

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 d'état en Sciences de la Mer

Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

Etude hydrodynamique et d'agitation portuaire – Cas du port d'Alger

Présenté par :

- ❖ ALEM Abdelkader
- ❖ SAF Brahim

Soutenu le 28/ 10 /2021 devant le jury :

M^{me} ABDEDAIM H.	Présidente (MCB)	ENSSMAL
Mr MEZOUAR K.	Promoteur (Professeur)	ENSSMAL
M^{me} SALEM CHRIF Y.	Examinatrice (Doctorante)	ENSSMAL
Mr DAHMANI A.	Examineur (MAA)	ENSSMAL

2020-2021

Remerciement

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qu'on voudrait témoigner toute nos infini gratitude.

Tout d'abord, On remercie nos parents pour leur soutien tous au long de notre parcours qui n'a pas été un long fleuve tranquille. Sans leur soutien indéfectible ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour.

On remercie Dieu de nous avoir permis de garder la foi et d'avoir nous bien guidé et de nous avoir permis de tenir dans les moments difficiles, surtout durant la période du COVID 19.

On voudrait tout d'abord adresser toute nos reconnaissances aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre projet de fin d'étude, **Madame ABDEDAIM Hakima** présidente des membres de jury, et aux examinateurs **Monsieur DAHMANI Abdelalim** et **Madame SALEM-CHERIF Yousra**, Et à Monsieur **MEZOUAR Khoudir**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

On remercie aussi remercier les professeurs de l'ENSSMAL, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite des études supérieurs.

On tient à remercier spécialement Monsieur **BOUMATI Samir** Directeur général de DP World Djazaïr et Monsieur **AINOUZ Omar** Directeur Technique de MEDITRAM qui ont fut le premier à nous faire découvrir le sujet qui a guidé mon mémoire.

On exprime nos reconnaissances envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Un grand merci à **BELBERKANI Fairouz** pour ses conseils concernant mon style d'écriture, ils ont grandement facilité mon travail.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à mon binôme, pour leur confiance et leur soutien inestimable.

Table des matières	
Remerciement.....	I
Table des matières	II
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des abréviations	VI
Introduction	1
Chapitre I : Généralités	1
1. Hydrodynamique	2
1.1. Les phénomènes hydrodynamiques	2
1.2. Génération et évolution de la houle	3
2. Phénomènes hydrodynamiques à l'intérieur du port.....	5
2.1. Seiche	5
2.2. Résonance	5
2.3. Surcote	6
3. Agitation portuaire	6
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	7
1. La baie d'Alger.....	8
1.1. Situation géographique de la baie d'Alger.....	8
2. Le port d'Alger.....	8
2.1. Situation géographique du port d'Alger.....	8
2.2. L'Evolution du port d'Alger dans le temps	9
2.3. Importance économique du port d'Alger.....	12
3. Morphologie de la baie d'Alger	12
4. Réseau hydrographique	13
5. Données environnementales.....	14
5.1. La marée.....	14
5.2. Les courants marins	14
5.3. Les vents	14
5.4. Les houles	17
Chapitre III : Etude hydrodynamique et agitation portuaire	19
1. Données de base	20
1.1. WAVECLIMATE.....	20
1.2. Carte NAVIONICS SonarChart™.....	21
1.3. Esri ArcGIS.....	21
2. Etude hydrodynamique	22
2.1. Principe de la modélisation	22

2.2. Modèle Mike	22
2.2. Choix des directions.....	31
2.3. Simulations des conditions extrêmes	36
3. Etude d'agitation dans le port d'Alger	48
3.1. Présentation du BlueKenue.....	48
3.2. Présentation du TELEMAC-mascaret	48
Chapitre IV : Solutions.....	56
1. Concernant le sous-critère dragage et entretien :	57
2. Dragage de l'intérieur du bassin portuaire	57
3. Les techniques de dragage.....	57
3.1. Les dragues mécaniques.....	58
3.2. Les dragues hydrauliques.....	58
3.3. Drague aspiratrice refouleuse stationnaire	58
3.4. Drague aspiratrice à désagrégateur	59
3.5. Drague aspiratrice en marche.....	59
3.6. Autres types de dragues hydrauliques.....	59
3.7. Techniques de transport et de rejet	59
3.8. Dragage d'approfondissement et aménagement de nouvelles aires portuaires.....	60
3.9. Filières de valorisation	60
4. Calcul de la profondeur	60
4.1. Simulation du scénario d'aménagement :	62
4.1. Interprétation des résultats du scénario aménagé (SC1)	63
Conclusion générale	64
Références	67
Annexes.....	70

Liste des figures

Figure N° 1: Caractéristiques générales de la houle.	2
Figure N° 2: Classement des ondes de surface en fonction de la période (Holthuijsen, 2007).	4
Figure N° 3: Situation géographique de la baie d'Alger. (Basemap ArcGIS 2021).	8
Figure N° 4: Situation géographique du port d'Alger. (Basemap ArcGIS 2021).	9
Figure N° 5: Schéma du plan d'Alger en 1950 (Série économique ; port d'Alger juillet 1951).	11
Figure N° 6: Hiérarchie et dynamique des ports du Maghreb.....	12
Figure N° 7: Rose des vents annuelle de la période la période 2016-2020.....	15
Figure N° 8: Rose des vents saisonnière pour la période 2016-2020.....	15
Figure N° 9: Rose des vents par mois de la période 2016-2020.	16
Figure N° 10: Rose des houles annuelle de la période 2016-2020.....	17
Figure N° 11: Rose des houles par saison pour la période 2016-2020	17
Figure N° 12: Rose des Houles par mois de la période 2016-2020.	18
Figure N° 13: Capture des séries temporelles des paramètres des houles (WaveClimate).....	20
Figure N° 14: Capture de la définition des paramètres de la houle de WaveClimate.....	20
Figure N° 15: Maillage du modèle zoom sur le port.....	24
Figure N° 16: Maillage du modèle zoom sur la baie.....	24
Figure N° 17: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger.....	25
Figure N° 18: Bathymétrie du modèle zoom sur le port d'Alger.....	26
Figure N° 19: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.06$ m, $T_p = 8.1$ s, $U_{10}= 8.68$ m/s).....	32
Figure N° 20: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.11$ m, $T_p = 7.43$ s, $U_{10}= 9.69$ m/s).....	32
Figure N° 21: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.46$ m, $T_p = 9.22$ s, $U_{10}= 7.6$ m/s).....	32
Figure N° 22: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.24$ m, $T_p = 9.62$ s, $U_{10}= 8.37$ m/s).....	32
Figure N° 23: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.4$ m, $T_p = 9.76$ s, $U_{10}= 7.02$ m/s).....	33
Figure N° 24: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.18$ m, $T_p = 10$ s, $U_{10}= 6.58$ m/s).....	33
Figure N° 25: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.38$ m, $T_p = 10.88$ s, $U_{10}= 7.34$ m/s).....	33
Figure N° 26: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.38$ m, $T_p = 10.74$ s, $U_{10}= 6.41$ m/s).....	33
Figure N° 27: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.49$ m, $T_p = 10.87$ s, $U_{10}= 7.04$ m/s).....	34
Figure N° 28: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.13$ m, $T_p = 10.32$ s, $U_{10}= 6.13$ m/s).....	34
Figure N° 29: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 1.68$ m, $T_p = 9.3$ s, $U_{10}= 6.68$ m/s).....	34
Figure N° 30: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 1.58$ m, $T_p = 8.58$ s, $U_{10}= 7.6$ m/s).....	34
Figure N° 31: La distribution des directions des houles en fonction du temps (1992-2020)...	38
Figure N° 32: La distribution des périodes de houles en fonction du temps (1992-2020).	38
Figure N° 33: La distribution des amplitudes de houles en fonction du temps (1992-2020). .	38
Figure N° 34: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5.8$ m, $T_p = 8,93$ s, $U_{10}= 15,32$ m/s).....	41

Figure N° 35: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5,77$ m, $T_p = 7,26$ s, $U_{10} = 8,6$ m/s).....	41
Figure N° 36: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5,34$ m, $T_p = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	42
Figure N° 37: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5,1$ m, $T_p = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).....	42
Figure N° 38: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,8$ m, $T_p = 8,93$ s, $U_{10} = 15,32$ m).....	44
Figure N° 39: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d'Alger ($H_s = 5,8$ m, $T_p = 8,93$ s, $U_{10} = 15,32$ m).....	44
Figure N° 40: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,77$ m, $T_p = 7,26$ s, $U_{10} = 8,6$ m/s).....	45
Figure N° 41: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d'Alger ($H_s = 5,77$ m, $T_p = 7,26$ s, $U_{10} = 8,6$ m/s).....	45
Figure N° 42: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,34$ m, $T_p = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	46
Figure N° 43: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d'Alger ($H_s = 5,34$ m, $T_p = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	46
Figure N° 44: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,1$ m, $T_p = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).....	47
Figure N° 45: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d'Alger ($H_s = 5,1$ m, $T_p = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).....	47
Figure N° 46: Maillage du port (Bluekenue).....	49
Figure N° 47: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Ouest.....	54
Figure N° 48: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord.....	54
Figure N° 49: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Nord-Est.....	55
Figure N° 50: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Est.....	55
Figure N° 51: hauteur d'eau effective, tirant d'eau effectif, étiage équivalent, profondeur minimale du chenal navigable et tirant d'eau possible ou disponible à kaub/sur le rhin moyen.....	61
Figure N° 52: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario aménagé- Nord-Est.....	62
Figure N° 53: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario aménagé- Nord-Nord-Est.....	62
Figure N° 54: Points de mesure des hauteurs de la houle avant et après dragage (BaseMap 2021).....	63

Liste des tableaux

Tableau N°1: Temps d'arrêts majeurs par mois pendant l'année 2019 (DP World Récap 2019).....	2
Tableau N°2: Temps d'arrêts majeurs en fonctions des quais pendant l'année 2019 (DP World Récap 2019).	2
Tableau 3: Caractéristique générale d'Oued El Harrach et Oued El Hamiz (ANRH 2014)....	13
Tableau 4: Relation entre la variation des isobathes et la resolution de la carte NAVIONICS.	21
Tableau 5: Interprétation du SW pour chaque direction de propagation. Avec Kr = Hs local(Hs0. Ks)	35
Tableau 6: Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions. ...	39
Tableau 7: Limites d'agitation admissibles dans les grands ports,	52
Tableau 8 : Armateurs nationaux 2002.	53
Tableau 9 : Volumes a dragué en fonction de profondeur	61

