Figure 67</b> : Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	84
<b>Figure 68</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	84
<b>Figure 70</b> : Résultats de transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	85
<b>Figure 69</b> : Résultats de courantologie sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes .....	85
<b>Figure 71</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5géotubes .....	86
<b>Figure 72</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 géotubes .....	86
<b>Figure 73</b> : Résultats de transport sédimentaire de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 géotubes .....	87
<b>Figure 74</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	89
<b>Figure 75</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	89
<b>Figure 76</b> : Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	90
<b>Figure 77</b> : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	90
<b>Figure 78</b> : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	91

<b>Figure 79 :</b> Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis .....	91
<b>Figure 80:</b> Résultats réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	92
<b>Figure 81:</b> Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	92
<b>Figure 82:</b> Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis.....	93

## Listes des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Caractéristiques des plages de la région de Bejaïa (Obert 1981) .....	8
<b>Tableau 2:</b> Moyenne des précipitations mensuelles de la station météorologique de Béjaïa Aéroport (1970-2012). Source : O.N.M.....	10
Tableau 5: Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions dans la région de baie de Béjaïa (S.S.M.O, Période : 1963– 1970).....	14
Tableau 6: Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (LEM, 1998).....	15
Tableau 7: Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes (LEM 1998).....	16
Tableau 8 : tableau représentant les caractéristiques et utilités des données utilisées.....	22
<b>Tableau 9:</b> les statistiques fournis par DSAS .....	27
<b>Tableau 10:</b> Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR .....	30
<b>Tableau 11:</b> tableau représentatif des différents aspects de chaque variante proposée. ....	94
<b>Tableau 12:</b> localisation des carrières de la wilaya de Béjaïa (LEM...2019) .....	96
<b>Tableau 13:</b> comparaison des variantes .....	97

## **Introduction**

Longtemps resté « le territoire du vide » le littoral est devenu, depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, un espace privilégié pour l'implantation urbaine, industrielle et pour le tourisme balnéaire qui n'a cessé de se développer.

D'après Paskoff, (1992), Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interaction et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser. Aussi Ils sont caractérisés généralement par les notions d'aléas de submersion et d'érosion littorale (Mallet et Michot, 2012).

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

Les plages représentant une forme littorale d'accumulation, leur érosion actuelle implique une modification de leur budget sédimentaire (de positif à négatif). C'est cette inversion de tendance qu'il faut essayer de comprendre. L'attention des chercheurs a d'abord été retenue par la disproportion criante qui existe entre les gigantesques quantités de matériaux meubles déposés sur certains littoraux et les volumes modestes de sédiments apportés à la mer par les principaux fournisseurs que sont les fleuves.

Dans ces environnements littoraux, la tendance érosive naturelle est parfois accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans le processus côtier en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (Paskoff, 1998).

Selon Paskoff, Depuis longtemps la mise en place des ouvrages de défense pour protéger les côtes sableuses a été la meilleure solution proposée par les ingénieurs. Parfois cela se traduit par construire des épis (en bois, en pierre ou en béton), disposés plus au moins perpendiculairement au rivage. Ils représentent des obstacles pour la dérive littorale qui se trouve freinée, déviée et contrainte de déposer une partie de sa charge. Donc leur principal rôle est de piéger les sédiments en transit. Mais si leur conception n'a pas été soigneusement étudiée et leur entretien n'a pas été assuré, les résultats ne seront pas satisfaisants et peut engendrer des dégâts ailleurs que leur emplacement même si localement un emmaigrissement et en cours.

Notre zone d'étude c'est la plage du club hippique à l'Est de la piste d'atterrissage de l'aéroport Abane Ramdan, à l'Ouest de Tichy au nord de la RN09 . La plage se caractérise par une bande sableuse de largeur assez importante, subit depuis plusieurs années une érosion intense à tel point que la mer arrive sur la RN09 lors des tempêtes.

On a choisi cette zone pour notre projet fin d'étude vu l'état d'érosion qui règne sur cette plage et le recul spectaculaire du trait de côte. Le but de notre étude est de pouvoir aborder et proposer des réponses convaincantes à ces questions :

- Quels sont les facteurs principaux qui ont causé l'érosion ?
- En quoi les ouvrages construits ont servi et quels est leurs impacts ?
- Quels sont les variantes de protection possibles à proposer et quel est leur impact sur l'environnement ?
- Si aucune initiative soit prise que deviendra notre zone d'étude ?

Dans cette vision nous avons cerné cette étude en cinq chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur la zone d'étude, à savoir l'énumération de ses principales caractéristiques géomorphologiques, sédimentologiques, météorologiques et océanographiques.

Le deuxième chapitre est destiné à la méthodologie sur laquelle ce travail est, ce chapitre énumère donc les différentes méthodes et techniques d'analyse utilisées lors de cette étude.

Le troisième chapitre porte sur l'étude diachronique du trait de côte et l'étude hydrodynamique et les simulations des modèles du Mike21 avec une interprétation des résultats obtenue suivi d'une discussion

Le quatrième chapitre, présentation des probables solutions qu'on suggèrera afin de déduire la meilleure approche a adopté d'après notre étude.

Le travail est clôturé par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

# **Généralités**

## 1. La situation géographique :

Le golfe de Béjaïa :

Le golfe de Béjaïa est une importante échancrure du littoral algérien, il est situé à environ 250 Km à l'est d'Alger et 420 km à l'ouest d'Annaba, il est délimité par :

- Ras Carbon à l'ouest ( $36^{\circ}46'36''N - 5^{\circ}6'27''E$ )

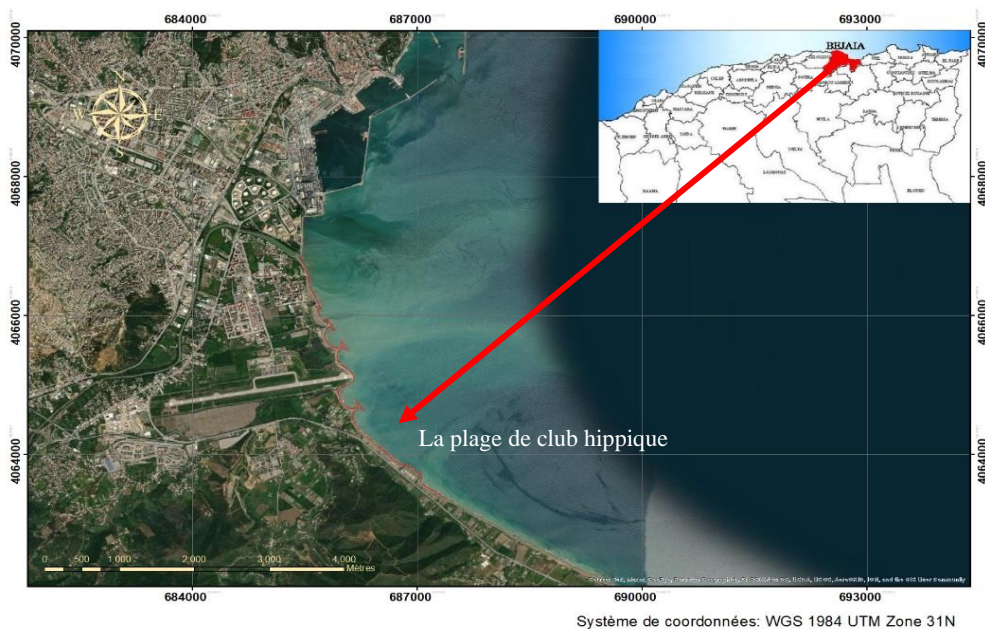
- Ras Afia à l'est ( $36^{\circ}49'6''N - 5^{\circ}41'34''E$ ).

Le linéaire côtier du golfe de Béjaïa est de 89 km, il recèle une morphologie côtière variée

(Plages sableuses, grèves ; côtes rocheuses et falaises). Le rebord du talus continental se situe à environ 100m de profondeur et atteint 1000m au début des grands fonds.

### 1.1. Les caractéristiques géographiques de la zone d'étude :

La wilaya de Béjaïa « V'gayeth » en Kabyle, est une région côtière du Nord-Est de l'Algérie comprise entre les parallèles  $36^{\circ}43'$  Nord de latitude et les méridiens  $4^{\circ}55'$  Est de longitude. Elle est distante de 250 km d'Alger. Elle est d'une frange littorale qui s'étend sur plus de 110km, soit 10% du littoral Algérien, le golfe de Béjaïa se localise à l'Est de la ville. Notre zone d'étude est la partie Ouest de cette baie qui s'étend sur un linéaire estimé à environ une trentaine de kilomètres.



**Figure 1** : Localisation de la zone d'étude (Idris & Saidani ,2021).

## 1.2. Localisation de la zone d'étude :

La plage de club hippique se situe sur le rivage longeant la route nationale N°9, reliant Bejaia à Tichy et plus exactement à l'Est de l'aéroport Abane Ramdan. Elle est limitée à l'Ouest par un épi en T et à l'Est par une plateforme aménagée et protégée par un ouvrage en enrochements, formant ainsi un linéaire d'environ 1Km.

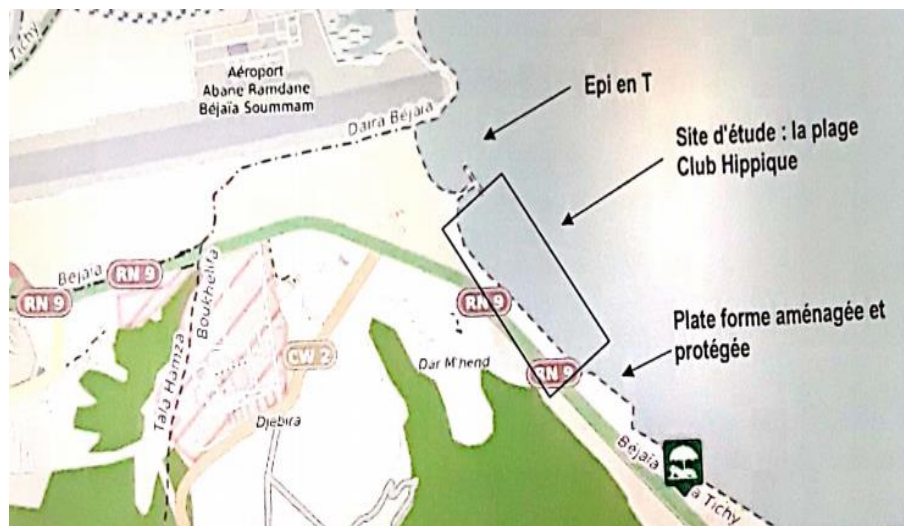


Figure 2 : Plan de la plage du club hippique à Bejaia (LEM ...2019).

## 2. Cadre géologique et morphologique :

### 2.1. Géologie de la cote de Bejaia :

L'analyse du bâti géologique et structural dénote la présence de corps sédimentaires d'âge Mio-Plio-Quaternaire, caractérisés par une lithologie variée et peu résistante (Duplan, (1962) ; Obert, (1981) ; Hassissene, (1989)).

#### 2.1.1. La tectonique :

La région littorale Ouest a connu plusieurs phases tectoniques :

Pendant la phase post-Oligocène des failles (N 70°) ont découpé le synclinorium en compartiments disposé en gradin effondrés du Sud vers le Nord.

Au pliocène, un grand accident Sud-Ouest Nord-Est a cisailé les anticlinaux des Djebels Arbalou et Gouraya

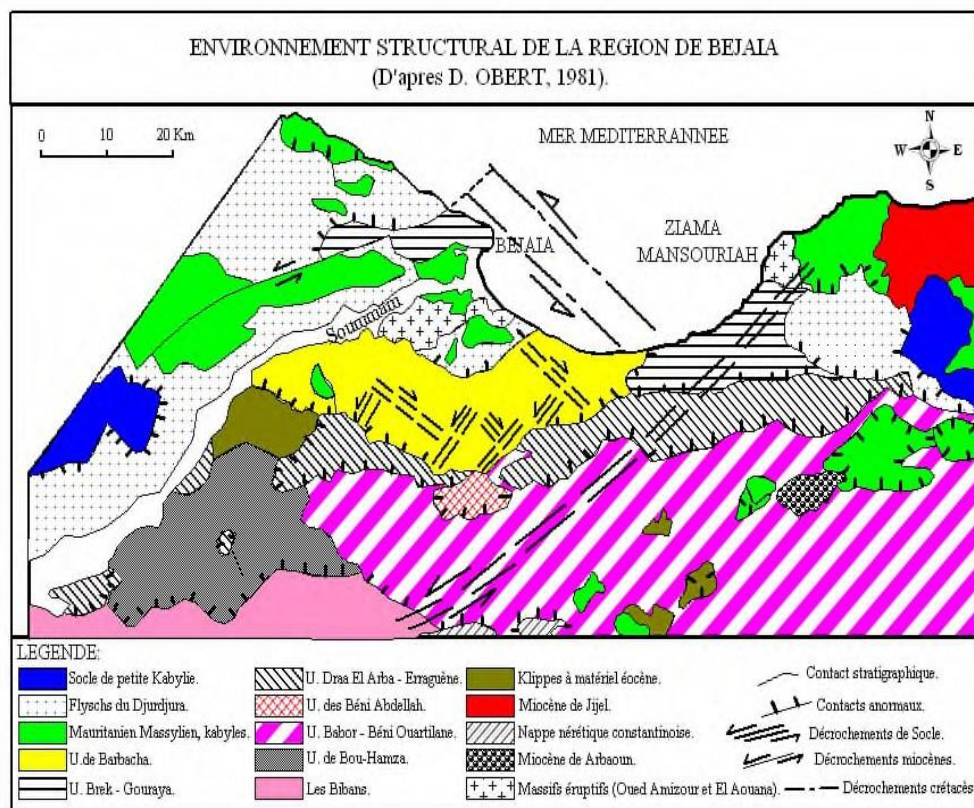
- Durant la période de Plio-Quaternaire :

Une reprise de l'activité érosive de cours d'eau a été enregistré dans la vallée de la Soummam, engendré par des soulèvements épirogéniques Lambert (1952). Ce soulèvement de l'ensemble tellien et l'effondrement du domaine méditerranéen sont probablement à l'origine de la réactivation actuelle de certaines failles, qui serait à l'origine des séismes qui secouent fréquemment cette région.

## 2.2. Principales unités structurales :

On distingue dans la région de Bejaïa quatre ensembles structuraux majeurs, à savoir :

- Le socle cristallophyllien et sa couverture sédimentaire tertiaire ;
- Les flyschs créacés et tertiaires qui affleurent de part et d'autre de la plaine ;
- Les nappes épi telliennes : Brek-Gouraya, Barbacha et Bou-Hamza ; Les formations post-nappes.



**Figure 3 :** Environnement structural de la région de Bejaïa (Obert 1981)

### 3. Aspect morphologique du golfe de Bejaia :

#### 3.1. Les plages de Bejaia :

Entre le cap Carbon et le cap de Zياما Mansouria, on dénombre 33 plages qui totalisent une longueur du trait de côte de 34,5 km. De la rive droite de l'embouchure de l'oued Soummam, principal pourvoyeur de ces plages en matériaux terrigènes, et en allant vers l'Est, elles ont tendance à prendre de la largeur puis à s'amincir dès qu'on atteint successivement les abords des falaises des caps Tichy et Aokas pour enfin disparaître à l'extrême est au contact des falaises de Melbou. Ainsi, leurs largeurs oscillent entre 27,5 m et 100 m, mais gardent tout de même deux caractéristiques communes : leurs faibles pentes (moins de 2 %) et altitudes (entre 0 et 5 m).

La commune de Béjaïa compte une seule plage qui évolue à l'intérieur du golfe, en l'occurrence celle de Sidi Ali Lebher. Cette bande sableuse de déclivité faible ne dépassant pas les 2° représente, 3,14% du linéaire côtier total du golfe. Elle se développe entre le port et l'aéroport de la ville sur 800 m de longueur et 40 à 60 m de largeur.

Ces plages sont alimentées principalement par les apports d'origines continentales charriées par différents oueds qui débouchent en mes principalement oued Soummam et oued Agrioun (sédiments allochtones) ou par les produits de l'érosion côtières (sédiments autochtones).

La côte sableuse du golfe de Bejaia est donc plus importante que celle de la côte ouest caractérisée par un aspect continu et moins accidenté ; elle se différencie par la présence de dunes bordières et de longues plages sableuses.

#### 3.1.1. Plages de la commune de Boukhelifa :

La bande côtière sableuse de la commune de Boukhelif regroupe les plages d'Oued Djaoua, El Maghra, El Djabia, Acherchour, Oued Afalou, Club Hippique.

La longueur de cette bande côtière sont toutes constituées de sables fins à moyens parfois coquilliers. Ces plages présentent une déclivité faible qui oscille entre 2° et 4° ; elles sont souvent prolongées vers le continent par de petites dunes hautes de 1 à 3m, fixées par une maigre végétation e fortement anthropisées.

**Tableau 1:** Caractéristiques des plages de la région de Bejaïa (Obert 1981)

Commune	Désignation de la plage	Longueur (m)	Largeur (m)	Pente (°)	Superficies (ha)	Nature des sédiments
Boukhelifa	El Maghra	1100	60	1.1	6.6	Sables fins à moyens
	Acherchour	1000	80	2	8	Sables fins à moyen
	Oued Afalou	800	70	3.8	5.6	Sables fins à moyens
	El Djabia	600	60	3	3.6	Sables fins à moyens
	Club Hippique	1200	30	3.06	3.6	Sables fins à moyens
	Oued Djaoua	1200	70	2.29	8.4	Sables fins à moyens

### 3.1.2. Plage Club Hippique :

C'est une bande sableuse qui s'étend entre l'embouchure d'oued oufalou et l'extrémité ouest de l'hôtel les Hammadites. D'une superficie de 7.2 hectares, cette plage qui s'étale sur une longueur de 900m et une largeur de 80 m présente une déclivité faible qui ne dépasse pas 3,6°. Elle est composée principalement de sable fin à moyen.

Sur le haut de cette plage persiste encore quelques lambeaux de l'ancien cordon dunaire fortement piétiné et anthropisé.

## 4. Sédimentologie du plateau du golfe de Bejaia :

D'après Leclair 1972 la baie de Bejaia a trois principaux faciès :

Les sables et les sablons siliceux (occupent tout le fond de la baie, de la cote jusqu'à 30-40m de profondeur), les vases et les boues et la roche. Dans le secteur de l'oued Soummam, les fonds de sables et sablons sont beaucoup plus étendus. On distingue donc :

### 4.1. Les sédiments calcaires :

Les sables, graviers et les vases calcaires siliceuses ; on retrouve ces faciès dans les deux extrémités de la baie.

### 4.2. Les sédiments siliceux :

Ce sont les dépôts qui caractérisent la sédimentation dans cette région, car ils représentent le plus important pourcentage de recouvrement sédimentaire et de son rebord.

### **4.3. Les sédiments argileux :**

L'unique faciès des sédiments argileux dans cette région sous-marine kabyle et représenté par les boues argilo-siliceuses

Selon Leclaire mis à part la granulométrie, tous les sables noirs, de Bejaia à Mansouria sont identiques : quartz anguleux, bi-pyramidés, calcite et dolomie,

Ces sables noirs, sans changer de nature, deviennent beaucoup plus fins (sablon) et s'étalent largement dans le golfe de Bejaia.

## **5. Cadre climatique et océanographique :**

### **5.1. Le Climat :**

Le climat de notre région d'étude n'échappe pas au type méditerranéen, ce dernier est caractérisé par deux saisons principales :

Une saison humide et fraîche à forte pluviométrie qui correspond à l'hiver.

Une saison sèche qui s'étale le reste de l'année.

Son étendue géographique confère à la région des divers micro climats par la voie des formes du relief et de leur orientations (les hauts reliefs du Djurdjura des Babors et des Bibans, la Haute vallée de la Soummam, le versant Sud de la Soummam, et le littoral). Le territoire bejaoui du Nord au Sud reçoit des précipitations abondantes irrégulières et inégalement réparties à la fois dans le temps et dans l'espace, avec un volume et une intensité qui augmente avec l'altitude et l'exposition. (LEM, 2019)

### **5.2. Les Précipitations :**

La région de Béjaïa est caractérisée par d'importantes averses. Selon les données issues de l'ONM, notre zone d'étude appartient à une région qui est considérée, comme l'une des villes les plus pluvieuses du pays.

La répartition mensuelle des précipitations est caractérisée par l'irrégularité de leurs quantités ainsi leurs intensités, elle est signalée par l'existence de deux périodes : une période arrosée qui s'étale de septembre à Mai avec un maximum moyen sur une trentaine d'années en mois de Décembre 145mm, et l'autre période qui s'étend de Juin à Aout, marquée par un déficit pluviométrique

observé en mois d'Aout avec 7,9mm. Elle reçoit annuellement un total de 794 mm de précipitations correspondant à la moyenne de la période 1970-2012 (Source : ONM.2018).

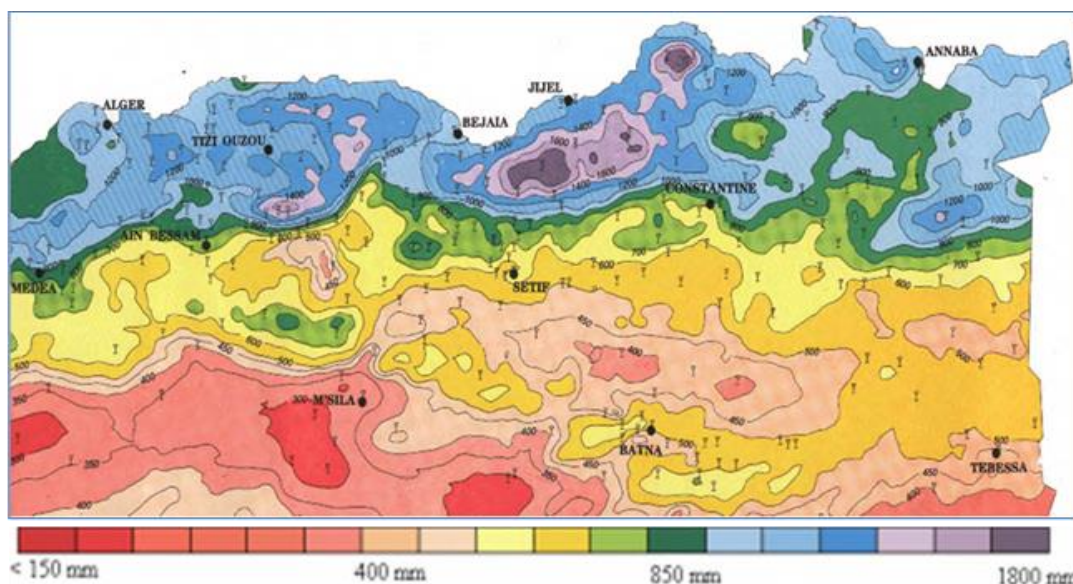


Figure 4 : Carte pluviométrique de l'Algérie du nord (source : A.N.R.H 1993).

Tableau 2: Moyenne des précipitations mensuelles de la station météorologique de Béjaïa Aéroport (1970-2012). Source : O.N.M

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TotalAnnée
P(mm)	107,6	91,5	83,5	73,7	42,3	15,3	6,2	9,7	56,4	82,1	102,4	128,2	798,9

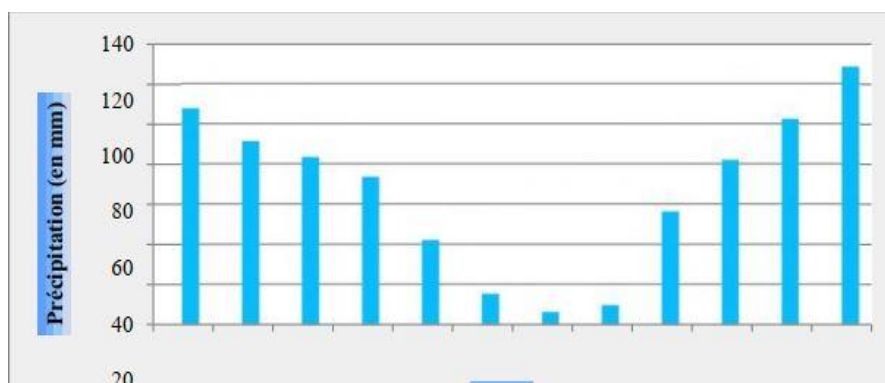


Figure 5 : Moyennes mensuelles des précipitations relevées à la station de Béjaïa Aéroport (LEM) 2019

### 5.3. Les Températures :

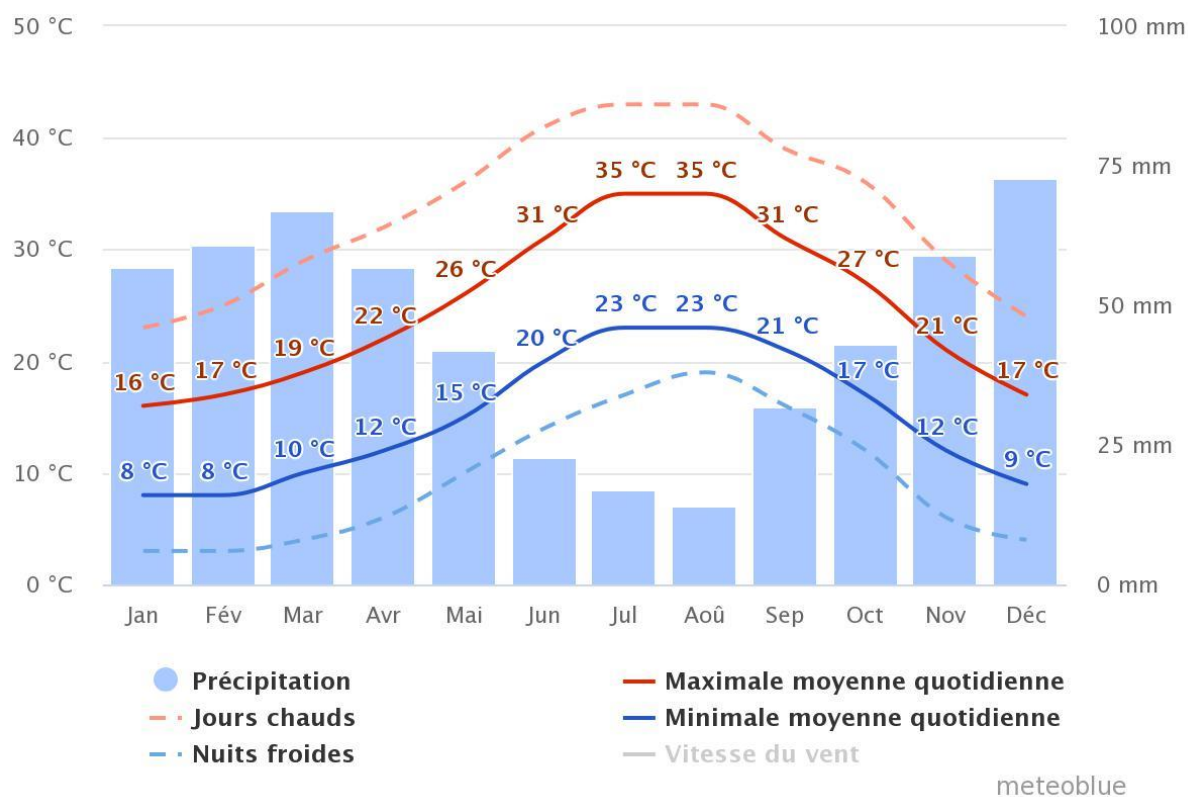
La température est le second facteur constitutif du climat influant l'environnement en général, c'est un élément primordial pour caractériser le climat régional selon plusieurs variables :

Les températures moyennes mensuelles ;

Les températures enregistrées à la station de l'aéroport de Bejaia caractérisent un régime thermique de type méditerranéen avec un été chaud et sec, et un hiver doux et humide.

L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral présente une période estivale caractérisée par des températures relatives avec 22°C en juin 25°C pour juillet et 26°C au mois d'Aout. Quant au mois le plus froid est celui de janvier avec 11,9°C

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois d'Aout avec une valeur qui dépasse 30°C, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Janvier et qui dépasse 7°C, sachant que l'adoucissement des températures est sans doute lié à l'influence maritime.



**Figure 6 :** Variation des températures (minimale, moyenne, maximale) au niveau de la willaya de Béjaïa. Source : Meteotube 2020.

## 6. Cadre océanographique :

### 6.1. Le vent :

Le vent intervient dans l'hydrodynamisme marin (houles, vagues, courant). Dans la zone d'étude, les vents dominants proviennent généralement du Nord-Ouest (vents marins) et s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam. Ils sont influencés par le relief environnant : djebel Gouraya et la vallée de la Soummam. En effet, les vents du secteur Ouest sont canalisés par la vallée de la Soummam, qui leur donne une orientation SO-NE ; Appelé par les spécialistes « le vent de la Soummam ».

En se basant sur les données du S.S.M.O qui s'étalent de 1963 à 1970, on constate que la région côtière de Béjaïa est affectée par deux régimes :

- Régime hivernale (octobre-avril) avec prédominance des vents de secteur Ouest et Sud-ouest
- Régime estival :(mi-septembre) avec prédominance des vents des secteurs Est et Nord-est

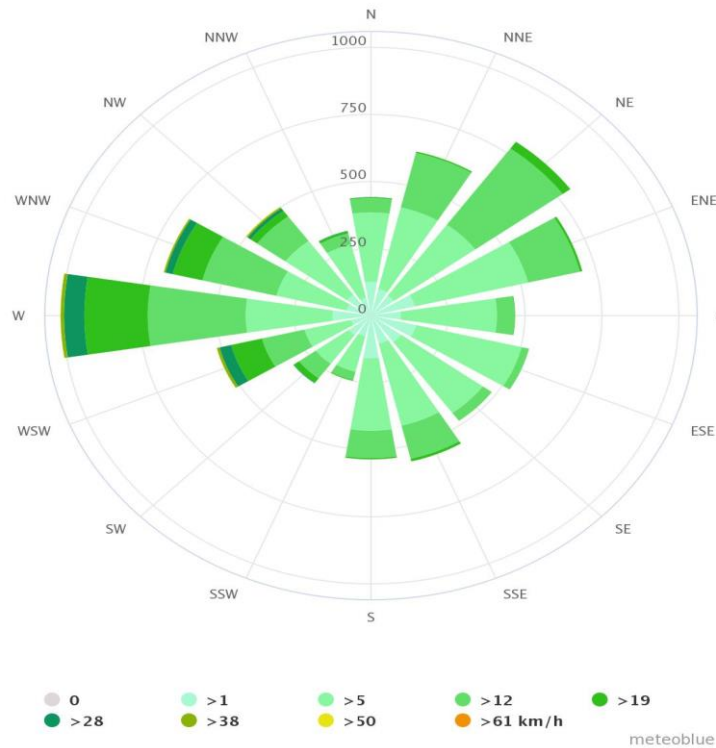


Figure 7: Rose de vent pour Béjaïa (Meteoblue.2020)

## 6.2. La houle :

### 6.2.1. La houle au large :

Les données de la houle au large sont celles de « summary of synoptic meteorological observation » (S.S.M. O, zone Annaba). Ces Données s'étalent sur une période de 8 ans (1963-1970). Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs prédominants de la houle et leurs amplitudes respectives et de dresser les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes Est-algériennes.

Tableau 3: Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions dans la région de baie de Béjaïa (S.S.M.O, Période : 1963– 1970).

Mois	Nord	Nord-Est	Est
Janvier	11,5	7,2	16,4
Février	8,4	6	12,4
Mars	8,5	5,5	12,9
Avril	6,4	8,8	15,2
Mai	8,6	15,9	17,3
Juin	10,1	15,3	19,5
Juillet	12,3	19,8	22,5
Août	12,4	19,9	24,9
Septembre	12	14,2	29,2
Octobre	8,2	11	19
Novembre	4,2	3,6	7,9
Décembre	6,7	4,5	6

Les houles de l'Ouest, de l'Est et du Nord-Ouest sont les plus fréquemment observées avec des fréquences de 40,1% ; 29,20% et 20,40% respectivement ; Sur une phase annuelle, les houles d'Ouest sont prédominantes avec une fréquence de 40,1% ;

Les houles des secteurs Nord et Nord-Est sont les moins observées avec des fréquences de 4,20% et 3,60% respectivement. En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest / Nord-Ouest pour plus de 80 % avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10 jusqu'à 13s sont relevées lors de grandes tempêtes.

Les longueurs d'onde des houles d'Hiver les plus fréquentes sont de 150 m à 170 m avec une célérité de 14m/s. Par « gros temps », les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ce cas, la profondeur de déferlement peut être estimée entre 6 et 9m. Les houles d'été de direction Nord /Nord-Est se caractérise par une amplitude de 0.5m à 1.5 m, 50% de ces houles ont une période de 6 à 9 s et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude. L'amplitude moyenne est de 2 à 3m, des amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. La longueur d'onde des houles d'Eté de 6 s est de 130 m et la célérité de 10 m/s.

### 6.2.2. La houle à la côte :

L'analyse de la réfraction des houles de périodes 6, 8 et 10 secondes issues des secteurs N360°, N45° et N330° révèle que le coefficient de réfraction  $K_r$  et la direction de la houle, mesurés à une profondeur de 15 m environ, varient comme suit :

Tableau 4: Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (LEM, 1998).

Fréquence	Période de retour (ans)	360° Nord	45° Nord
Biennale	2	4,56 m	3,49 m
Quinquennale	5	5,43 m	4,09 m
Décennale	10	6,09 m	4,53 m
Vingtennale	20	6,75 m	4,98 m
Cinquantennale	50	7,63 m	4,57 m
Centennale	100	8,28 m	6,01 m

Il ressort du tableau que la hauteur des houles qui atteignent la côte est inversement proportionnelle aux fréquences d'apparition de celles-ci.

Tableau 5: Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes (LEM 1998)

Fréquence	Période de retour (ans)	360° Nord	45° Nord
Biennale	02	4,56 m	3,49 m
Quinquennale	05	5,43 m	4,09 m
Décennale	10	6,09 m	4,53 m
Vingtennale	20	6,75 m	4,98 m
Cinquantennale	50	7,63 m	4,57 m
Centennale	100	8,28 m	6,01 m

### 7. La réduction des apports des sédiments :

L'érosion marquée d'une plage indique un déséquilibre entre son érosion naturelle, engendrée par les vagues, et son engraissement provenant des apports sédimentaires vers la plage. Il en est de même pour la protection frontale située à l'est de la plage du club hippique qui a dû également limiter les échanges sédimentaires avec la plage situé juste à l'est de cette protection.

De même, les prélèvements directs, sur la plage et sur la dune, du sable nécessaire aux travaux de construction dans le bâtiment et/ou autres, participent à la réduction du stock sédimentaire disponible.

En effet et pendant très longtemps, pour assurer les besoins en matériaux de constructions le sable des plages a été considéré comme une source naturelle d'approvisionnement. Le prélèvement de sable à même la plage porte préjudice à la stabilité de cette dernière. Conjugué à l'effet des houles d'incidence frontale, des dégradations permanentes peuvent entraîner la disparition des plages.

### 8. Présence des ouvrages côtiers :

L'artificialisation de la cote dans l'environnement de la plage du club hippique par la mise en place d'épis à l'est et de protection frontale à l'Ouest, a considérablement perturbé l'équilibre dans la zone. Ces ouvrages ont eu une incidence que sur le trait de

côte en bloquant une partie du transit littoral dans un sens long shore engendrant ainsi un déficit en apports sédimentaire.

En période de tempête, la plage s'auto-organise en créant une barre de déferlement naturelle, somme de l'action du courant d'entraînement des vagues, dirigé vers la cote, et du courant de retour dirigé vers le large et agissant au niveau de la zone de déferlement. Plus les vagues ont des hauteurs significatives importantes, plus les barres de déferlement ne migrent vers le large. Elles ont besoin, pour se former, d'un stock sédimentaire qu'elles puissent en général sur la plage, voire au niveau des dunes. En période de calme estivale, le stock de sable nécessaire à son auto-organisation.



**Figure 8 :** Ouvrages de protection implantés le long du rivage du golfe de Bejaïa.

a : Enrochements naturels et BCR à l'est immédiat du cap Aokas ;

b, c : Protection en BCR à Vaccaro ; d : Epis en T à Sidi Ali Lebher.

## **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

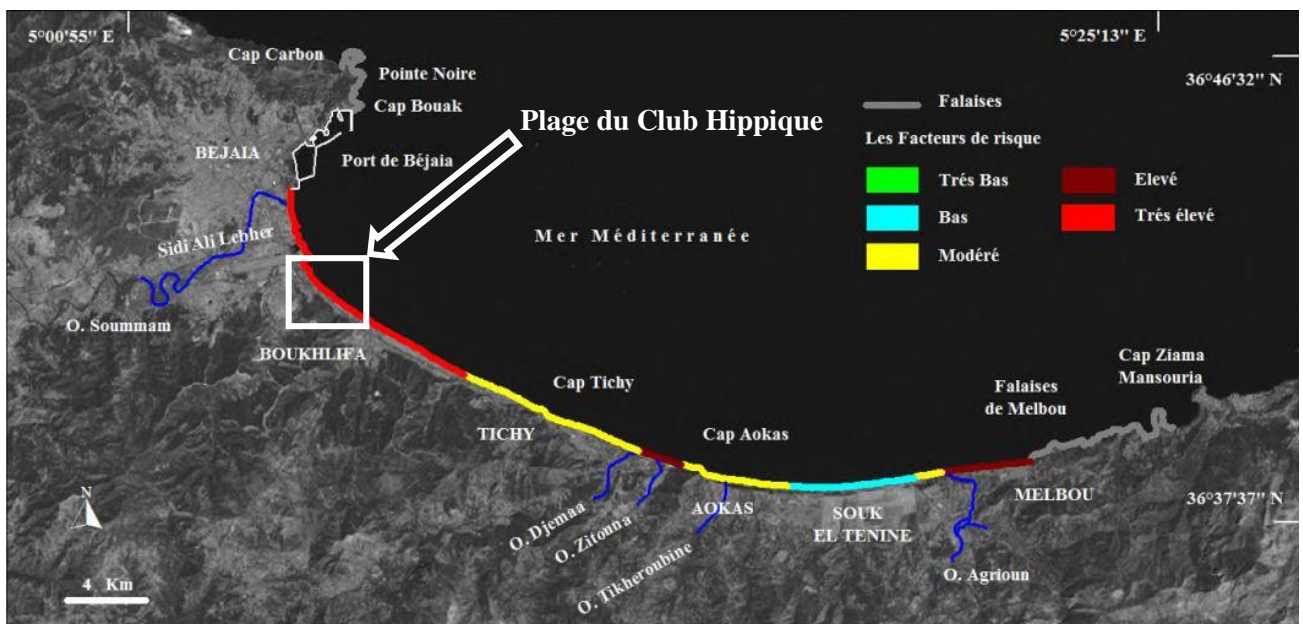
## 1. Introduction :

Ce chapitre nous permettra la compréhension de l'érosion côtière présente dans notre zone d'étude on se basant sur les études et expériences réalisées au laboratoire d'étude maritime (LEM) ; et à partir des résultats on proposera les solutions qu'on jugera adéquate.

## 2. Evolution du trait de côte :

Le suivi et l'analyse des indicateurs d'évolutions côtières sont des préalables indispensables à la gestion du littoral, ils amènent souvent à utiliser la notion du trait de côte (Mallet et Michot, 2012). Donc une étude diachronique du trait de côte est nécessaire afin de mieux cerner le phénomène.

Malheureusement, Toutes les plages du littoral Est de Béjaïa présentent une récession nettement supérieure comparée à l'accrétion (Aoudj & Bouaziz, 2014). La plage du club hippique ne fait pas exception ce qui est bien illustré dans la figure 8 .ou notre zone d'étude se situe à l'EST du port et de la piste d'atterrissage de l'aéroport à l'OUEST de Tichy.



**Figure 9** : Carte des risques d'érosion du littoral de Béjaïa pendant la période 1958- 2016 (Djouder & Boutiba, 2017) modifiée.

Notre travail dans ce chapitre est d'estimer le taux moyen d'érosion et d'engraissement dans notre zone d'étude entre plusieurs tracés linéaires côtiers, par le biais d'un SIG sur ArcGIS 10.4 et son module DSAS.

## **2.1. Logiciel utilisé :**

### **2.1.1. Google Earth pro :**

Google Earth pro est une mappe monde virtuelle qui vous permet de Visualiser les images, enregistrées par des satellites, de la plupart des endroits de la Planète. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (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.

### **2.1.2. ArcGIS :**

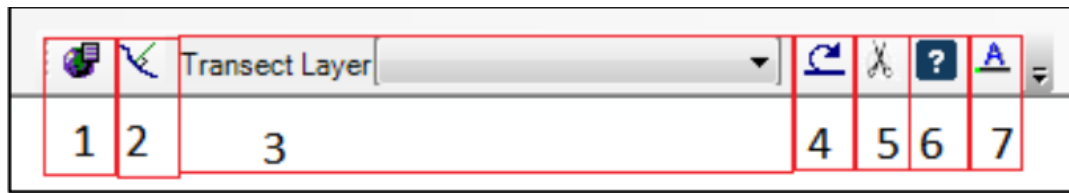
est un système complet de collecte, d'organisation, de gestion, d'analyse, de communication et de distribution d'informations géographiques. En tant que principale plate-forme mondiale pour le développement et l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG), des gens du monde entier utilisent ArcGIS pour utiliser les connaissances géographiques pour le gouvernement, les entreprises, la science, l'éducation et les médias. ArcGIS permet la publication d'informations géographiques afin que tout le monde puisse y accéder et les utiliser.