Liste des abréviations

NGA : Niveau General Algérien

DP World: Dubai Port World

DHI: Danish Hydraulic Institute

Hs : hauteur Significative

TPL : Tonnage Poids en Lourd

MEDITRAM : MEDIterrannée des TRaveaux MAritime

INTRODUCCION

Introduction

La surface des océans est perturbée par des phénomènes physiques si fréquents tels que l'action du vent, les mouvements des plaques tectoniques et glissements de terrains qui se répercutent sur la colonne d'eau, l'interaction entre la terre et les astres, ou encore les différences de pressions atmosphériques. **(Jarry, 2009)**

Ces forces déforment la surface libre et entraînent un transfert d'énergie mécanique qui se manifeste par la formation et la propagation d'ondes. L'apparition d'un mouvement oscillant suite à ces perturbations n'est possible que s'il existe des forces de rappel qui tendent à ramener le fluide à sa position d'équilibre. Toutes les ondes présentes en mer sont soumises à plusieurs forces de rappel parmi lesquelles on trouve la gravité, la force de Coriolis, les tensions superficielles et la compressibilité du fluide. On distingue donc les forces génératrices (forces éoliennes, tectoniques, astronomiques...) qui contribuent à la déformation de la surface libre des océans, et les forces de rappel qui permettent leur propagation. **(Jarry, 2009)**

L'action de la houle et sa réflexion peuvent provoquer dans les ports des problèmes de résonance d'ondes très nuisibles aux activités portuaires. Ces problèmes sont en relation directe avec les coefficients de réflexion des parois des ouvrages ainsi que d'autres phénomènes marins. Il s'agit en particulier dans cette étude de l'agitation résiduelle aux droits des différents postes afin d'évaluer la disponibilité de ces postes, au cours de l'année, pour les opérations qui y sont envisagées. Cette étude se base sur le modèle numérique (ARTEMIS) construit à la base de l'équation de Berkhoff appliquée à la houle simule l'agitation dans les bassins portuaires.

L'importance économique, stratégique et historique du port d'Alger qui revient aux années 1500', ce dernier est passé par une longue série de travaux à travers les airs qui a rendu ce port un véritable point d'échange commercial très important pour l'économie du pays. Ce port se retrouve toujours face à plusieurs défis afin de s'adapter aux nouvelles normes de gestion portuaire pour user et profiter de toutes les performances du Port d'Alger. L'entreprise DP World de ça part à enchaîné des travaux d'aménagement au niveau du port qui servent à augmenter la capacité d'entreposage, des travaux de renforcement du terre-plein on était réalisé au niveau du port.

Conformément aux constatations de DP World, l'accostage des navires au niveau des quais 30/2, 31/1, 31/2, 33/2, du port d'Alger serait difficile dans certains cas liés à certaines conditions météorologiques. De ce fait, le port d'Alger subit une baisse de rendement estimée dans les années 2019-2021 d'une durée d'environ 200 Heures par /an cette perte est équivalente à un déficit des millions de dollars.

Une étude statistique effectuée sur l'ensemble de 292 navires à démontré que ces derniers ont conçu un temps d'arrêt de 190 heures pour l'an 2019, ce qui représente une perte de performances de 14% durant le temps d'opération due aux conditions météorologiques défavorables qui empêche le bon déroulement des opérations portuaires **(Tableau 1 et 2)**.

Introduction

Tableau N°1: Temps d'arrêts majeurs par mois pendant l'année 2019 (DP World Récap 2019).

Mois	Périodes d'arrêts (Heures)
Janvier	74 : 23
Juin	08 : 35
Octobre	28 : 30
Novembre	07 : 30

Tableau N°2: Temps d'arrêts majeurs en fonctions des quais pendant l'année 2019 (DP World Récap 2019).

Numéro de quais	Périodes d'arrêts (Heures)
30/1	42 : 30
30/2	00 : 20
31/1	43 : 00
31/2	33 : 40
33/1	07 : 30

Ce travail consiste à faire une étude sur le port d'Alger notamment l'agissant des quais en question pour mettre en lumière la difficulté d'accostage. Le but de l'étude hydrodynamique est d'effectuer une étude qui permet, d'une part de préciser le régime des houles au droit du site, et d'autre part, de préciser les caractéristiques des houles extrêmes pour être utilisées lors de l'étude d'agitation des différents quais du port. Ce travail se construira comme suit :

Premier chapitre : Couvre les aspects généraux de l'hydrodynamique marine, génération et évolution de la houle, les phénomènes marins dans un port.

Deuxième chapitre : Une présentation de la zone d'étude, la situation du port dans la baie d'Alger, ainsi qu'une généralité sur les caractéristiques morphologies et géomorphologiques de la baie, l'évolution du port d'Alger dans le temps, et les données environnementales de la zone.

Troisième chapitre : La modélisation des phénomènes hydrodynamiques présente dans le port d'Alger consiste à connaître les comportements de ces derniers. Afin de connaître ces comportements, deux modèles ont été construits à partir d'une série de données. Commencant par la détermination du modèle ainsi que la réalisation de la bathymétrie et des conditions de projet à simuler.

Introduction

Le premier modèle qui sert à étudier la propagation de la houle du large vers la côte ainsi que les phénomènes liés à la houle, le deuxième modèle est un couplage des données résultantes de la réfraction de la houle du large vers le port (MIKE-SW) avec le logiciel ARTEMIS pour avoir la modification de l'agitation dans la partie aménagée du port.

Quatrième chapitre : Le dragage est un processus de maintenance important dans les ouvrages maritimes, notamment les ports, la modification du fond et du chenal d'accès peut minimiser l'agitation et adapter le seuil de confort aux normes d'accostage et d'amarrage des navires, qui vont permettre de recevoir des navires avec une capacité d'entreposage plus importante.

Chapitre I : Généralités

1. Hydrodynamique

Les zones littorales sont des environnements dynamiques et complexes où se produisent de nombreuses interactions entre les agents responsables des différentes circulations hydrodynamiques. Ces derniers vont être brièvement résumés par la suite afin d'avoir les compréhensions de base.

1.1. Les phénomènes hydrodynamiques

La surface de la mer est perturbée par de nombreux phénomènes physiques, tels que l'effet du vent, l'effet du mouvement des fonds marins sur la colonne d'eau causé par les tremblements de terre et les glissements de terrain, l'interaction entre la Terre et les astres, ou encore la différence de pression atmosphérique. Les forces mises en jeu déforment la surface libre et provoquent le transfert d'énergie mécanique, qui se manifeste par la formation et la propagation d'ondes. Ce n'est que lorsqu'il existe une force de rappel qui tend à ramener le fluide à sa position d'équilibre, que ces perturbations peuvent osciller. Toutes les vagues qui existent dans la mer sont soumises à diverses forces de restauration, notamment la gravité, la force de Coriolis, la tension superficielle et la compressibilité des fluides.

On distingue donc les forces génératrices (forces éoliennes, tectoniques, astronomiques...) qui contribuent à la déformation de la surface libre des océans, et les forces de rappel qui permettent leur propagation. La diversité de ces phénomènes entraîne ainsi pour l'ensemble des oscillations, une plage de périodes possibles extrêmement large. (Jarry 2009).

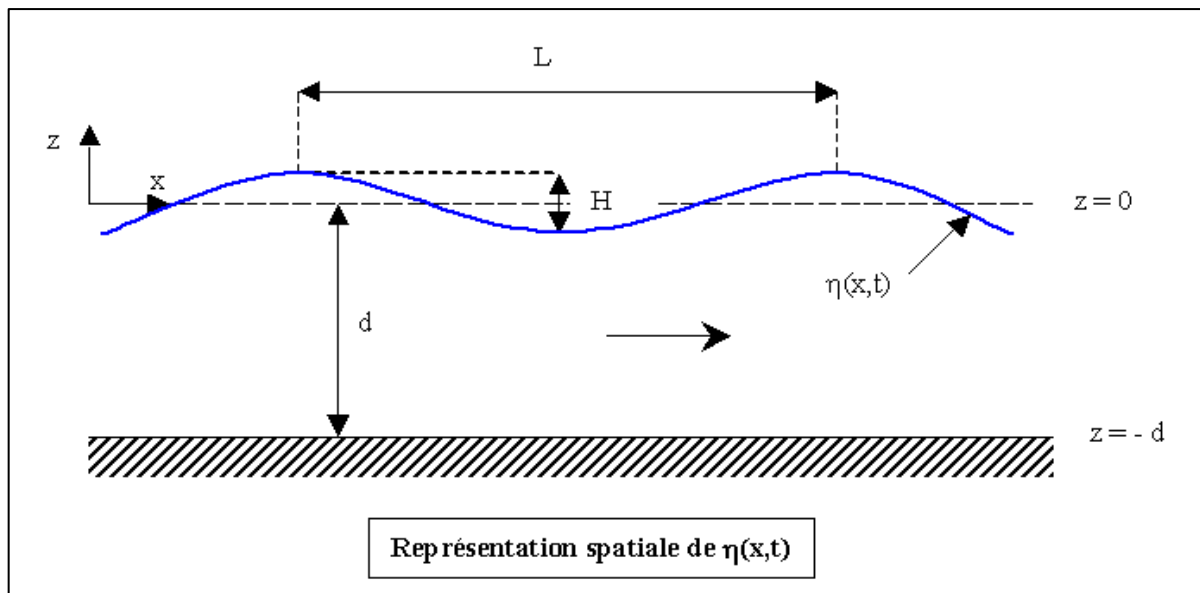


Figure N° 1: Caractéristiques générales de la houle.

Théorie de la houle

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulation ou de vagues en quittant leur zone de génération (fetch).

Avec :

H : amplitude

L : longueur d'onde

T : période

d : Profondeur

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ Fréquence angulaire

$k = \frac{2\pi}{L}$ Nombre d'onde

1.2. Génération et évolution de la houle

1.2.1. Le vent

D'après **Wright J Et Al, 1999** Les vagues grandissent selon le fetch, la vitesse et la durée du vent. Elles continuent de grandir tant que sa célérité d'onde ne dépasse pas celle du vent. Dans le cas contraire, elle déferle au large en « mouton ». Lorsque les vagues sont en formation et observées dans la zone de génération par le vent elles correspondent à “la mer de vent” : elles présentent un fort étalement directionnel, leurs hauteurs sont souvent irrégulières et leurs périodes comprises entre 2 et 8 s. Après leur formation, les vagues sont amenées à quitter la zone de génération et à se propager : elles présentent alors un aspect plus ordonné et leurs crêtes tendent à être parallèles entre elles et leurs périodes caractéristiques sont de l'ordre de 9 à 25 s. Ces vagues, nommées “houle méditerranéenne”, peuvent traverser les océans.

La houle créer sous l'action du vent sur la surface de la mer formant des ondulations qui se propagent du large (du point de leur formation) vers les côtes et cela sous différents aspects causés par des déformations résultant de la variation des profondeurs, les courants marins ainsi que les différentes directions du vent.

1.2.2. Déformation de la houle

La houle subisse des déformations en fur et à mesure de sa propagation dont certains sont relatif à des phénomènes physiques entrants en jeu :

- **Shoaling** : Désigne la modification des caractéristiques de la houle du fait de la variation de la profondeur, indépendamment des changements de direction qu'elle pourrait subir.
- **Réfraction de la houle** : L'effet de la friction au fond est plus complexe car il dépend de la nature du fond, généralement variable et dont la topographie à l'échelle de quelques mètres est façonnée par l'action des vagues.

Le frottement au fond affecte les vagues seulement lorsqu'elles sont en eau suffisamment peu profonde (dès que la vitesse n'est pas nulle au fond). Cela implique que le frottement agit de façon préférentielle sur les basses fréquences du spectre d'énergie (**Brière, 2005**).

Lorsque la houle cylindrique se propage par des profondeurs variables, sa longueur d'onde, son amplitude et sa direction subissent des modifications, alors que sa période reste constante.

- Diffraction : Le passage de la houle à travers une passe ou à proximité d'une digue unique entraîne la rotation des crêtes et une réduction de l'amplitude par diffraction ; d'une façon générale l'amplitude des vagues décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne des musoirs et des digues, dans l'ombre géométrique de la houle incidente. La longueur d'onde et la période ne sont pas modifiées par la diffraction (**Chapon, 1971**).
- Réflexion de la houle : Lorsque la houle atteint une paroi verticale, elle se réfléchit en formant un système d'ondes stationnaires appelé « clapotis » ; l'amplitude de ces ondes est sensiblement le double de celle de la houle incidente, leur longueur d'onde et leur période restent celles de la houle incidente. (**Chapon, 1971**).
- Déferlement de la houle : Lorsque la houle atteint une côte inclinée, la cambrure des lames augmente jusqu'au déferlement qui se traduit par un effondrement de la vague avec formation d'un bouillonnement (écume) sur la face antérieure ; sur un fond à faible pente, les lames déferlantes progressent sans perdre beaucoup de leur symétrie, en produisant vers la crête un point anguleux de l'ordre de 120° qui dépasse le niveau de repos des $\frac{3}{4}$ de l'amplitude. (**Chapon, 1971**).
- Tempête/ Tsunamis : Les tempêtes sont considérées comme des perturbations atmosphériques importantes sur terre ou sur mer, caractérisée essentiellement par un vent violent (souvent accompagné de précipitations) et, en mer ou sur un lac, par de fortes vagues. (**Ifremer, 2013**).
- De l'autre part les tsunamis sont des ondes océaniques superficielles engendrées par un choc tellurique, comme un séisme, une éruption sous-marine, un glissement. Se propageant très rapidement 800 km/h avec une faible amplitude 1 m, il n'est pas ressenti par les bateaux. En abordant les côtes, la vitesse diminue et la hauteur augmente parfois jusqu'à 20 m. (**La Rousse, 2015**).
- Submersion : La submersion marine désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes.

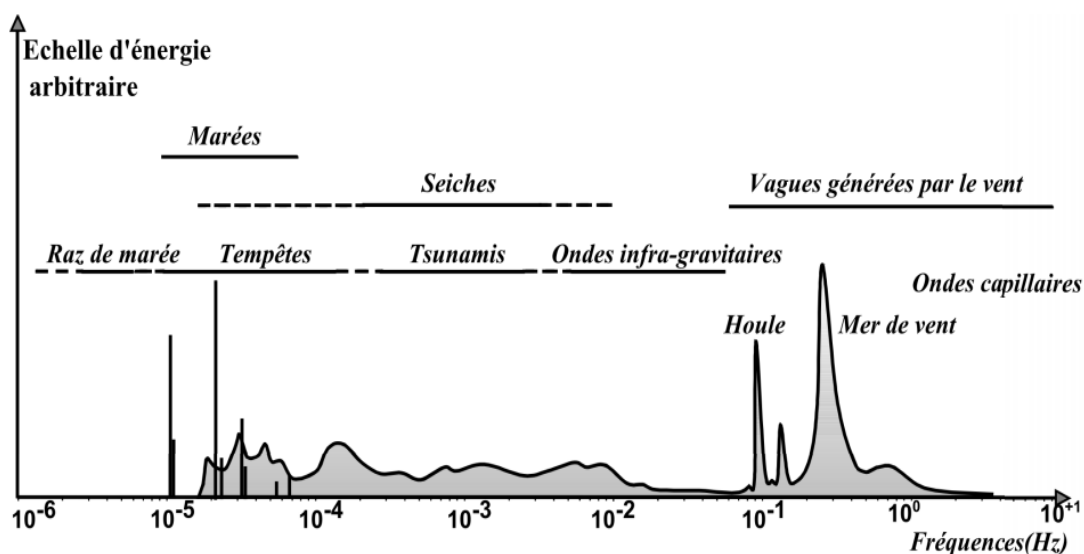


Figure N° 2: Classement des ondes de surface en fonction de la période (Holthuijsen, 2007).

2. Phénomènes hydrodynamiques à l'intérieur du port

2.1. Seiche

Par analogie, le nom de seiche désigne certaines oscillations lentes du niveau de la mer se produisant dans les ports ou dans les baies. Le balancement d'ensemble périodique de la surface libre d'un port a parfois été appelé « ressac ». Ce mot, comme beaucoup d'autres de l'hydraulique maritime (barre, clapotis, lame), est d'origine populaire et désigne parfois des phénomènes très différents (forte agitation, gifle...).

Ces seiches marines, généralement masquées par d'autres phénomènes tels que la marée et la houle, n'ont été l'objet d'observations systématiques que bien après les seiches de lacs. Cependant les premières observations qui sont parvenues furent faites en mer : la Légende rapporte qu'Aristote s'est noyé de chagrin de ne pouvoir expliquer les courants du canal de l'Europe qui changent de sens deux ou quatorze fois par jour, suivant les caractéristiques de la marée.

Les ondes de seiches, étant généralement d'amplitude très faible, sont le plus souvent masquées par des phénomènes de plus courtes périodes, en particulier par les vagues dues aux vents. Par conséquent, les appareils conçus pour mesurer ces dernières ne peuvent, en général, permettre de déceler la présence des seiches et il est nécessaire d'utiliser des instruments spéciaux pour les mesurer (**Biesel, Le Méhauté 1955**).

De caractère également oscillatoire, le phénomène de la marée est beaucoup plus lent que celui de la houle, et sa reproduction sur modèle se réalise habituellement en imposant aux limites de celui-ci soit des variations de niveau, soit des variations de débit.

Les organes de réglage du niveau ou du débit sont télécommandés et préalablement étalonnés pour obtenir, sur le modèle, des lois de variation du niveau et du spectre des courants tout au long de la marée. Dans certains cas, comme dans l'étude d'un estuaire, la variation du spectre des courants dans la partie mer du modèle au cours de la marée ne peut être obtenue qu'en disposant plusieurs organes de réglage de niveau ou de débit synchronisés. Dans tous les cas, un appareil régulateur de niveau, appelé pilote de la marée, est nécessaire pour comparer à tout instant le niveau dans le modèle au niveau désiré et effectuer la correction en agissant sur une vanne de réglage.

2.2. Résonance

Un port peut être considéré comme une masse d'eau enfermée qui possède une forme et un volume propres et qui constitue un système oscillant possédant une période naturelle d'oscillation. Cette période et ses harmoniques constituent les modes d'oscillation du système. Si la masse d'eau est soumise à l'incidence d'une onde dont la période correspond à l'une de ces périodes caractéristiques, le système entre en résonance et l'amplitude de l'oscillation ne cesse de croître jusqu'à ce que les mécanismes hydrodynamiques de dissipation établissent un équilibre. Dans la réalité le couplage entre l'oscillation dans le port et l'oscillation du plan d'eau extérieur est de courte durée.

Le phénomène de résonance donne lieu à des oscillations de plus ou moins grande amplitude qui excèdent rarement le mètre. Les plus gros dysfonctionnements sont dus aux courants puissants et alternatifs générés par l'onde stationnaire, qui soumettent les embarcations à un mouvement de va et vient provoquant l'usure rapide voire la cassure des amarres.

Les périodes de résonance propre de mise en résonance d'un bassin fermé peuvent être calculées à l'aide d'une formule du S.P.M. (Shore Protection Manual) :

$$T_n = \frac{2l_\beta}{n\sqrt{gd}} \quad (01)$$

T_n : période propre de résonance du bassin, g : accélération de la pesanteur (9.81m.s²),

l_β : longueur du bassin, d : profondeur du bassin.

n : nombre de nœud,

Les calculs des périodes de résonance propre à la darse pétrolière ont été effectués dans le sens longitudinal avec et sans la prise en compte du largueur du chenal car ce dernier peut former de par sa masse d'eau une « fermeture » de la darse, c'est un « bassin ouvert ». **(BCOEM France 2005).**

2.3. Surcote

C'est la surélévation temporaire du niveau de la mer lors de tempêtes ou de cyclones. Les surcotes marines peuvent être induits par deux mécanismes physiques différents :

La surcote atmosphérique liée au passage d'un système dépressionnaire (cyclone, ouragan, tempête)

- La surcote associée aux vagues : surélévation moyenne du plan d'eau induite par le déferlement des vagues.

3. Agitation portuaire

L'embouchure d'un port est généralement dimensionnée pour protéger le bassin contre les vagues courtes gravitaires générées par le vent et dont la période est comprise entre 5 et 25 s. Cependant, beaucoup de ports font face à des problèmes d'agitation du plan d'eau provoqués par les ondes longues ayant des périodes supérieures à 30 s. Dans la plupart des cas, un port est une étendue d'eau semi-fermée située sur la côte et donc un système oscillant. Lorsque le forçage incident est suffisamment énergétique et que sa période est voisine de l'une des périodes propres du bassin, une onde stationnaire, associée à des oscillations verticales et des courants importants, se développe, on parle alors de seiche côtière **(Rabinovich, 2009).**

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. La baie d'Alger

1.1. Situation géographique de la baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Caractérisée avec sa forme semi-circulaire et d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km². Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. Elle est délimitée par deux caps, la Pointe-Pescade (Rais-Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El- Bahri) à l'Est. Ainsi que par la mer Méditerranée au Nord.

Les coordonnées géographiques de son étendue la situe entre une longitude Est de 03°01'00'' à 03°14'30'', et une latitude Nord de 36°44'30'' à 36°49'15''.



Figure N° 3: Situation géographique de la baie d'Alger. (Basemap ArcGIS 2021).