ArcGIS est un système convivial destiné à répondre aux différents besoins des utilisateurs. Il regroupe des logiciels clients (ArcViewTM, ArcEditorTM, ArcInfoTM et ArcExplorerTM) et des logiciels serveurs (ArcSDETM et ArcIMSTM). (**Berger. A, Lacroix. P, Lavenu. G, Lesellier. S, Reynaud. I, Tournardre. G, Gonzalez. O, 2005**).

### **2.1.3. DSAS :**

(Digital Shoreline Analysis System) : est un plugin développé par l'USGS (United States Geological Survey) disponible gratuitement qui fonctionne au sein du logiciel de Système d'information géographique ArcGIS d'ESRI (Environmental Systems Research Institute). Il calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique de données vectorielles de trait de côte. Cet outil a été utilisé dans différentes études de mesure et suivi de la dynamique du trait de côte à travers le monde (Thieler et Danforth, 1994 ; Faye, 2010 ; Touré et

al., 2012; Kabuth et al., 2013; Castedo et al., 2015).L'extention DSAS est presenté comme suit (figure 09)



**Figure 10** : barre d'outils DSAS

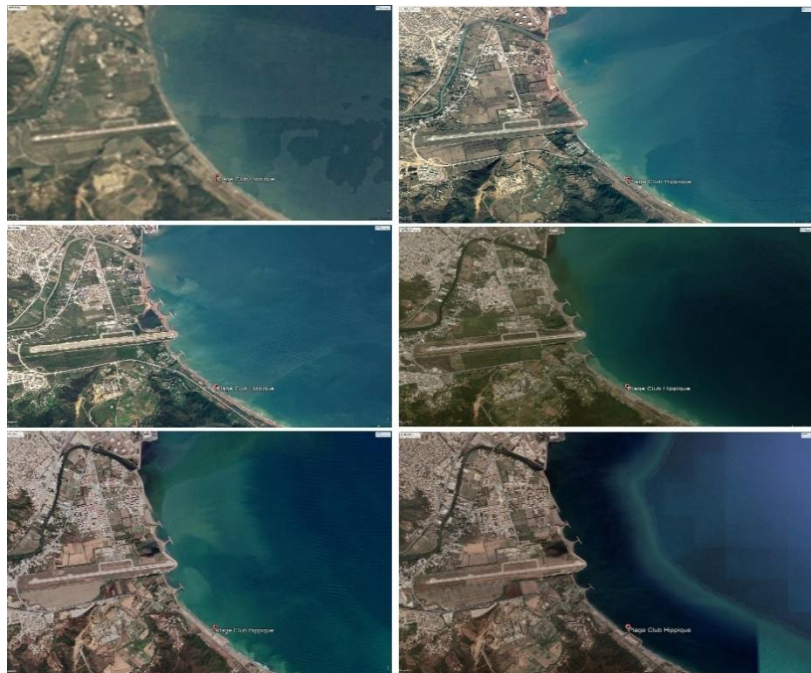
- (1) définir/modifier les paramètres** : spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.
- (2) transect cast** : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.
- (3) le menu déroulant** : répertorie tous les fichiers de transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- (4) calculer les statistiques** : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.
- (5) clip transects à SCE** : lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité dégénérer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.
- (6) lance la fonction d'aide DSAS.**
- (7) à propos de DSAS** : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.

## 2.2. Données utilisées :

Tableau 6 : tableau représentant les caractéristiques et utilités des données utilisées

Données	Caractéristiques	Sources	Utilité
images historiques	Images Digital Globe de résolution 0.50 m	Google Earth	Arrière-plan des cartes
Image satellitaire	Résolution 10 m	Copernicus	Géoréférencement des images de google earth pro

Les images de google earth pro qu'on a préalablement téléchargé : de l'échelle :  $\frac{1}{10000}$



**Figure 11 :** Images satellitaires des années (1985,2004,2009,2014,2019,2021) de la région d'étude

2.3. Méthodologie de travail :

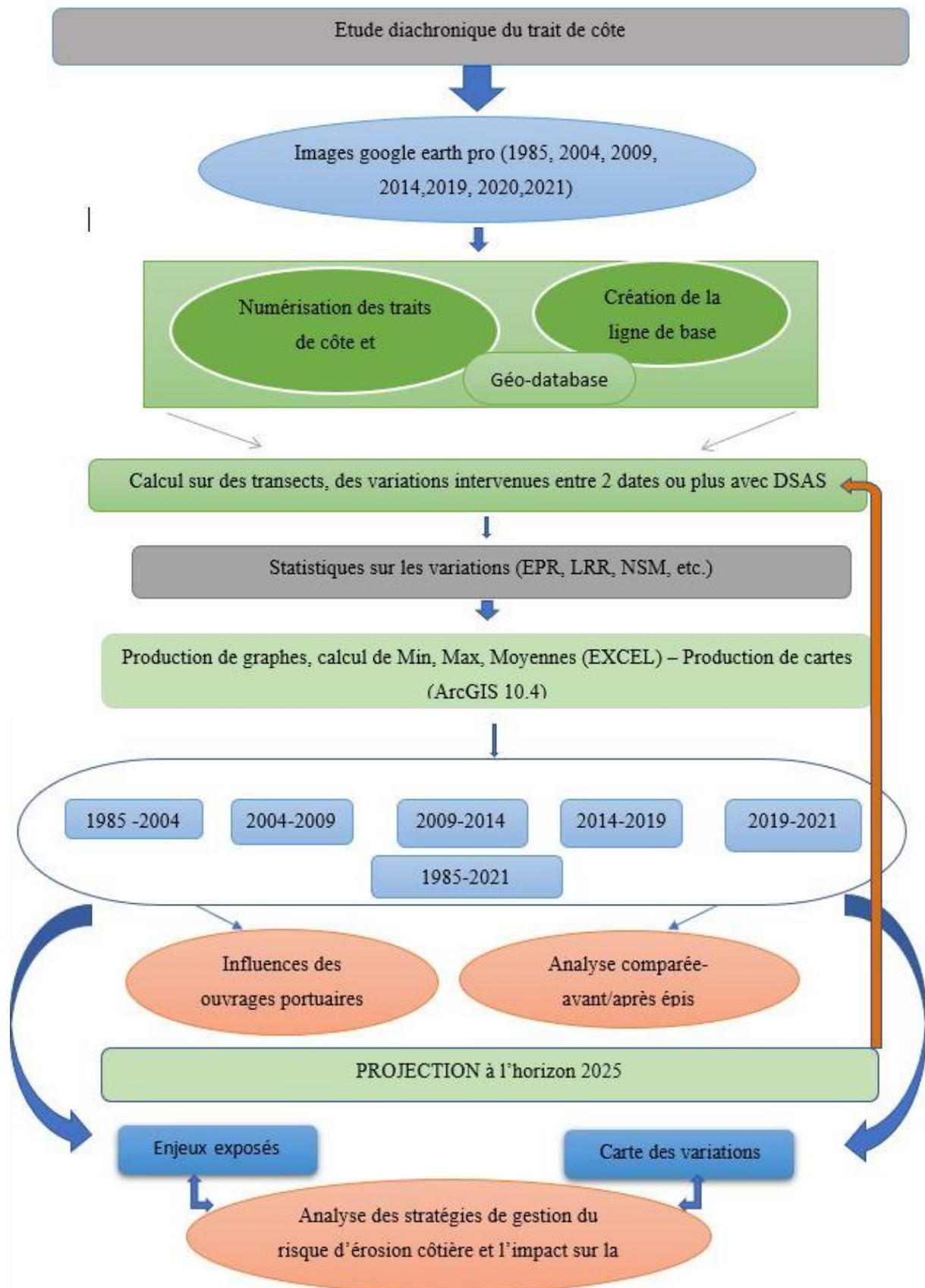
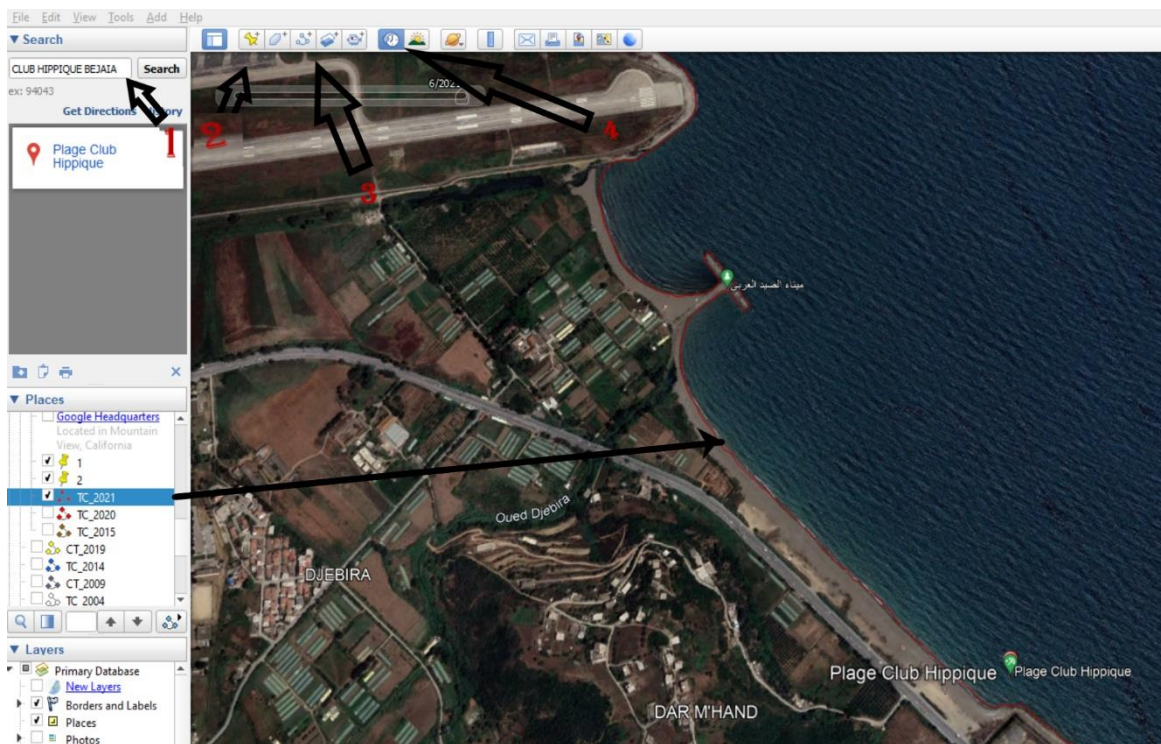


Figure 12 : Schéma méthodologique

### 2.3.1. Géoréférencement et digitalisation :

#### 2.3.1.1. Digitalisation et exportation des traits de cote sur "googleearth pro" :

-Dans le logiciel "Google Earth pro", on cherche la zone d'étude dans search indiqué par (1) dans la (figure 11), et grâce à l'outil " Add place mark"(2) on délimite notre zone , après avec l'outil " add path" (3) on digitalise les traits de côte, aussi avec l'outil " show historical imagery" (4) on peut choisir et changer l'année. Apres avoir fini la digitalisation on enregistre les fichiers sous forme kml , ensuite on les importe dans ArcGIS 10.4 et grâce à l'outil de conversion d'ArcGIS, les traits de côte digitalisés sous Google Earth ont été convertis en shapefile.



**Figure 13 :** Digitalisation des traits de côte de la zone d'étude (1985, 2004, 2009, 2014, 2019,2020,2021)

### 2.3.1.2. Géodatabase personnelle :

Toutes les données entrées dans DSAS doivent être contenues dans une géodatabase personnelle qui doit contenir :

### 2.3.1.3. Un vecteur shorelines:

Qui est la fusion de tous les traits de cote (1985, 2004, 2009, 2014, 2019, 2020, 2021), avec l’outil ‘merge’, en s’assurant que les tables attributaires de chaque trait de côte doit contenir les champs obligatoires : **DATE, Uncy (uncertainty), Shape length** :

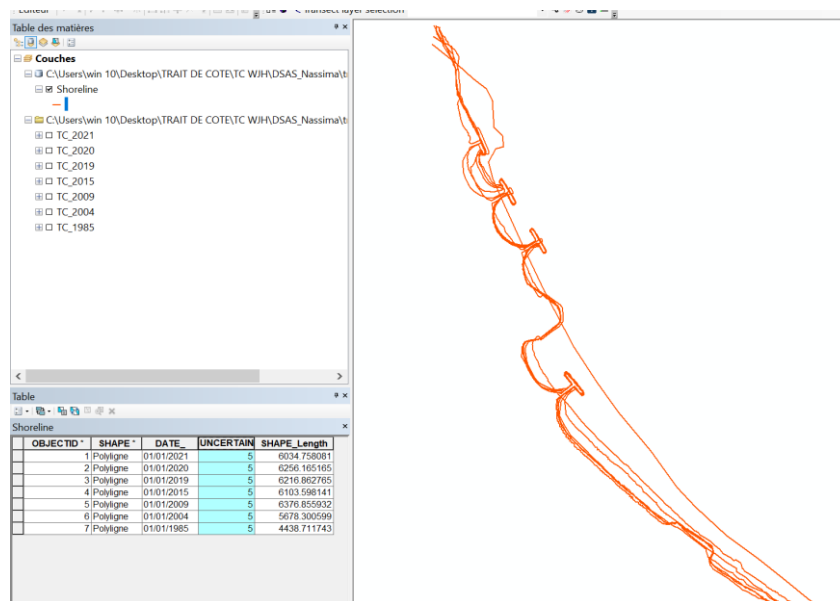


Figure 14 : vecteur Shoreline

### 2.3.1.4. Un vecteur de ligne de base ‘Baseline’ :

Est une de base perpendiculaire aux traits de côte qui sert de référentielle pour le DSAS, elle peut être représenté de trois façons :

Offshore : dans la mer.

Midshore : entre-les traits de côte.

Onshore : sur terre (le cas de notre étude).

Pour tracer la Baseline, ont créé un nouveau ‘feature class’ puis on digitalise la ligne sur des points fixe sur la carte et perpendiculaire aux traits de côte.

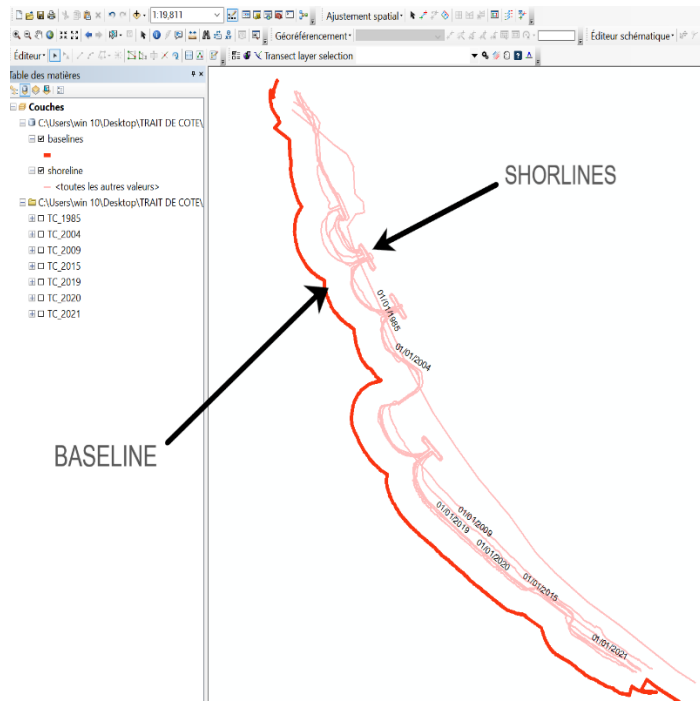


Figure 15 : Vecteur shorelines et vecteur Baseline.

**2.3.1.5. Génération des transects :**

Après avoir établi une géodatabase personnelle contenant les Shoreline et la Baseline on les fais rentrer comme des inputs dans l’extension DSAS à fin d’avoir comme output des transects ; sur lesquels les statistiques calculés seront représenté.

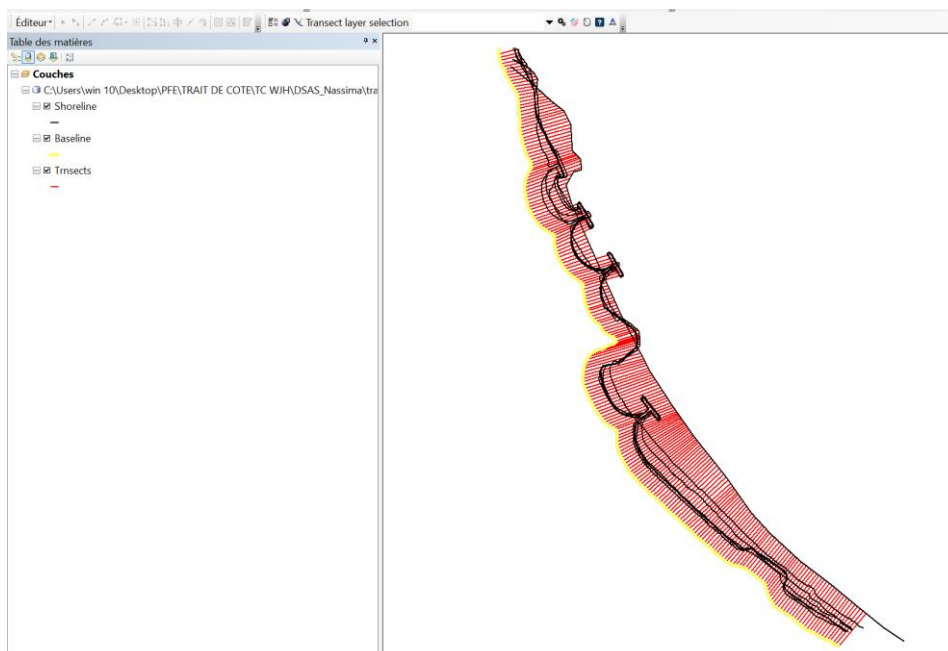


Figure 16 : les transects générés

### 2.3.2. Géoréférencement des cartes :

Sur ArcMap on fais le géoréférencement les images exporter de google earth pro et le système de projection est : "WGS\_1984\_UTM\_Zone\_31N".

### 2.3.3. Utilisation de l'extension "DSAS" :

Cet outil a pour avantage de donner une évolution graphique et statistique du trait de côte. Il fournit une méthode normalisée qui peut être répétée pour le calcul de l'évolution statistique tout en analysant le changement passé, présent et futur du littoral (ANCC, 2019).

**Tableau 7:** les statistiques fournis par DSAS

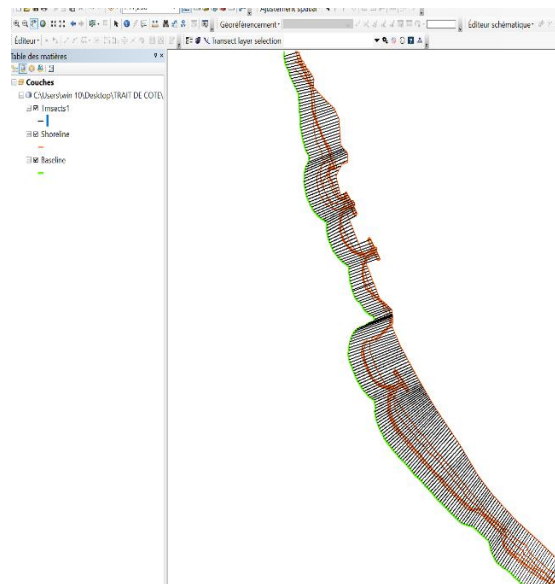
<b>DSAS</b>	<b>statistics Description</b>
NSM	Net Shoreline Movement
SCE	Shoreline Change Envelope
EPR	End Point Rate
EPRunc	Uncertainty of the End Point Rate
LRR	Linear Regression Rate
LSE	Standard Error of Linear Regression
LCI	Confidence Interval of Linear Regression–LCI%, where % is the CI value entered in the Calculate Rates window
LR2	R-squared of Linear Regression
WLR	Weighted Linear Regression Rate
WSE	Standard Error of Weighted Linear Regression

WCI	Confidence Interval of Weighted Linear Regression–WCI%, where % is the CI value entered in the Calculate Rates
WR2	R-squared of Weighted Linear Regression

#### 2.3.4. Réglage des paramètres :

Identifier les vecteurs Shoreline et Baseline comme entré dans la fenêtre “ set Data paramètres” de l’outil DSAS. Sans oublier de préciser la distance entre les transects (10m) dans notre cas, la distance entre la Baseline et la Shoreline (300m), et un lissage de 100m. Et l’incertitude de 5m a été attribuée aux traits de côte.

Ainsi, nous avons utilisé DSAS version 5.0 sur ArcGIS 10.4 pour mesurer automatiquement les évolutions des lignes de référence à comparer, suivant des transects qui ont été générés à partir d’une ligne de base.



**Figure 17 :** Transects et ligne de base, créés par le DSAS pour mesurer l’évolution du trait de côte

Le DSAS mesure les distances entre les points d’intersection des transects et des traits de côte, calcule les taux d’évolution le long de chaque transect et restitue les résultats sous forme de tables. A partir des statistiques récupérables dans les tables d’attributs, des courbes de variation du trait de côte ont été générées dans Excel.

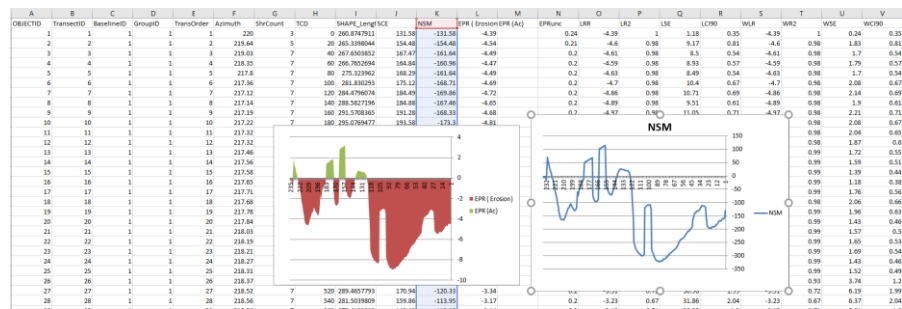


Figure 18 : tableau des calculs sur Excel

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

Nous avons utilisé essentiellement les statistiques suivantes :

**NSM ‘Net Shoreline Movement’** qui indique la distance entre les traits de côte les plus anciens et les plus récents pour chaque transect.

**EPR’ End Point Rate** ‘un taux calculé en divisant la distance du changement de trait de côte par le temps s’écoulant entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent Tel que

$$EPR = \frac{NSM}{Durée\ entre\ l'ancien\ shoreline\ et\ le\ récent}$$

Afin de mieux présenter les résultats de calcul sur les cartes on a divisé en sept classes (tableau 8) où la progression ou bien la dégradation de notre zone est bien illustrée ; et un bilan surfacique a été calculé pour la période global et cela après qu’on a crée les polygones à l’aide d’ArcGIS entre les deux traits de côte, les surfaces de chaque polygone représente soit la surface perdue ou bien un engraissement qui veut dire un bilan négatif ou bien positif pour savoir l’état de notre zone sur la période d’étude .

**Tableau 8:** Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR

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

### 3. Etude bathymétrique et Hydro sédimentaire :

Cette étude porte sur 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 DHI Mike 21.

Et pour ce faire, nous avons suivi les 4 étapes de modélisation suivantes :

- L'étude bathymétrique.
- La modélisation de la réfraction de la houle avec le modèle SW.
- La modélisation des champs de courants générés par la houle au moyen du modèle HD.
- La modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de la houle et les courants à l'aide du modèle ST.

#### 3.1. Description de modèle Mike 21 :

Mike 21 est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de shoaling liés aux variations bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des

volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier (DHI, 2014).

Il s'agit de recueillir l'ensemble des données disponibles nécessaires à la Simulation, ces données sont :

### **3.1.1. Les données bathymétriques :**

La cartographie de la bathymétrie de la zone d'étude est une phase très importante, elle permet de visualiser l'état d'évolution de la morphologie des fonds marins en suite estimer le déficit sédimentaire de la zone. La carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières.

L'étude bathymétrique est indispensable pour notre travail, et la précision de la modélisation des processus hydro-sédimentaires dépend de cette dernière.

### **3.1.2. Des données relatives aux conditions météorologiques :**

Les données de la houle au large qui ont été utilisés, sont des données du LEM, les données (Hs – Tp – Directions) sont enregistrées dont les directions de houle dominantes étaient de secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest à des hauteurs significatives dominantes oscillant entre 2.53 et 2.67m.

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période. (Chapitre I).

### **3.1.3. Des données de niveau d'eau et le marnage :**

Le marnage n'a pas été pris en considération lors de la configuration des différents modules de simulation intégrés dans le système du Mike 21, du fait que le niveau des marées est insignifiant, vu que la zone d'étude est caractérisée par une côte micro tidale. (**Planton, et al., 2012**), valeurs de la surcote entretenues, sont prises comme une constante qui est égale à 0.34m (**Bougis, 2003**).

## **3.2. Méthodologie :**

Cette d'étude a été réalisée suivant ces étapes :

La digitalisation de la bathymétrie à l'aide des données du site web « [https://webapp.navionics.com/?lang=fr#boating@6&key=wi%7CvE%7Bm\\_G](https://webapp.navionics.com/?lang=fr#boating@6&key=wi%7CvE%7Bm_G) », Traitées Sous le logiciel de cartographie Arc Gis 10.4 sous le system de projection WGS84 UTM zone 31N, ces

données peuvent atteindre une profondeur de -2000m avec une équidistance de 0.5m allant de 0m jusqu'à -20m (zone côtière).

Le résultat de cette opération aboutit à la connaissance des coordonnées tridimensionnelles (X, Y et Z) des sondes bathymétriques digitalisés qui seront par la suite utilisés dans l'étape suivante.

Une interpolation de ces données spatiales a été lancée sous le logiciel Mike 21 pour obtenir à la fin des informations continues et suffisantes en chaque nœud de la mesh générée.

Les résultats obtenus après interpolation sont exploités dans l'élaboration des cartes bathymétriques en 2D ou en 3D et mettre en évidence les reliefs et la morphologie sous-marin en utilisant le logiciel Mike 21.

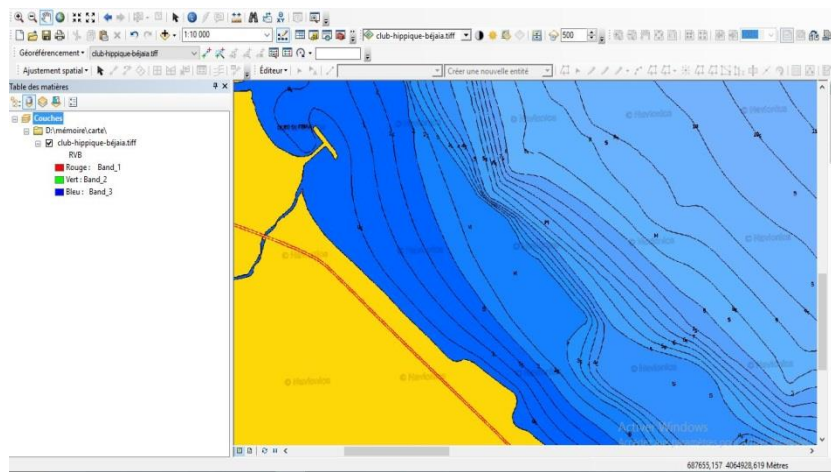


Figure 19 : La digitalisation de la bathymétrie sous ArcGIS

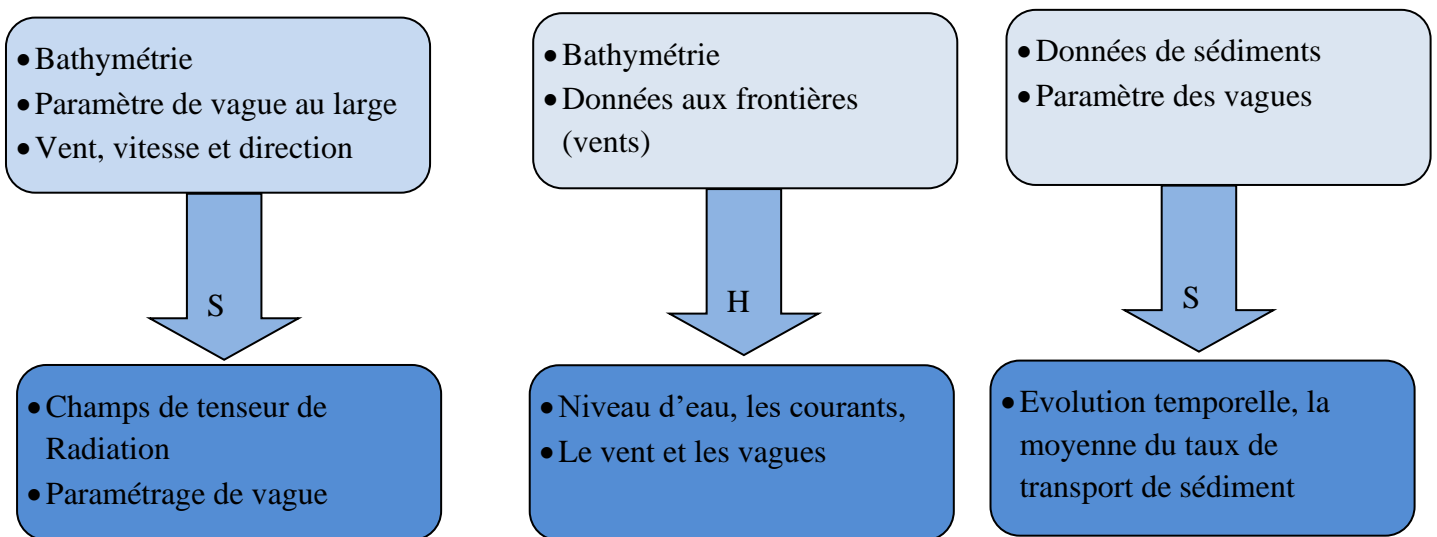
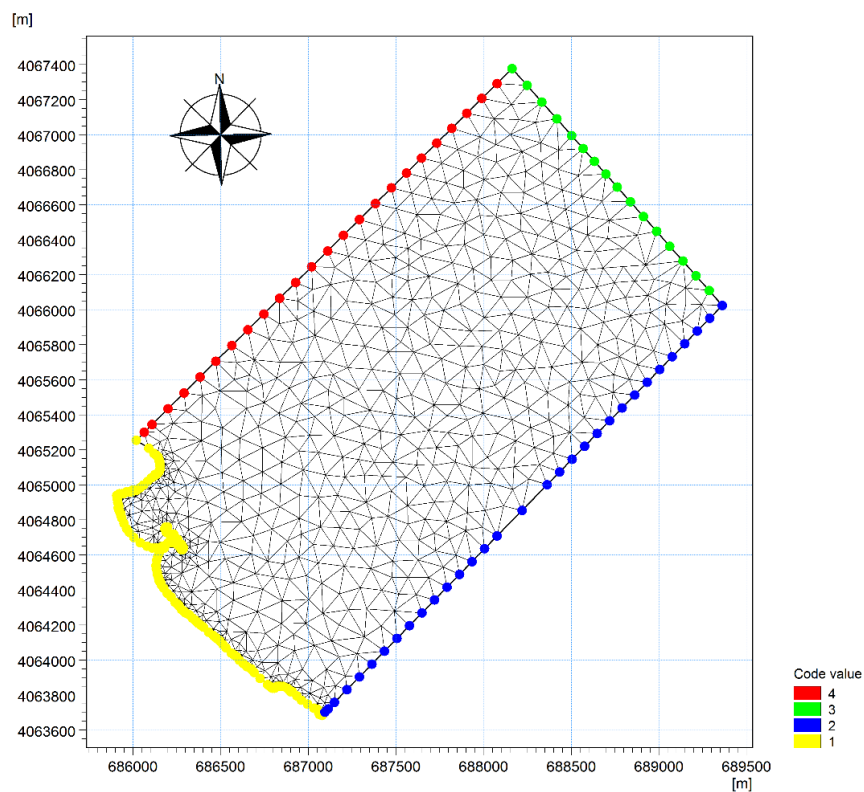


Figure 20 : Approche méthodologique adoptée pour la modélisation

### 3.3. Présentation de modèle utilisée :

Sous **MIKE 21**, les cartes marines de nos zones d'étude ont été géo référencié sous le système de coordonnées projetées WGS84\_UTM. Le trait de côte affichées sur ces cartes a été digitalisé à l'aide de l'extension '*set current contour level*', puis enregistré au format .XYZ (fichier texte 'DOS') afin d'en sortir la latitude, la longitude et la profondeur.

Après la préparation des données bathymétriques, le module '*MeshGenerator*' a été utilisé afin d'importer ces données, ainsi de définir l'espace du travail sous MIKE 21. Le maillage issu est composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée.



**Figure 21** : Maillage du Mesh Generator sous MIKE 21.

### 3.3.1. Le modèle couplé Mike21/3 FM :

Le module « MIKE 21/3 Coupled Model FM » permet de calculer pas à pas la hauteur des vagues à partir de la hauteur d'eau calculée dans le module hydrodynamique. Il est donc possible de simuler l'interaction entre les vagues et les courants en utilisant un couplage dynamique. À chaque pas de temps la hauteur d'eau provenant du module hydrodynamique est prise en compte dans le calcul des hauteurs de vague.

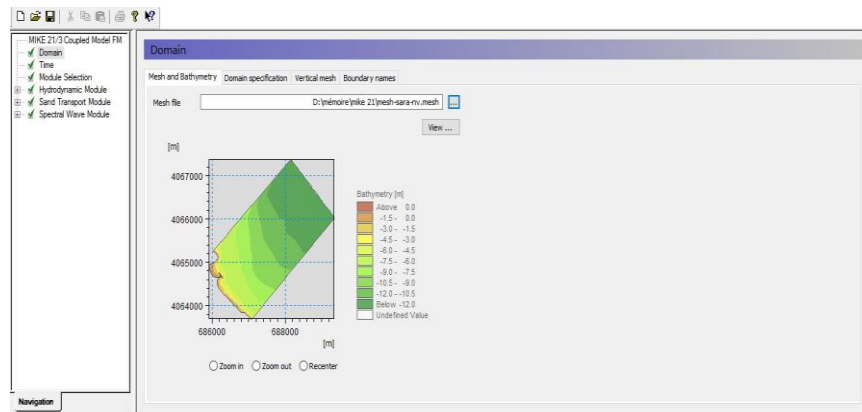


Figure 22 : Le concept du modèle de MIKE 21/3 Coupled Model FM.

#### 3.3.1.1. Simulation de la propagation de la houle par le module SW (Spectral Waves Model)

**MIKE 21 SW** est le module de propagation de la houle spectrale. C'est un modèle basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer (mers de vent et houles océaniques) dans les domaines offshore Côtier. **MIKE 21 SW** prend en compte la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle par moutonnement et déferlement bathymétrique ainsi que la dissipation de la houle par frottement sur le fond, la réfraction et la levée de la houle.

##### 3.3.1.1.1. Configuration du module SW

Les niveaux d'eaux ont été considérés nuls en négligeant le forçage par les vents. La limite nord a été choisie comme étant ouverte avec des paramètres constants dans le temps et tout au long de ces limites.

Le modèle a concerné 3 directions dominantes déjà traitées (chapitre 1) :

-les directions **N20°**, **N45°**, et **N60°**.

-la hauteur significative **H<sub>s</sub>=2.67**, **2.56m**, et **2.53m** respectivement.

-la période pique  $T_p=8s$ .

### 3.3.1.2. Simulation des champs de courants générés par la houle et les vents par le module HD

**MIKE 21 HD** constitue le cœur de la suite logicielle MIKE21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large. Le modèle hydrodynamique de MIKE21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcôtes.

#### 3.3.1.2.1. Configuration du module HD

- Le niveau de la mer est considéré non variable.
- Les flux tout au long des limites ouverts sont considérés perpendiculaires par rapport aux limites. Par conséquent la surface initiale est considérée nulle aussi.
- La viscosité et la résistance sont considérées comme valeurs par défaut (**0.28 et 32 m<sup>1/3</sup>/s** respectivement).
- Les vents sont pris comme valeur de 3.2m/s.
- La valeur de la surcôte est prise comme une constante égale à **0.34m**.

#### 3.3.1.3. Description et configuration du modèle Mike 21 ST :

La modélisation intégrée du transport de sédiments doit tenir compte à la fois des courants de vent et des courants associées aux vagues.

Dans ce cas, l'approche est complexe et doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant trois modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de vagues et un modèle de transport de sédiments non-cohésifs (sables) sous l'effet combiné des vagues et des courants.

Le critère de choix pour la houle représentative concerne donc sa capacité à induire une dérive littorale conforme à la dérive mesurée ou estimée. Ce chapitre consiste à modéliser le transport sédimentaire induit par les courants et les houles simulés durant les trois périodes citées

précédemment au moyen du module **ST** de la compilation MIKE 21. Sous l'action combinée des courants et des vagues, **le modèle Mike 21 ST** calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport. Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et la gradation spatiale des sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée.

#### **3.3.1.3.1. Configuration du module ST :**

Il prend en compte le paramètre granulométrique :  $D_{50} = 0.125\mu\text{m}$

**Chapitre III :**  
**Résultats et discussions**

**1. Evolution de trait de côte :**

L'analyse des données a permis de définir la cinématique du trait de côte de l'ensemble de la zone avec une marge d'erreur estimée par +/-10m liée principalement à la résolution des images satellitaires utilisé et aussi une marge d'erreur par rapport au calcul de +/- 0.2m.

**1.1. La cinématique du trait de côte :**

Donc pour bien comprendre la dynamique de ces différents rivages selon l'échelle spatiotemporelle, on a projeté les résultats statistiques des indicateurs EPR, NSM et LPR, afin d'élaborer des cartes d'évolution représentatives de cette tendance selon les périodes suivantes :

Période de 1985 à 2021.

Période de 1985 à 2004.

Période de 2004 à 2009.

Période de 2009 à 2014.

Période de 2014 à 2019.

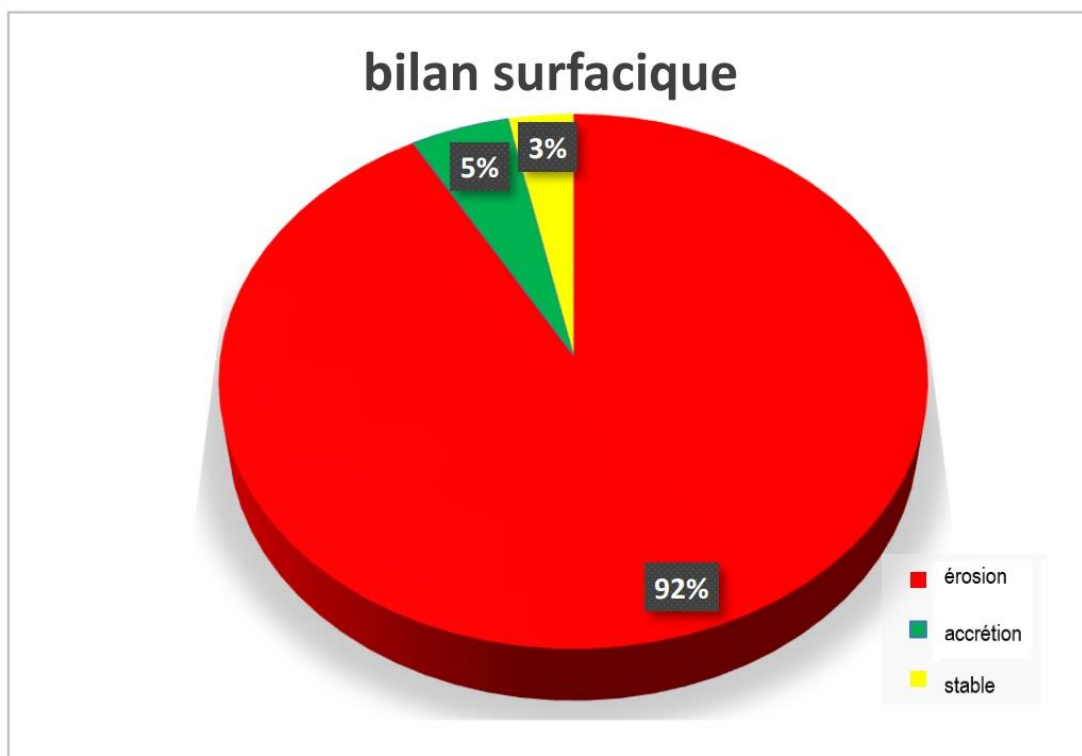
Période de 2019 à 2021.

## 1.2. PERIODE GLOBALE DE 1985 à 2021 :

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

Le bilan surfacique net montre que la zone a connu une perte en sédiment de l'ordre de 0.9 ha avec une érosion élevée de -4.6 m/an en moyenne, et une accrétion modérée au niveau de la plage de Sidi Ali Lbher de l'ordre de 0.05 ha.