2. Le port d'Alger

2.1. Situation géographique du port d'Alger

De par sa localisation géostratégique, le port dessert plusieurs provinces du pays. Son arrière-pays unique couvre la partie centrale, la partie centre-est et la partie centre-ouest. Le reste du pays, notamment la région sud, peut être considéré comme faisant partie de l'arrière-pays du port d'Alger, compte tenu de la circulation des marchandises et par les activités des compagnies pétrolières.

Le port d'Alger bénéficie d'une situation géographique privilégiée dans le bassin méditerranéen et l'ensemble du pays, ce qui en fait un port de commerce de premier plan en Algérie.

Le Port d'Alger construit à l'extrême Ouest de la baie d'Alger, est localisé au pied du massif de la Bouzaréah et est abrité du nord par Ras Acrata., et il est limité à l'Ouest par la ville d'Alger. Il se situe entre 03° 03' 44" et 03° 04' 60" de longitude Est et entre 36° 45' 44" et 36° 47' 43" de latitude Nord.



Figure N° 4: Situation géographique du port d'Alger. (Basemap ArcGIS 2021).

2.2. L'Evolution du port d'Alger dans le temps

Selon « la Série économique : ports. Le port d'Alger n°82 - 1er juillet 1951 » et le site officiel du port d'Alger et MEDITAM 2020.

Vue d'ensemble sur la construction du port d'Alger De 1830 à 2010

Les Services techniques français puis le ministère des travaux publics Algériens entreprirent l'amélioration de la darse, les travaux ci-après avaient été réalisés :

➤ **1830 :**

- Jetée Nord sur 500 m et murs de quai : provisoire de 300 m avec terre-plein au Sud du môle dit de la Santé ou môle Lyvois, définitif sur 335 m plus au Sud.
- Jetée Sud et jetée Est. Rampe reliant les quais à la ville. Et deux formes de radoub
- Gare et voies ferrées construites en 1865, et fermeture de la passe Est,
- Prolongement de la jetée Nord sur 40 m, rétrécissement de la passe, achèvement de quais, construction de cales de carénage.
- Allongement sur 100 m de la Jetée Est. Ouverture d'une passe dans la branche d'enracinement de la jetée Sud.

- La construction d'une jetée de 300 mètres au Sud du Fort du Coude, d'un môle de 200 mètres de longueur (amorce du môle aux minerais) et de vastes terre-pleins de rive au Sud des formes de radoub.
- Rétrécissement à 175 mètres de la passe d'entrée du Vieux Port par un allongement de 50 mètres de la jetée Sud et la construction d'un éperon de 22 mètres au musoir Nord.

➤ **1914 à 1940**

- Construction du bassin Mustapha qui est séparé du bassin de l'Agha par le grand môle Bologhine et par une passe de 100 m.

➤ **Du 1950 à 1963**

- Construction du môle de Skikda puis construction de la gare maritime au môle El Djazaïr,

➤ **1979** - Dragage du port d'ALGER

➤ **1983** - Réfection de la jetée Est et de l'îlot de l'Amirauté du port d'ALGER

➤ **1985** - Aménagement des Postes Ro/Ro du port d'Alger

➤ **1987** - Dragage des Postes Ro/Ro du port d'Alger et du port de pêche
- Renforcement de la jetée MUSTAPHA du port d'ALGER

➤ **1989**

- Dragage des abords de quais (45 000 m³) du port d'Alger.
- Remblayage de la darse de Calvi et réalisation d'un appontement en duc d'Albe et de six rampes Ro/Ro,

➤ **1992** - Confortement du musoir de la jetée Mustapha du port d'ALGER (2ème Tranche)

➤ **De 1994 à 1998**

- Construction du Terminal à Conteneurs d'une superficie de 17,5 ha et d'une capacité de plus de 250.000 EVP
- Aménagement d'un terminal à conteneurs (320 ml) au port d'Alger (avec prolongement de la prise d'eau de mer de SONELGAZ)

➤ **1998** - Construction d'un Terminal à Conteneurs au port d'ALGER

➤ **De 2000 à 2010**

- Confortement de la jetée Mustapha du port d'ALGER
- Réparation de l'Epi Sud du port d'ALGER sur 50 ml
- Confortement de la jetée KHEIREDDINE du port d'ALGER
- Confortement de la jetée Est du port d'ALGER sur 220 ml
- Confortement de la jetée Mustapha du port d'ALGER

Travaux projetés en **1950** : Prolongement de la jetée de Mustapha au-delà du P.M. 1.200m et construction sur le môle Louis Billard (non réalisée).

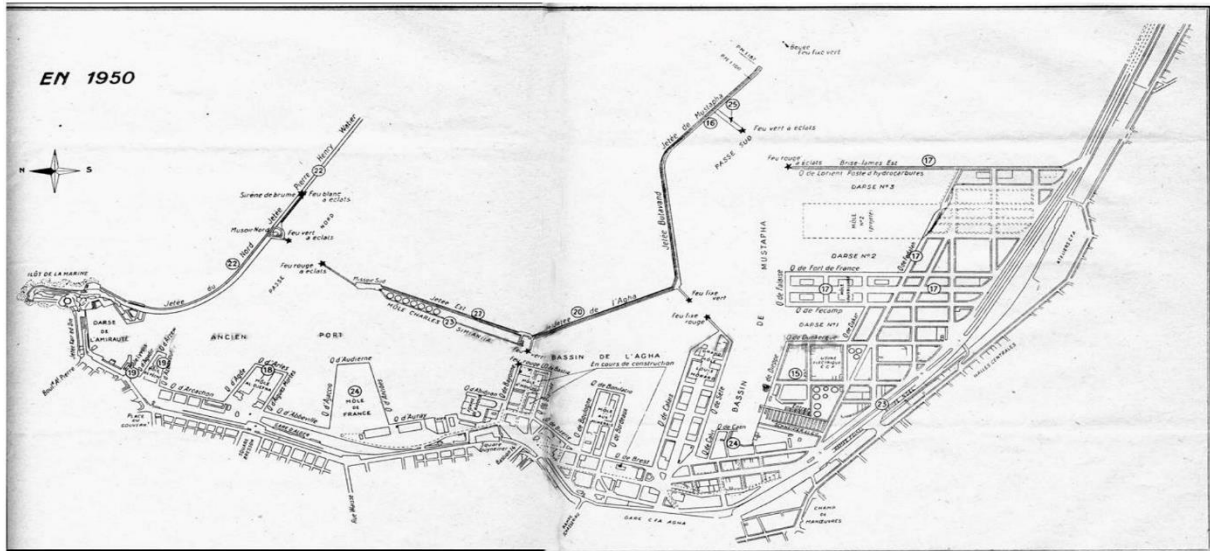


Figure N° 5: Schéma du plan d'Alger en 1950 (Série économique ; port d'Alger juillet 1951).

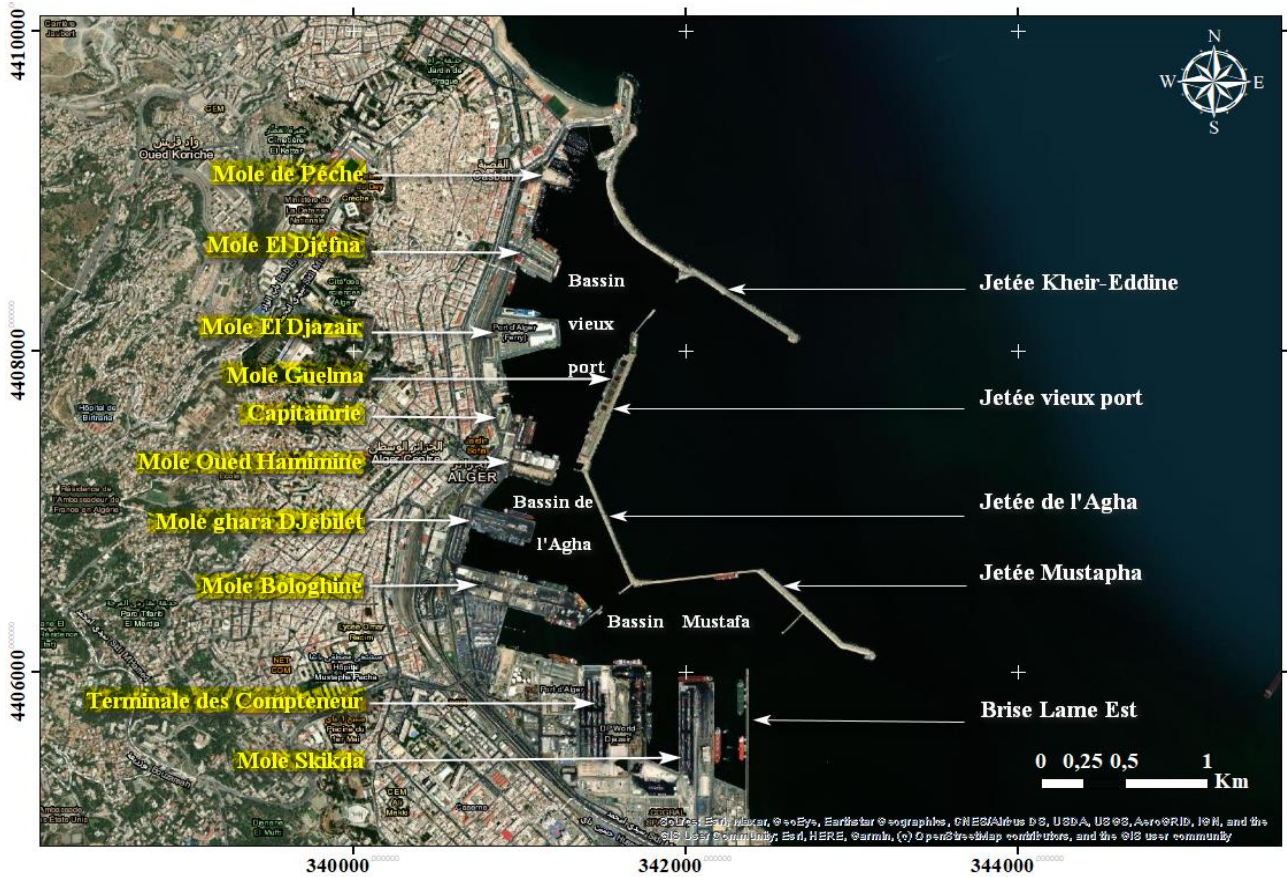


Figure 1: situation géographique et les équipements du port d'Alger (Basemap ArcGIS 2020).

2.3. Importance économique du port d'Alger

Suivre la démarche d'intégration de l'Algérie dans la mondialisation à partir des perspectives portuaires et maritimes est une nouvelle approche. La maritimisation du commerce mondial a pris, ces dernières décennies, une envergure telle que les nations en développement ont pris conscience du rôle important que peut jouer la mer ; et qu'inéluctablement, leur avenir passe par elle. Dans les pays développés, la plus faible performance portuaire des régions spécialisées dans le secteur industriel révèle leur difficulté à s'adapter à la mondialisation (DUCRUET, 2008). D'autres travaux ont montré l'influence de l'efficacité portuaire sur la croissance économique des États (BEHRENS et al. 2006) et sur la réduction des coûts de transport en général (LIMAO et VENABLES, 2001 ; CLARK et al. 2004 ; HADDAD et al. 2006). Or l'Algérie tarde à s'adapter et pourtant la quasi-totalité de son commerce extérieur se fait par voie maritime. Suite à l'expérience réussie du port de Bejaïa, les pouvoirs publics ont conclu un contrat de gestion de gré à gré avec un autre partenaire étranger : DPW (Dubai Port World) pour la gestion des ports d'Alger et de Djen-Djen. Ce partenariat a permis, d'un côté, à DPW d'entrer en Méditerranée, région dans laquelle l'entreprise était absente, et à l'Algérie de s'associer à un gros partenaire à même de l'introduire dans le circuit mondial. C'est aussi un moyen pour la firme globale de concurrencer Maersk et CMA-CGM qui ont concentré leur activité maritime et portuaire dans les hubs voisins de Tanger Med, Algésiras, et Marsaxlokk. (Setti, Mohamed-Cherif, et Ducruet 2011).

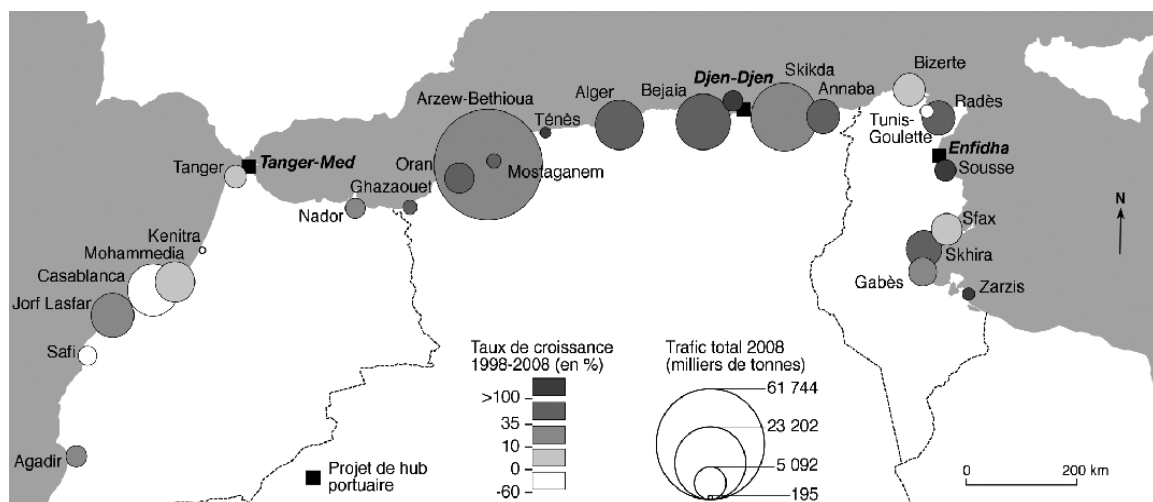


Figure N° 6: Hiérarchie et dynamique des ports du Maghreb.

3. Morphologie de la baie d'Alger

La connaissance de la morphologie et la nature du fond d'un site permet de définir plusieurs facteurs tels que sa sensibilité face aux agressions marines et l'hydrodynamique marine.

La baie d'Alger se prolonge du bassin Néogène de la Mitidja, s'inscrit en creux entre les deux horsts du massif d'Alger et de la bane de Matifou.

Le plateau continental de la baie d'Alger est large d'environ (9 km à 12.5Km) à cause de la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach et EL-HAMIZ). Cependant, aux deux points extrêmes de la baie, on constate qu'il se réduit à une largeur maximale de à 1 km (Cap Matifou et Massif de Bouzareah). Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celle des 100 m ((PAC, 2004).

La baie d'Alger est subdivisée de point de vue géomorphologique en plusieurs ensembles qui sont le massif de la Bouzareah, le Sahel d'Alger, deux plaines littorales qui sont celle d'El Hamma et de la Mitidja. Et un cordon littoral dunaire qu'il s'agit sous forme d'une petite barrière sablo gréseuse allongée parallèlement au rivage (LEM, 1996).

4. Réseau hydrographique

Les oueds EL Harrach et EL Hamiz drainent respectivement les parties centrales et orientales de la Mitidja avant de se jeter dans la mer. Ces deux Oueds ainsi que leurs affluents sont des torrents à débit irréguliers. Dans leur cours inférieur, ils présentent une direction générale du Sud vers Nord (LEM, 1996).

- Oued EL Harrach

Le régime hydrographique de l'Oued EL Harrach se caractérise par un long étiage de six (6) mois et des crues d'Hiver et de Printemps soudaines et rapide. Le bassin versant de l'Oued EL Harrach couvre une superficie de 378 Km², c'est un bassin difficile d'accès caractérisé par une forte dénivelée, une végétation peu dense et une pluviométrie importante.

A ces facteurs érosifs s'ajoutent le caractère torrentiel de l'Oued qui est en faveur d'un fort débit et d'un alluvionnement important. (LEM, 1996).

- Oued EL Hamiz

En ce qui concerne l'Oued EL Hamiz, la présence d'un barrage portant le même nom a largement réduit les apports solides vers la mer actuellement, l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30) de mètre de large, (LEM, 1996).

Tableau 3: Caractéristique générale d'Oued El Harrach et Oued El Hamiz (ANRH 2014).

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Communes traversées	Mohamadia / Moradia / Husein Dey / El Harrach / Sidi Moussa / Birtouta / Saoula-Ouled Chbel / Ouled Fayet / Bir Mourad Rais / Guide Constantine / Echefa / Blida...	Rouiba / Dar El Baida / Oued Essemar / Bordj El Bahri / El Hamiz / Eucalyptus / Bab Ezouar / Bordj El Kiffan / Ain Taya...
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (km ²)	378	86
Apports liquides Al (Hm ³)	53	11
Apports solides As (m ³ /an)	107114	100226

5. Données environnementales

5.1. La marée

La marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans. Dans les côtes algériennes, l'amplitude de la marée n'est pas importante, le marnage est de l'ordre de 20 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle.

La marée est pratiquement négligeable au port d'Alger (marée astronomique max. : 08 cm). Elle a une période de 24h et 12h. Le niveau de la mer varie avec la direction des vents et la différence des niveaux atteint 75 à 80 cm maximum.

Le rapport entre NGA ET ZH dans les ports algériens est de : $NGA = + 0,34 Z$.

5.2. Les courants marins

Les courants ont la capacité de réfracter les vagues. Ainsi, les variations de courant modifient la vitesse de phase des vagues et induisent une réfraction. La direction de propagation est alors modifiée et n'est plus perpendiculaire aux crêtes mais s'oriente parallèlement au courant. La forme des vagues est aussi modifiée. Les courants peuvent aussi bloquer les vagues lorsque leur direction de propagation est opposée à la direction des courants

Les principaux courants marins de la zone maritime algérienne sont des courants allant vers l'Est en passant par le détroit de Gibraltar. D'une manière générale, leur vitesse est comprise entre 1/4 et 3/4 nœuds.

Il existe des contres courants latéraux allant vers l'Ouest qui sont en général, faibles au port d'Alger.

5.3. Les vents

Les vents jouent un rôle important dans la dynamique des eaux marines superficielles, ils sont générateurs des houles et des courants superficiels. Les résultats de l'analyse de la corrélation du vent de 1992 à 2020 (vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 3h, WaveClimat.com) au point situé en Méditerranée selon les coordonnées géographiques (37°N et 3°15'E), mettent en évidence les répartitions suivantes : Une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest, Est et Ouest avec des vitesses qui atteignent 20 m/s selon les directions comprises entre 210° et 280° N. Pour les directions comprises entre 45° et 110° N on trouve des vitesses maximales des vents qui atteignent 15 m/s. On observe 16% d'apparition des vents de secteur Est-Nord-Est et 12,2% d'apparition des vents de secteur Ouest (voir figure 6, 7 et 8).

Les vents les plus fréquents et les plus violents sont :

Les vents d'Ouest, Sud-Ouest, Nord-Est et Est. Ils peuvent atteindre jusqu'à 20 m/s en hiver.

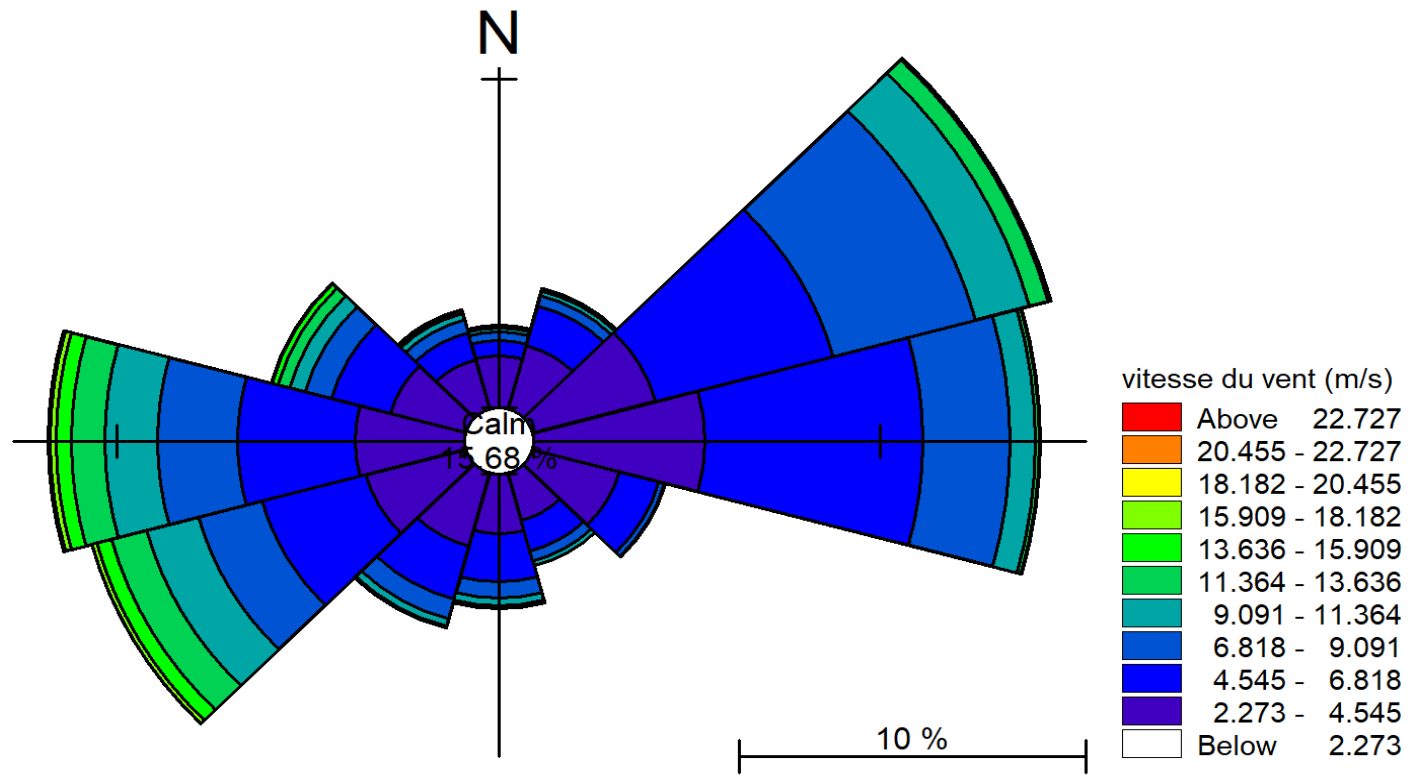


Figure N° 7: Rose des vents annuelle de la période la période 2016-2020.