Cette étude a révélé que durant cette période, sur 92 % des transects correspondant à environ 3.7 km du linéaire côtier, la côte est en érosion ; La zone en accrétion représente 5 %, soit 0.2 km du linéaire côtier (Figure01).



**Figure 23 :** Bilan surfacique de la zone d'étude pour la période globale (1985-2021)

L'étude d'évolution du trait de côte durant la période de 1985 à 2021 (31 ans) montre une avancée de la ligne de rivage vers la cote important tout au long de la zone d'étude, Avec une vitesse moyenne de -4.6 m/an.

Le rivage marque un important recul avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre -8.3 m/an et -0.01 m/an pour la plage club hippique (transect 45 à 100) ce qui est de même pour la zone à l'est (1à 45).

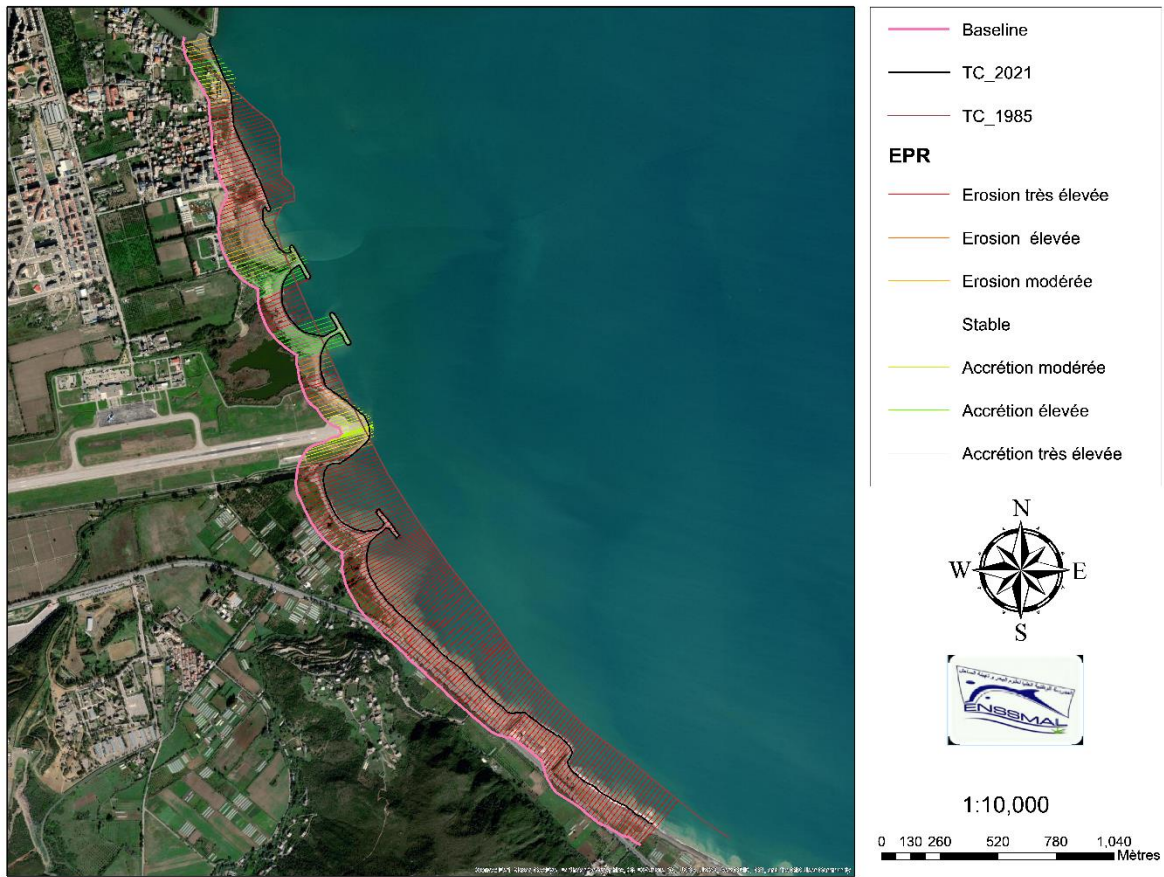
Cependant la petite zone entre la plage et la piste d'aéroport n'a pas été épargnée même après avoir fait installer un épi en T (du transect 101 à 121) avec des taux d'EPR respectivement -0.01 m/an et -8.1 m/an soit des distances de 0.2 m et 290m.

La piste de l'aéroport présente une certaine stabilité, la plage de Sidi Ali Lbher où y'a la série d'épi (3 épis en T) ; cette dernière nous montre malgré les ouvrages, la plage n'a pas retrouvé toute la surface perdue malgré une petite accumulation près de l'oued Soummam.

Cette érosion est peut-être dû à son exposition aux vagues des secteurs N et NE aussi à des facteurs naturels et anthropiques. IL ressort qu'il y a une certaine variance du taux démaigrissement (valeurs négatives) et d'engraissement (valeurs négatives) malgré qu'a 92 % de la zone d'étude s'agis d'un démaigrissement.

On remarque que malgré l'implantation des quatre ouvrages mixtes de type « épis en T » cela n'a pas permis de regagner la surface perdue ce qui est présenté par la figure (02). Et le rajout du dernier ouvrage n'assure pas la protection de la piste d'aéroport ni à atténuer le degré du danger auquel la zone est exposée, mais au contraire accentue l'érosion dans la plage de club hippique.

Il fallait comprendre si les ouvrages ont été opérationnels à une certaine période ou leur rôle n'a fait qu'empirer la situation, on saura après la raison pour laquelle la protection mise n'a pas suffi à arrêter l'érosion à notre jour.



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31N

Figure 24 : Carte de l'évolution du trait de côte pour la période globale (1985-2021) de la plage Club Hippique

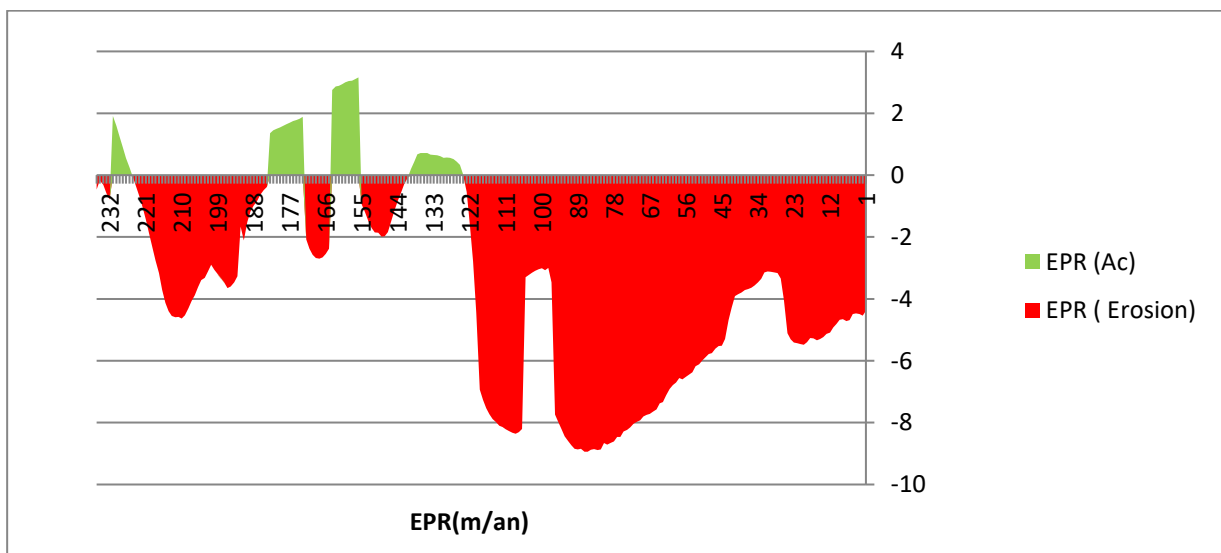


Figure 25 : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de 1985-2021 au niveau de la zone du plage club hippique.

**1.1. PERIODE 1985 2004 :**

Au cours de cette période, le trait de côte affiche une position de recul-avancée tout au long de la zone d'étude avec une vitesse de recul moyenne de l'ordre de -6.8 m/an (érosion très élevée).

Le rivage marque un important recul avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre -8.4 m/an et -0.01 m/an tout au long de la zone.

Il y a présence d'une accumulation modérée en petite portion (transect 155 à 165 et entre le transect 175 à 183) avec des taux d'EPR allant de 0.01 m/an à 2.5 m/an. En outre toute la région subit une érosion avec un taux maximal d'EPR de 8.4 m/an.

On remarque l'énorme surface érodée à cette période avant d'installer les ouvrages pour les deux plages (plage du club hippique et Sidi Ali Lbher) et l'accumulation dans la petite zone près de l'oued Soummam peut être justifiée par les apports de ce dernier.

L'érosion de ce secteur peut être expliquée non seulement par l'extraction du sable à des fins de construction mais aussi par le climat des houles que subit la région.



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31N

Figure 26 : Carte d'évolution du trait de côte pour la période (1985-2004) au niveau de la plage Club Hippique

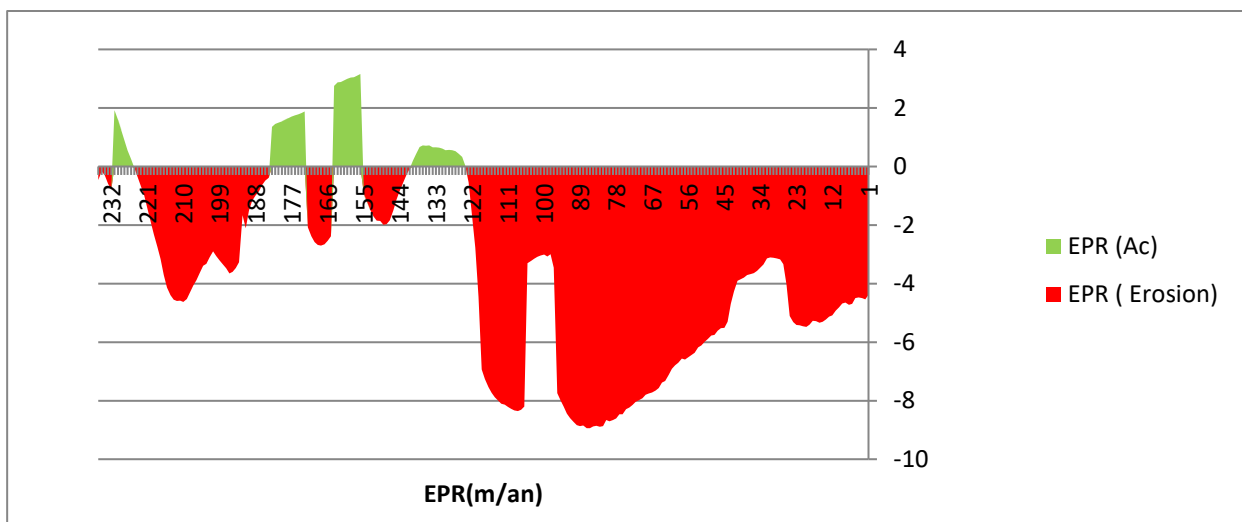


Figure 27 : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de 1985-2004 au niveau de la zone du club hippique

### 1.2. Période 2004 à 2014 :

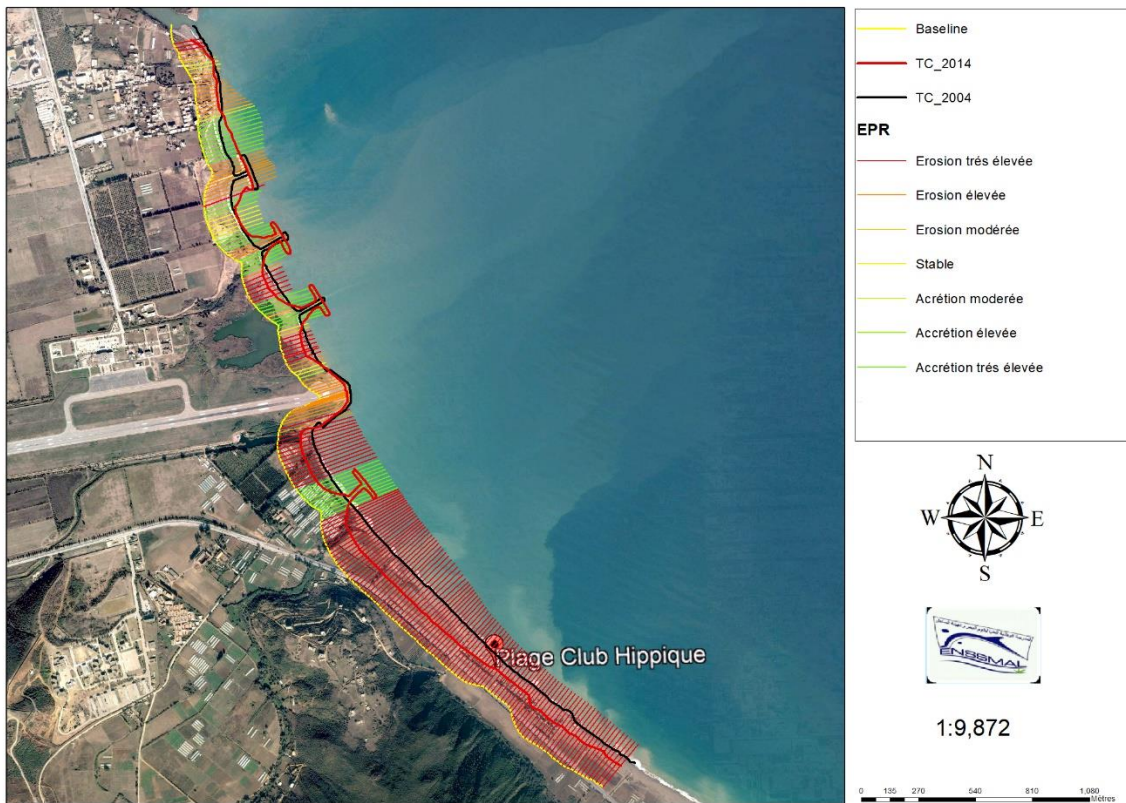
C'est durant cette période que les ouvrages ont été effectués ; d'abord un seul épi en T a été installé puis vient l'installation des deux autres où ces derniers n'ont été transformés en épis en T qu'ultérieurement vu qu'ils n'ont pas vraiment effectué leur rôle et n'ont pas piégé assez de sédiment au début.

Plusieurs portions du littoral ont connu une avancée du trait de côte notamment au niveau des épis du côté ouest ; tandis que d'autres portions ont subi un important recul comme c'est le cas de la plage du Club Hippique du côté Est.

Le rivage marque un important recul surtout la petite portion entre le dernier épi et la piste d'atterrissage avec des taux d'EPR qui varient respectivement entre -6 m/an et -0.01 m/an. Du côté des trois épis ainsi que la portion comprise entre l'oued Soummam et le premier épi, une accumulation accrue et formation de tombolo a été constatée. Avec un taux d'EPR allant de 0.01 m/an à 13 m/an

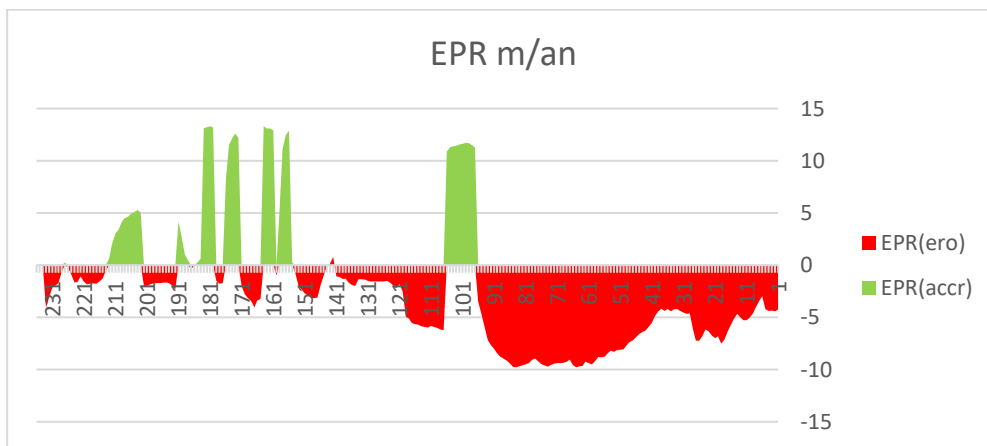
On déduit qu'à cette période les épis ont bien fonctionné ou leurs rôles et de piéger les sédiments qui proviennent de l'oued Soummam ainsi on aura une accumulation. Aussi y'a l'extension de la piste d'atterrissage en avançant vers la mer en formant ainsi un éventuel obstacle pour les sédiments. On constate que cela induit un autre phénomène opposé qui est l'érosion de la plage du club hippique, puisque la modification de l'hydrodynamisme côtier et le piégeage des sédiments a entraîné une diminution des apports sédimentaires, ce qui s'est traduit au fil du temps par le recul du trait de côte et l'érosion de la plage.

L'érosion très élevée au niveau de la plage Club Hippique est traduite par un taux d'EPR allant jusqu'à -10m/an.



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31N

**Figure 28 :** carte d'évolution du trait de côte pour la période (2004-2014) de la plage Club Hippique



**Figure 29 :** Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de 2004-2014 au niveau de la zone du club hippique

**1.1. Période 2014 à 2019 :**

En cette période on remarque une certaine stabilité malgré que l'érosion de la plage du Club Hippique ne cesse de continuer mais a une vitesse inférieure au période précédente -6 m/an ; contrairement à la plage qui se situe après la plateforme qui subit à son tour une érosion très élevée -7.5 m/an , d'où un taux maximal d'EPR pour cette zone (transect 1 à 25) ; on supposera que l'érosion se déplace au voisinage de la plage club hippique et elle ne se limite pas seulement à notre zone d'étude. et que l'enrochement au niveau de la plateforme aide ce dernier à être un obstacle et diminue l'intensité de l'érosion et ceci explique le taux d'EPR à son niveau allant à 12.5 m/an (transect 25 à 40).

On remarque une accumulation importante entre les deux épis (transect 180 à 190) avec un taux d'EPR allant jusqu'à 14 m/an ; et cela après la formation de tombolo



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31N

Figure 30 : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2014-2019)

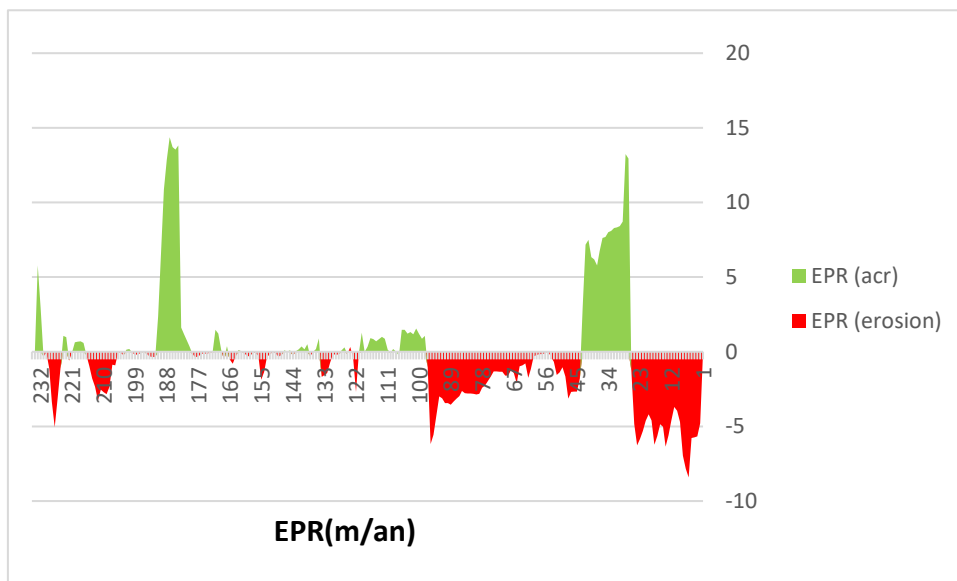


Figure 31 : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de2014-2019 au niveau de la zone du plage club hippique

**1.2. Période 2019 à 2021 :**

Ces deux dernières années nous montrent que le risque d'érosion y est toujours surtout au niveau des derniers épis et la piste d'atterrissage (transect 90 à 110 et 1 à 40) ; avec un taux d'EPR allant jusqu'à -5 m/an.

Une accumulation assez élevée est observée au niveau de la portion qui se trouve entre les deux premiers épis on pourra supposer la formation d'un deuxième tombolo probable (transect 180 à 190) avec un taux d'EPR maximal de 16 m/an.

Les enrochements mis pour protéger la plateforme n'échappe pas aux impacts de l'érosion ce qui est traduit par la carte et les résultats d'EPR (jusqu'à - 3 m/an) ; Le même phénomène peut être observé pour le derniers épi

On ce qui concerne notre zone d'étude on remarque un manque d'équilibre tel que le taux d'EPR de la plage du Club Hippique va de -6 m/an à 7 m/an (transect 40 à 95).



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 31N

Figure 33 : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2019-2021) au niveau de la plage Club Hippique

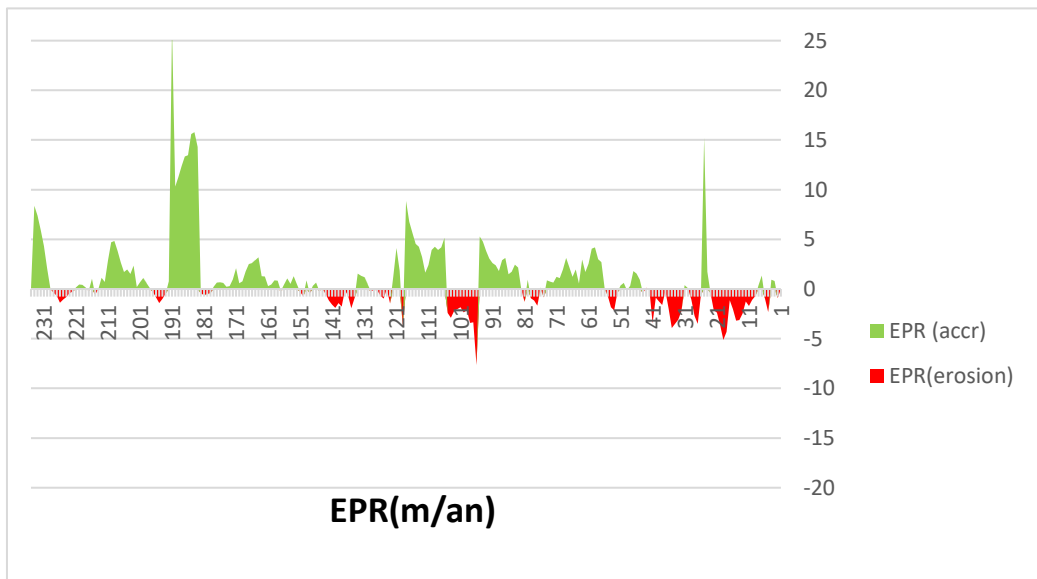


Figure 32 : Variation d'EPR du trait de côte selon les transects de 2019-2021 au niveau de la zone du plage club hippique

### 1.3. Projection à l'horizon 2025 du trait de côte :

Pour appréhender quelque peu comment évoluera le risque d'érosion côtière avec les mesures actuelles de protection et en considérant les enjeux exposés, aucune hypothèse spécifique de modification des agents dynamiques (houle, vent, tempête, hydrologie...) a été prise en considération. Nous avons procédé à une projection à l'horizon 2025 de la position du trait de côte. Pour ce faire, les taux d'évolution du trait de côte calculés le long des transects entre 1985 et 2021 ont été utilisés pour prédire les changements futurs par extrapolation sur 31 ans. Les nouveaux transects d'extrapolation obtenus ont été ensuite importés dans Arc GIS pour observer les enjeux qui se superposent aux zones d'érosion prédites. De plus, les taux calculés entre 1985 et 2021 prennent en compte l'impact de la plupart des ouvrages de protection et permettent en ce sens une évaluation à moyen-terme de leur efficacité et le danger qui s'impose si aucune protection soit établie.

A l'horizon de 2050, une forte augmentation du phénomène d'érosion est à prédire. Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un recul maximal du NSM d'environ -250 m sur la quasi-totalité de la ligne du rivage, ce qui est largement supérieur à la largeur de notre zone d'étude qui est seulement de 80 m ; La plage disparaîtra mais aussi l'érosion ne s'arrêtera pas à ce niveau, la route nationale N°9 sera complètement détruite ainsi que ses environs.

Les causes du recul sont que la continuité et l'accumulation des causes mentionnées précédemment ;

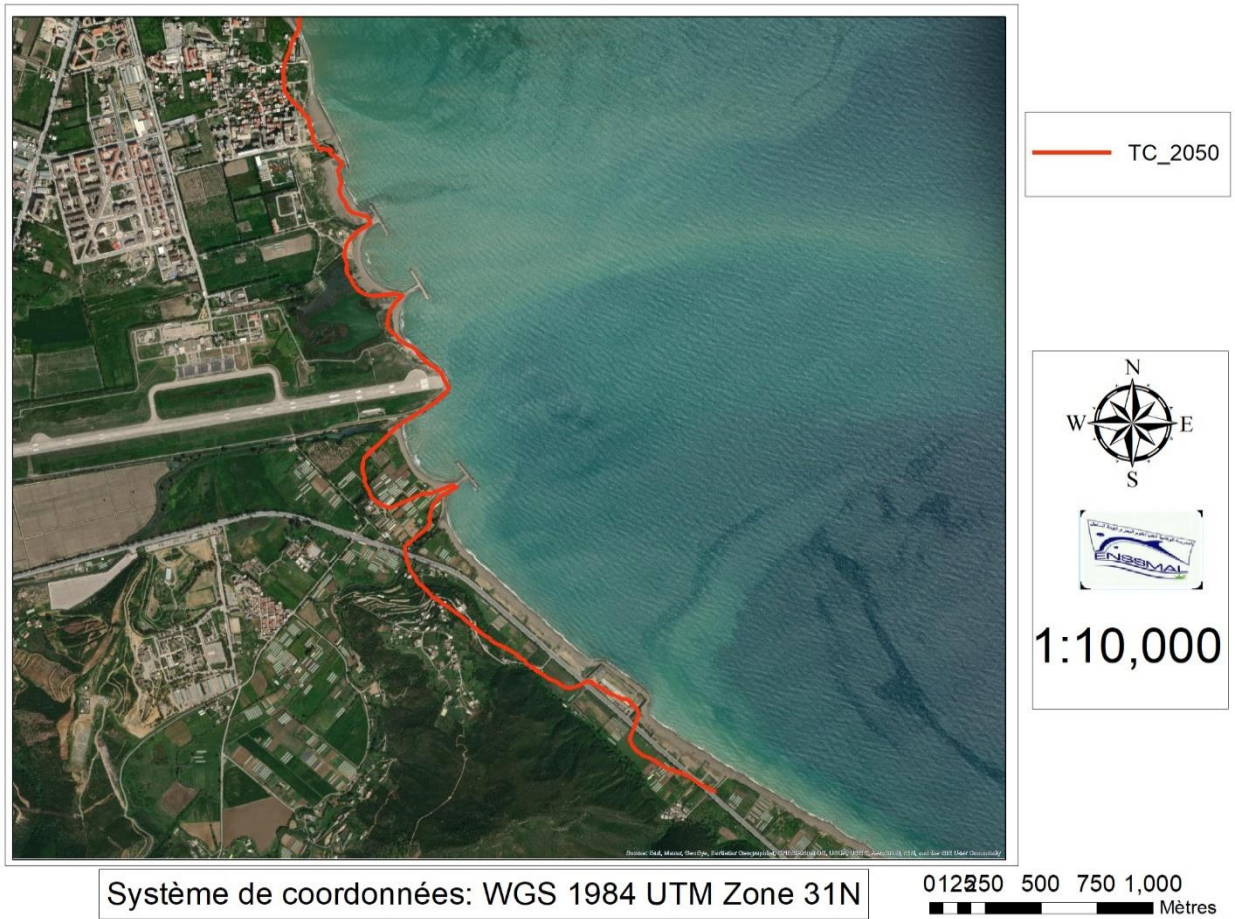


Figure 34 : carte d'évolution du trait de côte pour la période (2021-2050)

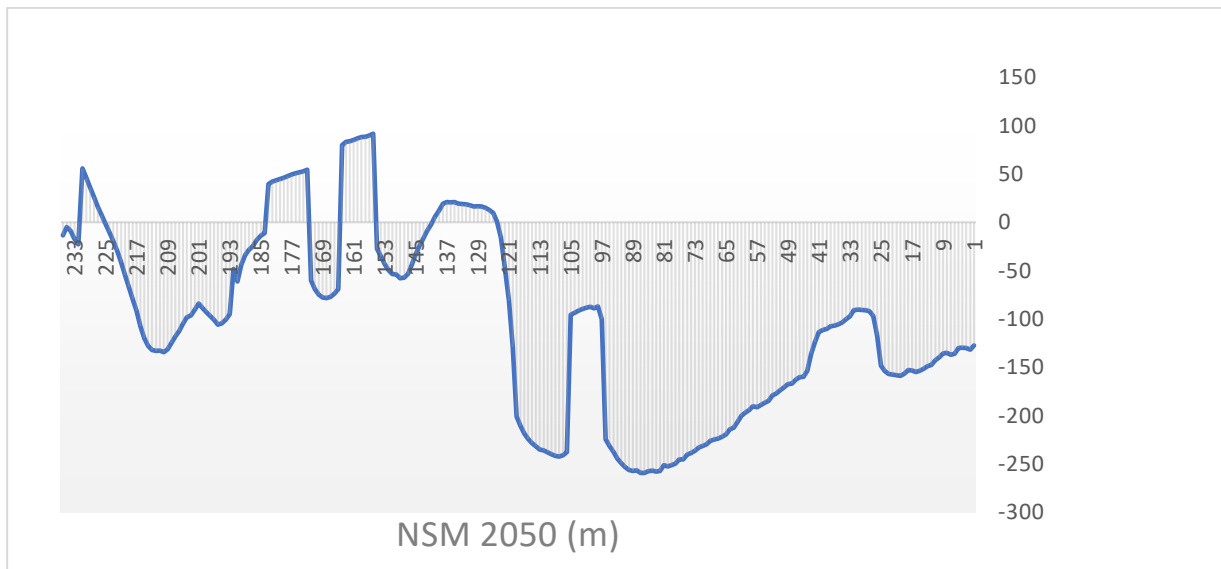


Figure 35 : Variation du NSM du trait de côte selon La période 2021-2050 au niveau de la zone du plage club hippique

## 2. Etude bathymétrique et Hydro sédimentaire

### 2.1. Etude bathymétrique

### 3. Etude bathymétrique

L'étude bathymétrique est indispensable pour notre travail, la précision de la modélisation des processus hydro-sédimentaires dépend de cette dernière. La bathymétrie de la zone d'étude a été obtenue par interpolation sur Mike 21 d'une série de valeurs recueillies auprès du LEM.

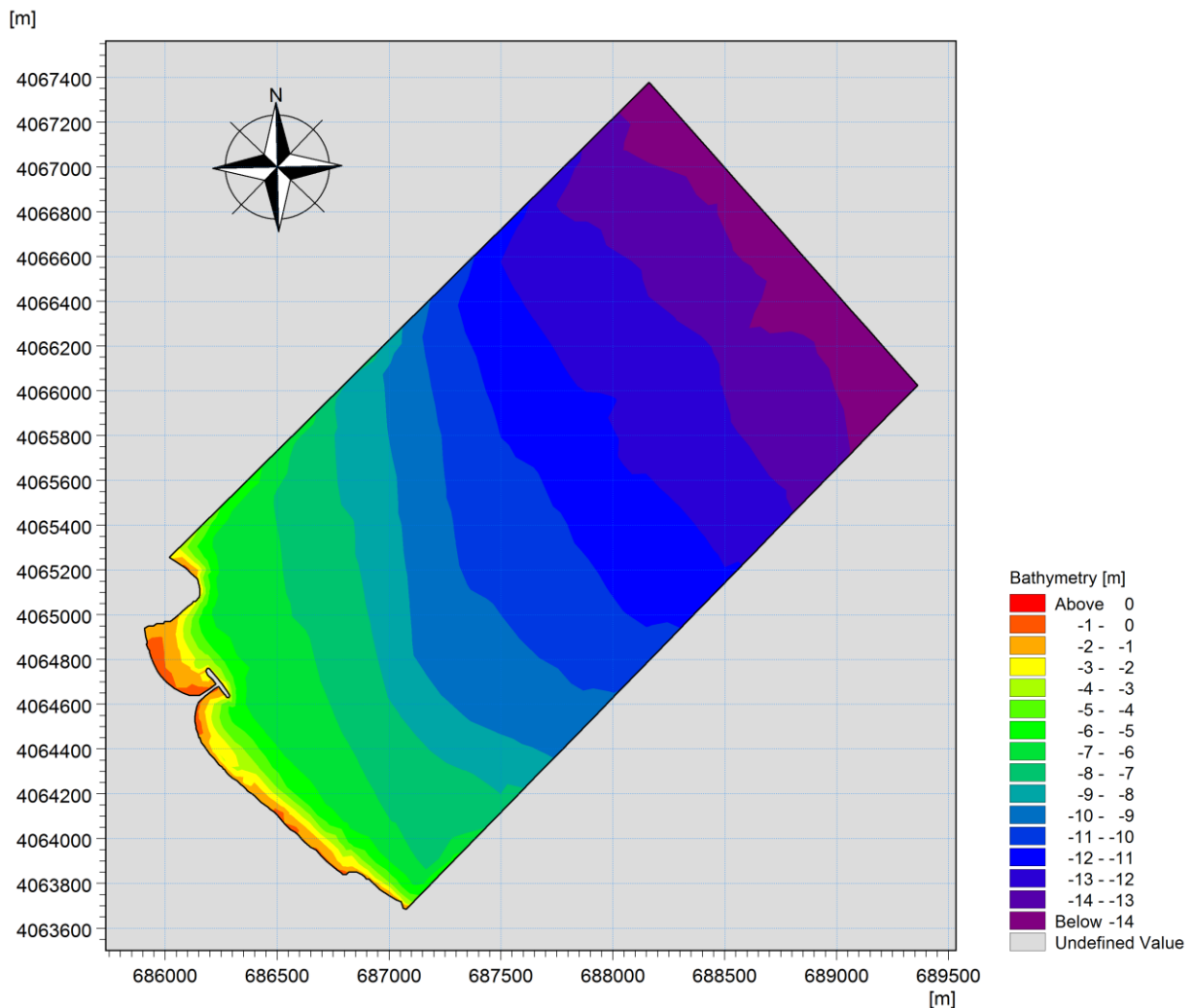


Figure 36 : Carte bathymétrique de la plage club hippique, (2021)

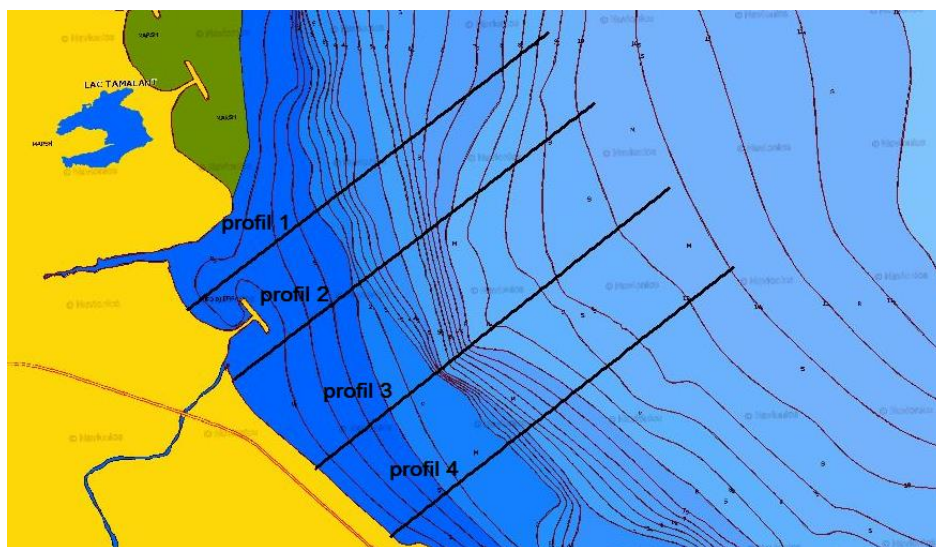
### Commentaire

La carte bathymétrique se singularise par des isobathes assez réguliers et espacés surtout au large ; même si on remarque qu'au près du rivage y'a une petite différence sur tout le long du linéaire côtier ce qui s'explique par la présence d'un épi donc une petite variation de bathymétrie près de

la cote avec une pente raide au niveau de la plage Club Hippique au début pour qu’une pente douce succède allant jusqu’au large

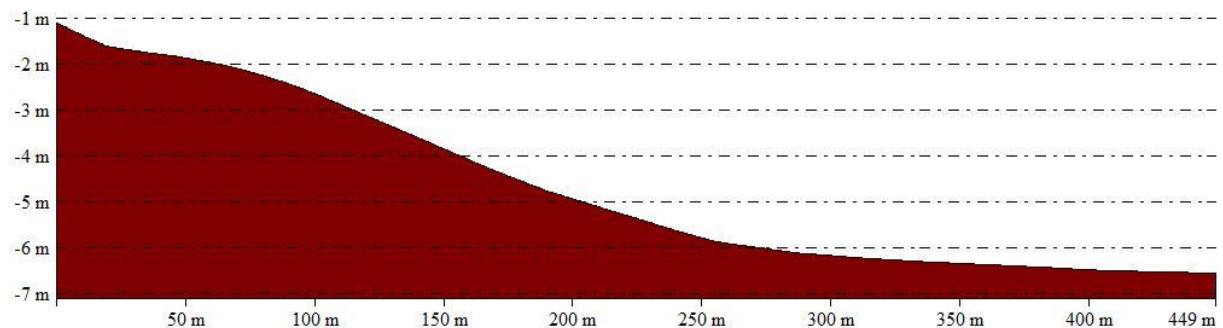
**3.1. Etude des profils bathymétriques**

L’étude des profils bathymétriques consiste à étudier au mieux la géomorphologie sous-marine et qui permet de donner une idée sur la forme du plateau continental, nous avons établis 4 profils représentatifs de la globalité de la zone. Pour chaque profil, une courbe illustre respectivement les observations de l’année 2019.



**Figure 37 :** Carte bathymétrique et positionnement des profils au niveau de la plage Club Hippique.

Profil 01 :

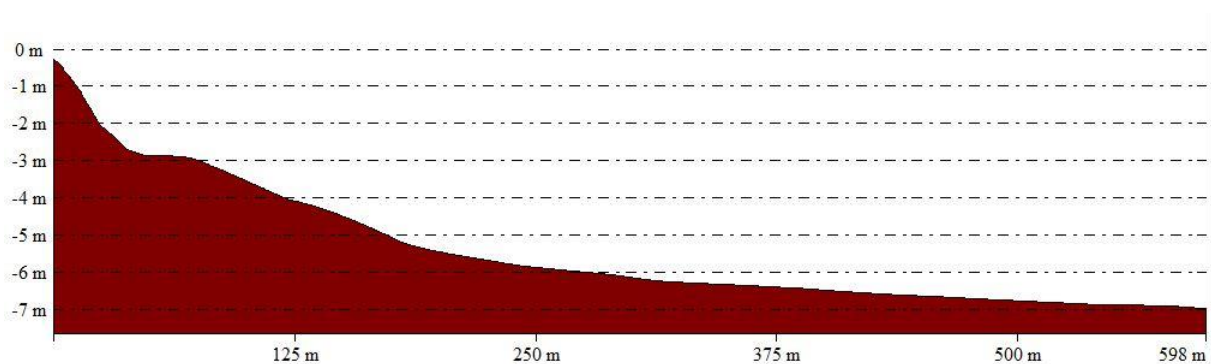


**Figure 38 :** Profil bathymétrique 01

### Commentaire

Le tracé du profil 01 présente une pente raide les premiers 10m atteignant -1.7m puis succède une pente douce jusqu'à arriver au -2m sur une longueur de 60 m vers le large puis viens une pente raide régulière allant jusqu'à -6 m de profondeur sur une longueur de 270 m puis viens une pente douce allant au large en sachant que la profondeur maximale de la baie de Bejaia est d'environ 1000m.

Profil 02 :

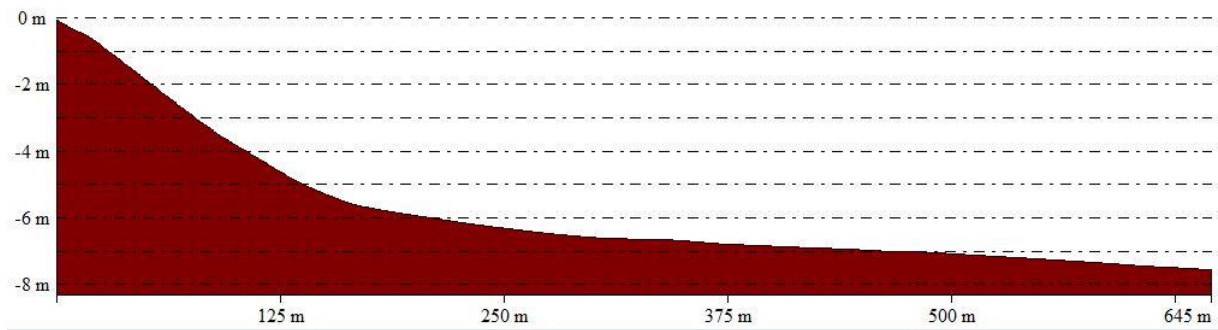


**Figure 39 :** Profil bathymétrique 02

Commentaire :

Le tracé du profil 02 présente une pente raide assez régulière jusqu'à les environ de la profondeur de -3m puis une pente très douce a cette profondeur jusqu'à la longueur de 90 m ; puis viens une pente raide régulière atteignant -5 m de profondeur sur une longueur de 150 m ; et juste après la pente devient douce et régulière jusqu'au large. A partir de ce profil, on constate que le fond subi des déformations sur sa forme près du rivage.