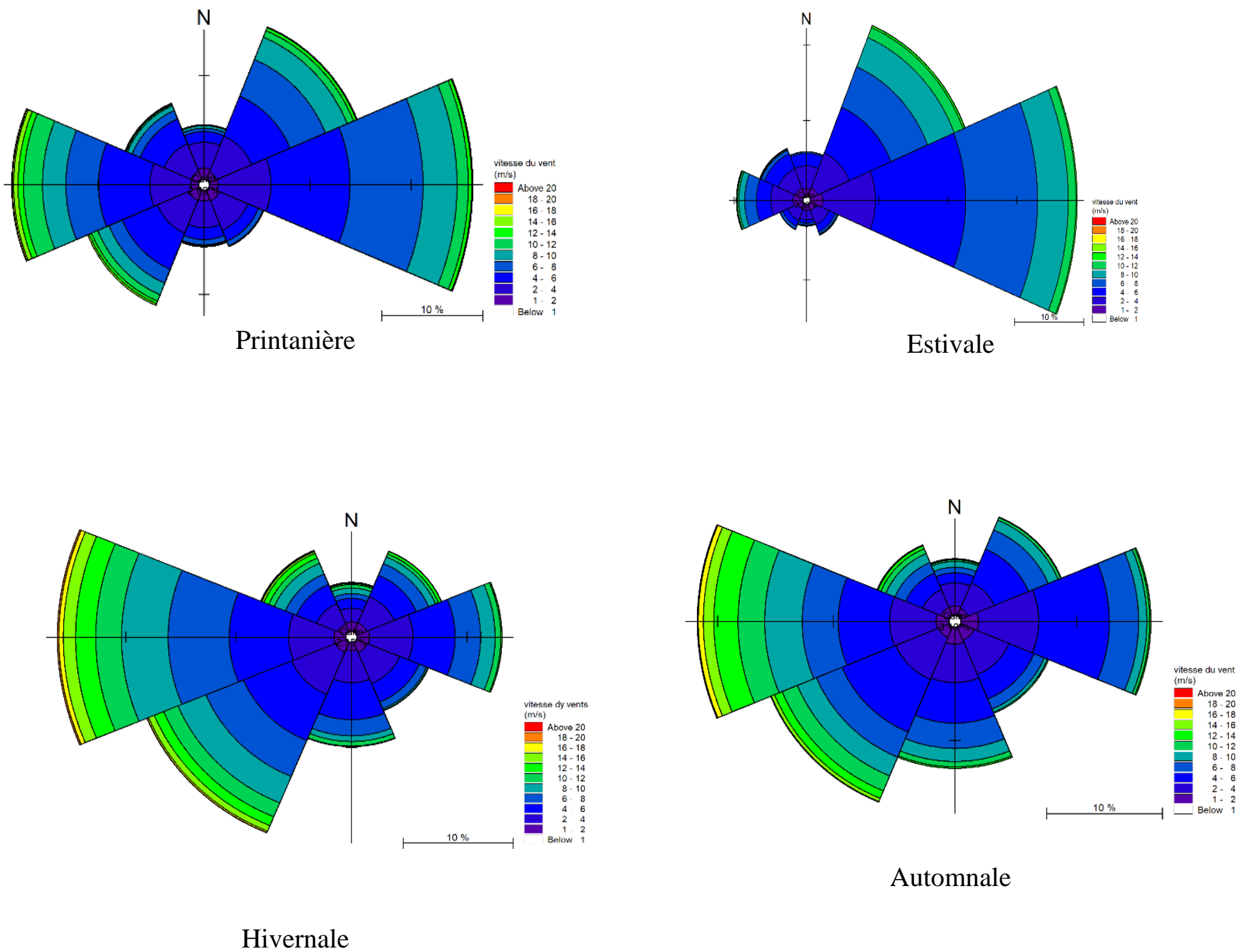


Figure N° 8: Rose des vents saisonnière pour la période 2016-2020.

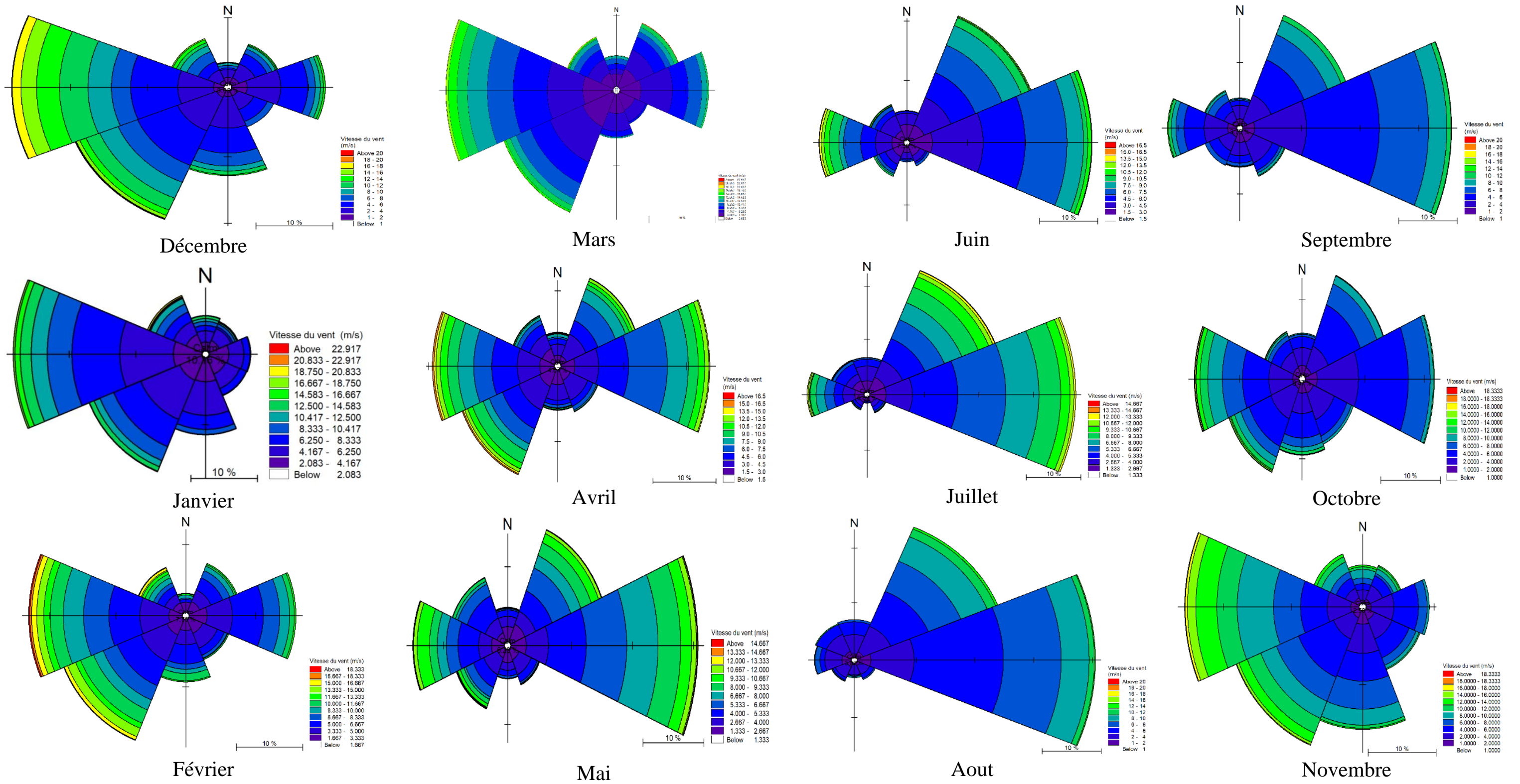


Figure N° 9: Rose des vents par mois de la période 2016-2020.

5.4. Les houles

Les houles jouent un rôle important dans la dynamique des eaux marines superficielles, ils sont des facteurs hydrodynamiques qu'ils ont un grand impact sur le port. Les résultats de l'analyse de la corrélation des houles de 1992 à 2020 (moyenné sur 3h, WaveClimat.com) au point situé en Méditerranée selon les coordonnées géographiques 37°N et 3°15'E, (figure 9.10 et 11), on constate que :

Des vagues de plus de 0,5 m de hauteur ont été observées dans 58,4% des cas, parmi lesquels 17,2 % étaient des vagues de plus de 2 m. La périodicité des hautes vagues était fondamentalement d'environ 7 secondes et une mer relativement houleuse a pu être observée. D'autre part, en fonction de la direction des vents, les vagues sont en majorité orientées dans les directions Ouest et Nord-Est. Le pourcentage de vagues de plus de 0,5 m de hauteur déferlant à l'embouchure du port d'Alger en provenance de direction de Nord à Est est de 6,1% ; on n'observe que peu de vagues de plus de 1,0 m de hauteur (1%).