Profil 03 :

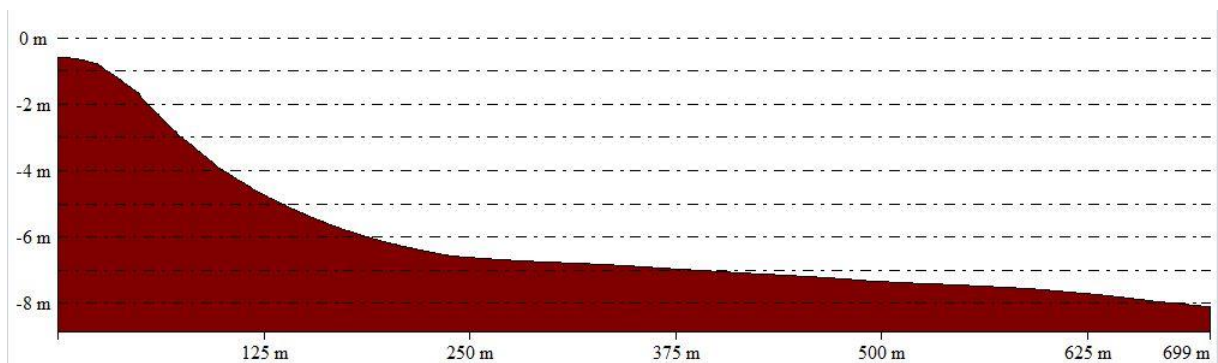


**Figure 40 :** Profil bathymétrique 03

Commentaire :

Le tracé du profil 03 présente en amont une succession de deux pente raide régulière une petite pour les 10 premiers mètres qui n'arrive pas les 1m de profondeur puis suis une pente importante dépassant les -5m sur une longueur de 150 m ; cette dernière est succédée d'une pente douce irrégulière allant jusqu'au large.

Profil 04 :



**Figure 41 :** Profil bathymétrique 04

Commentaire :

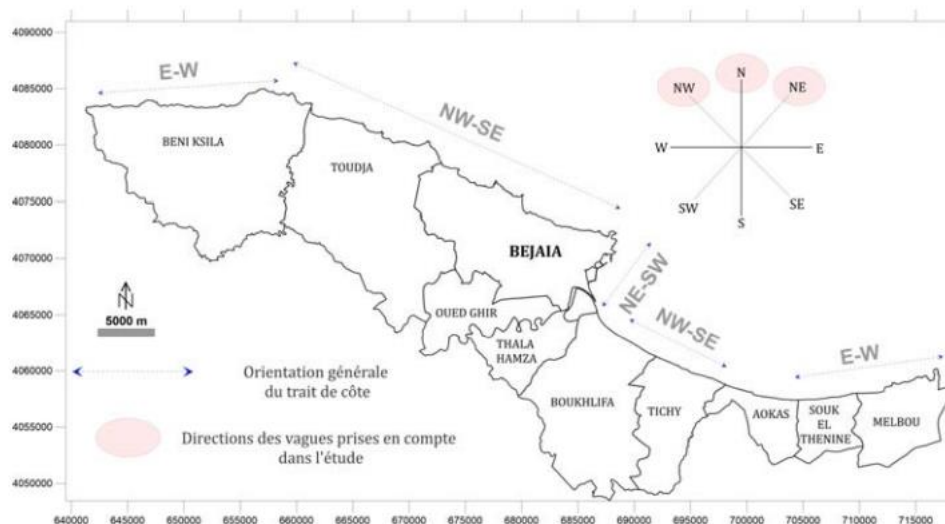
Le tracé du profil 04 présente en premier une petite pente douce les 10 premier mètre de longueur arrivant a peine 1m de profondeur puis une pente raide irrégulière allant jusqu'à plus de -6m sur une longueur de presque 200m ; puis se termine par une pente douce irrégulière jusqu'au large.

### 3.2. Etude de réfraction de la houle :

Analyse des simulations numériques :

La description des champs de houles pour les conditions représentative et des écoulements qui leur sont associés est une étape importante pour comprendre la manière dont la dérive littorale va s'établir le long de la zone d'étude. Le transport d'écoule en effet directement des conditions hydrodynamiques et des caractéristiques du sédiments.

La première étape consiste en l'analyse des résultats du transport pour différentes conditions de houle pour évaluer de manière qualitative la façon dans le sable se déplace dans la zone étudiée. Les trajectoires empruntées par les sédiments sableux sont la conséquence directe des courants engendré par la houle. et devraient donc d'une certaine manière confirmé les remarques faites par les courants et les houles.



**Figure 42** : conditions des houles au large du littoral de Béjaïa

#### 3.2.1. 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 au large.

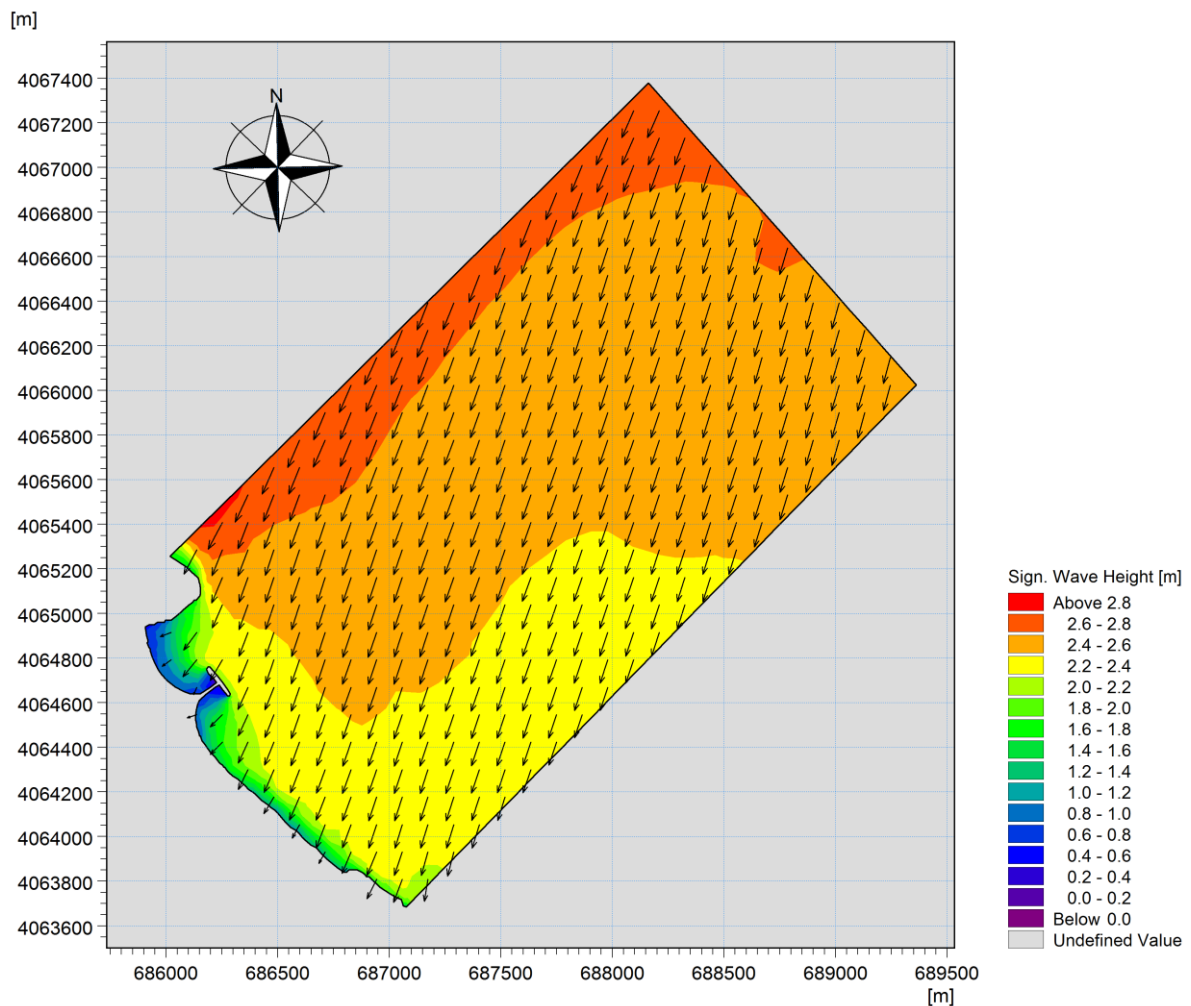
Ainsi trois directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles du large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude.

- Deux directions approximativement perpendiculaires à la cote pour mesurer les effets d'une houle frontale (N45° et N60°).
- Une direction de houle à incidence approximativement oblique (N20°).

Le cap Carbon protège la zone d'étude des houles de secteur Nord (N360°), Nord-Ouest et Ouest.

Les résultats de simulation numérique sont présentés ci-après ; les directions considérées sont : 20°N, 45°N, 60°N.

### 3.2.2. Action des houles de direction N20° :

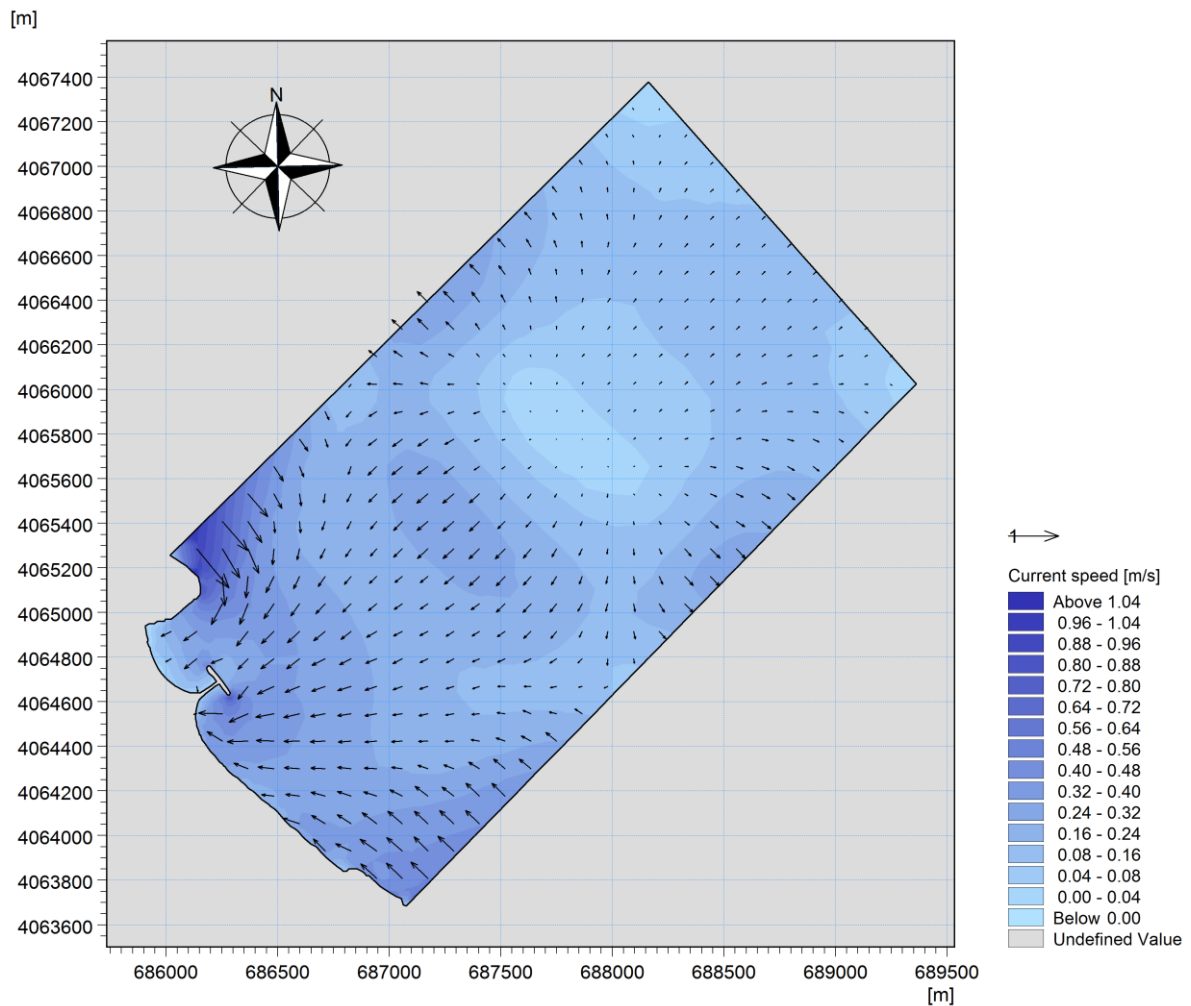


**Figure 43 :** Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage Club Hippique.

Commentaire :

La propagation de la houle de direction N 20° se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle (de 2.8m à 1.2m) et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction). La houle aborde la cote en gardant une partie de son énergie du large.

A noter que le paramètre H(m) représente la hauteur de la houle en mètre, les vecteurs représentent de par leur sens de direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles) la hauteur de la houle.

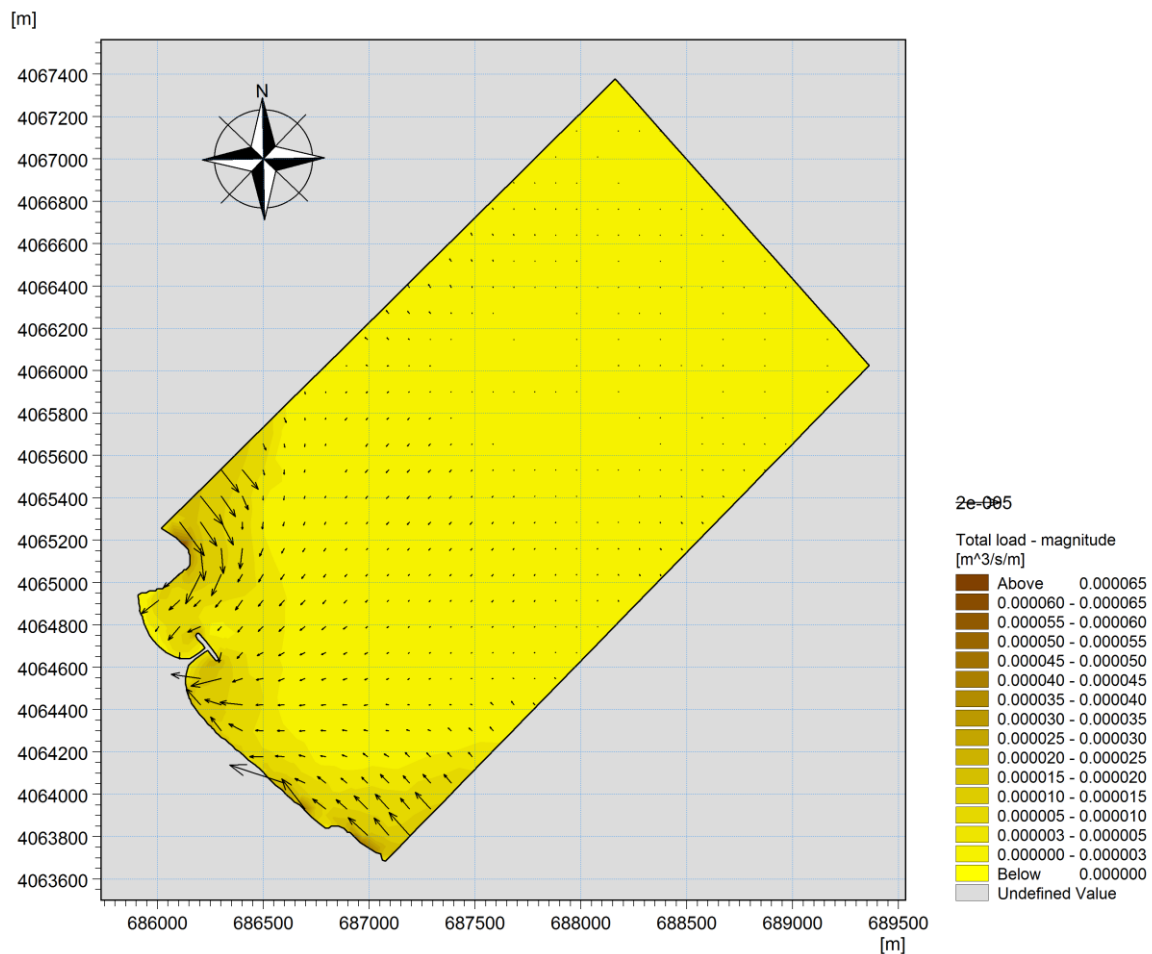


**Figure 44 :** Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique

Commentaire :

Dans la représentation graphique des résultats des courants, les vecteurs représentent de par leurs sens la direction du courant, leur longueur étant proportionnelle au gradient de vitesse.

Pour cette direction on constate que le gradient de vitesse va de 1.04 m/s à 0.04 m/s ; les courants générés par cette dernière se sentent beaucoup plus à l’aval de l’épi où sa vitesse est aux alentours de 1 m/s.



**Figure 45 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 20° à la plage Club Hippique.

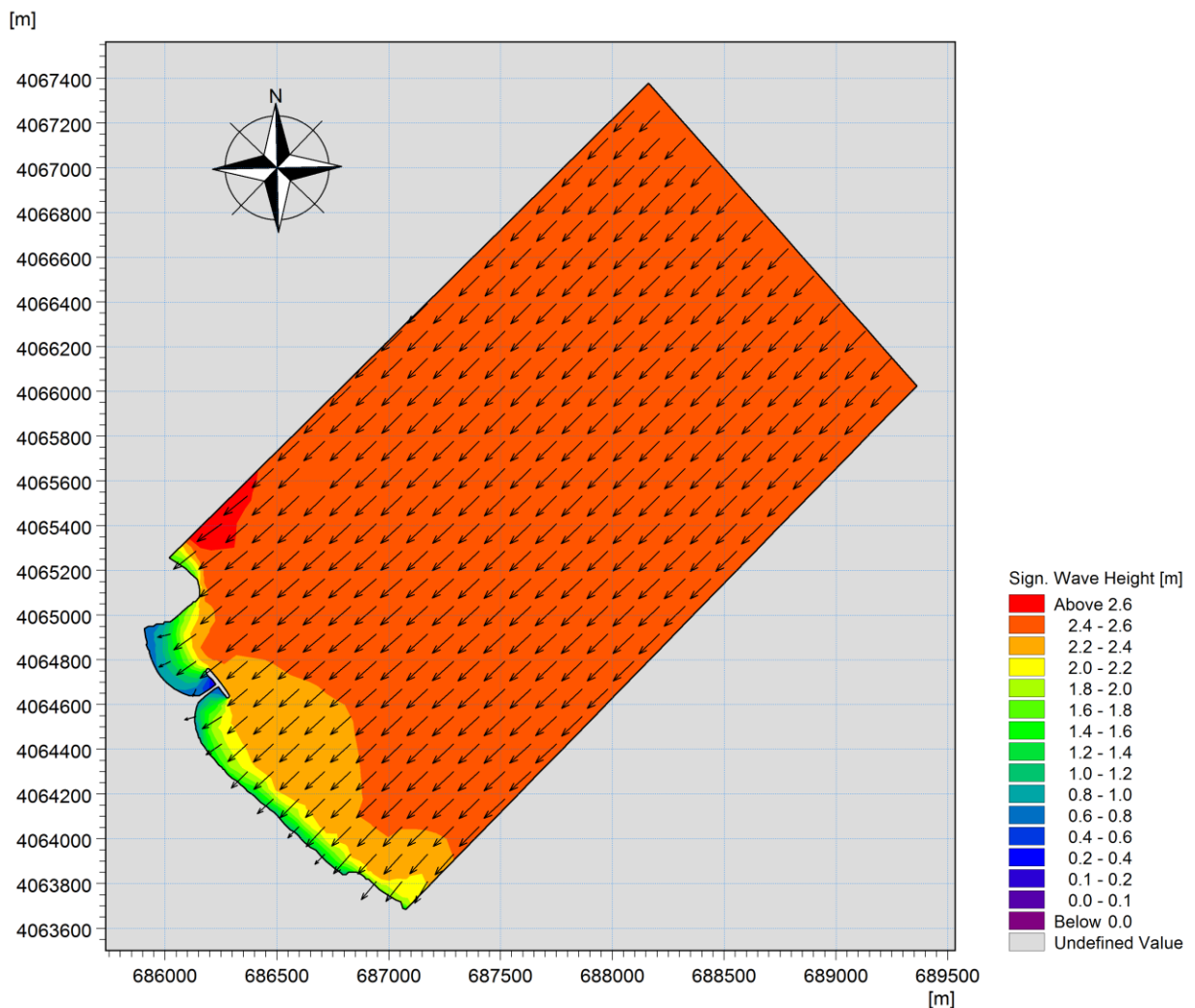
Commentaire :

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide exprimée en  $m^3/s/m$  ; en sachant que la capacité de transport solide des courants littoraux représente la capacité de ces derniers à mettre en mouvement les particules sédimentaires. Cette dernière montre que la zone d'étude est sujette à un transport sédimentaire faible (le taux maximal est de  $0.000065m^3/s/m$ ) dans la condition des houles de cette direction dans le sens Nord-Ouest Sud-Est. Le peu de transport visible provenant de cette direction est présent à l'aval de l'épi et aussi un autre transport qui détourne la piste d'atterrissage de l'aéroport. Donc on pourra dire que l'évolution des fonds est très faible.

Les sédiments proviendraient essentiellement d'oued Soummam. Les sédiments déversés en mer sont par la suite transportés par les courants de dérive littorale.

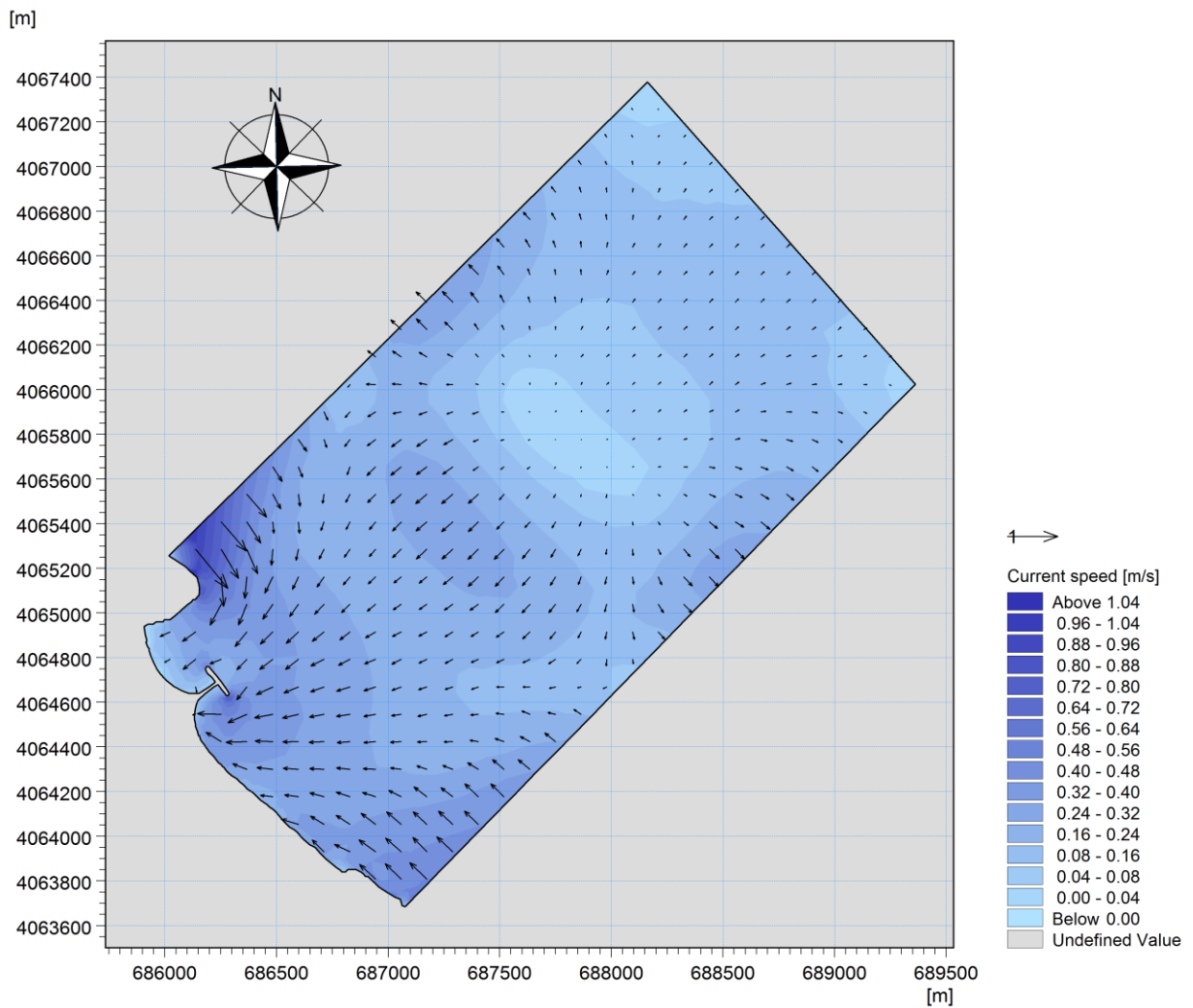
### 3.2.3. Action des houles de direction N 45 ° :

La propagation de la houle N 45 ° se traduit à l'approche du rivage de la zone d'étude par une modification de ces caractéristiques à savoir une légère diminution de la hauteur de la houle et une légère déviation de l'angle d'incidence.



**Figure 46 :** Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage Club Hippique.

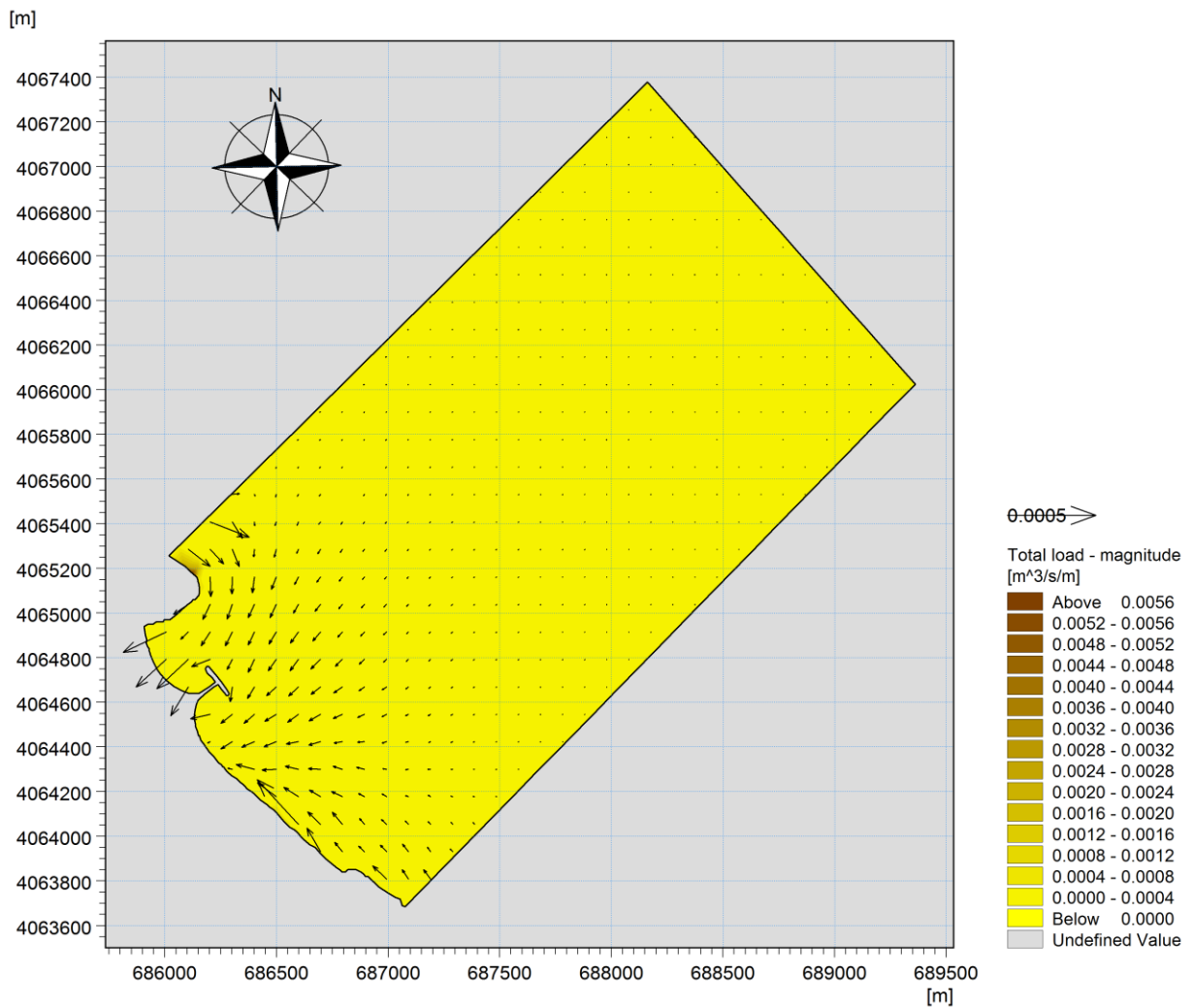
Les courants littoraux induits par la houle N 45 ° sont constitué de deux branches de directions opposées, l'une de direction Sud-Est Nord-Ouest et l'autre de direction Nord-Ouest Sud-Est et elles se rejoignent au niveau de l'épi limitant au Nord-Ouest de la plage pour donner naissance à un courant de retour dissipant les sédiments ainsi transportés sont véhiculés vers le large.



**Figure 47 :** Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique

Commentaire :

Ces résultats traduisent la forte agitation notée au niveau des champs des courants et explique l'érosion présente dans notre zone d'étude.



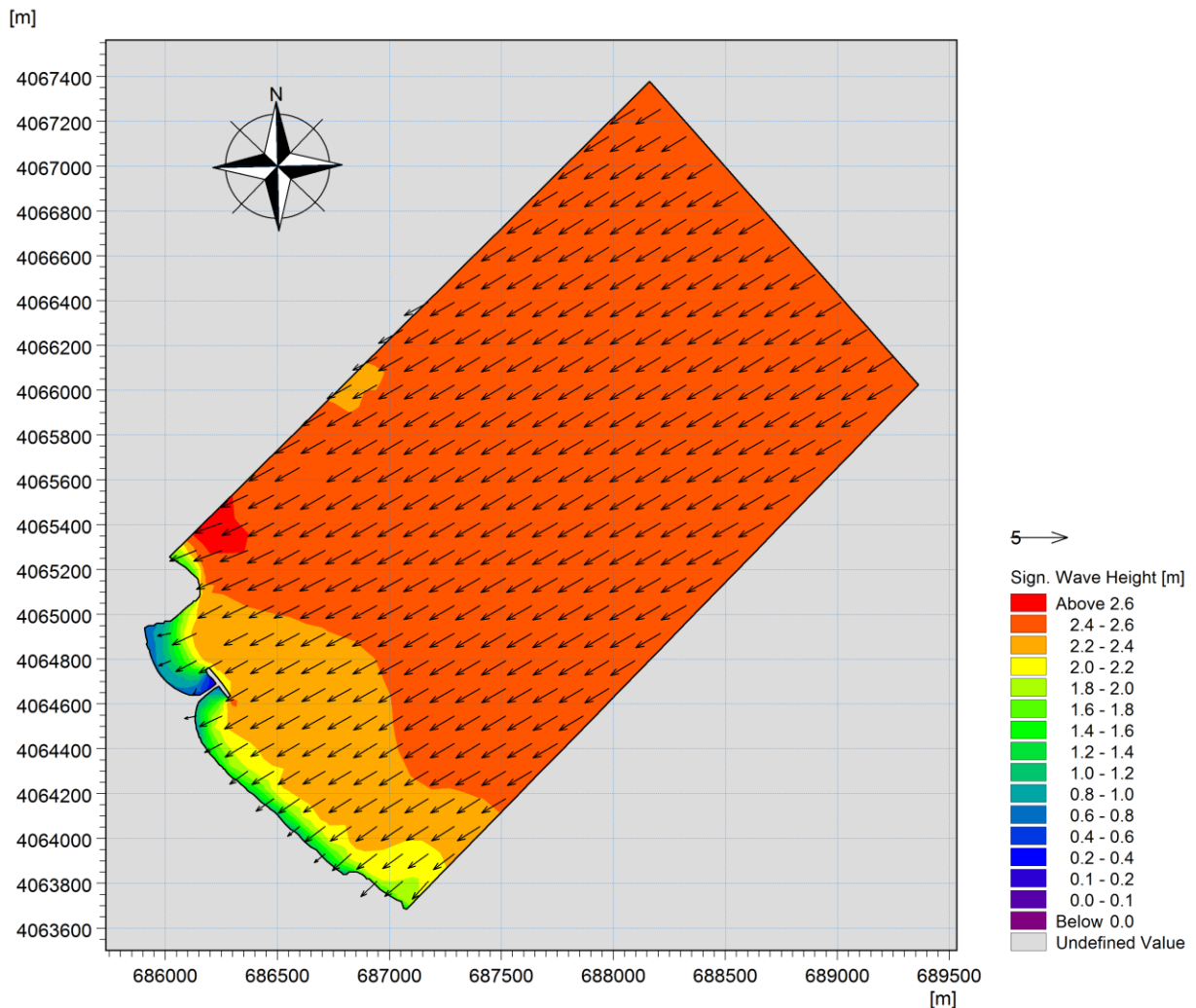
**Figure 48 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Club Hippique

Commentaire :

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide montre que la zone d'étude est sujette à un transport sédimentaire relativement important dans le sens Sud-Est Nord-Ouest. Au contact de l'épi limitant la plage les sédiments transportés sont véhiculés vers le large. On a dans cette direction l'évolution des fonds est marquée par une érosion sur la plus grande partie du linéaire de la plage.

### 3.2.4. Action des houles de direction N 60 ° :

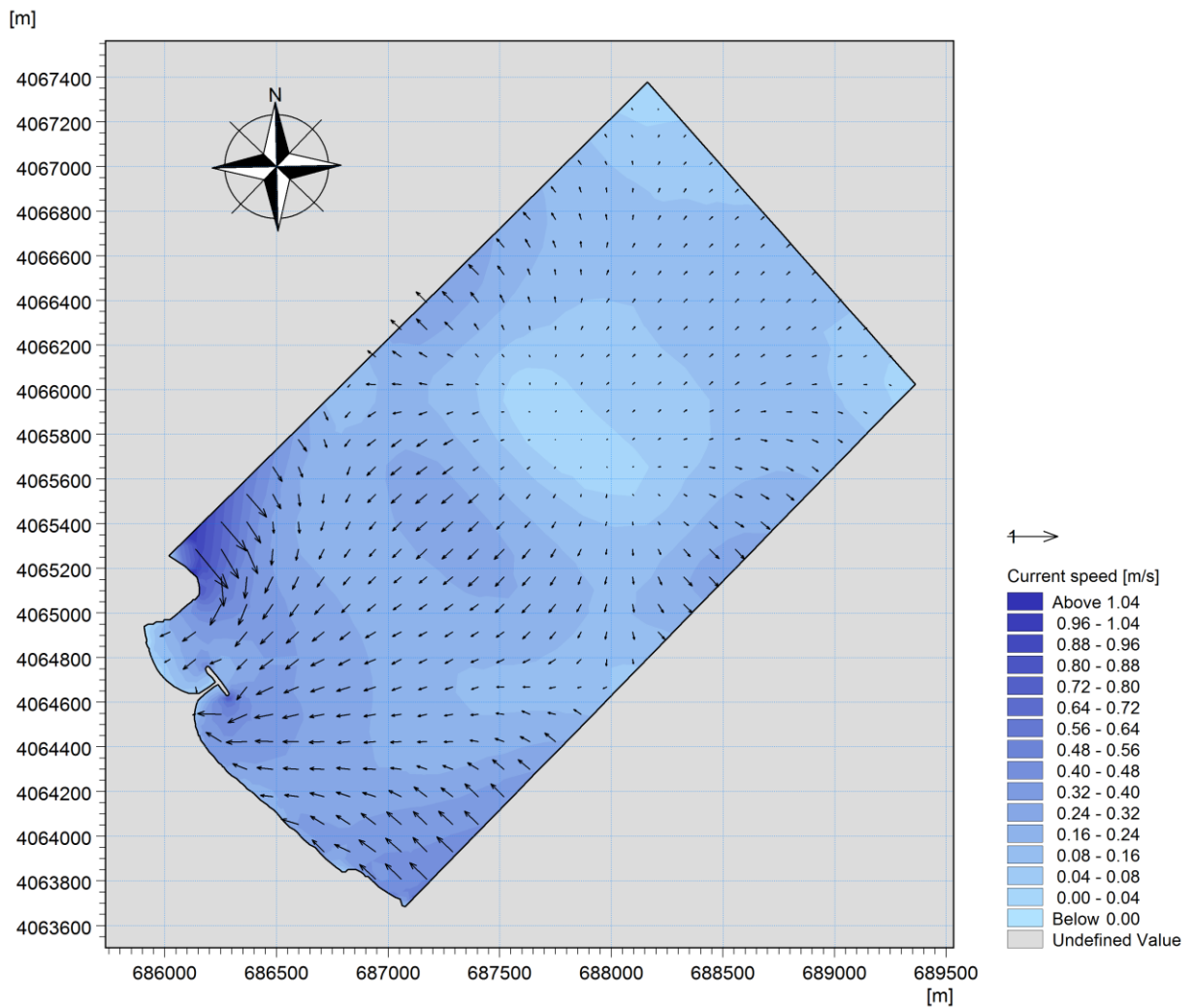
La propagation de la houle N 60 ° se traduit également à l'approche du rivage par une légère diminution de la hauteur de la houle. L'angle d'incidence de la houle à la cote montre une légère modification par rapport à celui de la houle au large.



**Figure 49** : Résultats de réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage Club Hippique.

Commentaire :

Les courants littoraux pour cette direction sont comme pour les courants induit par la direction N 45 ° constitué de deux branches de directions opposées, l'une de direction Sud-Est Nord-Ouest et l'autre Nord-Ouest Sud-Est et elles se rejoignent au large de l'épi limitant au Nord-Ouest la plage de Club Hippique pour donner naissance à un courant de retour dissipant les sédiments ainsi transportés vers le large. Les courants de dérive littoral longeant la plage sont importants surtout au centre ou la vitesse atteint les 0.85 m/s. Au contact de l'épi ces courants sont réorientés vers le large en transportant les sédiments arrachés à la plage.

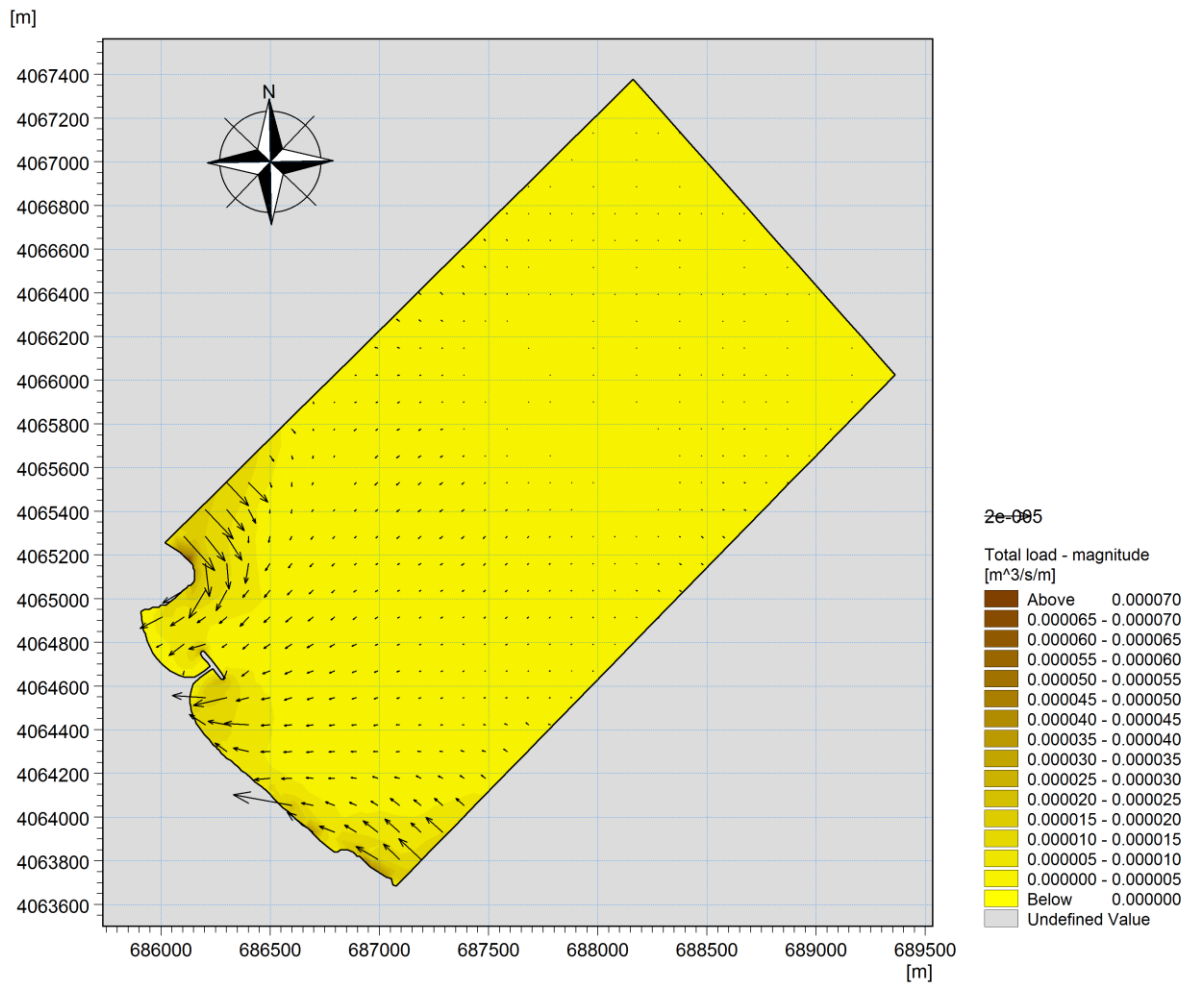


**Figure 50 :** Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique

Commentaire :

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide montre que la zone d'étude est sujette à un transport sédimentaire relativement important dans le sens Sud-Est Nord-Ouest.

Ces résultats traduisent la forte agitation notée au niveau des champs de courant. Dans les conditions des houles de cette direction l'évolution des fonds se traduit par l'érosion des petits fonds compris entre 0 et -5m de fond.



**Figure 51 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 60° à la plage Club Hippique

Conclusion :

L’effet conjugué des houles atteignant le site de la plage Club Hippique explique l’érosion de cette dernière. En effet les houles de direction 20° n’ont pas d’impact sur le site, les courants générés sont très faibles et le transport des sédiments est quasi inexistant.

Les houles qui impactent négativement notre zone d’étude sont celles des directions 45 ° et 60 °. Elles génèrent des courants de dérive littoral importants Sud-Est Nord-Ouest qui sont réorientés vers le large par l’épi en T limitant notre zone à l’Ouest et qui de ce fait transportent les sédiments arrachés à la plage et les petits fonds vers le large.

La principale source d’apport dans la région étant oued Soummam les sédiments transportés par la branche des courants Nord-Ouest Sud-Est sont piégés par les épis situé Nord-Ouest de la piste d’atterrissage de Bejaia.

Le manque d'apport de sédiments vers le site d'étude qui de ce fait constitue une source et non un puits de sédiments et l'effet conjugué des houles de 45 ° et 60 °, sont en faveur de l'érosion de la plage Club Hippique.

On doit suggérer des solutions afin de pouvoir atténuer ces houles avant d'arriver à la cote et empêcher la réorientation vers le large des courants de direction Sud-Est Nord-Ouest. Ces solutions devraient être assimilées à un large récif barrière qui permettra le déferlement de la houle sur l'ouvrage de protection et dissiper l'énergie de la houle avant son arrivée vers la cote ce qui aura pour conséquence la stabilisation du trait de côte.

**CHAPITRE IV :**  
**Solution d'aménagement**

**1. Introduction :**

Le chapitre précédant nous a donné une vision sur l'intensité de ce phénomène naturel qui se produit dans notre zone d'étude et les conséquences qui auront un impact sur la zone côtière ainsi ces infrastructures si aucune initiative sois prise.

Alors pour éviter de perdre complètement la plage Club Hippique, on suggère les différentes variantes.

**2. Analyse des simulations numériques après l'implantation des ouvrages :**

L'impact de l'implantation d'ouvrages de protection (parallèle ou perpendiculaire ; émergé ou immergé), devrait se traduire par une diminution de de l'énergie de la houle avant d'atteindre la cote ou une accumulation. Les modifications de ces paramètres physique ont des répercussions sur les mouvements des sédiments.

Les résultats des simulations numériques avec la présence des ouvrages nous montrerons les modifications dans le régime hydro-sédimentaire de la plage Club Hippique après l'implantation des ouvrages.

L'examen de ces variantes consiste à restituer successivement le champ de la houle, les courants induits, la capacité théorique de transport sédimentaire pour les directions 20 °, 45 ° et 60 °.

**3. Choix des variantes :**

Les solutions de protection projetée devraient permettre d'atténuer ces houles avant d'arriver à la côte et empêcher la réorientation vers le large des courants de direction Sud-Est Nord-Ouest. Ces solutions devraient être assimilées à un large récif barrière qui permettrait le déferlement de la houle sur l'ouvrage de protection et en dissiper l'énergie de la houle avant son arrivée sur la côte ce qui aura pour conséquence la stabilisation du trait de côte.

Donc a choisi comme protection frontale les brise lames et les géotube et pour être sûr de la solution on opte pour une troisième variante qui sera une série d'épi, vue aussi la présence d'une série d'épis en T à l'Ouest de la zone d'étude.

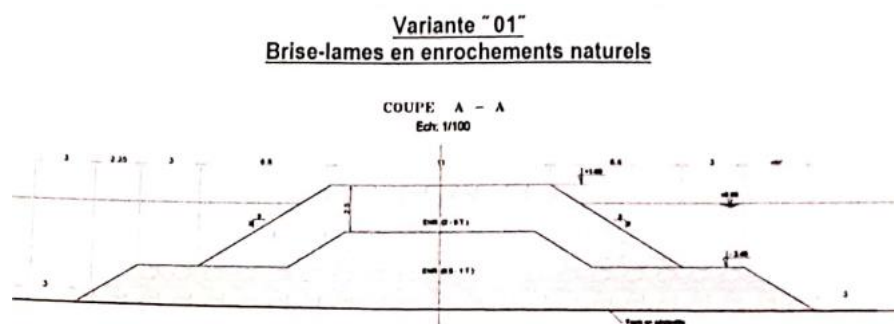
**3.1. Variante 1 : Brises lames émergés :**

La variante 1 consiste en l'aménagement de quatre brises lames émergeant en enrochements naturels arasés à +1m et implanté par des profondeurs de 6m soit à une distance à la cote de 150 m. La longueur unitaire est de 150m et l'espace entre les brises lame est de 90 m.

Les brise-lames sont souvent émergents à la surface (au moins pendant la majeure partie du cycle de marée) et ils sont disposés approximativement parallèlement à la cote. Leur fonction est de réduire l'action de la houle et d'encourager la déposition de sédiments à l'arrière de l'ouvrage. (Dahmani, 2020),

Les brise-lames en enrochement est caractérisé par :

- La profondeur moyenne d'implantation : 6m.
- Une cote d'arase de +1.00 m ;
- Une carapace d'enrochement (2-5t) avec une épaisseur de 2.50m et une pente de 3/2.
- Un noyau en TVC (0.5-1t) avec une pente de 3/2 posée sur un tapis anti affouillement en enrochement naturels(200-500kg) ;
- Une largeur de crête de 11m.



**Figure 52** : Schéma du brise-lame (LEM, 2019).

### 3.1.1. Dimensionnement :

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

#### a) Longueur des brise-lames :

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

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

$$L > 1.2 (D + 0.3\lambda) \quad (1)$$

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

#### b) La distance D à la ligne de rivage :

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

$$0.6 D < L < 1.2 D.$$

#### c) Longueur relative des brise-lames :

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

$$\frac{L}{D} \geq a \quad (2)$$

#### d) L'espace entre les brise-lames :

Pour une longueur globale donnée, une série de brise-lames peut avoir une efficacité aussi intéressante qu'une brise lame vis à vis de la protection du littoral, tout en limitant les risques de formation de tombolos. En considérant que la limite d'expansion de la houle se situe sur la ligne de rivage, J.

Charpentier préconise la formule :

$$E < 0.83 D + 1/2L \quad (3)$$

### 3.1.2. Conception :

#### 3.1.2.1. La côte d'arase :

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

#### Hauteurs d'acensions :

$$z = 0.67 \cdot HD \cdot Ir^{0.51} \cdot \sqrt{\frac{\ln(p)}{2}} \quad (4)$$

**Paramètres d'Iribarenne :**

$$Ir = \frac{\tan(\infty)}{\sqrt{\frac{H_d}{L}}} \quad (5)$$

**Longueur d'onde de la houle au large :**

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (6)$$

**Avec :**

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

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

### 3.1.2.2. Carapace :

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

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

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

(7)

-  $\rho_s$  : masse volumique des matériaux en  $\text{kg/m}^3$ .

-  $\rho_w$  : masse volumique de l'eau en  $\text{kg/m}^3$ .

**Sous-couche :**

$$\frac{m_{50(\text{sous-couche})}}{m_{50(\text{carapace})}} = \frac{1}{10} \text{ a } \frac{1}{15} \quad (8)$$

Epaisseur des couches et des sous-couches en mètres :

$$e = n \times c \times m_{50}^{1/3} \quad (9)$$

-  $n$  : Nombre de rangées

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

-  $m_{50}$  : Volume des blocs en tonne

3.1.3. Action de la houle N 20° :

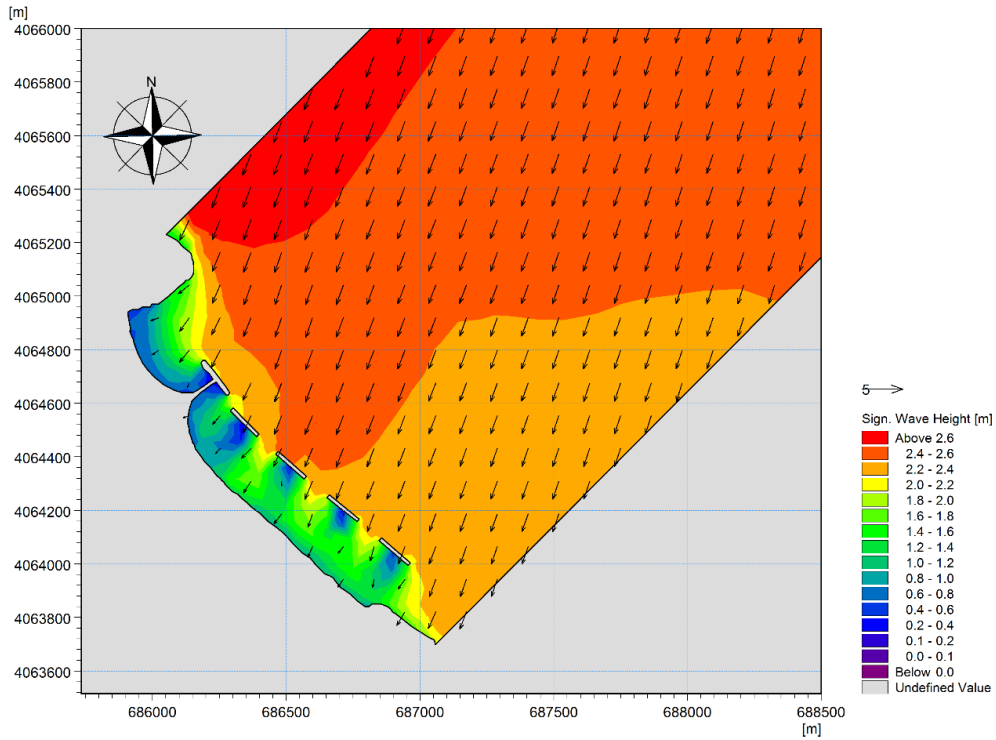


Figure 54 : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

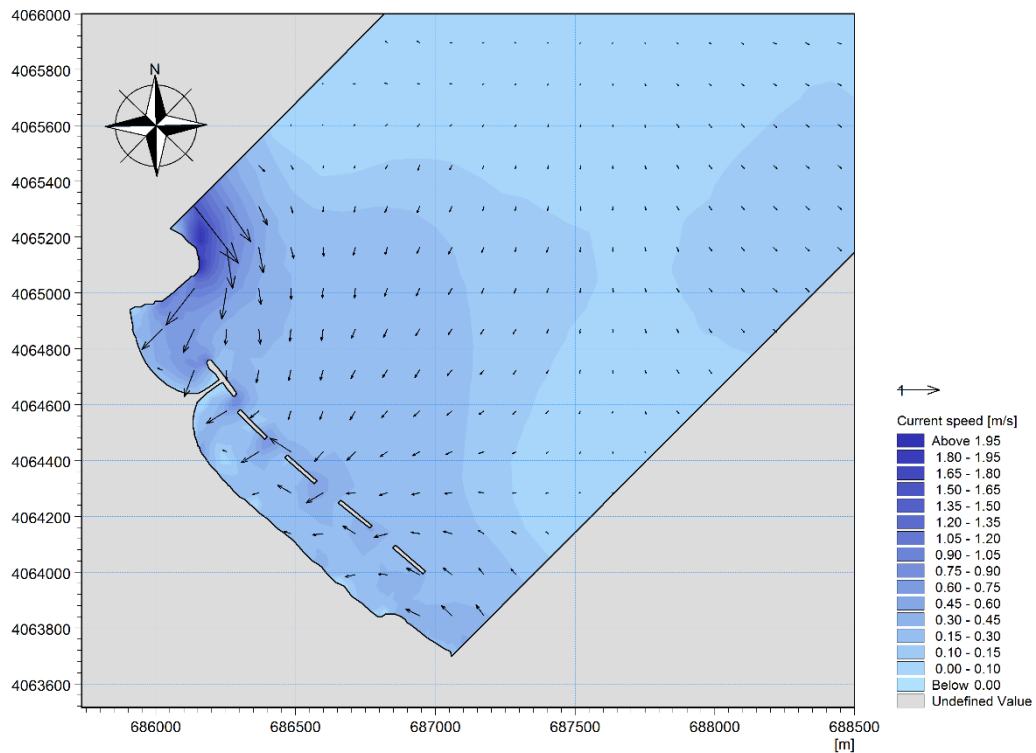


Figure 53 : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

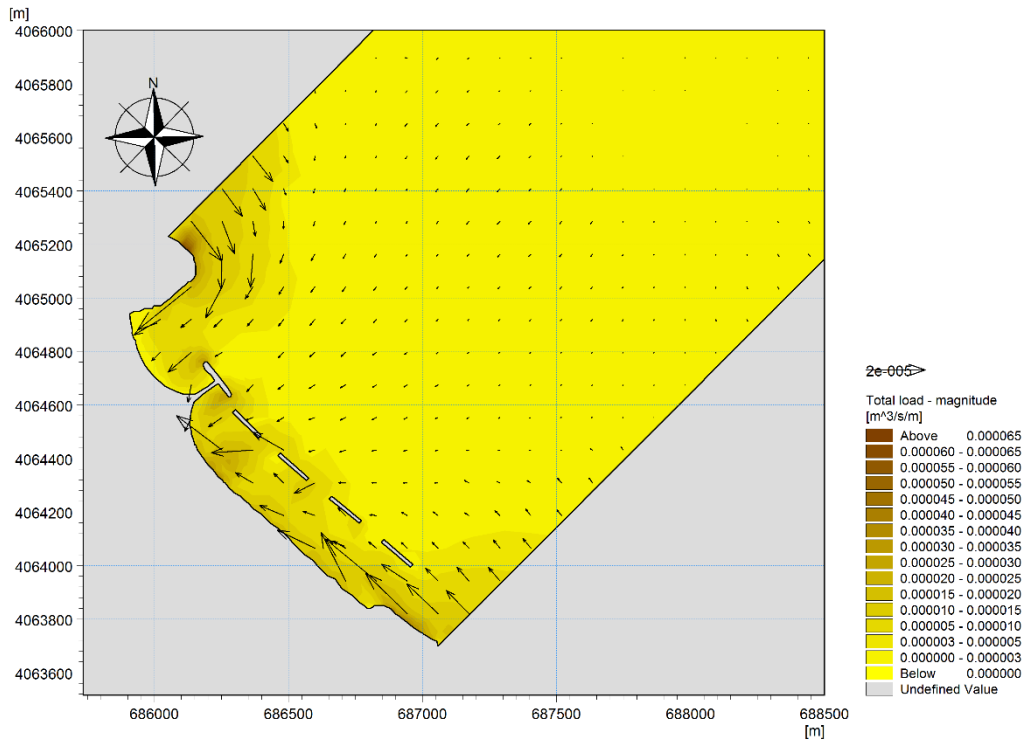


Figure 55 : Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

3.1.4. Action de la houle N 45° :

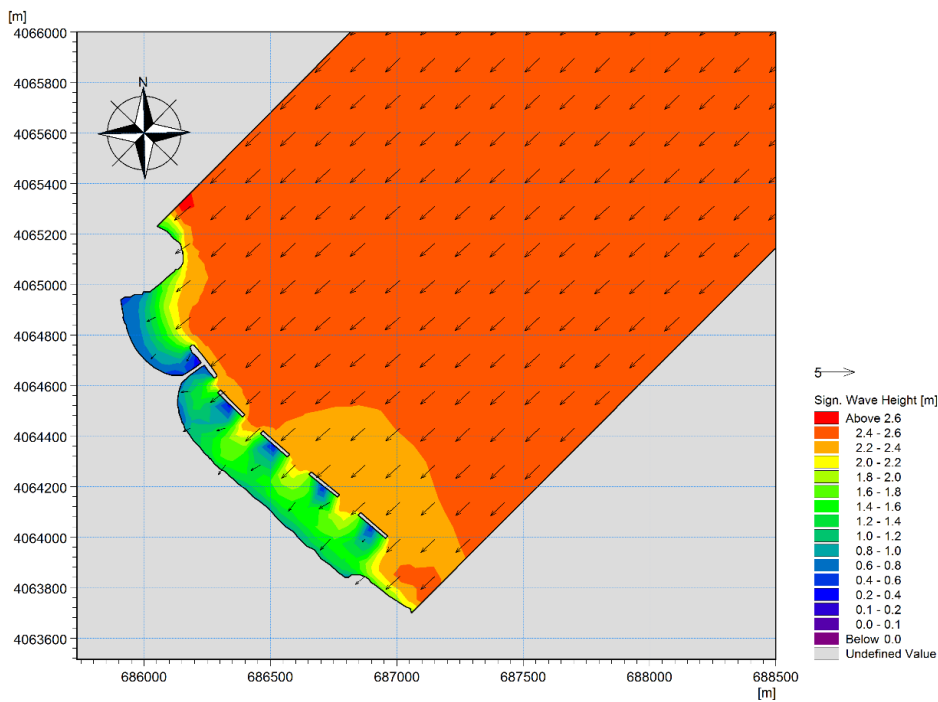


Figure 56 : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

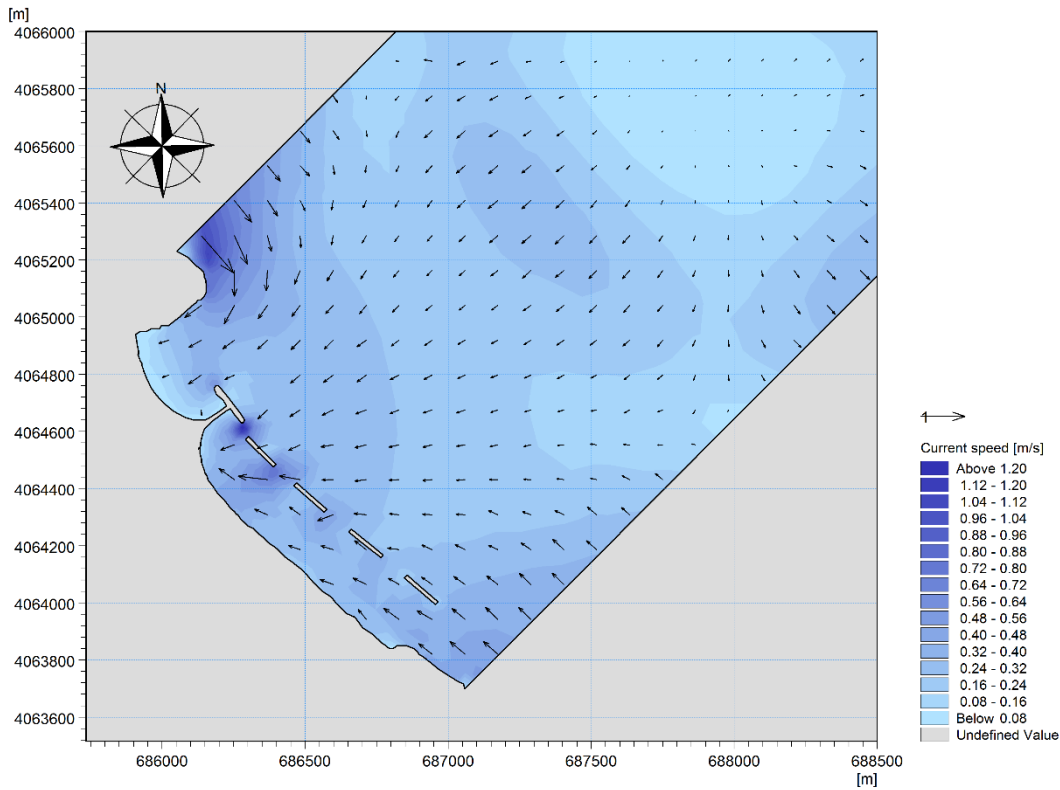


Figure 57 : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

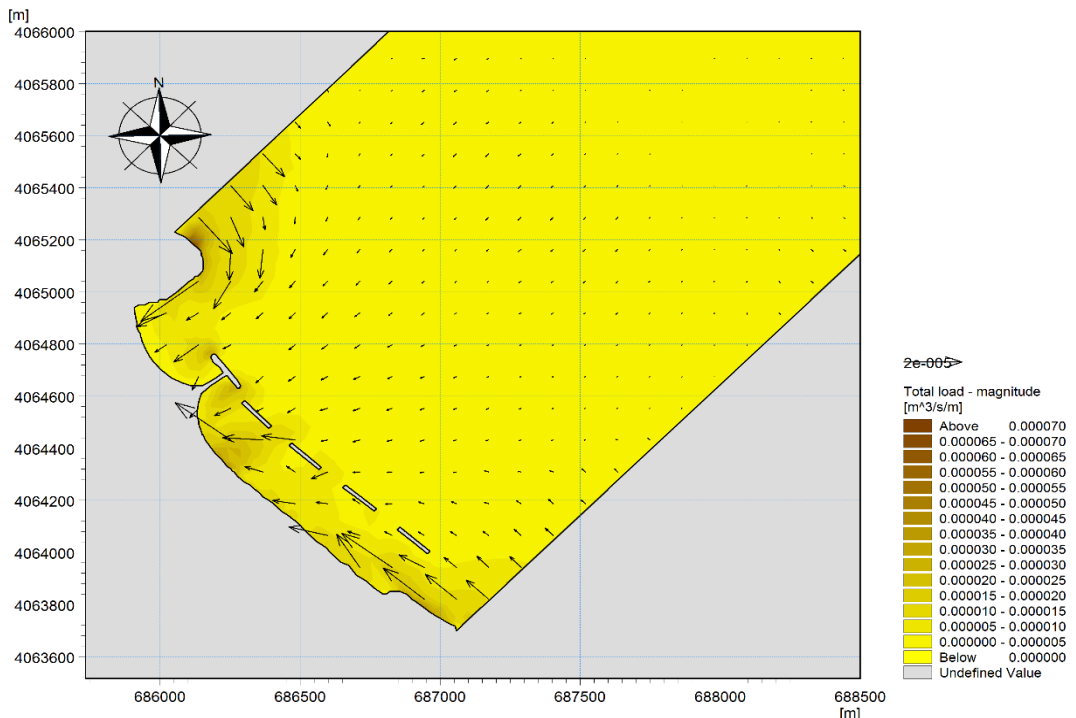


Figure 58 : Résultats de transport sédimentaire Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

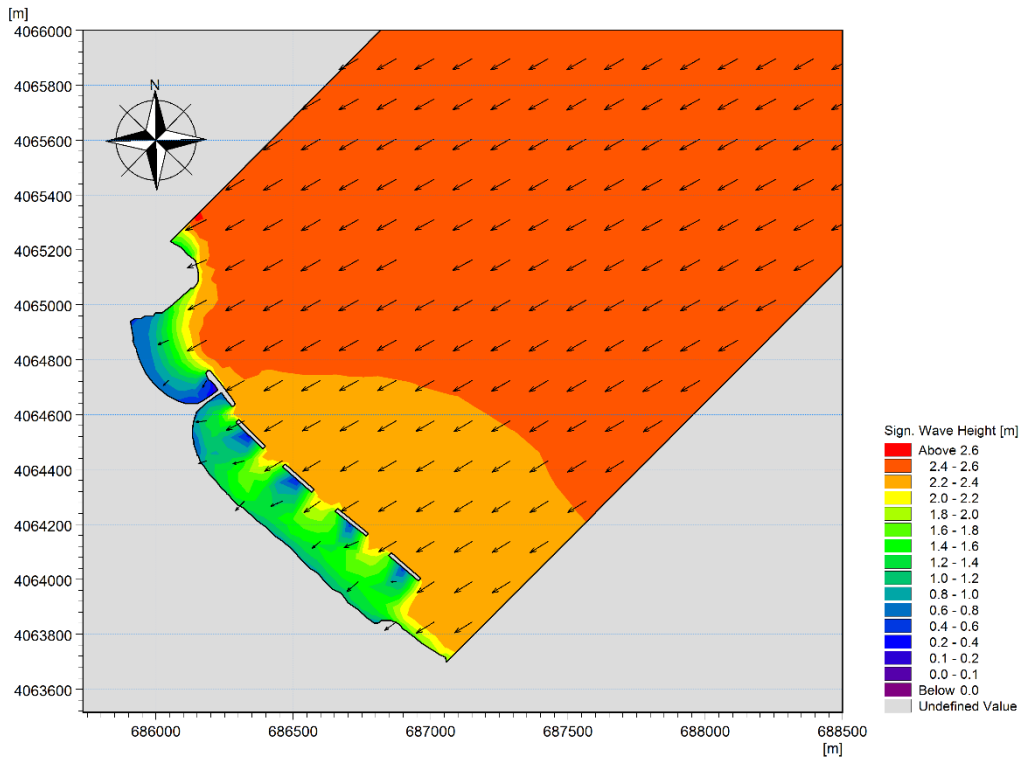


Figure 59 : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

3.1.5. Action de la houle N 60° :

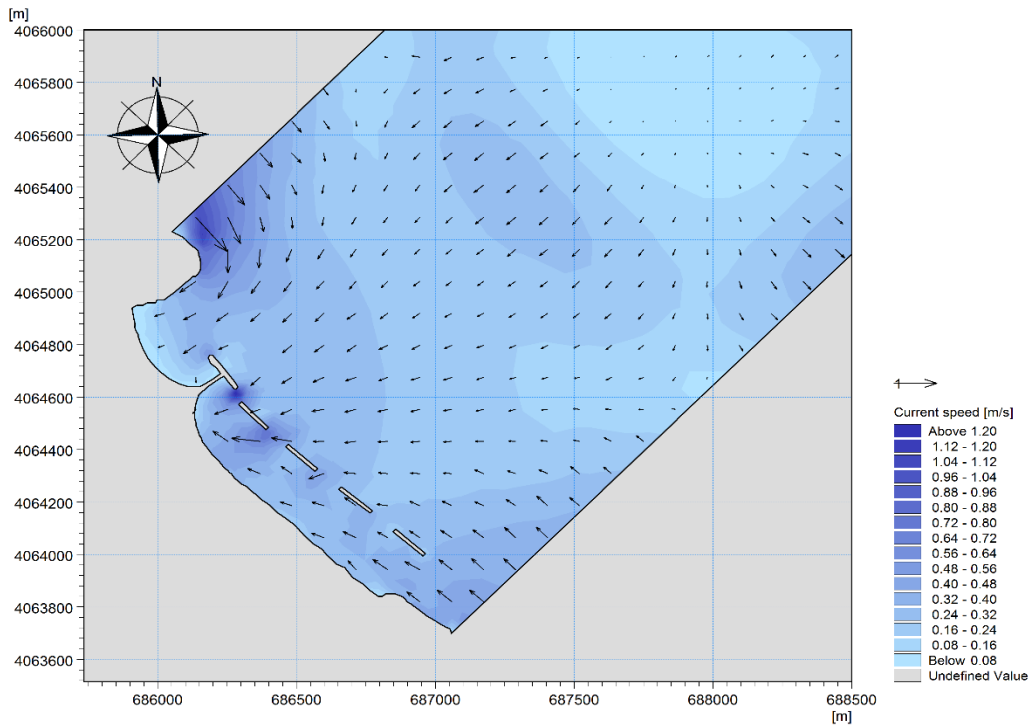
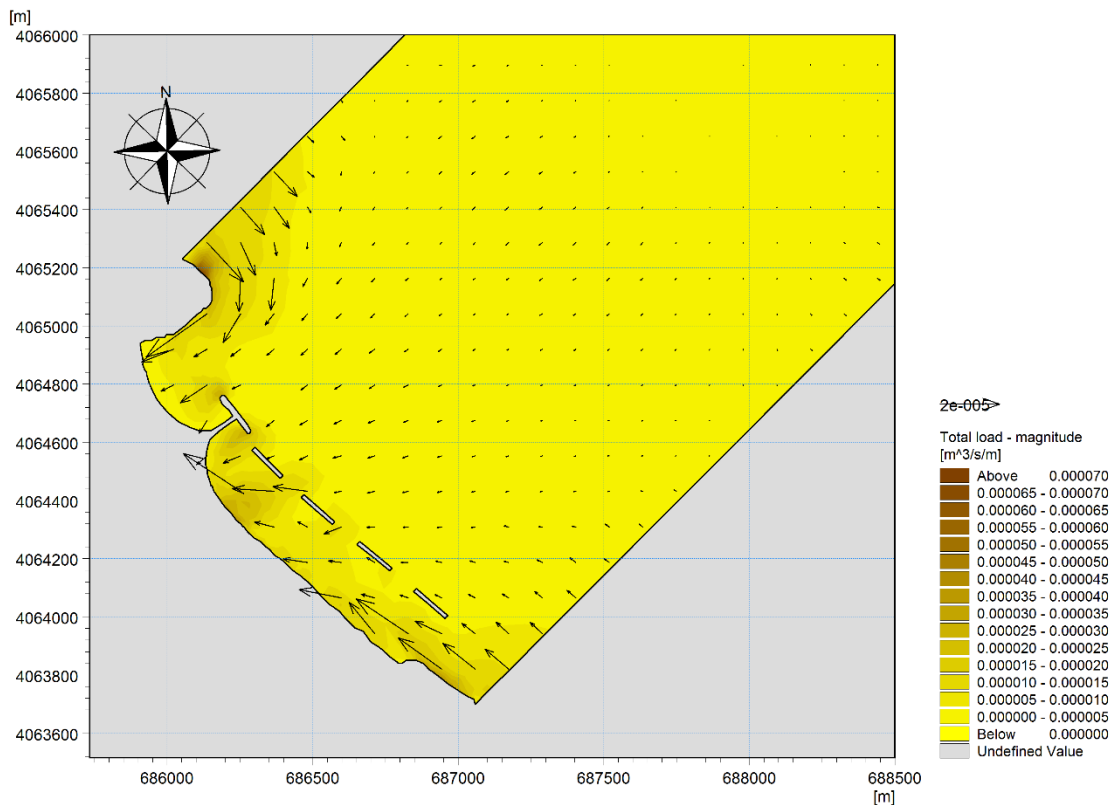


Figure 60 : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames.



**Figure 61 :** Résultats de transport sédimentaire Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 brises lames

Commentaire :

Les houles de directions différentes déferlent quand elles arrivent au niveau des brises lames surtout pour les deux directions N45° ET N60°, plus au moins pour la direction N20° vu que les brises lames ne sont pas vraiment perpendiculaires à la houle provenant de cette direction contrairement aux deux autres, mais cela n'affecte pas l'efficacité de l'ouvrage vu que les houles de direction N20° présentent pas un grand danger parce que son exposition et d'après les résultats précédents. Concernant le transport sédimentaire ce dernier est favorable à la formation de tombolo car la mobilité des particules sédimentaires présente entre la plage et les brises lames, donc ils serviront de mur contre les houles et d'obstacle pour piéger les sédiments donc l'élargissement de la plage.

### 3.2. Variante 2 : Géotubes immergés et rechargements

Elle consiste en une protection dite douce qui consiste à implanter à une profondeur moyenne de 5m Cinque brise-lames en géotubes. Les géotubes sont constitués par une enveloppe de géotextile tissé de haute résistance mécanique remplis par matériaux fins (sable de carrière) au moyen d'une pompe suceuse qui aspire et refoule le mélange eau + sédiments dans le géotube.

Ces brise-lames présentent une longueur unitaire de 115 m et un espacement entre brise-lames de 85 m. Ils seront arasés à -1.5m, implantés à une distance d'environ 110m de la cote ; orientés parallèlement à la cote et perpendiculairement aux houles du secteur Nord-Est.

Les caractéristiques et les critères d'implantation de cette solution douce se résument comme suit :

- Profondeur moyenne d'implantation : 5m
- Cote d'arase : -1.5m
- Hauteur de la structure : 3.5m
- Hauteur du géotube : 1.7m
- Largeur du géotube : 4m
- Largeur de la berme de la couche supérieure du brise-lame :12m
- La largeur de couche inférieure du brise-lame :16m
- Tapis anti-affouillement en géotextile de 26m de largeur munie d'un petit lest sur les extrémités sous la forme d'un petit tube de 50 cm de diamètre, en vue d'assurer la pérennité du sol support.

Rechargement de la plage :

-hauteur de rechargement 0.5 m (entre les géotubes) ;

Diamètres du sable de carrière :  $0.500 \text{ mm} < D_{50} < 0.700 \text{ mm}$  ;

Volume de sable de carrière rechargement : 28500 m<sup>3</sup>.

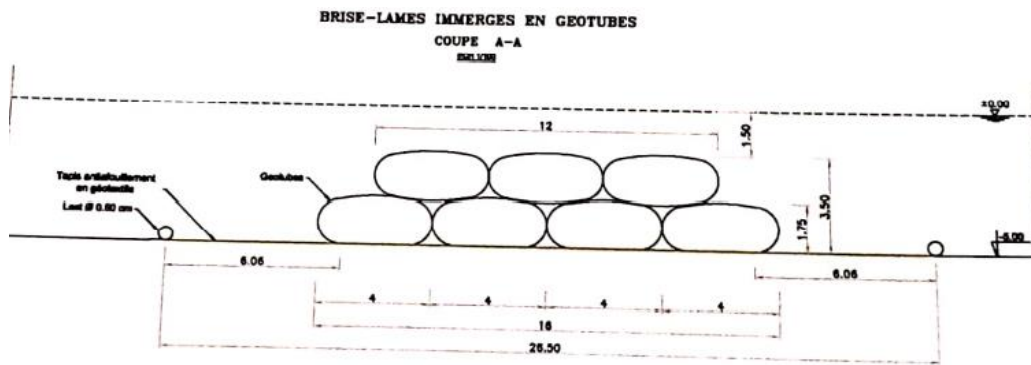


Figure 62 : Schéma de géotube (LEM, 2019).

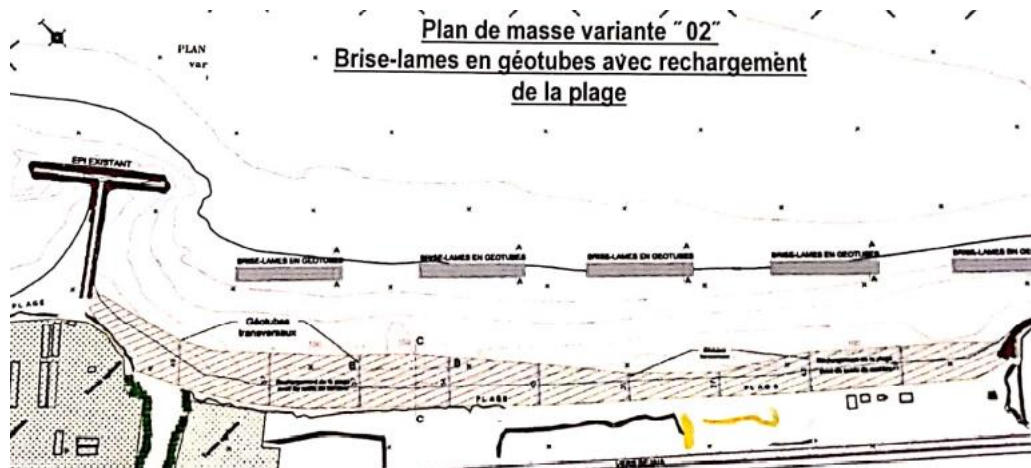
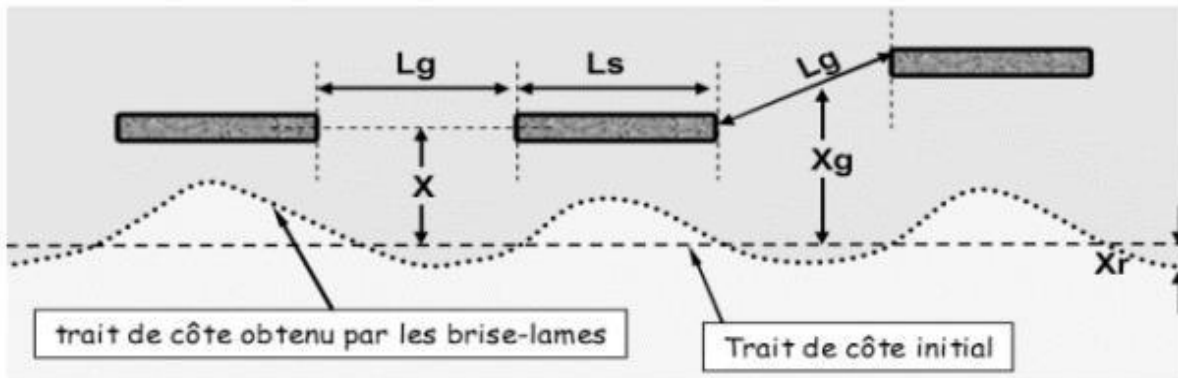


Figure 63 : Schéma de géotube+rechargement (LEM, 2019).

### 3.2.1. Dimensionnement :

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

L'écartement entre géotube est un facteur essentiel. Il n'y a pas de lois bien établies, cependant il existe quelques principes généraux dans le cas d'un géotube implanté dans la zone de déferlement.



**Figure 64** : Description des éléments d'effet de géotubes, (D'après J. Viguié 2002).

$L_s$  : longueur du géotube (m),

$L_g$  : longueur d'ouverture entre 2 géotubes,

$X$  : distance entre géotubes, et le trait de côte initial,

$X_g$  : distance entre le centre de l'ouverture et le trait de côte initial ( $X_g = X$  si les géotubes sont alignés),

$X_r$  : recul du trait de côte face à l'ouverture entre deux géotubes.

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

Pour  $L_s / X \geq 1 \Rightarrow$  le tombolo se rattache au brise lames au fur et à mesure que le rapport s'accroît.

Pour  $L_s / X < 1 \Rightarrow$  le tombolo ne se rattache pas au brise lames et en sera d'autant plus éloigné que ce rapport diminuera.

Pour  $L_s / X < 0.3 \Rightarrow$  le géotube n'aura pratiquement pas d'effet sur la plage.

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

La longueur de l'ouvrage est souvent comprise entre 0.6 et 1.3 fois sa distance à la côte.

Dans le cas d'une batterie de géotubes, il convient de prendre en considération:

$Lg / X \geq 1,3$  : L'écartement des géotubes est trop grand, un recul très important du trait de côte se produira face à l'ouverture.

$0,8 \leq Lg / X \leq 1,3$  : Un recul du trait de côte peut se produire face à l'ouverture, (un apport de sable initial permet de limiter voire supprimer ce recul).

$Lg / X \leq 0,8$  : Pas de recul du trait de côte face à l'ouverture mais le linéaire d'ouvrage par rapport au linéaire protégé augmente.