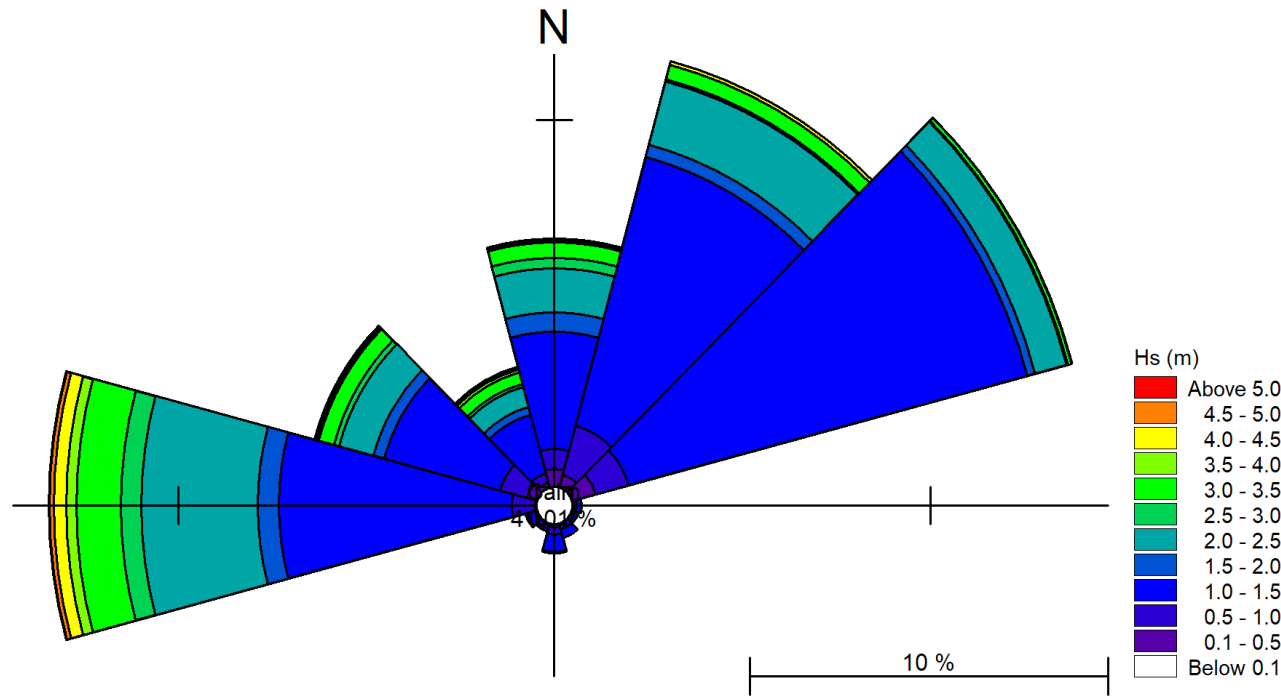


Figure N° 10: Rose des houles annuelle de la période 2016-2020.

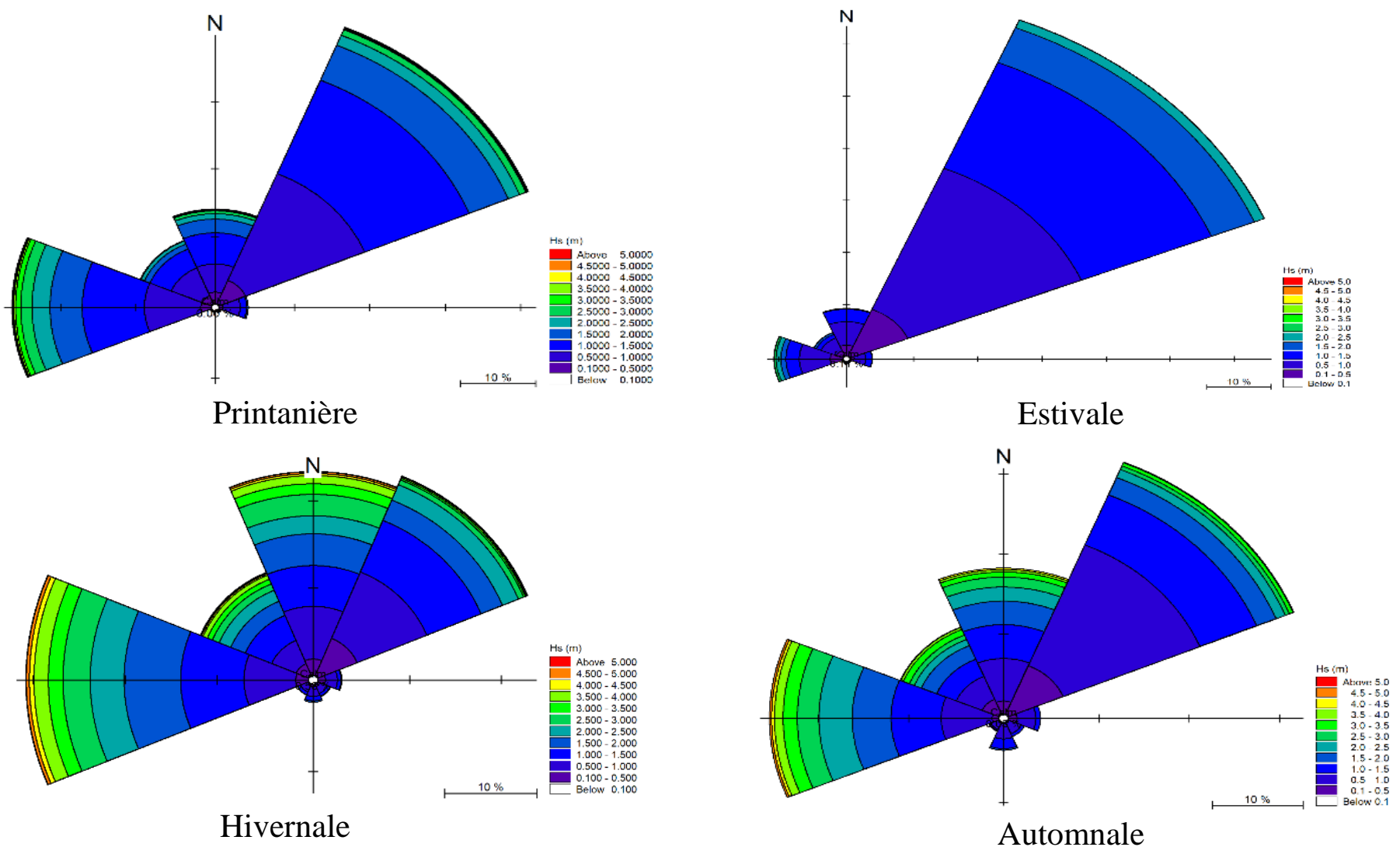


Figure N° 11: Rose des houles par saison pour la période 2016-2020

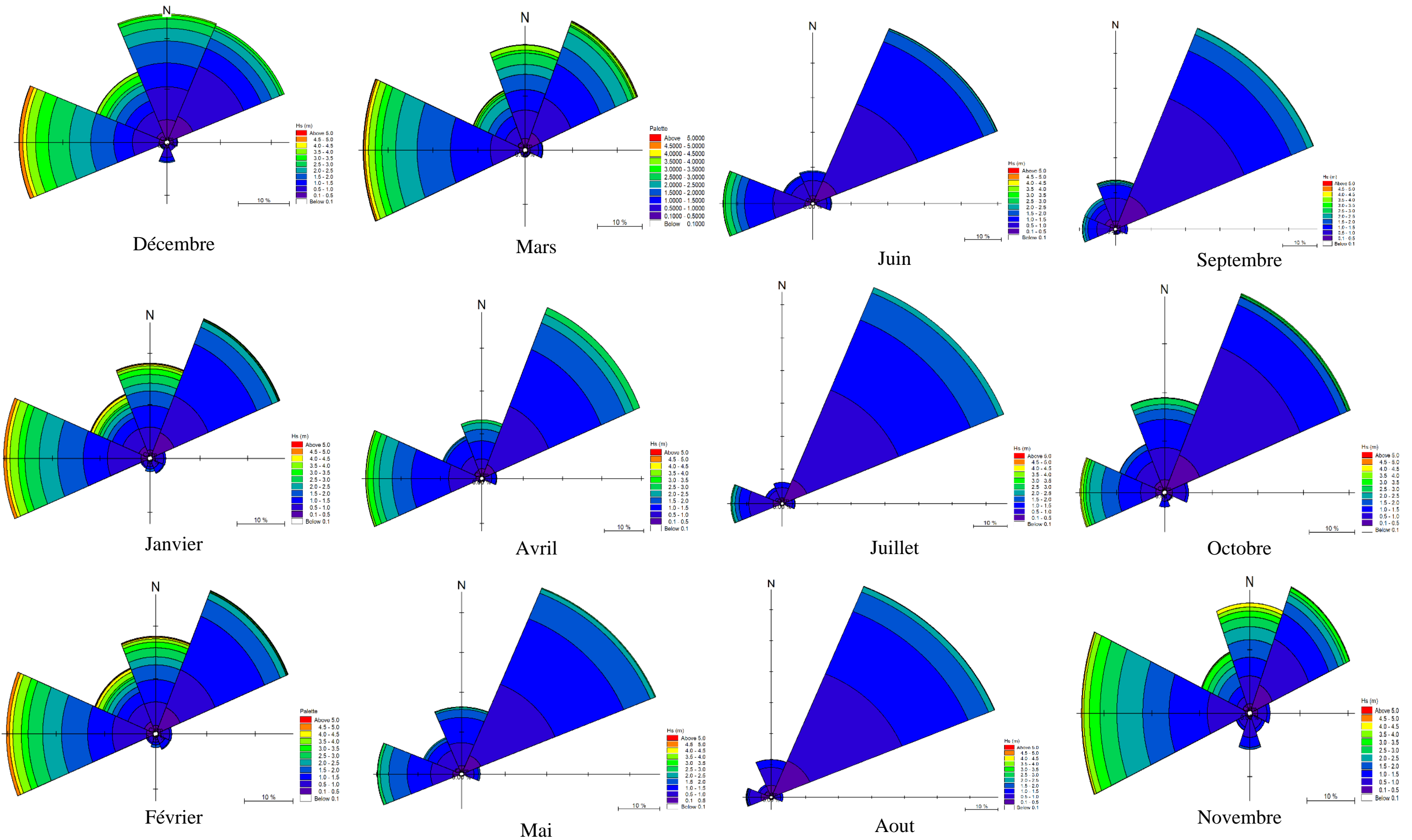


Figure N° 12: Rose des Houles par mois de la période 2016-2020.

Chapitre III : Etude hydrodynamique et agitation portuaire

1. Données de base

1.1. WAVECLIMATE

WaveClimate.com fournit des informations détaillées et spécifiques au site sur le climat des vents et des vagues en mer partout dans les océans et les mers du monde. De plus, en utilisant une transformation des vagues côtières, le service permet d'estimer les conditions climatiques des vagues aux emplacements côtiers.

Les séries obtenues depuis WaveClimate.com datent de (01/01/1992 00:00:00 jusqu'au 31/12/2020 21:00:00). Cela permet de comprendre les caractéristiques des vagues offshore et onshore de la zone d'étude, un ensemble de données climatologiques à long terme a été extrait de (infoplazza, 2021) à un emplacement en eau profonde (profondeur de l'eau ≈ 2000 m) aux coordonnées 37°N et 3°15'E. Les vagues de cette région couvrent à la fois les mers de vent générées localement et les houles du Nord de la Méditerranée.