3.2.2. Action de la houle N20 :

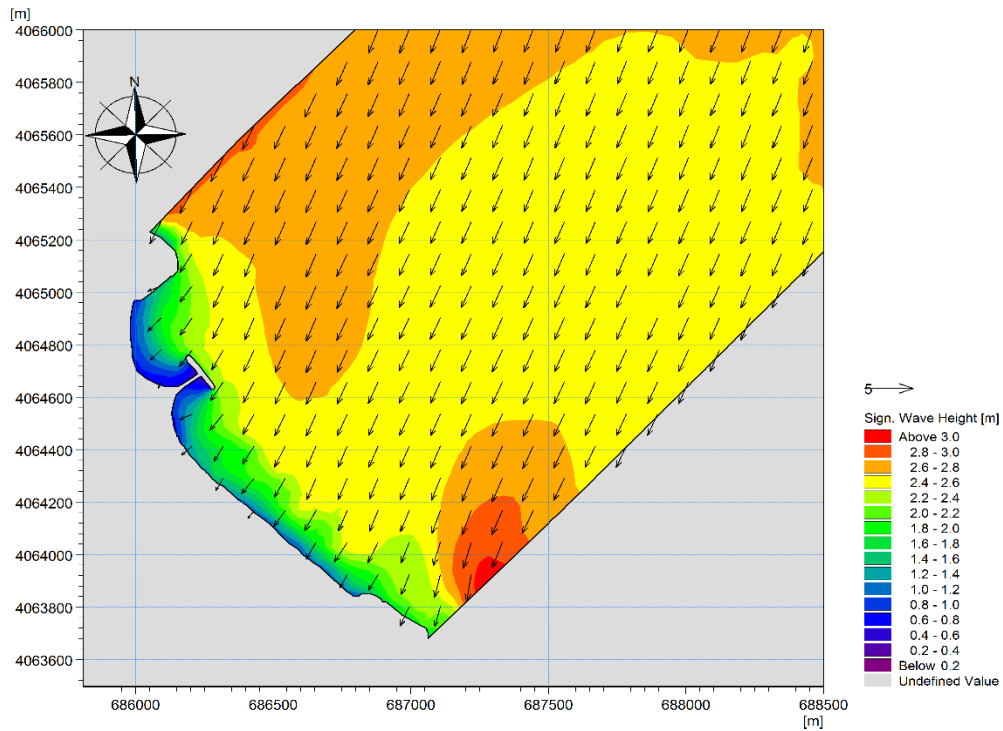


Figure 65 : Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

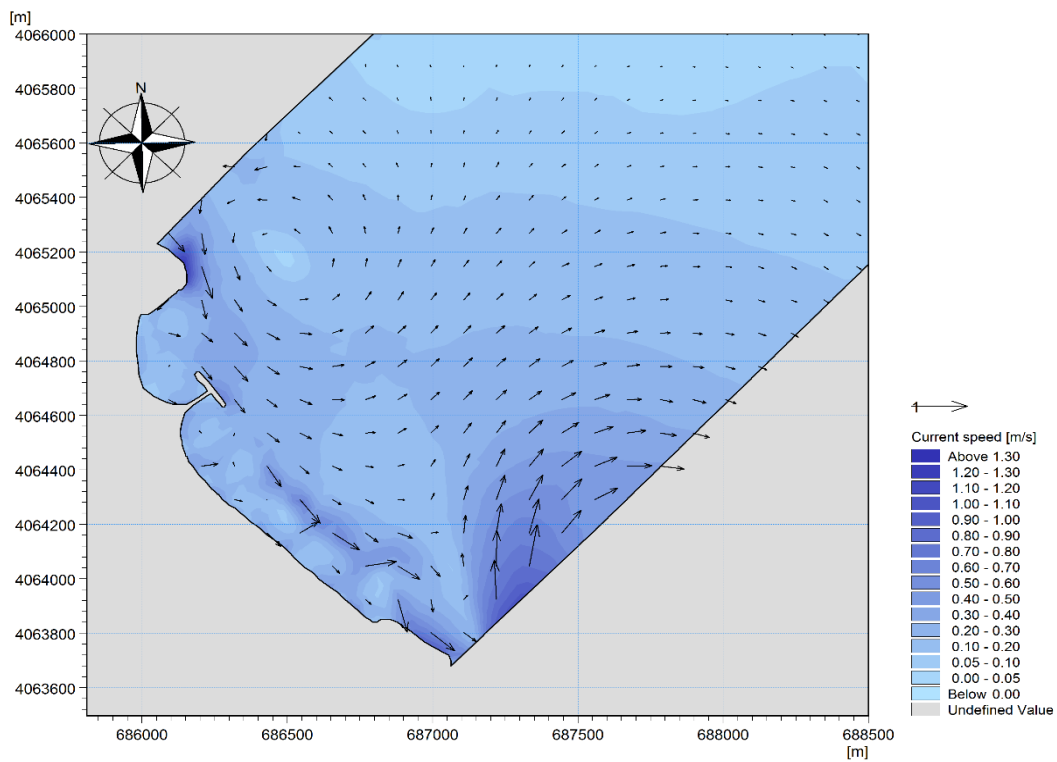


Figure 66 : Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

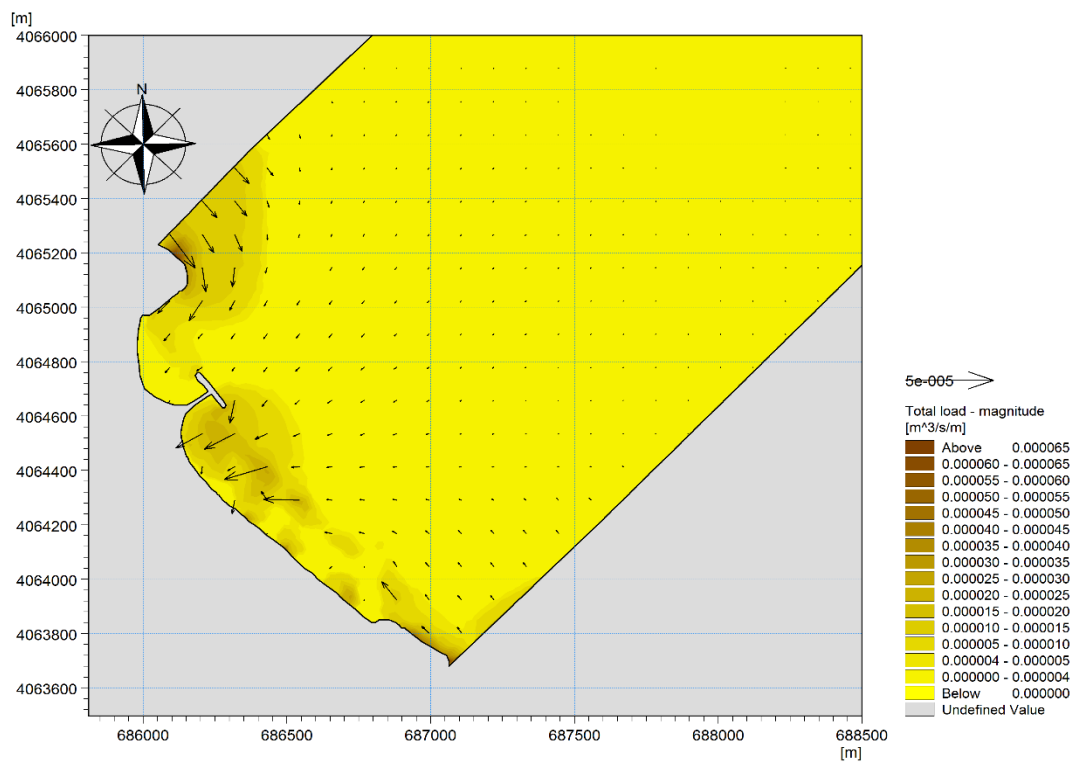


Figure 67: Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

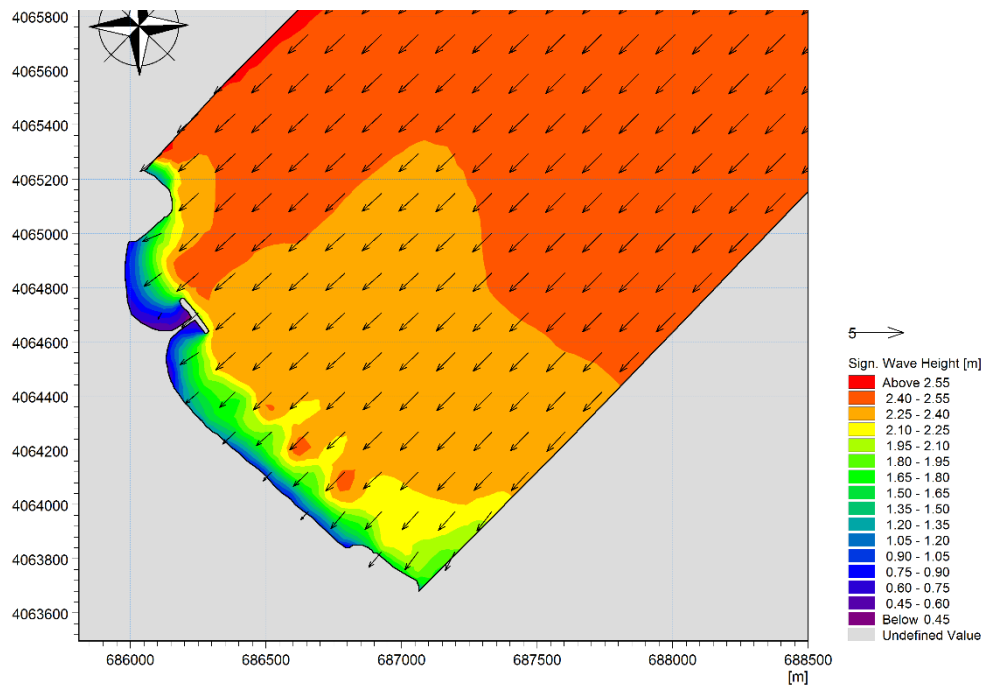


Figure 68: Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

3.2.3. Action de la houle N45 :

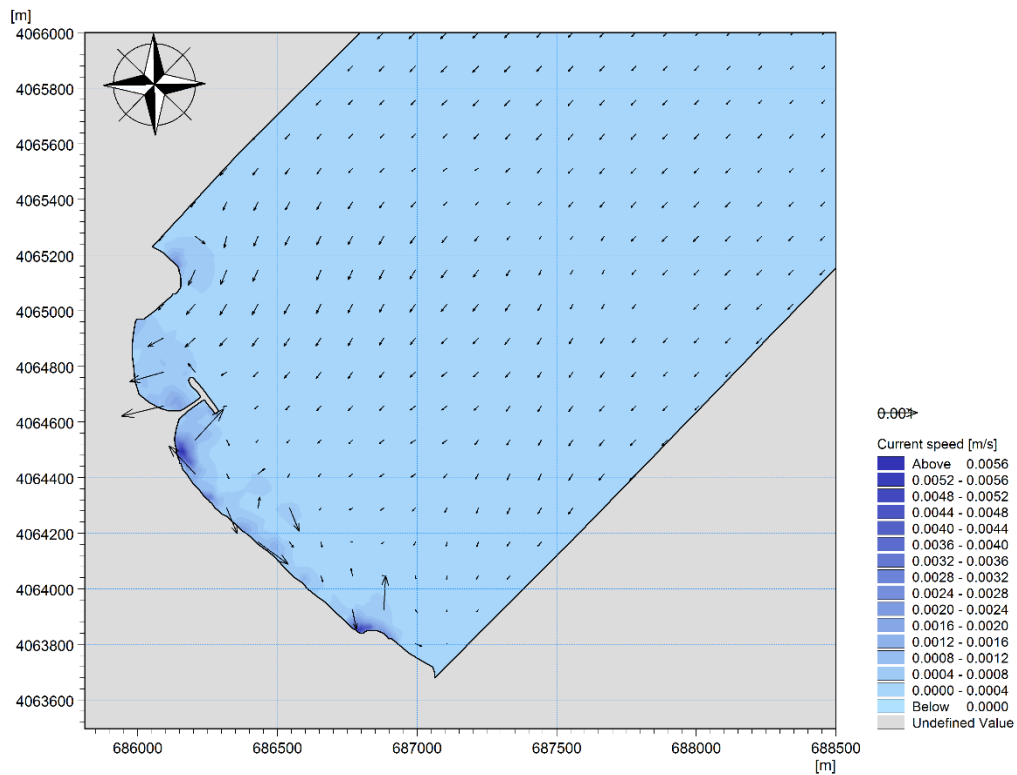


Figure 69: Résultats de courantologie sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

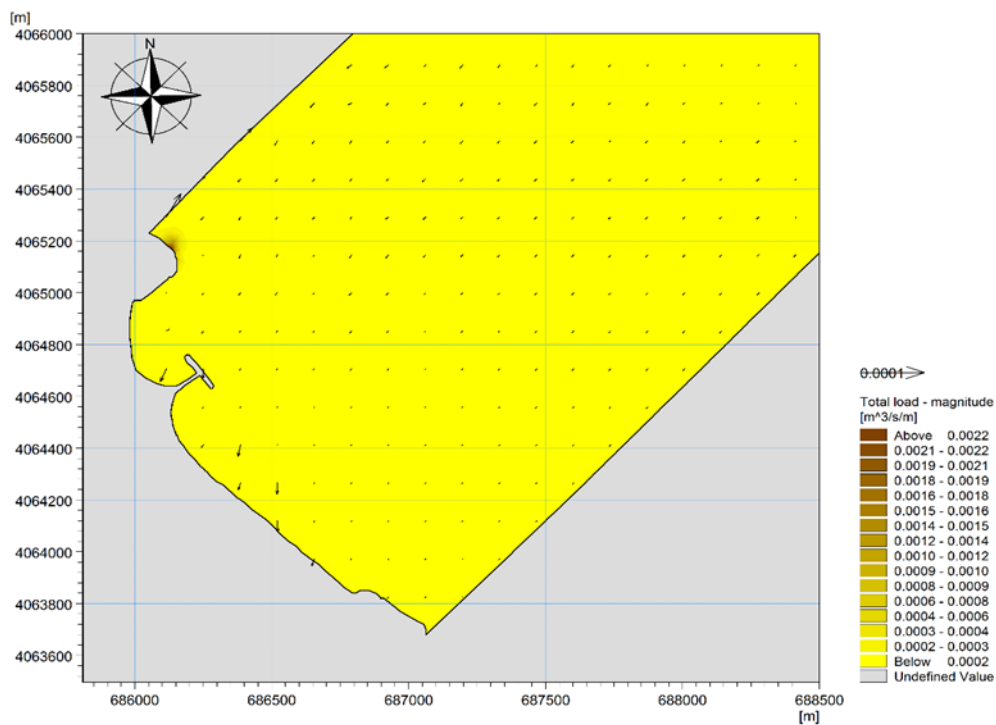


Figure 70 : Résultats de transport sédimentaire de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 4 géotubes

3.2.4. Action de la houle N60 :

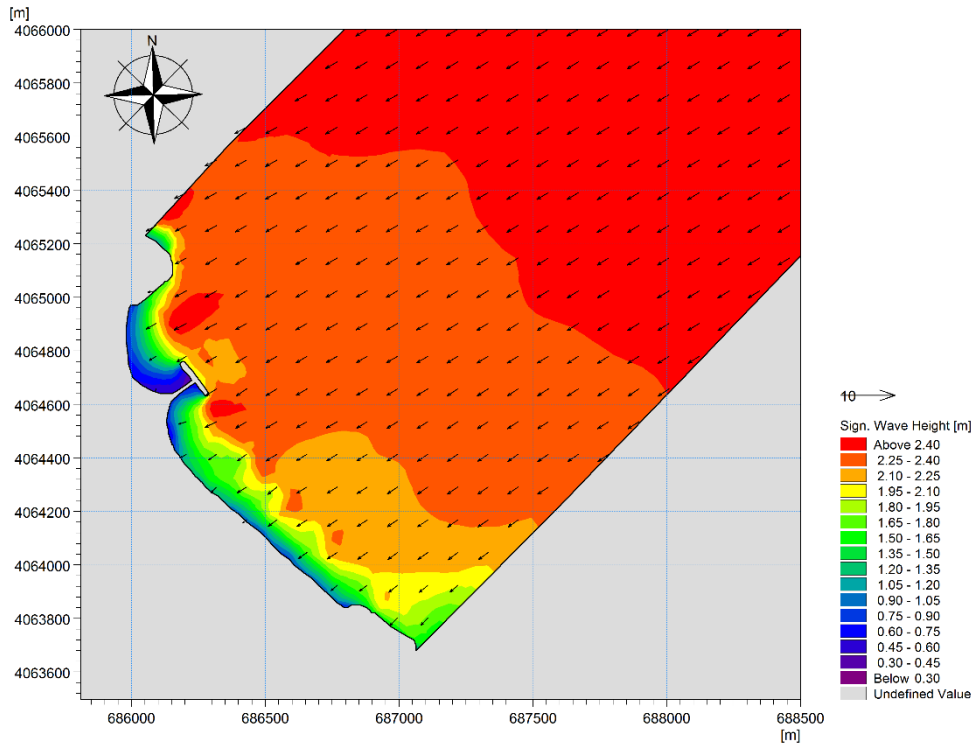


Figure 71: Résultats de réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 géotubes

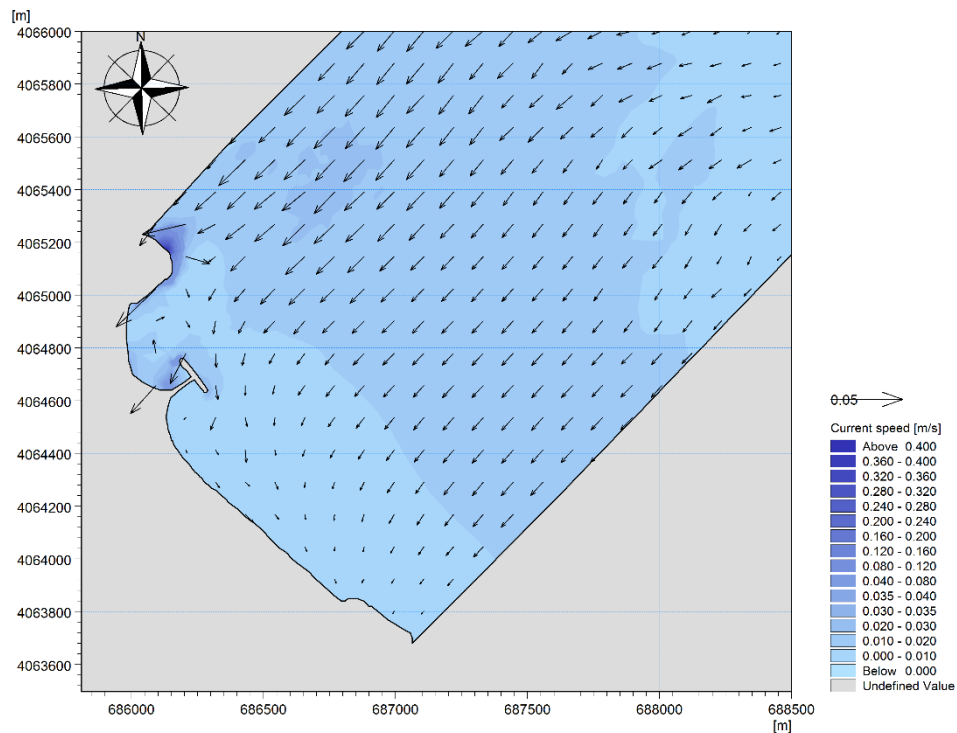
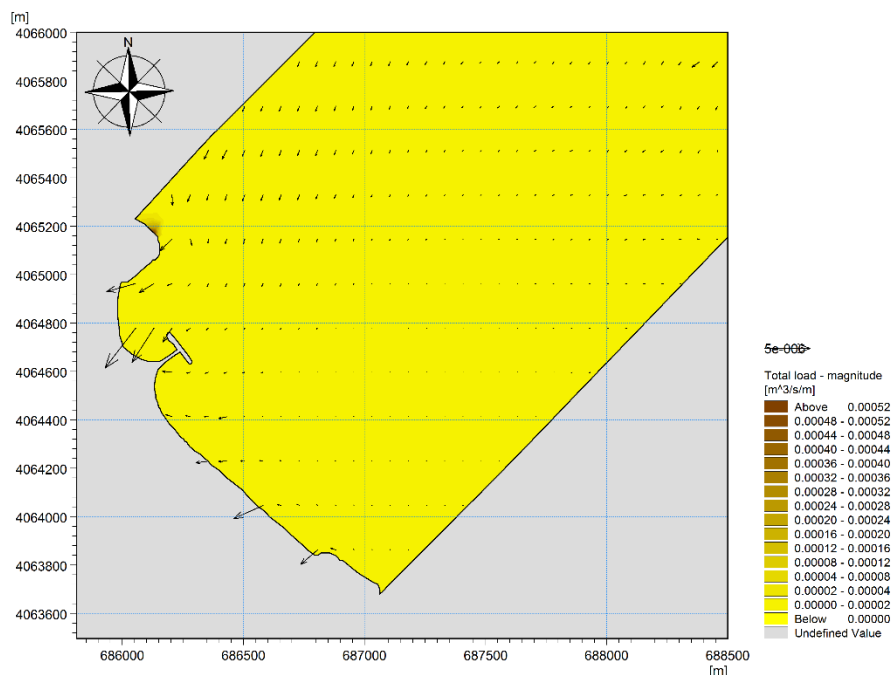


Figure 72: Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 géotubes



**Figure 73:** Résultats de transport sédimentaire de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 géotubes

Commentaire :

Concernant l'intensité des houles pour chaque direction le même principe s'applique que pour les brises lames, juste que pour les géotubes on remarque une très faible mobilité sédimentaire. Et pour les houles de direction N45° et N60° on distingue un déferlement de la houle (de 2.5 m jusqu'au environ de 1m de hauteurs de houles). Mais qui est plus au moins remarquable pour la direction N20° vu son exposition par rapport aux ouvrages ; mais elles sont pas représenté comme un grand danger cela affecte pas l'efficacité de l'ouvrage.

### 3.3. Variante 3 : Epis

Elle consiste à une protection rigide qui consiste à implanter une série de 5 épis ; elles présentent une longueur unitaire de 140 m et un espacement entre les épis de 200 m ; orienté perpendiculairement à la cote. Leur fonction s'agit de piéger les sédiments et s'ils marchent bien il peut en résoudre des tombolos.

Les brise-lames en enrochement est caractérisé par :

- Une cote d'arase de +1.00 m ;
- Une carapace d'enrochement (2-5t) avec une épaisseur de 2.50m et une pente de 3/2.
- Un noyau en TVC (0.5-1t) avec une pente de 3/2 posée sur un tapis anti affouillement en enrochement naturels(200-500kg) ;
- Une largeur de crête de 11m.

#### 3.3.1. Dimensionnement :

##### 3.3.1.1. La longueur :

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

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

##### 3.3.1.2. Espacement des épis :

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

En notant  $\alpha$  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 la racine de l'épi et le trait de côte moyen recherché, la longueur L de l'épi, et l'espacement E entre deux épis doivent vérifier la relation suivante, obtenue à partir d'une approche théorique simplifiée.

$$E < (L - A) \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (10)$$

3.3.1.3. Action de la houle N 20 :

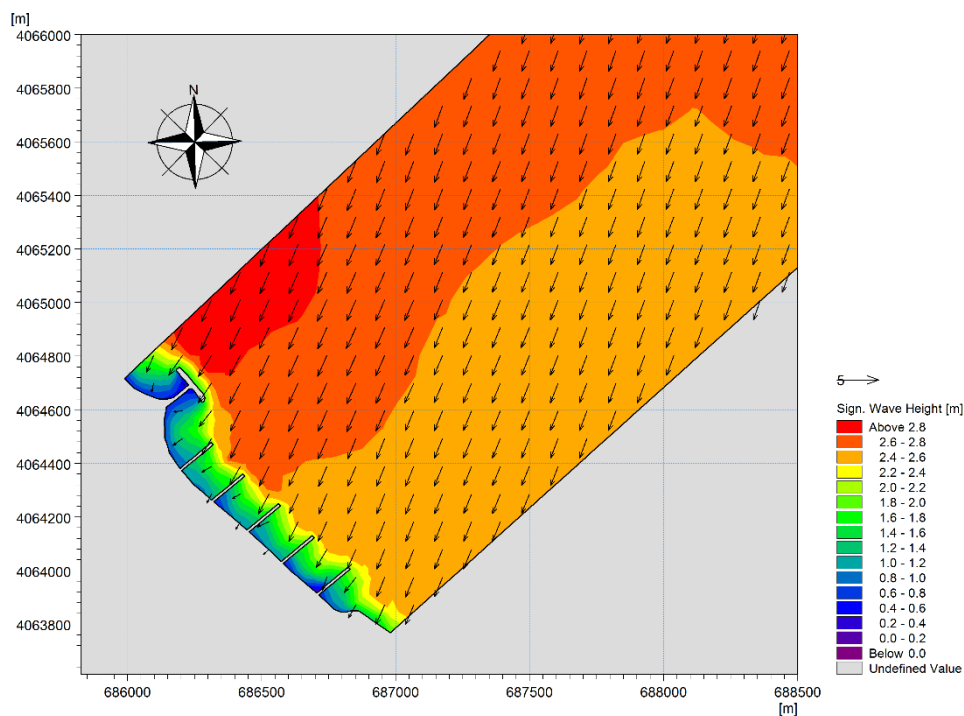


Figure 74: Résultats de réfraction de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

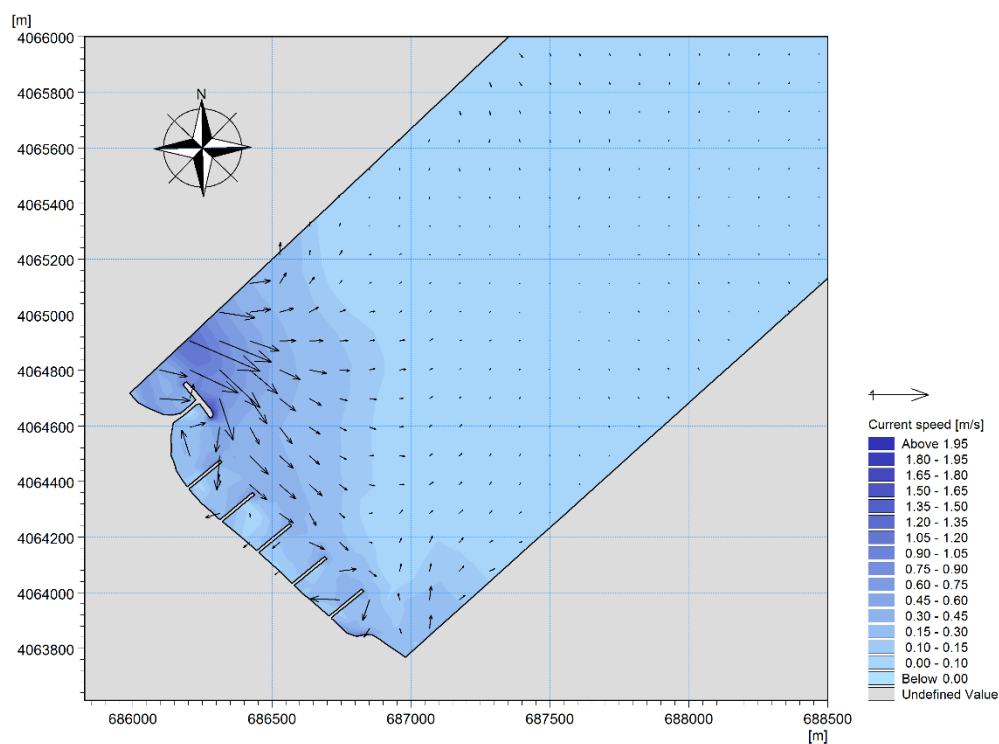


Figure 75: Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

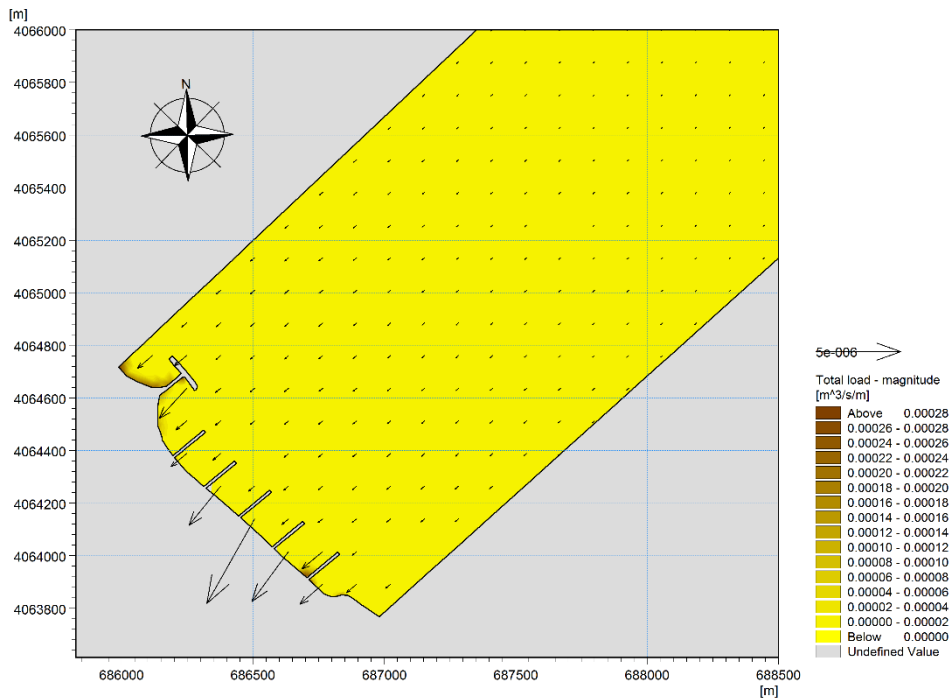


Figure 76: Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

3.3.2. Action de la houle N 45 :

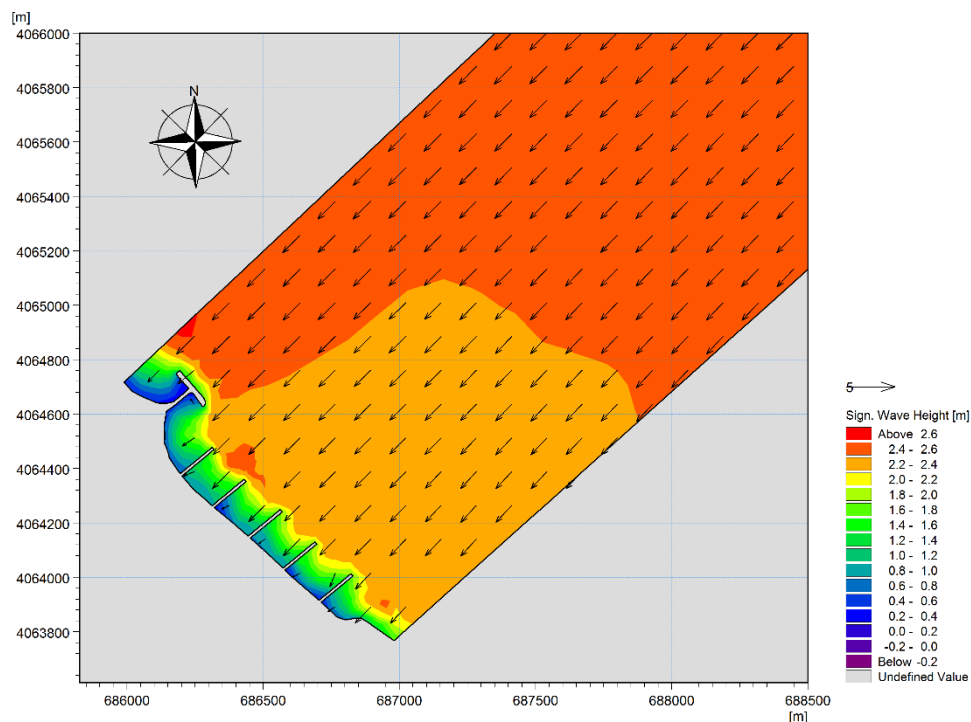


Figure 77: Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

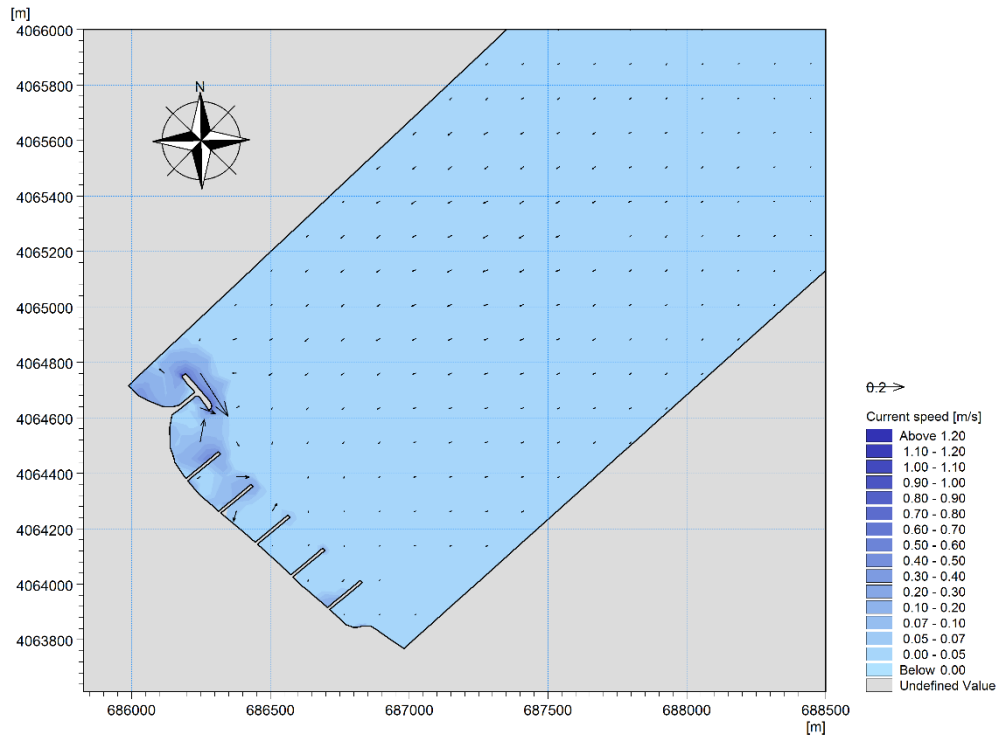


Figure 78: Résultats de courantologie de la houle Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

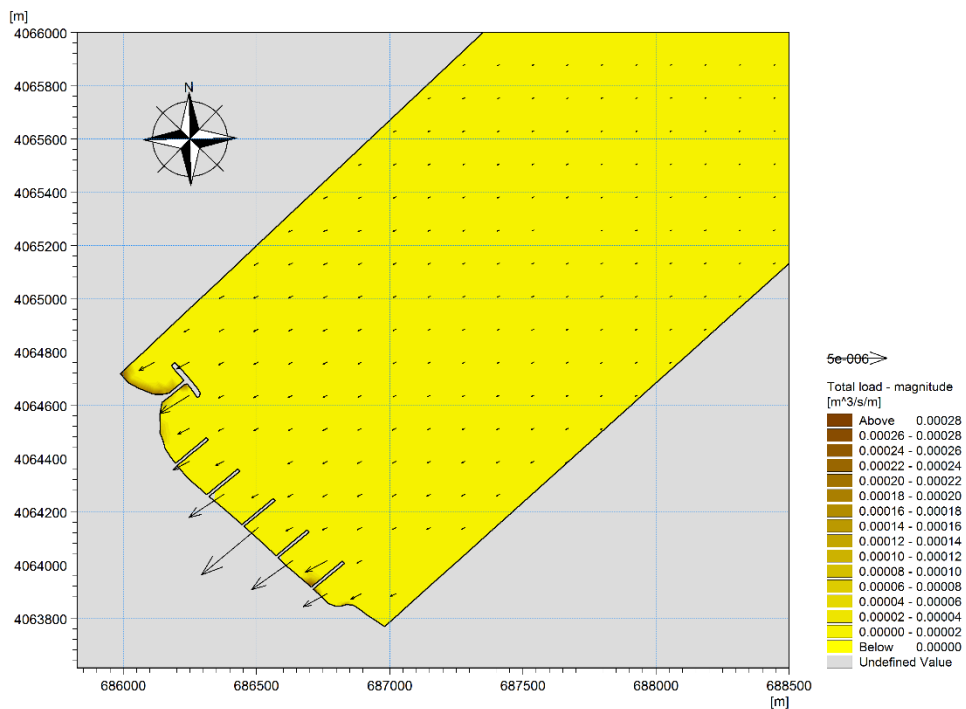


Figure 79 : Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

3.3.2.1. Action de la houle N 60 :

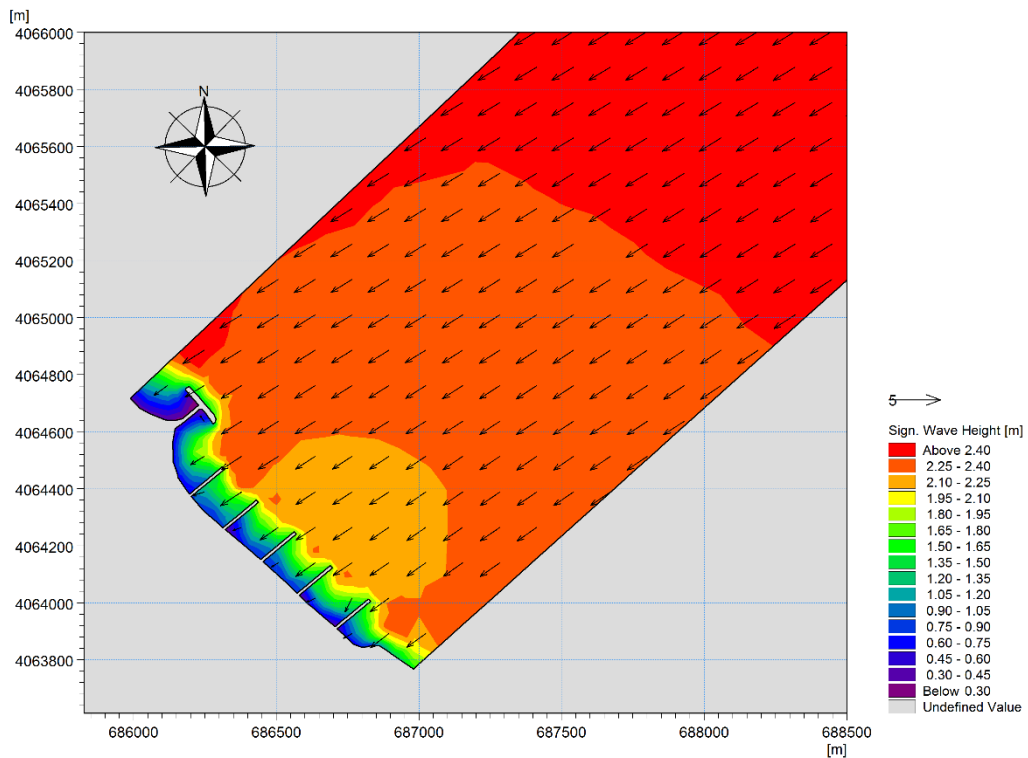


Figure 80: Résultats réfraction de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

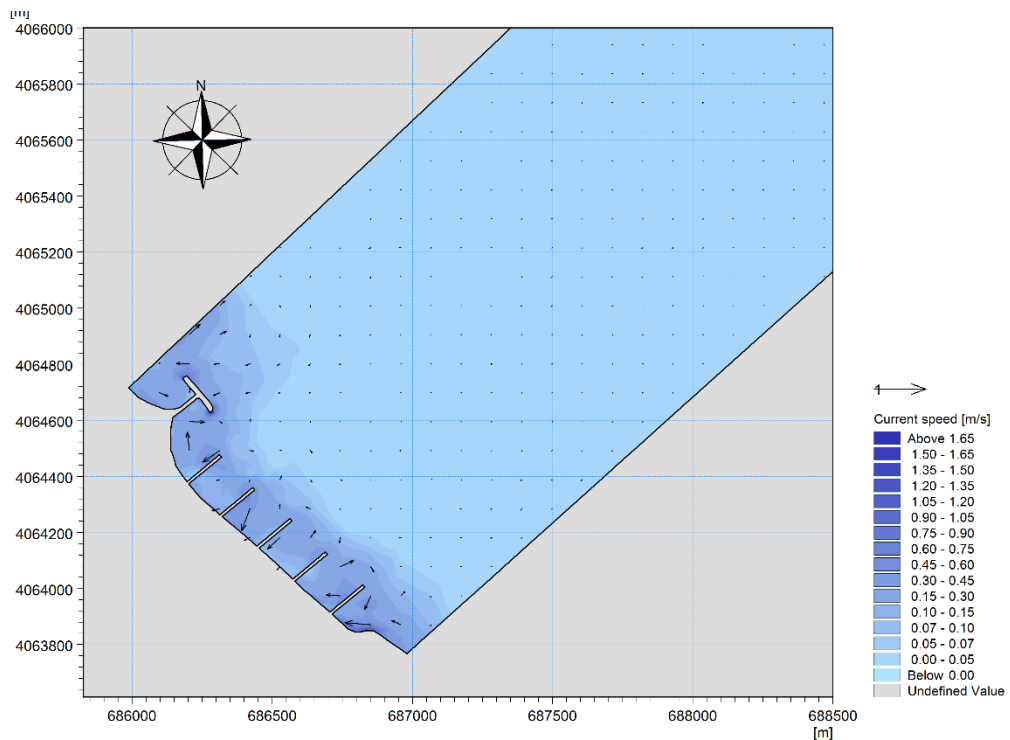
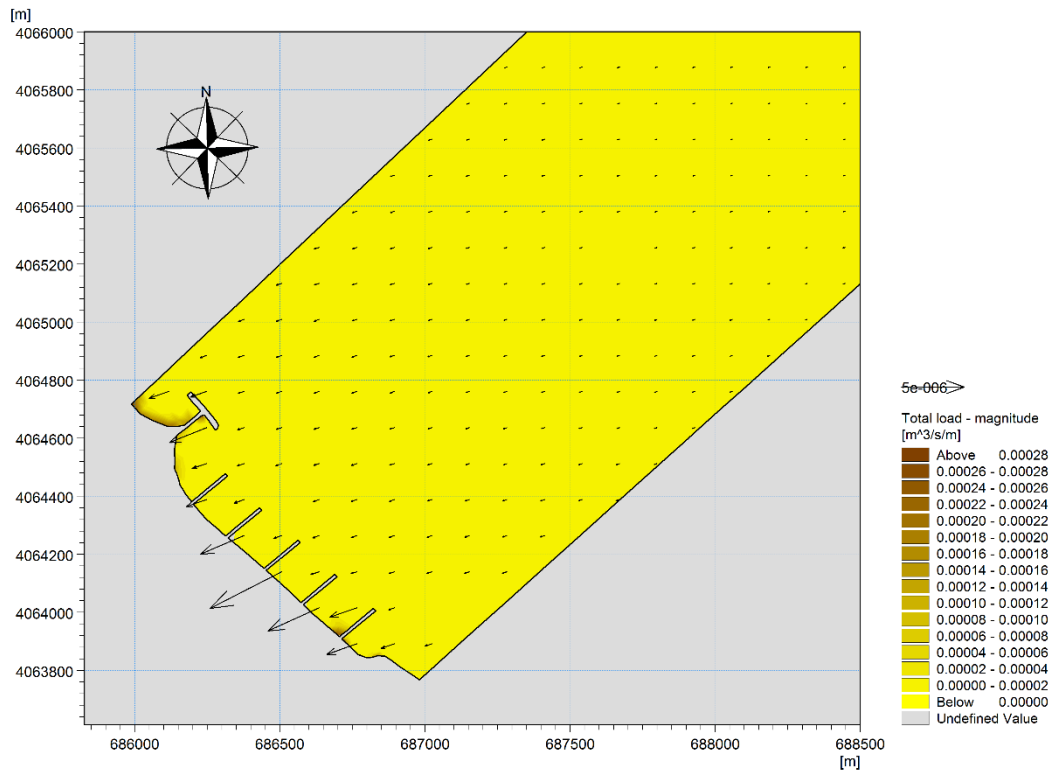


Figure 81: Résultats de courantologie de la houle Nord 60° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis



**Figure 82:** Résultats de transport sédimentaire Nord 20° incidente à la plage de la Club Hippique avec implantation de 5 épis

Commentaires :

Une déviation de la houle de direction N20° ce qui entraine une dissipation de cette dernière, par contre les autres directions les épis y sont parallèle donc presque aucun effet sur l'intensité des houles, et supposant qu'une accumulation se produise aucune chance à ce qu'il y a formation de tombolo vu que les conditions hydrodynamiques n'y seront pas favorables et que la série d'épis n'y sois pas un obstacle.

**Tableau 9:** tableau représentatif des différents aspects de chaque variante proposée.

Variant es	Type	Aspect visuelle	Aspect environnemental	Impact	Avantages	Inconvénients
Variant e 01	Brises lames	Présence d'un changement	-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.  - Joue un rôle d'un mur de protection contre les vagues	-couts relativement faible.  -durabilité  -entretien facile  -Sécurité pour la navigation (visible)	-délai de réalisation important       - moyennement esthétique
Variant e 02	Géotubes et recharges	Aucun changement	- Formation des nouveaux écosystèmes peuplés (faune, flore).	- provoque une dissipation de l'énergie de la houle avant son déferlement sur la plage	- entretien plus ou moins facile  - Sécurité des estivants  -Esthétique	- couts de réalisation important  - danger pour la navigation pour les embarcations ayant un tirant d'eau supérieur à 1.5m  - Durabilité réduite

				- maintien des matériaux de rechargement ainsi que l'augmentation de la largeur de la plage.		
Variant e 03	Epis	Présence d'un changement	-Possibilité de formation et l'adaptation des écosystèmes peuplés sur l'ouvrage.	- Joue un rôle d'obstacle pour le transport sédimentaire transversal.  - Piégeage des sédiments et probabilité de formation de tombolo	- entretien facile  - durabilité  - Sécurité pour la navigation (visible	- délai de réalisation important          - moyennement esthétique          - couts de réalisation assez important

**Commentaire :** Sur la base des éléments de comparaison rapportés ci-dessus, et au vu de l'appréciation attribuée, on recommande la variante 01 qui se distingue favorablement.

**Exploitation des carrières :**

Les zones industrielles de Bejaia est classé 3ème pôle industriel de l'Est Algérien ; après Annaba et Constantine. Elle est située à l'Est de la ville de Bejaia et s'étend sur plus de 228ha

L'ACL de Bejaia et le couloir de la Soummam concentrent la plus grande partie des unités industrielles. Ils regroupent les infrastructures les plus importantes.

Cinq carrières sont localisé au niveau des communes côtières de la wilaya de BEJAIA. Elles se présentes comme suit :

**Tableau 10:** localisation des carrières de la wilaya de Béjaïa (LEM...2019)

Tableau Communes	Localisation	Superficie	Nature et destination de la substances
Bejaia	le lieu Adrar Oufernou (parc national de Gouraya)	41 ha	Calcaires pour agrégats routiers et de construction
Bejaia	le lieu loubard 1(parc national Gouraya)	/	Calcaires pour agrégats routiers et de construction
Bejaia	le lieu loubard 2(parc national Gouraya)	20.25 ha	Calcaires pour agrégats routiers et de construction
Bejaia	le lieu Brirouche	8 ha	Calcaires pour agrégats routiers et de construction
Toudja	le lieu Agredj Abdellah	03 ha	Calcaires pour agrégats routiers et de construction

A l'exception de celle de Toudja toutes les carrières sont situées à moins de 3km de la côte.

On attribue les notations :(A) favorable, (B) peu favorable et (C) défavorable, on aboutit au tableau ci-après.

Tableau 11: comparaison des variantes

Variantes Critères	Variante 1 Brise-lames en enrochements	Variante 2 Rechargement + géotubes	Variante 3 Série d'épis
Délai de réalisation	C	C	C
Coûts de réalisation	A	C	B
Durabilité	A	B	A
Sécurité des estivants	B	A	B
Sécurité de la navigation nautique	A	C	A
Entretien	B	C	B
Esthétique	B	A	C
Efficacité	A	B	C
Notation globale reçue	$4A+3B+1C$	$2A+2B+3C$	$2A+3B+3C$

Sur la base des critères sus cités et de la notation reçue avec un total de  $4A+3B+1C$ , la variante 1 se détache favorablement des deux autres variantes car elle intègre en plus les critères mentionnés précédemment dans le tableau.

#### Conclusion :

Ce chapitre a donné comme synthèse la variante la plus adéquate à la problématique présente dans notre zone d'étude. Malgré que les géotubes est la solution la plus harmonieuse pour le paysage mais les résultats obtenus pour les brises lames sont plus satisfaisants.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Les effets de l'érosion que subissent les côtes algériennes se manifestent essentiellement sous forme de l'avancée de la mer, celle-ci est principalement liée à l'intervention anthropique, laquelle induit des effets négatifs sur l'équilibre géomorphologique de ces régions.

L'érosion présente sur notre zone d'étude à commencer lors de l'extraction sauvage et abusive de sable ; ce qui a directement un impact sur la ligne de rivage cela depuis les années soixante-dix ; puis viens l'installation de la série d'épis au niveau de la plage Sidi Ali Lbher à l'Ouest de la piste d'atterrissage de l'aéroport ; ce qui certes à amener à une accumulation a leurs sièges mais a causé le phénomène inverse au niveau de la plage Club Hippique qui veut dire une érosion quasi irrémédiable.

On a entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinée des logiciels DSAS et ArcGIS). Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation.

L'analyse diachronique de la cinématique du trait de côte, a montré que ce littoral a été fortement sollicité depuis plusieurs décennies. Celles-ci ont interféré avec la dynamique hydro sédimentaire du système côtier et causé une forte érosion de notre zone d'étude avec un taux de recul moyen de l'ordre de -4.6m/an allant de 1985 à 2021, avec une perte de 0.9 ha de sa surface d'évolution. L'état environnemental actuel, fortement dégradé de ce littoral, présage des difficultés majeures à s'adapter. Et la projection du trait de côte jusqu'à l'an 2050 nous a permis de comprendre la gravité de la situation si aucune initiative soit prise dans les brefs délais.

L'étude de réfraction de la houle ayant pour but d'exploiter les caractéristiques de la houle au large afin de définir les caractéristiques de la houle à la côte. On a utilisé le modèle numérique Mike 21, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle de notre zone d'étude. Cette modélisation nous a renseignés sur le fond de nos zones d'études qui se caractérise généralement par une morphologie plus ou moins régulière. Et du fais du déséquilibre hydro sédimentaire du Club hippique, le mouvement hydrodynamique s'est intensifié et s'est fait ressentir ; comme en témoigne de la situation actuelle de la plage.

La synthèse des études réalisées à travers ce mémoire, ont permis de proposer trois variantes de protection pour la plage du Club Hippique : batterie de quatre brises lames émergés et une autre de cinq géotube immergés avec rechargement ; et une série de cinq épis.

Après l'étude menée sur les différentes variantes possibles pour la protection de la plage Club Hippique ; on estime que la meilleure protection est celle des brise-lames émergés vu qu'elle correspond le mieux aux critères qu'on a mis en œuvre (coûts ; durabilité ; efficacité ; ...); concernant les géotubes certes c'est une technique douce et esthétique mais qui n'est pas forcément favorable pour notre plage en termes de cout et de l'efficacité. Si on opte pour la série d'épi cela causera un autre déséquilibre à l'aval de ces derniers et engendrera une érosion importante et accentuera sa propagation aux plages voisines qui se trouvent à l'Est.

Il reste à noter que notre étude, qui est une approche théorique du problème nécessite d'autres études afin d'optimiser les résultats

- Des ortho images avec une résolution centimétrique de la zone d'intérêt.
- Données sur le climat et des houles au large et à la cote.
- Des cartes bathymétriques et des levées topographiques plus précises et plus récentes.
- Des vérités terrain.
- Encouragement du partage des données dans le cadre de la recherche scientifique.

# Référence :

- **Ahfir, Y. Meziane, I., (2016).** Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa, Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj. *Mémoire d'ingénieur. Aménagement Du Littoral Alger. Algérie ; ENSSMAL. P 38-40.*
- **Aoudj.C Bouaziz. T. (2014) :** Fonctionnement morpho sédimentaire du littoral est de Béjaïa, *Mémoire d'ingénieur. Aménagement Du Littoral Alger. Algérie ; ENSSMAL.P 70-86-95.*
- **Aoudj.C., Bachari.F., Lemqeddem.K., Damnati.B., Hantal.A., Bachari.N., Mezhoud.A., Belkessa.R.(2018) :** comparaison de l'évolution morphologique entre les littoraux de : Béjaïa (Nord Est Algérien) et Saïdia (Nord Est Marocain), *XVème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil La Rochelle, 29 au 31 mai 2018, P.P.158-163.*
- **Assogba. L., (2018),** Etude de la dynamique du trait de côte et des stratégies de gestion du risque d'érosion côtière : cas de Cotonou au Bénin de 1955 à 2018. PFE., *Faculté des Sciences. P10-11-12-14. [En ligne]. [Consulté le 5.06.2021]. Disponible sur le web : <http://hdl.handle.net/2268.2/5569>.*
- **Ayadi.K., Boutiba.M., Sabatier.S., Guettouche.M,(2015):** Detection and analysis of historical variations in the shoreline, using digital aerial photos, satellite images, and topographic surveys DGPS: case of the Béjaïa bay (East Algeria), *10 September 2015.PP 3-9.*
- **Bachari. N., Bachari. F., Amarouche. K., (2017):** Combination of Satellite Images and Numerical Model for the State Followed the Coast of the Bay of Bejaïa-Jijel, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO) is an international, multidisciplinary, peer reviewed, open access journal. 1 January 2017, PP 2,5.*
- **Belkessa.R, (2021),** Réchauffement climatique. *Cour de changement climatique 5eme année gestion et protection de littoral, ENSSMAL 2020, P.P.1-3.*
- **Bellabad F. (2020).** Etude de l'évolution surfacique et volumétrique du cordon dunaire d'el kadous (commune de Heraoua) ; *Mémoire d'ingénieur. Gestion Et Protection Du Littoral Alger. Algérie ; P 43 ,44.*
- **Benallou I, (2020).** Evaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri : Vulnérabilité et adaptation. *Mémoire d'ingénieur. Gestion Et Protection Du Littoral Alger. Algérie. P 18,40,76,77.*

- **Berkani B, Dahmani k. (2017).** La vulnérabilité de la zone côtière de Ain Taya (Alger Est) faces aux changements climatiques et actions anthropiques. *Mémoire d'ingénieur. Aménagement Du Littoral Alger. Algérie ; ENSSMAL.* P 57,60,61,65.
- **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, P.P.15- 21.*
- **Dahmani. A, (2019).**, Notes de cours de Génie Côtier. *Cour de génie côtier 4eme année Gestion et Protection de littoral, ENSSMAL.*
- **DHI (2014).** Mike 21/3 Coupled Model FM. [En ligne]. [Consulté le 13.03.2017]. Disponible sur le web : [www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE\\_213\\_Coupled\\_Model\\_FM.pdf](http://www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf)
- **Djouder, F., Boutiba, M. (2017).** Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise from the physical and socioeconomic parameters: case of the Gulf Coast of Bejaia, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 10, no 14, Springer, 299 p.
- **Djouder. F. (2018) :** évaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer méditerranée sur le littoral du golfe de Bejaïa. *Thèse de Doctorat. Gestion Et Protection Du Littoral Alger. Algérie P.P51-59.*
- **Keraghel.M, (2021).**, Application sur l'étude de l'évolution du trait de côte (extension DSAS sur Arc Gis). *Cour de cartographie, ENSSMAL 2021, p04.*
- **LEM. (2019) :** étude de protection du rivage club hippique de Béjaïa. Rapport de LEM : mission 03 : étude d'impact sur l'environnement. Non publier. Alger. LEM.
- **LEM. (2019) :** étude de protection du rivage club hippique de Béjaïa. Rapport de LEM : mission 04 : avant-projet. Non publier. Alger. LEM.
- **Mezouar.K, (2019).**, l'évolution de la houle, *Cour d'hydrodynamique de 4eme année gestion et protection du littoral, ENSSMAL. P3.*
- **Manuel d'ArcGIS.** Créer une surface TIN—ArcGIS Pro | Documentation [en ligne]. [Consulté le 15/10/2020]. Disponible sur le web : « URL <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/data/tin/create-a-tin-surface.htm> (accessed 10.15.20) ».
- **Paskoff, R. (2010).** Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution. Paris : Armand Colin, 260 p.
- **Paskoff R., (1998).** Côtes en danger. Paris : L'Harmattan. 250p.
- **Paskoff, R. (2001).** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers : le mythe et la réalité. Paris : Institut océanographique 191.p.

- **Refes, W. (2011) :** Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. *Thèse de Doctorat. Gestion Et Protection Du Littoral Alger. Algérie.* P40.
- [https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/b%c3%a9ja%c3%afa\\_alg%c3%a9rie\\_2505329](https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/b%c3%a9ja%c3%afa_alg%c3%a9rie_2505329)

# Annexes

## la table attributaire de transect de 1985 à 2021

TransOrder	SHAPE_Length	SCE	NSM	EPR (Erosion)	EPR (Ac)	EPRunc	LRR	LR2	LSE	LCI90	WLR	WR2
1	260,874791	131,58	-131,58	-4,39		0,24	-4,39	1	1,18	0,35	-4,39	1
2	265,339804	154,48	-154,48	-4,54		0,21	-4,6	0,98	9,17	0,81	-4,6	0,98
3	85	167,47	-161,64	-4,49		0,2	-4,61	0,98	8,5	0,54	-4,61	0,98
4	266,765269	164,84	-160,96	-4,47		0,2	-4,59	0,98	8,93	0,57	-4,59	0,98
5	275,323962	168,29	-161,64	-4,49		0,2	-4,63	0,98	8,49	0,54	-4,63	0,98
6	281,830293	175,12	-168,71	-4,69		0,2	-4,7	0,98	10,4	0,67	-4,7	0,98
7	284,479607	184,49	-169,86	-4,72		0,2	-4,86	0,98	10,71	0,69	-4,86	0,98
8	288,58272	184,88	-167,46	-4,65		0,2	-4,89	0,98	9,51	0,61	-4,89	0,98
9	291,570837	191,28	-168,33	-4,68		0,2	-4,97	0,98	11,05	0,71	-4,97	0,98
10	295,076948	193,58	-173,3	-4,81		0,2	-5,09	0,98	10,4	0,67	-5,09	0,98
11	301,635717	197,62	-177,12	-4,92		0,2	-5,2	0,98	10,19	0,65	-5,2	0,98
12	305,293639	203,86	-183,37	-5,09		0,2	-5,37	0,98	9,34	0,6	-5,37	0,98
13	305,15426	204,63	-184,81	-5,13		0,2	-5,4	0,99	8,58	0,55	-5,4	0,99
14	305,524483	205,34	-188,45	-5,23		0,2	-5,44	0,99	7,97	0,51	-5,44	0,99
15	306,192436	205,47	-190,83	-5,3		0,2	-5,5	0,99	6,94	0,44	-5,5	0,99
16	303,390711	202,73	-192,16	-5,34		0,2	-5,53	0,99	5,92	0,38	-5,53	0,99
17	302,948121	202,89	-190,15	-5,28		0,2	-5,56	0,99	8,8	0,56	-5,56	0,99
18	303,189563	203,16	-189,81	-5,27		0,2	-5,65	0,98	10,28	0,66	-5,65	0,98
19	304,441266	203,85	-194,5	-5,4		0,2	-5,71	0,99	9,82	0,63	-5,71	0,99
20	306,352061	205,76	-197,29	-5,48		0,2	-5,71	0,99	7,13	0,46	-5,71	0,99
21	308,673379	207,69	-196,71	-5,46		0,2	-5,75	0,99	7,85	0,5	-5,75	0,99
22	310,222896	209,77	-195,5	-5,43		0,2	-5,76	0,99	8,23	0,53	-5,76	0,99
23	311,513026	211,3	-194,91	-5,41		0,2	-5,74	0,99	8,45	0,54	-5,74	0,99
24	309,542197	205,11	-191,19	-5,31		0,2	-5,63	0,99	7,17	0,46	-5,63	0,99
25	304,159822	196,1	-184,12	-5,11		0,2	-5,48	0,99	7,61	0,49	-5,48	0,99
26	296,757468	176	-145,53	-4,04		0,2	-4,7	0,93	18,68	1,2	-4,7	0,93
27	289,465779	170,94	-120,33	-3,34		0,2	-3,51	0,72	30,96	1,99	-3,51	0,72
28	281,503981	159,86	-113,95	-3,17		0,2	-3,23	0,67	31,86	2,04	-3,23	0,67
29	270,612981	142,42	-112,95	-3,14		0,2	-3,15	0,71	28,05	1,8	-3,15	0,71
30	261,375432	143,9	-112,32	-3,12		0,2	-3,13	0,7	28,85	1,85	-3,13	0,7
31	251,250966	145,35	-111,95	-3,11		0,2	-3,14	0,69	29,37	1,88	-3,14	0,69
32	246,915451	146,9	-113	-3,14		0,2	-3,2	0,7	29,36	1,88	-3,2	0,7
33	248,639343	148,62	-120,67	-3,35		0,2	-3,33	0,73	28,41	1,82	-3,33	0,73

34	250,366882	150,35	-124,44	-3,46		0,2	-3,4	0,74	28,13	1,8	-3,4	0,74
35	252,112902	152,09	-128,38	-3,57		0,2	-3,52	0,77	27,21	1,74	-3,52	0,77
36	253,846398	153,82	-131,21	-3,64		0,2	-3,57	0,77	27,22	1,75	-3,57	0,77
37	255,600493	155,58	-132,5	-3,68		0,2	-3,66	0,79	26,49	1,7	-3,66	0,79
38	256,731912	156,52	-133,71	-3,71		0,2	-3,74	0,8	26	1,67	-3,74	0,8
39	258,931931	158,39	-136,86	-3,8		0,2	-3,79	0,81	25,7	1,65	-3,79	0,81
40	266,335274	161,31	-138,47	-3,85		0,2	-3,89	0,85	23,16	1,48	-3,89	0,85
41	278,735081	168,83	-140,59	-3,91		0,2	-3,99	0,85	23,82	1,53	-3,99	0,85
42	289,223322	175,68	-153,86	-4,27		0,2	-4,39	0,89	21,46	1,38	-4,39	0,89
43	299,396713	180,57	-168,76	-4,69		0,2	-4,91	0,95	16,36	1,05	-4,91	0,95
44	307,898817	200,24	-190,95	-5,3		0,2	-5,54	0,99	9,61	0,62	-5,54	0,99
45	312,875756	211,38	-198,52	-5,51		0,2	-5,79	0,99	8,89	0,57	-5,79	0,99
46	315,625812	215,16	-198,85	-5,52		0,2	-5,86	0,98	10,74	0,69	-5,86	0,98
47	318,49971	217,4	-201,83	-5,61		0,2	-5,96	0,98	11,12	0,71	-5,96	0,98
48	320,842425	220,83	-207,18	-5,75		0,2	-6,11	0,99	10,59	0,68	-6,11	0,99
49	323,136661	222,52	-208,04	-5,78		0,2	-6,13	0,98	10,86	0,7	-6,13	0,98
50	327,497197	227,32	-211,96	-5,89		0,2	-6,27	0,98	11,46	0,73	-6,27	0,98
51	331,227925	231,19	-215,49	-5,99		0,2	-6,38	0,98	11,23	0,72	-6,38	0,98
52	335,700124	230,08	-219,88	-6,11		0,2	-6,44	0,99	10,91	0,7	-6,44	0,99
53	339,991227	234,71	-222,44	-6,18		0,2	-6,52	0,98	11,99	0,77	-6,52	0,98
54	345,11675	240,25	-229,49	-6,37		0,2	-6,66	0,98	11,71	0,75	-6,66	0,98
55	350,833642	242,51	-231,94	-6,44		0,2	-6,74	0,98	12,64	0,81	-6,74	0,98
56	354,706273	254,39	-234,77	-6,52		0,2	-6,93	0,98	13,9	0,89	-6,93	0,98
57	359,503824	255,69	-237,72	-6,6		0,2	-7,02	0,98	13,89	0,89	-7,02	0,98
58	361,659535	259,1	-236,07	-6,56		0,2	-7,06	0,98	15,6	1	-7,06	0,98
59	364,1141	263,88	-241,22	-6,7		0,2	-7,22	0,98	15,86	1,02	-7,22	0,98
60	367,451816	261,72	-244,29	-6,79		0,2	-7,28	0,97	16,48	1,06	-7,28	0,97
61	371,675558	271,03	-248,9	-6,91		0,2	-7,45	0,98	15,63	1	-7,45	0,98
62	376,909416	275,35	-256,4	-7,12		0,2	-7,59	0,98	14,35	0,92	-7,59	0,98
63	381,834066	281,1	-264	-7,33		0,2	-7,79	0,98	15,35	0,98	-7,79	0,98
64	386,049803	286,03	-265,8	-7,38		0,2	-7,88	0,98	16,25	1,04	-7,88	0,98
65	388,296559	287,89	-272,6	-7,57		0,2	-7,99	0,98	14,83	0,95	-7,99	0,98
66	392,150271	290,3	-275,25	-7,65		0,2	-8,07	0,98	14,47	0,93	-8,07	0,98
67	396,378226	294,44	-277,75	-7,72		0,2	-8,09	0,98	16,01	1,03	-8,09	0,98
68	401,298288	299,91	-279,12	-7,75		0,2	-8,18	0,98	17,23	1,11	-8,18	0,98
69	404,607247	300,9	-280,92	-7,8		0,2	-8,24	0,98	17,68	1,13	-8,24	0,98
70	405,823026	305,1	-285,02	-7,92		0,2	-8,33	0,98	17,69	1,13	-8,33	0,98
71	406,40095	306,01	-287,45	-7,98		0,2	-8,37	0,98	17,63	1,13	-8,37	0,98
72	409,121857	308,66	-289,44	-8,04		0,2	-8,43	0,98	17,57	1,13	-8,43	0,98
73	410,935719	310,71	-293,56	-8,15		0,2	-8,52	0,98	17,86	1,14	-8,52	0,98
74	414,048439	313,31	-296,36	-8,23		0,2	-8,6	0,98	18,12	1,16	-8,6	0,98

75	418,024155	315,34	-298,62	-8,29		0,2	-8,65	0,98	18,36	1,18	-8,65	0,98
76	421,962638	319,19	-304,42	-8,46		0,2	-8,76	0,98	17	1,09	-8,76	0,98
77	425,400114	323,12	-304,6	-8,46		0,2	-8,79	0,98	18,46	1,18	-8,79	0,98
78	425,008247	323,77	-309,95	-8,61		0,2	-8,85	0,98	17,47	1,12	-8,85	0,98
79	429,531269	325,54	-311,75	-8,66		0,2	-8,92	0,98	17,13	1,1	-8,92	0,98
80	432,341959	330,88	-313,59	-8,71		0,2	-9,02	0,98	16,92	1,08	-9,02	0,98
81	433,845658	333,85	-311,85	-8,66		0,2	-9,05	0,98	18,15	1,16	-9,05	0,98
82	434,681787	328,21	-319,22	-8,87		0,2	-9,1	0,98	17,17	1,1	-9,1	0,98
83	436,779082	332,19	-320,08	-8,89		0,2	-9,17	0,98	18,17	1,17	-9,17	0,98
84	439,422164	331,99	-318,91	-8,86		0,2	-9,18	0,98	19,97	1,28	-9,18	0,98
85	441,335716	340,59	-319,83	-8,88		0,2	-9,28	0,98	20,79	1,33	-9,28	0,98
86	440,084542	336,73	-321,69	-8,94		0,2	-9,24	0,97	21,17	1,36	-9,24	0,97
87	438,64725	338,14	-321,99	-8,94		0,2	-9,23	0,97	21,63	1,39	-9,23	0,97
88	437,439821	336,72	-318,63	-8,85		0,2	-9,17	0,97	23,06	1,48	-9,17	0,97
89	436,059717	334,81	-319,28	-8,87		0,2	-9,14	0,97	23,52	1,51	-9,14	0,97
90	434,629971	330,39	-318,37	-8,84		0,2	-9,04	0,97	24,03	1,54	-9,04	0,97
91	431,311943	327,56	-314,21	-8,73		0,2	-8,92	0,96	25,01	1,6	-8,92	0,96
92	426,415152	324,18	-309,54	-8,6		0,2	-8,79	0,96	26,03	1,67	-8,79	0,96
93	421,160101	314,25	-303,95	-8,44		0,2	-8,57	0,95	26,65	1,71	-8,57	0,95
94	415,586221	304,28	-295,3	-8,2		0,2	-8,26	0,95	27,62	1,77	-8,26	0,95
95	407,593579	296,85	-287,32	-7,98		0,2	-7,95	0,94	29,27	1,88	-7,95	0,94
96	396,078016	289,18	-278,65	-7,74		0,2	-7,68	0,92	31,03	1,99	-7,68	0,92
97	386,843653	229,13	-124,7	-3,46		0,2	-2,31	0,2	65,32	4,19	-2,31	0,2
98	376,983203	232,33	-108,11	-3		0,2	-1,92	0,13	68,65	4,4	-1,92	0,13
99	372,305828	235,63	-110,67	-3,07		0,2	-1,96	0,14	69,49	4,46	-1,96	0,14
100	382,634802	238,09	-108,52	-3,01		0,2	-1,93	0,13	70,52	4,52	-1,93	0,13
101	392,210484	238,8	-109,49	-3,04		0,2	-1,99	0,14	70,4	4,51	-1,99	0,14
102	398,158257	239,62	-111,29	-3,09		0,2	-2,04	0,14	70,31	4,51	-2,04	0,14
103	402,693549	240,64	-113,54	-3,15		0,2	-2,1	0,15	70,29	4,51	-2,1	0,15
104	407,374163	241,77	-116,39	-3,23		0,2	-2,18	0,16	70,12	4,5	-2,18	0,16
105	410,373477	242,97	-118,94	-3,3		0,2	-2,23	0,17	70,24	4,5	-2,23	0,17
106	413,022774	303,27	-295,35	-8,2		0,2	-5,92	0,46	89,66	5,75	-5,92	0,46
107	413,699981	309,63	-299,13	-8,31		0,2	-8,27	0,86	46,99	3,01	-8,27	0,86
108	414,121355	311,5	-300,8	-8,36		0,2	-8,27	0,86	47,61	3,05	-8,27	0,86
109	413,216369	312,09	-299,78	-8,33		0,2	-8,22	0,85	48,37	3,1	-8,22	0,85
110	411,937265	311,14	-298,01	-8,28		0,2	-8,19	0,85	48,05	3,08	-8,19	0,85
111	410,408239	309,72	-295,41	-8,21		0,2	-8,11	0,85	48,16	3,09	-8,11	0,85
112	408,847498	308,28	-293,12	-8,14		0,2	-8,03	0,85	47,99	3,08	-8,03	0,85
113	405,42526	303,02	-291,58	-8,1		0,2	-7,96	0,85	46,82	3	-7,96	0,85
114	405,386279	304,36	-287,81	-7,99		0,2	-7,89	0,84	47,97	3,08	-7,89	0,84
115	405,676838	304,62	-283,53	-7,88		0,2	-7,79	0,83	48,92	3,14	-7,79	0,83

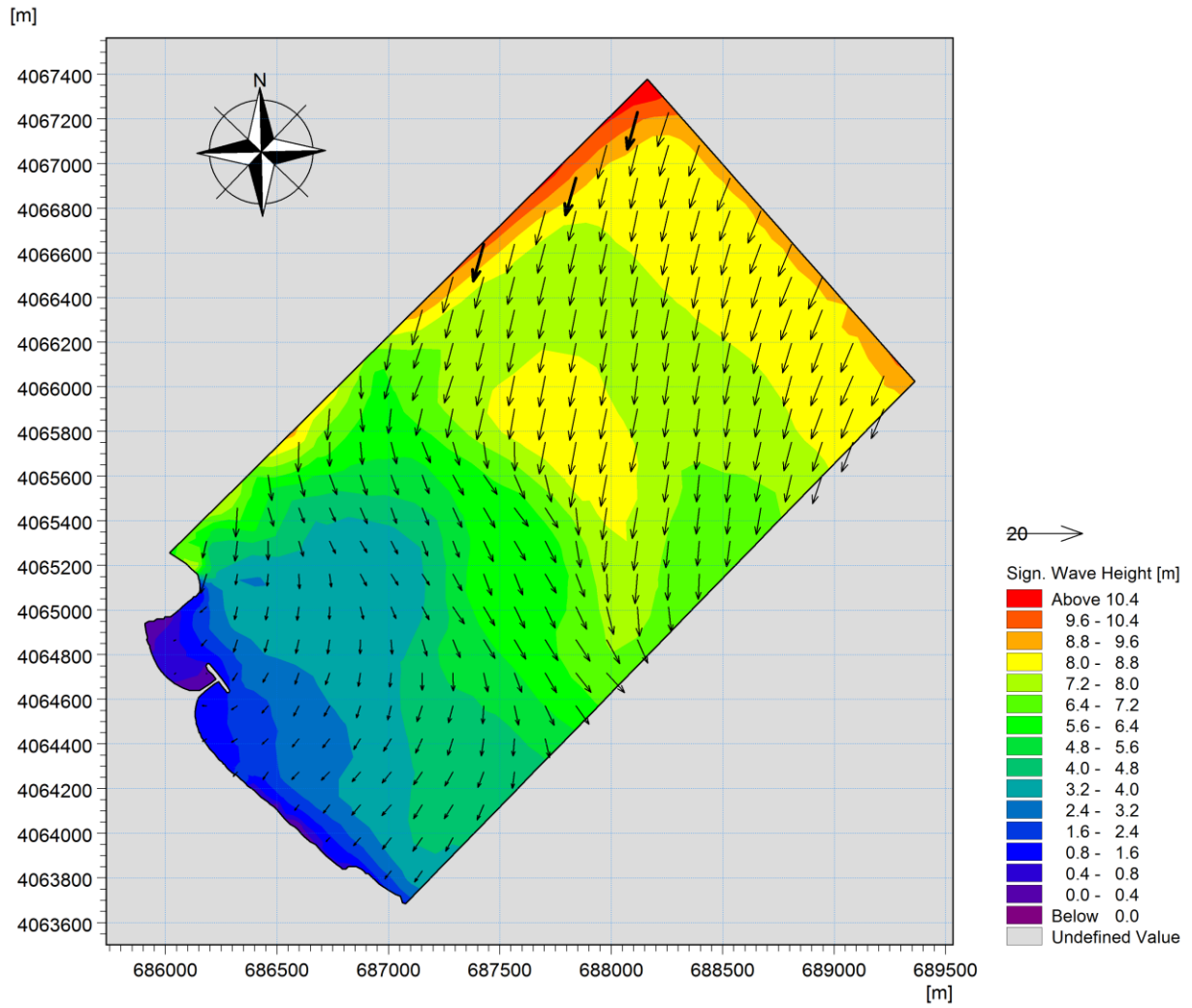
116	403,623355	302,91	-278,42	-7,73		0,2	-7,67	0,83	49,15	3,15	-7,67	0,83
117	398,246151	293,75	-271,12	-7,53		0,2	-7,5	0,83	47,71	3,06	-7,5	0,83
118	391,513854	282,78	-261,37	-7,26		0,2	-7,27	0,83	45,87	2,94	-7,27	0,83
119	381,461503	272,19	-249,52	-6,93		0,2	-7,03	0,83	44,39	2,85	-7,03	0,83
120	369,601274	160,17	-160,17	-4,45		0,2	-4,22	0,86	24,4	1,56	-4,22	0,86
121	358,709251	108,37	-100,21	-2,78		0,2	-2,76	0,83	17,53	1,12	-2,76	0,83
122	344,907634	65,87	-57,62	-1,6		0,2	-1,73	0,89	8,73	0,56	-1,73	0,89
123	330,251449	22,77	-19,33	-0,54		0,2	-0,67	0,76	5,36	0,34	-0,67	0,76
124	333,130104	20,65	0,62		0,02	0,2	-0,07	0,02	7,88	0,51	-0,07	0,02
125	323,88496	29,11	12,02		0,33	0,2	0,2	0,09	8,85	0,57	0,2	0,09
126	309,982325	33,97	16		0,44	0,2	0,33	0,18	9,73	0,62	0,33	0,18
127	292,901369	36,83	18,71		0,52	0,2	0,38	0,21	10,34	0,66	0,38	0,21
128	274,101917	38,54	20,3		0,56	0,2	0,43	0,24	10,65	0,68	0,43	0,24
129	254,191497	38,66	20,41		0,57	0,2	0,43	0,25	10,67	0,68	0,43	0,25
130	234,079803	38,31	20,08		0,56	0,2	0,42	0,24	10,61	0,68	0,42	0,24
131	215,823844	40,25	21,85		0,61	0,2	0,43	0,22	11,31	0,73	0,43	0,22
132	196,770919	41,56	23,04		0,64	0,2	0,45	0,22	11,76	0,75	0,45	0,22
133	176,950488	41,8	23,25		0,65	0,2	0,45	0,22	11,85	0,76	0,45	0,22
134	157,923	42,26	23,66		0,66	0,2	0,46	0,22	12,01	0,77	0,46	0,22
135	147,365578	46,08	25,89		0,72	0,2	0,55	0,27	12,55	0,8	0,55	0,27
136	150,706715	49,42	25,4		0,71	0,2	0,55	0,23	14,04	0,9	0,55	0,23
137	158,716143	45,97	26		0,72	0,2	0,54	0,26	12,75	0,82	0,54	0,26
138	164,797622	39,82	24,21		0,67	0,2	0,49	0,29	10,88	0,7	0,49	0,29
139	165,850742	31,45	15,57		0,43	0,2	0,3	0,17	9,35	0,6	0,3	0,17
140	164,141676	21,97	7,11		0,2	0,2	0,08	0,02	8,04	0,52	0,08	0,02
141	157,424561	19,43	-3,03	-0,08		0,2	-0,17	0,11	6,77	0,43	-0,17	0,11
142	148,641723	16,7	-10,53	-0,29		0,2	-0,22	0,23	5,68	0,36	-0,22	0,23
143	150,516588	46,53	-20,45	-0,57		0,2	-0,51	0,23	13,2	0,85	-0,51	0,23
144	161,161721	48,82	-29,79	-0,83		0,2	-0,81	0,5	11,39	0,73	-0,81	0,5
145	168,42108	51,22	-40,67	-1,13		0,2	-1,18	0,77	9,09	0,58	-1,18	0,77
146	172,940139	57,52	-54,14	-1,5		0,2	-1,56	0,91	6,86	0,44	-1,56	0,91
147	173,313884	71,28	-66,4	-1,84		0,2	-2	0,96	5,85	0,37	-2	0,96
148	171,777904	71,7	-71,04	-1,97		0,2	-2,09	0,96	5,67	0,36	-2,09	0,96
149	171,578341	71,63	-71,63	-1,99		0,2	-2,07	0,96	5,72	0,37	-2,07	0,96
150	168,788935	68,72	-66,96	-1,86		0,2	-1,95	0,94	6,76	0,43	-1,95	0,94
151	167,715275	66,77	-66,77	-1,85		0,2	-1,88	0,94	6,48	0,42	-1,88	0,94
152	162,953524	61,4	-61,4	-1,71		0,2	-1,73	0,94	5,92	0,38	-1,73	0,94
153	157,17831	54,68	-53,73	-1,49		0,2	-1,54	0,94	5,33	0,34	-1,54	0,94
154	152,210449	50,85	-43,67	-1,21		0,2	-1,28	0,93	4,84	0,31	-1,28	0,93
155	147,287891	35,01	-33,97	-0,94		0,2	-0,89	0,86	5,06	0,32	-0,89	0,86
156	252,586316	143,15	113,66		3,16	0,2	3,81	0,61	42,9	2,75	3,81	0,61

157	245,928406	138,57	111,74		3,1	0,2	3,75	0,62	41,33	2,65	3,75	0,62
158	256,523275	123,7	109,82		3,05	0,2	3,62	0,67	35,93	2,3	3,62	0,67
159	265,904857	110,54	109,36		3,04	0,2	3,13	0,88	16,01	1,03	3,13	0,88
160	282,890617	117,77	108,14		3	0,2	2,67	0,68	25,49	1,63	2,67	0,68
161	281,072771	143,66	105,99		2,94	0,2	3,61	0,57	43,79	2,81	3,61	0,57
162	287,94343	145,94	103,96		2,89	0,2	3,58	0,56	44,84	2,87	3,58	0,56
163	293,275209	147,63	103,2		2,87	0,2	3,54	0,54	45,5	2,92	3,54	0,54
164	293,607218	147,8	99,03		2,75	0,2	3,45	0,53	46,17	2,96	3,45	0,53
165	199,649566	92,6	-85,74	-2,38		0,2	-2,56	0,93	9,53	0,61	-2,56	0,93
166	202,971068	97,42	-91,61	-2,54		0,2	-2,69	0,92	10,84	0,69	-2,69	0,92
167	203,224077	102,6	-95,65	-2,66		0,2	-2,86	0,92	11,57	0,74	-2,86	0,92
168	202,370315	102,19	-97,12	-2,7		0,2	-2,84	0,93	11,08	0,71	-2,84	0,93
169	201,075132	100,68	-96,65	-2,68		0,2	-2,77	0,92	11,76	0,75	-2,77	0,92
170	200,442965	99,27	-92,83	-2,58		0,2	-2,62	0,9	12,31	0,79	-2,62	0,9
171	197,030816	92,56	-85,55	-2,38		0,2	-2,4	0,87	13,13	0,84	-2,4	0,87
172	253,322917	139,56	-74,85	-2,08		0,2	-0,24	0	74,37	4,77	-0,24	0
173	256,013907	143,06	67,68		1,88	0,2	2,62	0,38	47,38	3,04	2,62	0,38
174	244,92597	136,96	65,39		1,82	0,2	2,54	0,38	45,34	2,91	2,54	0,38
175	234,919388	129,84	64,02		1,78	0,2	2,45	0,39	42,75	2,74	2,45	0,39
176	246,769831	93,81	63,01		1,75	0,2	2,18	0,53	28,87	1,85	2,18	0,53
177	273,59595	79,99	61,26		1,7	0,2	1,42	0,52	19,28	1,24	1,42	0,52
178	284,195572	79,14	59,32		1,65	0,2	1,36	0,49	19,35	1,24	1,36	0,49
179	289,218228	73,72	57,26		1,59	0,2	1,34	0,53	17,79	1,14	1,34	0,53
180	283,894529	149,25	55,59		1,54	0,2	2,35	0,29	51,27	3,29	2,35	0,29
181	288,806725	150,63	54,15		1,5	0,2	2,32	0,28	52,23	3,35	2,32	0,28
182	293,262437	150,64	52,05		1,45	0,2	2,27	0,27	52,59	3,37	2,27	0,27
183	293,364574	150,97	49		1,36	0,2	2,16	0,25	53,13	3,41	2,16	0,25
184	245,959834	144	-13,53	-0,38		0,2	-0,34	0,01	59,01	3,78	-0,34	0,01
185	249,619735	148,21	-17,33	-0,48		0,2	-0,5	0,01	59,3	3,8	-0,5	0,01
186	254,000283	152,69	-22,96	-0,64		0,2	-0,67	0,02	59,54	3,82	-0,67	0,02
187	256,563253	156,4	-30,67	-0,85		0,2	-0,82	0,04	59,72	3,83	-0,82	0,04
188	257,157739	156,95	-35,46	-0,98		0,2	-0,87	0,04	59,42	3,81	-0,87	0,04
189	257,137387	156,48	-42,09	-1,17		0,2	-0,99	0,05	57,53	3,69	-0,99	0,05
190	265,10803	163,83	-54,44	-1,51		0,2	-1,22	0,08	56,8	3,64	-1,22	0,08
191	285,551835	181,48	-75,93	-2,11		0,2	-1,67	0,13	59,34	3,8	-1,67	0,13
192	304,41017	112,74	-59,86	-1,66		0,2	-2,17	0,68	21,05	1,35	-2,17	0,68
193	361,362519	119,41	-117,88	-3,27		0,2	-3,19	0,88	16,58	1,06	-3,19	0,88
194	359,443467	124,85	-124,85	-3,47		0,2	-3,33	0,87	18	1,15	-3,33	0,87
195	355,626676	129,72	-129,72	-3,6		0,2	-3,44	0,86	19,48	1,25	-3,44	0,86
196	345,591232	131,49	-131,49	-3,65		0,2	-3,48	0,86	19,86	1,27	-3,48	0,86
197	326,982945	125,44	-125,44	-3,48		0,2	-3,34	0,86	18,76	1,2	-3,34	0,86

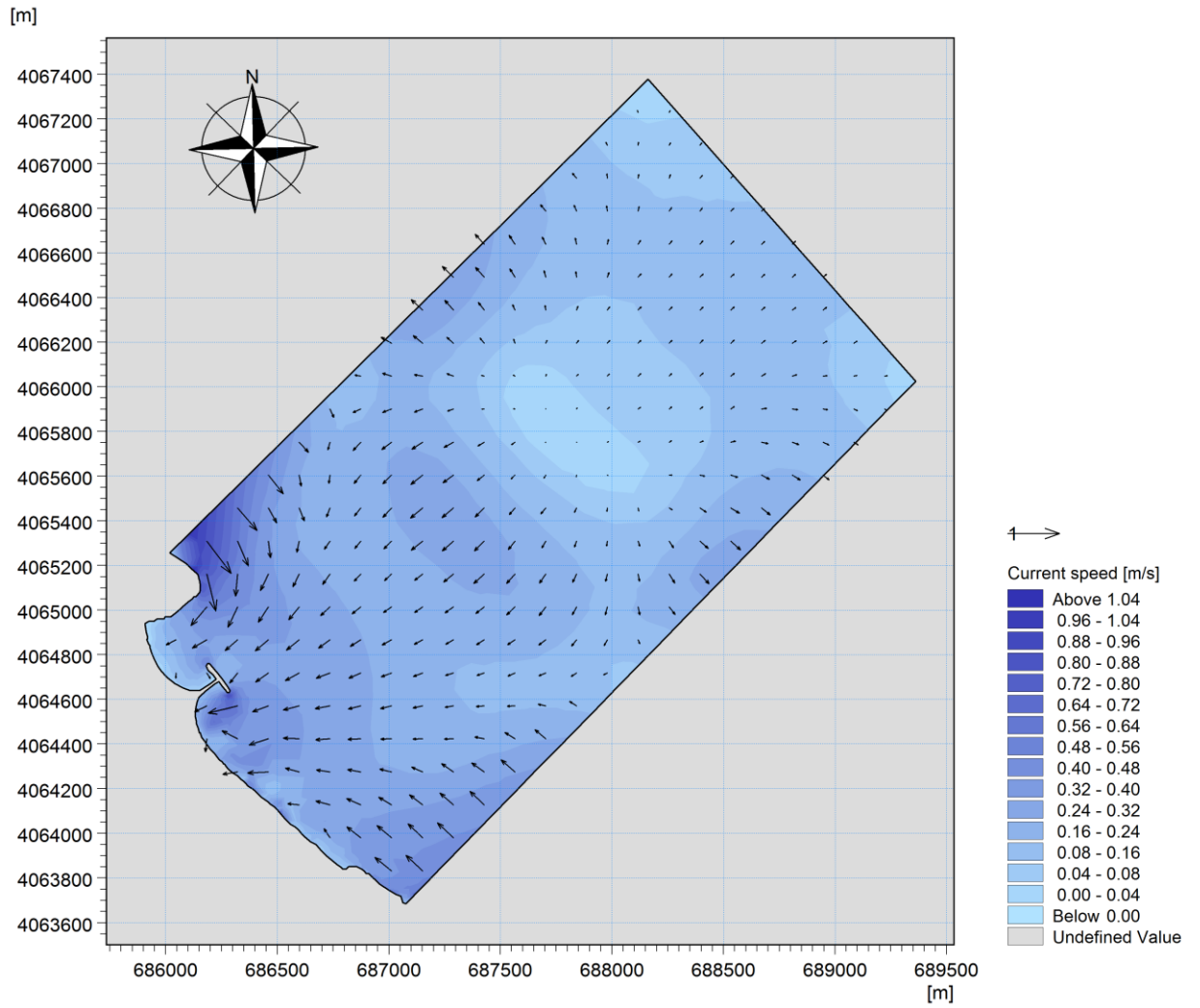
198	307,131128	120,14	-120,14	-3,34		0,2	-3,21	0,86	17,95	1,15	-3,21	0,86
199	286,840927	115,96	-115,68	-3,21		0,2	-3,1	0,86	17,27	1,11	-3,1	0,86
200	271,283978	111,3	-110,07	-3,06		0,2	-2,94	0,86	16,96	1,09	-2,94	0,86
201	259,291323	107,25	-104,29	-2,9		0,2	-2,78	0,85	16,66	1,07	-2,78	0,85
202	269,488055	113,75	-111,8	-3,11		0,2	-2,95	0,84	18,32	1,17	-2,95	0,84
203	278,692861	174,45	-119,58	-3,32		0,2	-2,63	0,41	44,61	2,86	-2,63	0,41
204	285,198511	184,52	-122,06	-3,39		0,2	-2,76	0,4	47,18	3,02	-2,76	0,4
205	289,461801	189,43	-130,48	-3,62		0,2	-3	0,44	47,57	3,05	-3	0,44
206	294,08359	194,04	-139,63	-3,88		0,2	-3,26	0,48	47,42	3,04	-3,26	0,48
207	299,243047	197,75	-146,67	-4,07		0,2	-3,46	0,51	47,68	3,06	-3,46	0,51
208	302,214767	200,52	-154,95	-4,3		0,2	-3,71	0,55	47,05	3,02	-3,71	0,55
209	305,411012	205,36	-163,14	-4,53		0,2	-3,97	0,58	47,29	3,03	-3,97	0,58
210	304,251156	202,92	-166,58	-4,63		0,2	-4,13	0,62	45,56	2,92	-4,13	0,62
211	297,787869	197	-164,84	-4,58		0,2	-4,14	0,64	43,34	2,78	-4,14	0,64
212	291,087291	180,95	-165,17	-4,59		0,2	-4,16	0,7	38,53	2,47	-4,16	0,7
213	281,271303	167,64	-163,86	-4,55		0,2	-4,23	0,76	32,96	2,11	-4,23	0,76
214	266,485283	166	-158,53	-4,4		0,2	-4,22	0,82	28,07	1,8	-4,22	0,82
215	251,461165	150,22	-148,51	-4,13		0,2	-3,94	0,84	24,35	1,56	-3,94	0,84
216	236,438897	135,31	-133,57	-3,71		0,2	-3,56	0,85	21,1	1,35	-3,56	0,85
217	219,712572	118,2	-113,77	-3,16		0,2	-3,09	0,84	18,97	1,22	-3,09	0,84
218	202,177418	101,41	-98,96	-2,75		0,2	-2,68	0,85	15,66	1	-2,68	0,85
219	187,285011	86,37	-83,37	-2,32		0,2	-2,28	0,86	12,85	0,82	-2,28	0,86
220	171,772731	70,97	-67,6	-1,88		0,2	-1,87	0,87	10,02	0,64	-1,87	0,87
221	155,773028	52,77	-51,86	-1,44		0,2	-1,44	0,9	6,72	0,43	-1,44	0,9
222	140,00751	36,49	-36,14	-1		0,2	-1,01	0,98	2,26	0,14	-1,01	0,98
223	130,541638	27,1	-23,68	-0,66		0,2	-0,75	0,77	5,74	0,37	-0,75	0,77
224	139,028116	30,7	-12,65	-0,35		0,2	-0,49	0,3	10,44	0,67	-0,49	0,3
225	149,785247	37,11	-1,83	-0,05		0,2	-0,17	0,03	14,46	0,93	-0,17	0,03
226	163,726017	57,28	9,08		0,25	0,2	0,14	0,01	20,69	1,33	0,14	0,01
227	162,445895	65,13	19,65		0,55	0,2	0,43	0,07	22,43	1,44	0,43	0,07
228	162,502294	74,46	32,35		0,9	0,2	0,66	0,13	23,99	1,54	0,66	0,13
229	157,256025	78,49	44,57		1,24	0,2	0,89	0,2	24,62	1,58	0,89	0,2
230	145,535227	81,26	57,09		1,59	0,2	1,16	0,3	24,75	1,59	1,16	0,3
231	140,036081	90,06	69,27		1,92	0,2	1,46	0,44	23,25	1,49	1,46	0,44
232	137,366609	33,83	-13,51	-0,79		0,42	-0,76	0,15	13,5	1,88	-0,76	0,15
233	135,019694	45,97	-10	-0,59		0,42	-0,28	0,01	20,58	2,87	-0,28	0,01
234	129,15575	29,09	-5,35	-0,31		0,42	-1,05	0,4	12,69	2,66	-1,05	0,4
235	122,27251	22,08	-2,97	-0,17		0,42	-0,84	0,35	11,14	2,34	-0,84	0,35
236	110,694896	15,41	-7,28	-0,46		0,44	-0,7	0,67	6,26	3,12	-0,7	0,67

## La réfraction des houles cinquanteennes :

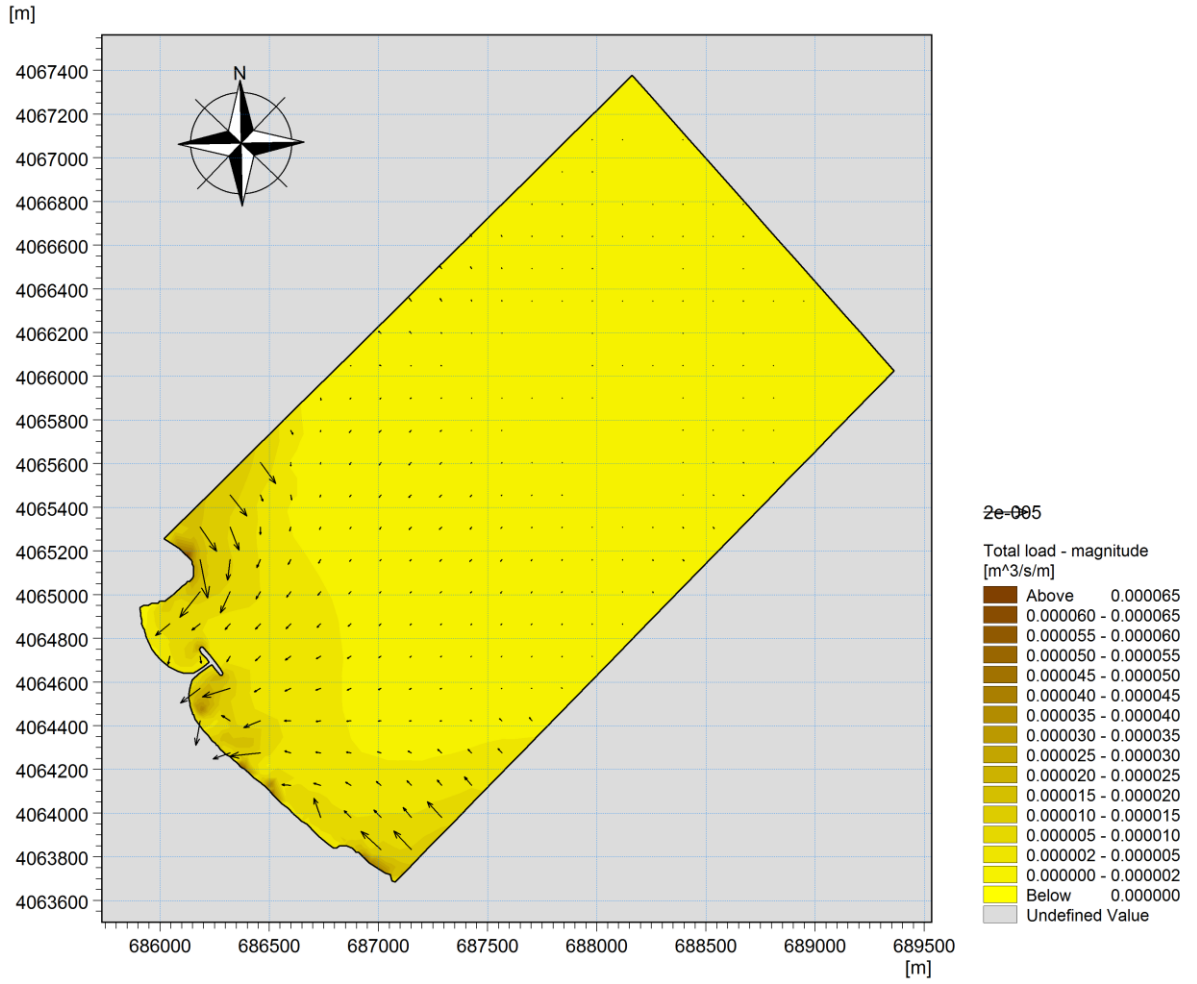
Pour la houle incidente N°20 :



**Figure 01** : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage Club Hippique.

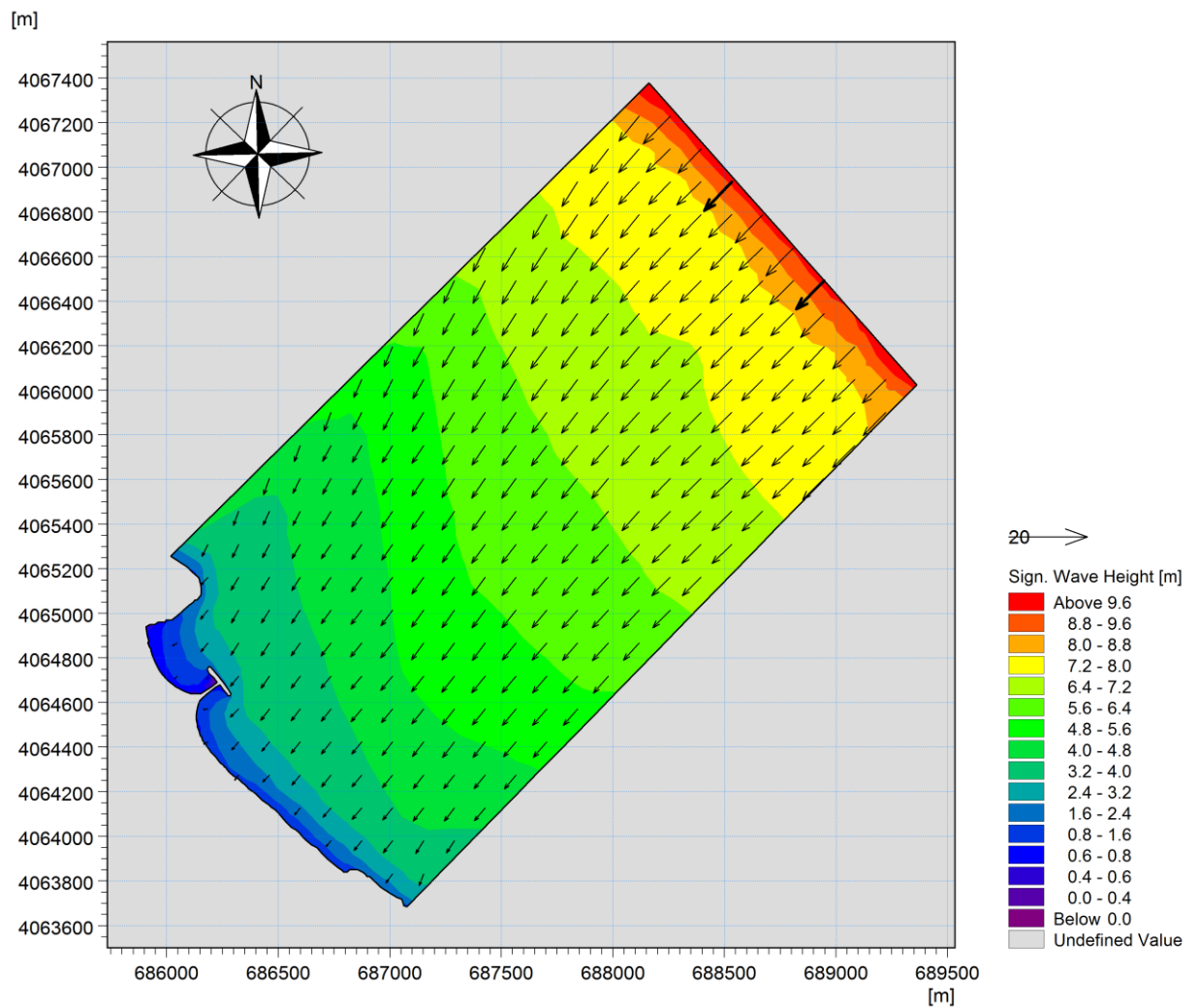


**Figure 83** : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique

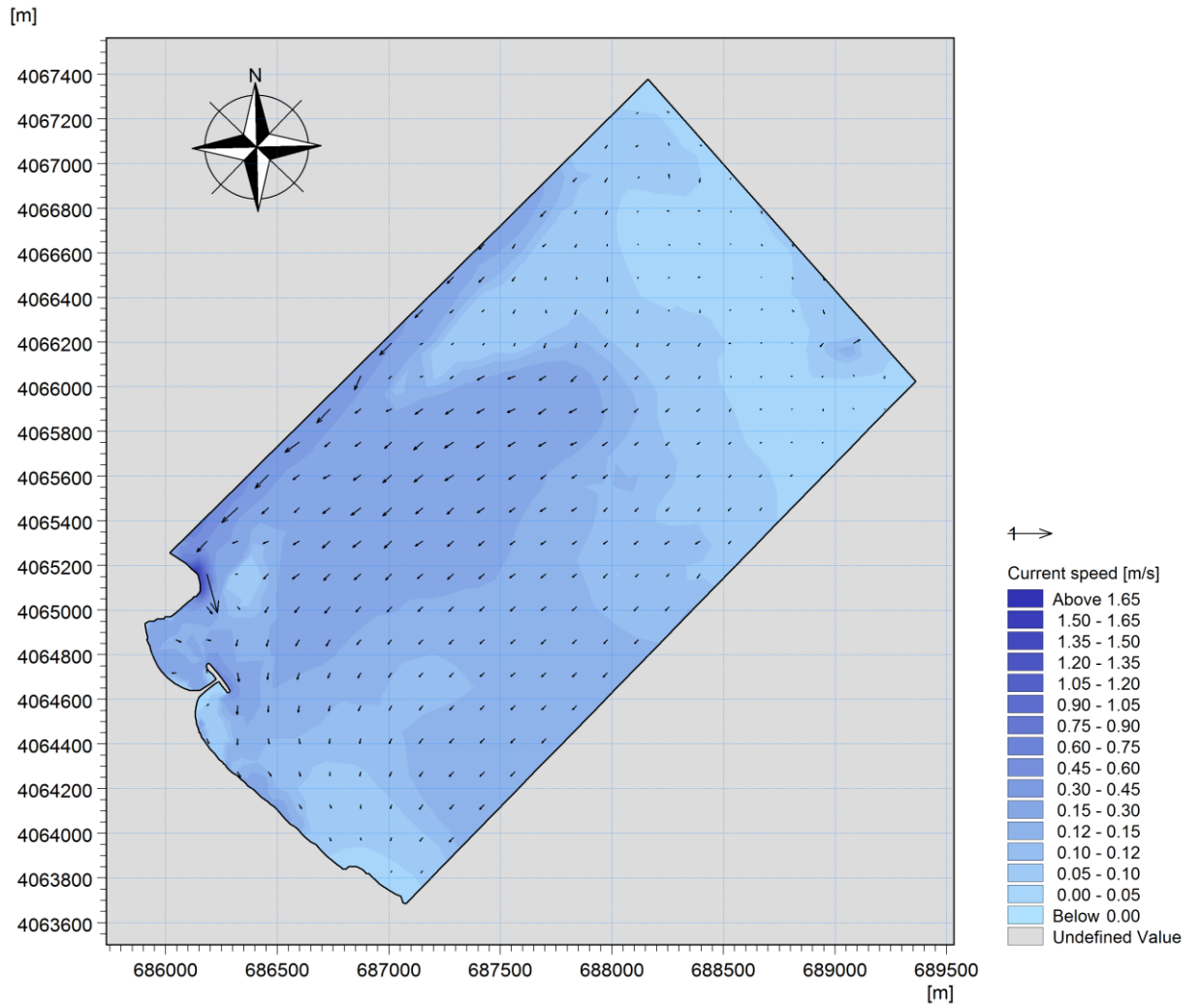


**Figure 84 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Club Hippique

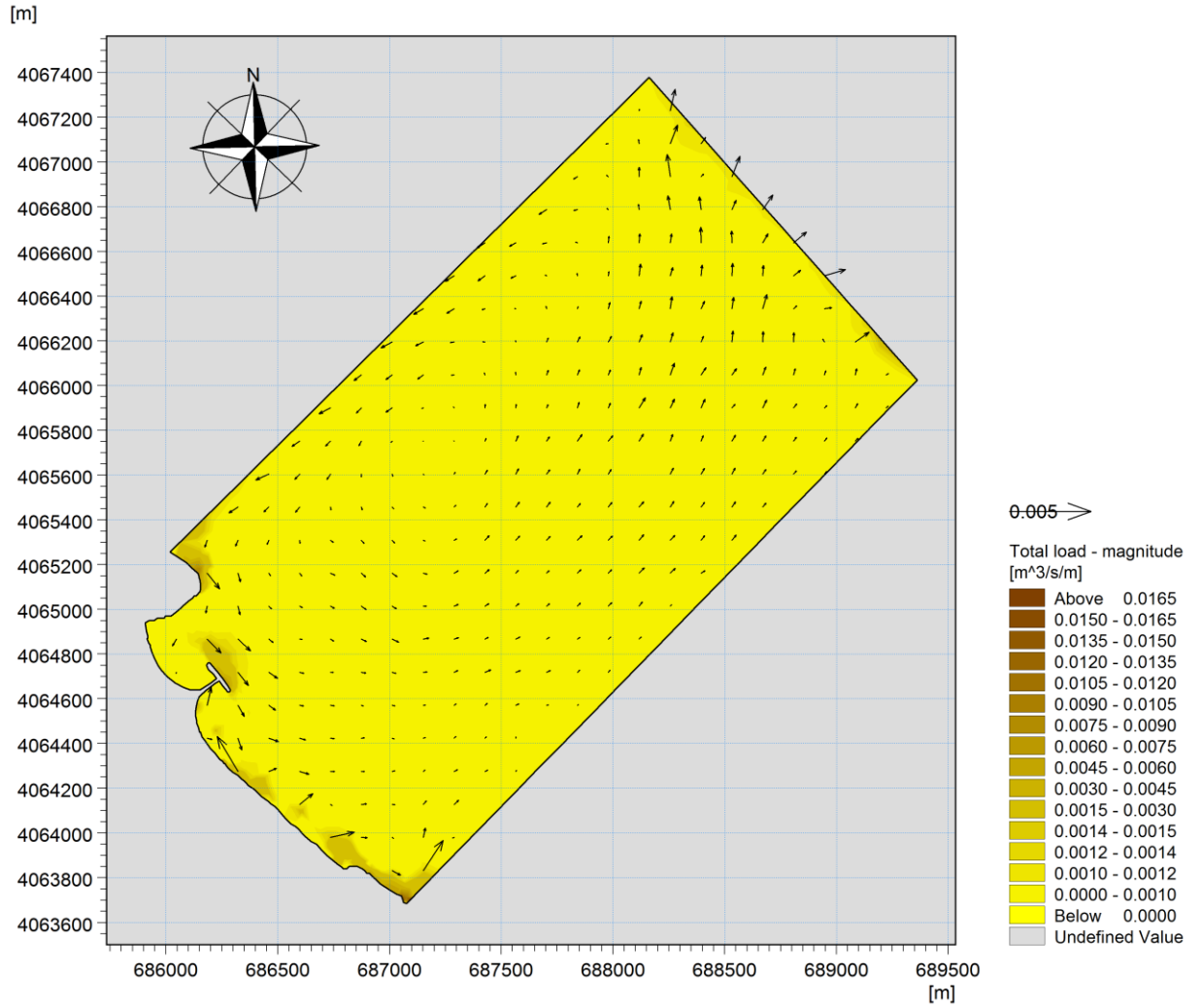
Pour la houle incidente N°45 :



**Figure 04:** Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage Club Hippique.

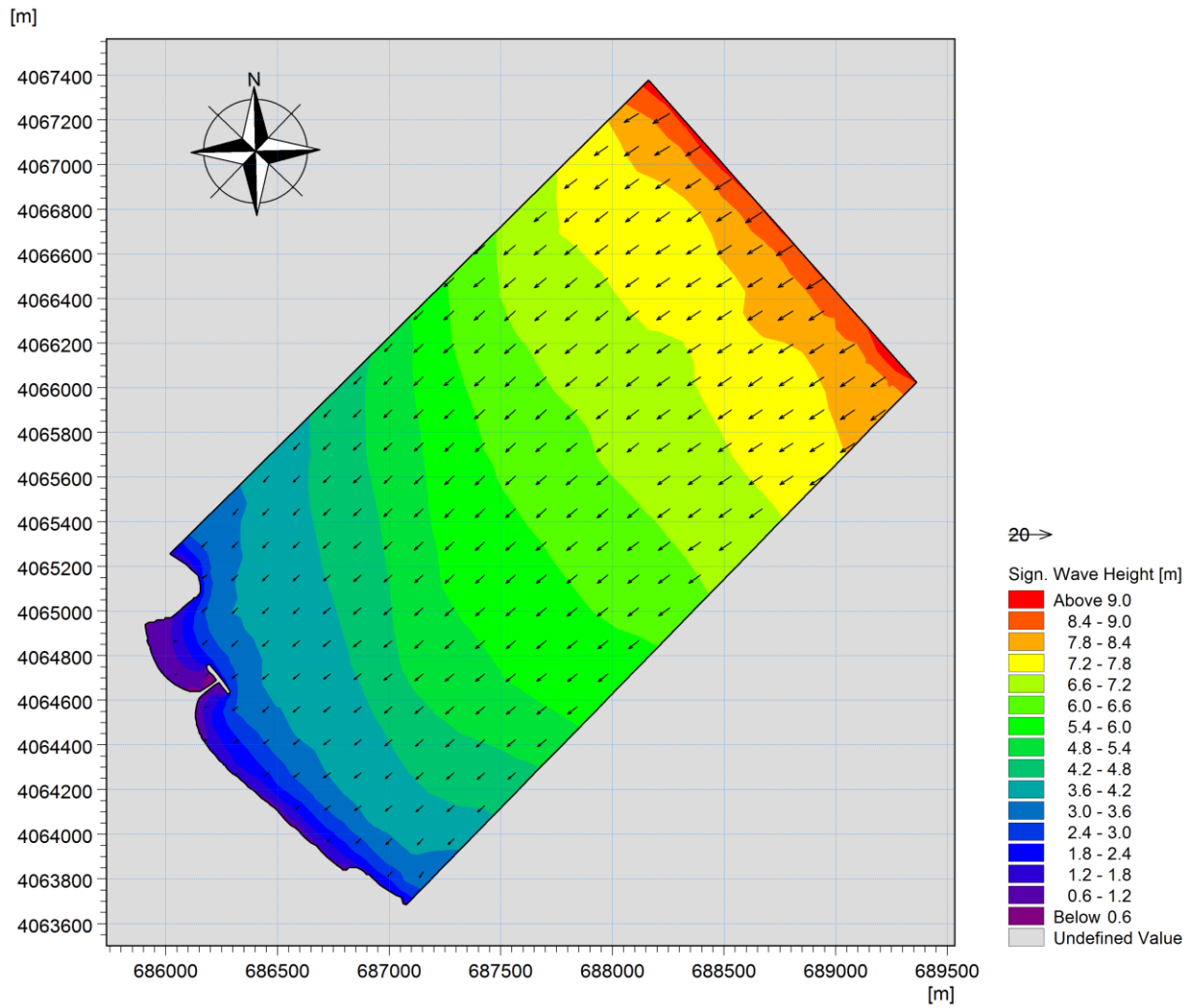


**Figure 05** : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique

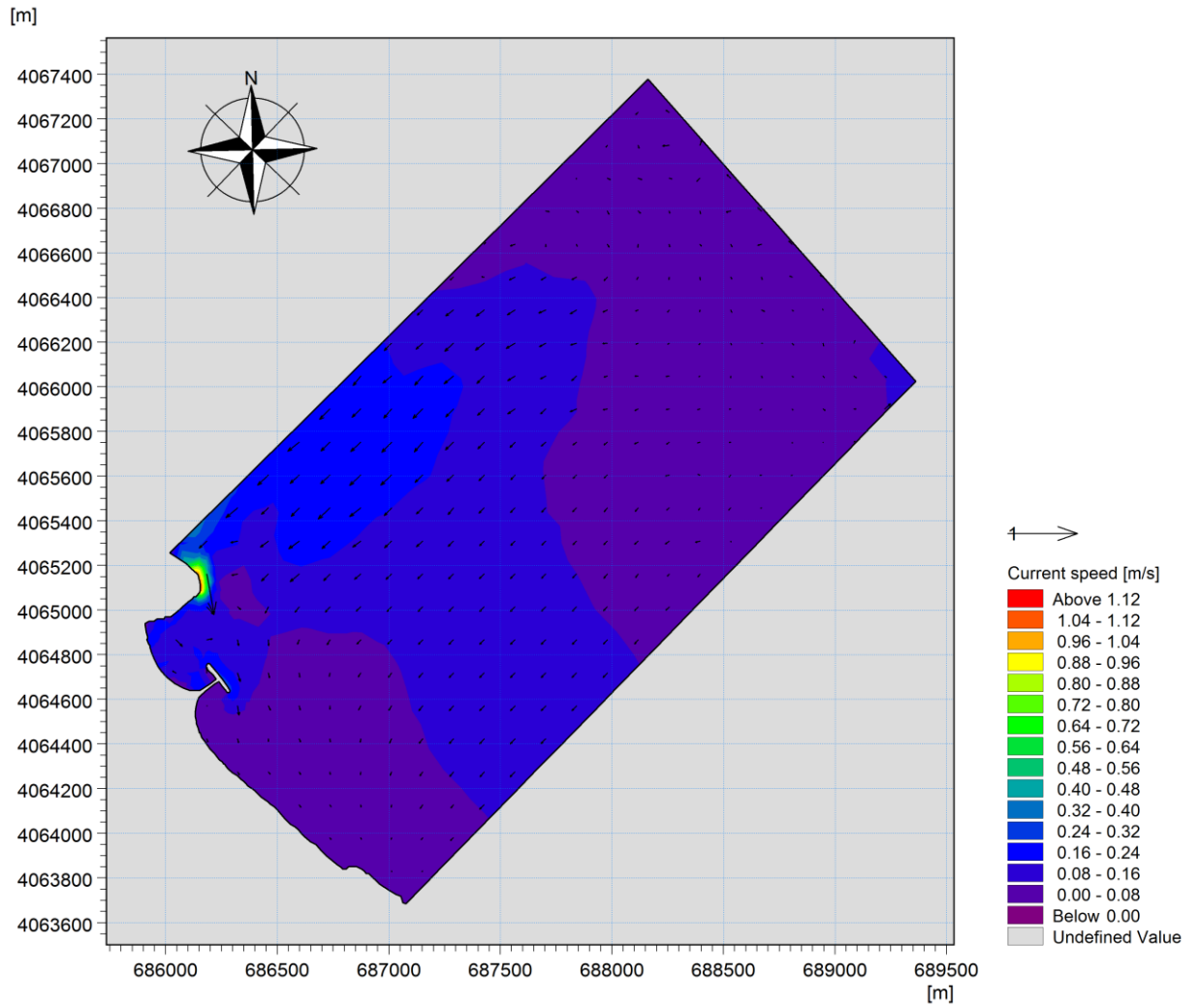


**Figure 06 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Club Hippique

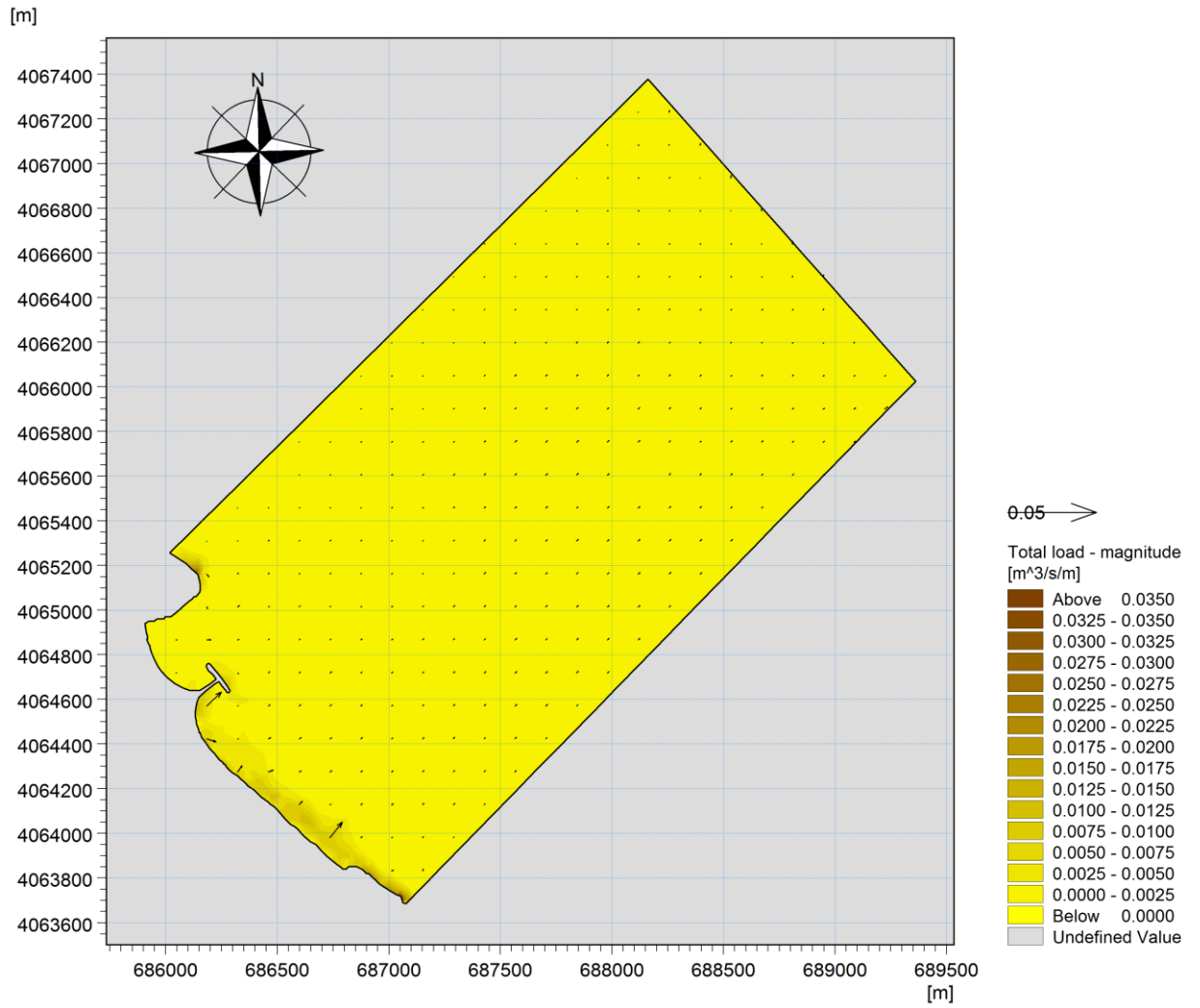
Pour la houle incidente N°60 :



**Figure 07** : Résultats de réfraction de la houle Nord 45° incidente à la plage Club Hippique.



**Figure 85** : Résultats de courantologie de la houle Nord 45° incidente à la plage de la Club Hippique



**Figure 86 :** Résultats du transport sédimentaire de la houle N 45° à la plage Club Hippique

## Résumé

Les plages sableuses du Golf de Bejaia 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 la plage du Club Hippique dans la willaya de Bejaia.

Dans ce mémoire, nous précisons la dynamique sédimentaire au moyen d'une analyse diachronique du trait de côte dans notre zone d'étude, à l'aide des images satellitaires (1985, 2004, 2014, 2019 et 2021) et l'utilisation combinée des logiciels DSAS et ArcGIS, aussi viens la projection du trait de côte à l'horizon 2050 pour prédire les conséquences de l'érosion présente.

Nous présentons aussi dans ce travail, une étude bathymétrique et hydro-sédimentaire, ou l'étude de la réfraction de la houle se fait grâce au logiciel Mike21 qui nous a permis de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle de notre zone d'étude ; Afin d'appréhender la meilleur solution pour la protection dans notre zone d'étude on a proposé 3 variantes d'où sort qu'une batterie de brise lames (protection frontale) est la solution la plus adéquate pour mieux résoudre la problématique in situ.

Mots clés : Golf de Bejaia, Plage du Club Hippique, Etude bathymétrique, Etude Hydro-sédimentaire, Dynamique sédimentaire, Analyse diachronique, Trait de côte, Transport sédimentaire.

## Abstract

The sandy beaches of the Gulf of Bejaia are a perfect example of coastal environments where exchanges between the continent, the ocean and the atmosphere are many and whose sedimentary balance is controlled by a combination of natural and anthropogenic factors. The present study focuses on the Club Hippique beach in the willaya of Bejaia.

In this thesis, we specify the sedimentary dynamics by means of a diachronic analysis of the coastline in our study area, using satellite images (1985, 2004, 2014, 2019 and 2021) and the combined use of software DSAS and ArcGIS, also comes the projection of the coastline to the horizon 2050 to predict the consequences of the present erosion.

We also present in this work, a bathymetric and hydro-sedimentary study, where the study of the refraction of the swell is made thanks to the Mike21 software that allowed us to map the sea floor and to study the propagation of the swell of our study area; In order to apprehend the best solution for the protection in our study area we proposed 3 variants from where it comes out that a battery of breakwaters (frontal protection) is the most adequate solution to better solve the problem in situ.

Key words: Golf de Bejaia, Club Hippique Beach, Bathymetric study, Hydro-sedimentary study, Sediment dynamics, Diachronic analysis, Coastline, Sediment transport.

## ملخص

تعتبر الشواطئ الرملية في خليج بجاية مثلاً ممتازاً للبيئات الساحلية حيث تتعدد التبادلات بين القارة والمحيط والغلاف الجوي والتي يتم التحكم في توازن الرواسب بها من خلال مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية المنشأ. تتعلق الدراسة الحالية بشاطئ نادي الخيل بولاية بجاية

في هذه المذكرة، نحدد ديناميكيات الرواسب عن طريق تحليل غير متزامن للساحل في منطقة دراستنا، باستخدام صور الأقمار الصناعية (1985، 2004، 2014، 2019 و 2021) والاستخدام المشترك لبرنامجي DSAS و ArcGIS، كما يأتي الإسقاط. من الساحل حتى أفق 2050 للتنبؤ بعواقب التعرية الحالية.

نقدم أيضاً في هذا العمل، دراسة قياس الأعماق والرسوبيات المائية، حيث تتم دراسة انكسار الامواج بفضل البرنامج Mike21 الذي سمح لنا برسم خريطة لقاع البحر ودراسة انتشار الامواج في منطقة دراستنا؛ من أجل فهم أفضل حل للحماية في منطقة دراستنا، تم اقتراح 3 متغيرات، مما أدى إلى أن بطارية حاجز الأمواج هي الحل الأنسب لحل المشكلة بشكل أفضل في الموقع.

الكلمات المفتاحية: دراسة قياس الأعماق، دراسة مائية - رسوبية، ديناميكيات الرواسب، التحليل غير المتزامن، الخط الساحلي، نقل الرواسب