Les séries temporelles résument les résultats réguliers des enregistrements chaque 3h le long de l'année, ainsi que d'autres paramètres de la houle présentée comme suit :

20	Year	Month	Day	Hour	u10	u10d	Hs	Hsd	Tz	Tm	Tp
21				[UTC]	[m/s]	[deg]	[m]	[deg]	[s]	[s]	[s]
22	1992	1	1	0	13	272	5.21	233	8.55	10.14	11.16
23	1992	1	1	3	14.2	258	5.12	236	8.42	9.92	11.16
24	1992	1	1	6	15.4	244	5.28	235	8.4	9.77	11.16
25	1992	1	1	9	15.8	244	5.75	233	8.58	9.94	10.15
26	1992	1	1	12	16.4	244	6.47	230	8.9	10.36	11.16
27	1992	1	1	15	15	244	6.92	229	9.19	10.77	11.16
28	1992	1	1	18	13.4	244	6.96	228	9.18	10.92	12.28
29	1992	1	1	21	12	240	6.76	228	9.11	10.94	12.28
30	1992	1	2	0	10.6	234	6.44	230	8.99	10.87	12.28

Figure N° 13: Capture des séries temporelles des paramètres des houles (WaveClimate).

Avec :

6	Begin	1/1/1992 0:00
7	End	12/31/2010 21:00
8	Timestep (hours)	3
9	Datasource	wavemodel
10		
11	Code	Explanation
12	u10	One hour wind speed at 10m asl
13	u10d	Wind direction at 10m asl (nautical)
14	Hs	Significant wave height
15	Hsd	Mean wave direction (nautical)
16	Tz	Zero-crossing wave period
17	Tm	Mean wave period
18	Tp	Peak wave period

Figure N° 14: Capture de la définition des paramètres de la houle de WaveClimate.

1.2. Carte NAVIONICS SonarChart™

En absence des données de bathymétrie on a utilisé les données de Navionics qui fournit une carte avec des détails du contour du fond des mers et des lacs, ce qui est idéal pour mieux connaître les eaux peu profondes. En effet, Navionics intègre les logs sonar envoyés par les utilisateurs individuels avec les données existantes pour assurer une carte de plus en plus précise.

La densité bathymétrique varie selon les différents niveaux de profondeur. Voir les détails de l'intervalle de profondeur ci-dessous :

Tableau 4: Relation entre la variation des isobathes et la resolution de la carte NAVIONICS.

Isobathes	Résolution
0- 30 m	0.5 m
31- 50 m	1 m
51- 100 m	2 m
101- 200 m	4 m
201- 400 m	10 m
401- 800 m	20 m
801 - 1000 m	40 m
1001 - 2000 m	100 m

La carte extraite du Navionics SonarChart™ permis d'avoir une carte bathymétrique représentatif de la zone d'étude. Les isobathes ont une bonne précisions au niveau du port et moins précise dans les zones loin du port.

1.3. Esri ArcGIS

ArcGIS est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. Le

logiciel Arc GIS 10.4 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

- **ArcCatalog** : Est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi que leur exploration.
- **ArcMap** : Est l'application fondamentale du logiciel Arc GIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.
- **ArcToolbox** : Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (Asbai, 2013 in Nadir M., 2016).

ArcGIS permet d'avoir un Shapefile (*.shp) de la bathymétrie de la baie d'Alger afin de les exporter comme coordonnées (*.xyz) lisible par exécutable par Mike 21.

2. Etude hydrodynamique

On ne s'intéresse dans cette étude qu'à la modélisation de la houle, initialement générée par le vent.

La houle est un phénomène de propagation d'une perturbation depuis un endroit d'un milieu matériel à un autre, qui n'engendre pas de mouvement global du milieu lui-même. La propagation d'une perturbation se traduit par un transport d'énergie, à une vitesse qui n'est pas forcément identique à celle de la perturbation.

La vitesse de propagation des vagues dépend de leur longueur d'onde, de leur amplitude et à l'approche du littoral, de la profondeur d'eau. Le phénomène de propagation des vagues est donc dispersif. Par ailleurs, les vagues ne se propagent pas toutes dans la même direction, d'où un aspect parfois chaotique de l'état de surface de la mer. Les vagues sont donc caractérisées par des spectres d'énergie, qui font apparaître des grandeurs caractéristiques, avec par exemple une hauteur significative H_s , une période significative T_p , etc.... Ces spectres sont larges pour les vagues de vent, plus étroits pour une houle déjà formée qui continue à se propager loin de sa zone de génération par le vent.

2.1. Principe de la modélisation

Le principe général et les étapes de la modélisation mises en œuvre pour l'étudier hydrodynamique du port d'Alger :

Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la baie et à l'échelle du port.

Il est nécessaire de calculer au moyen d'un modèle numérique la propagation et la génération des houles depuis le large, ou elles sont connues, jusqu'au littoral (la détermination des caractéristiques de houle (hauteur, période et direction) au large de la baies

2.2. Modèle Mike

Mike 21-DHI développé par l'institut hydraulique Danoise 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 inclut les effets

de la réfraction et de Shoaling lies 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).

2.2.1. Génération et interpolation de la Mesh

Le module « Mesh Generator » offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. « Mesh Generator » génère un format souple de maillage (*. MESH) (DHI, 2014) Le programme fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques (DHI, 2014). Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats (DHI, 2014)

La création d'une bathymétrie est généralement divisée en les phases suivantes : le choix du système de projection, le traitement des données bathymétriques XYZ, la Pour la conception du maillage, le système de projection utiliser est UTM WGS84 ZONE 31. Les données obtenues sont enregistrées sous la forme d'un fichier XYZ qui contient les coordonnées des points bathymétriques ont été importé grâce au module « Mesh generator »

A l'aide du module « Mesh Generator » dans MIKE21, nous pouvons d'abord importer le trait de côte à partir des données transformées précédemment (fichier « *.XYZ »). Nous devons assurer que les lignes du trait de côte soient bien fermées lors de l'importation d'une série de lignes. Puis, les données bathymétriques (fichier « *.XYZ ») sont importées dans le fichier de maillage.

Nous notons que la vitesse de calcul est proportionnelle à la taille du plus petit élément du maillage. En effet, le modèle MIKE21 choisi le pas de temps afin d'assurer la condition de stabilité CFL inférieure à 1 pour tous les éléments. Pour ce cas d'étude la Mesh généré est construite de 38289 éléments pour 23241 nœuds. Le générateur de maillage donne des possibilités à l'égard de deux interpolations pour les éléments triangulaires. Les deux routines d'interpolation sont possibles : le voisin naturel et l'interpolation linéaire. Elles sont indépendantes du type de maillage utilisé.

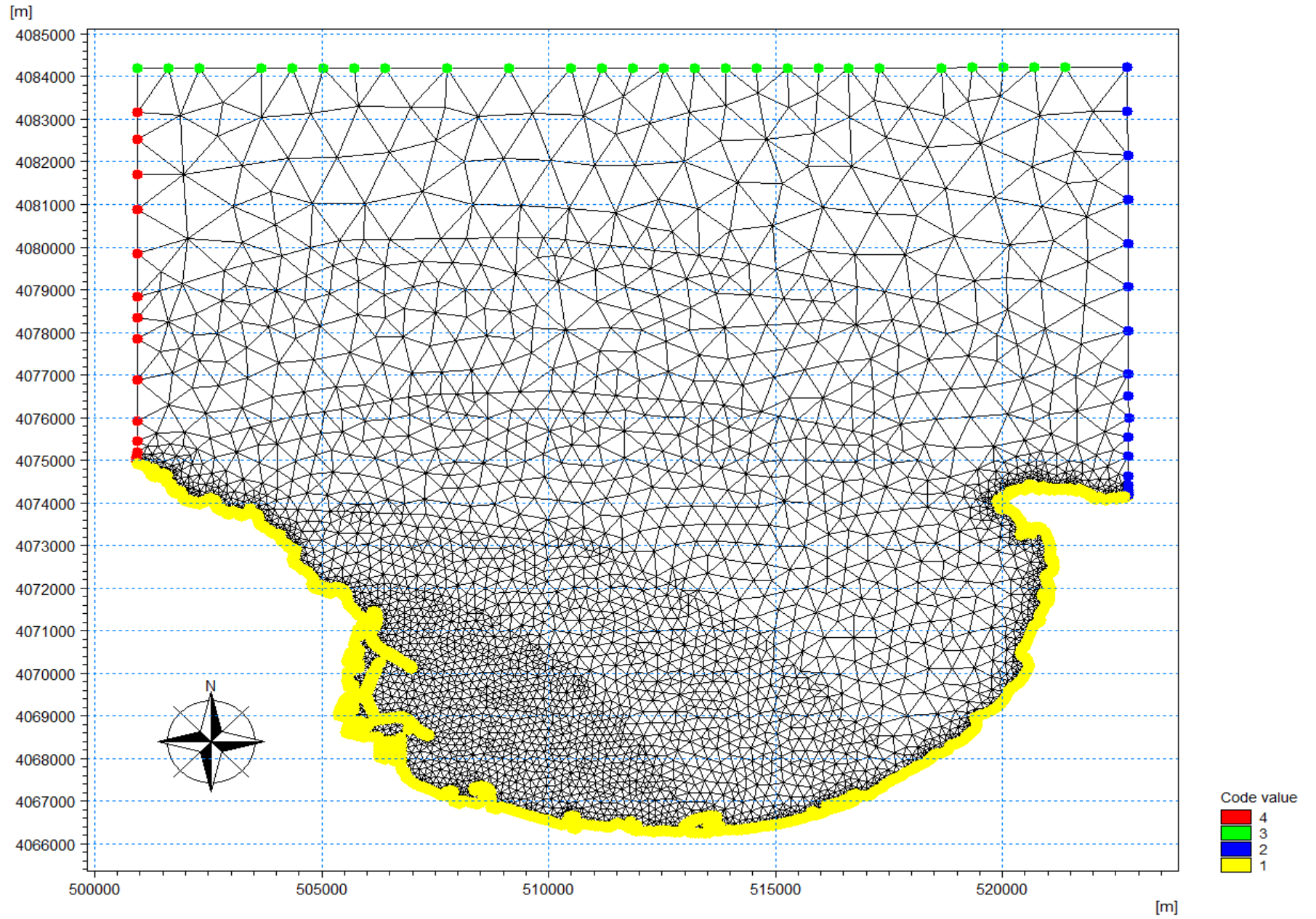


Figure N° 16: Maillage du modèle zoom sur la baie.

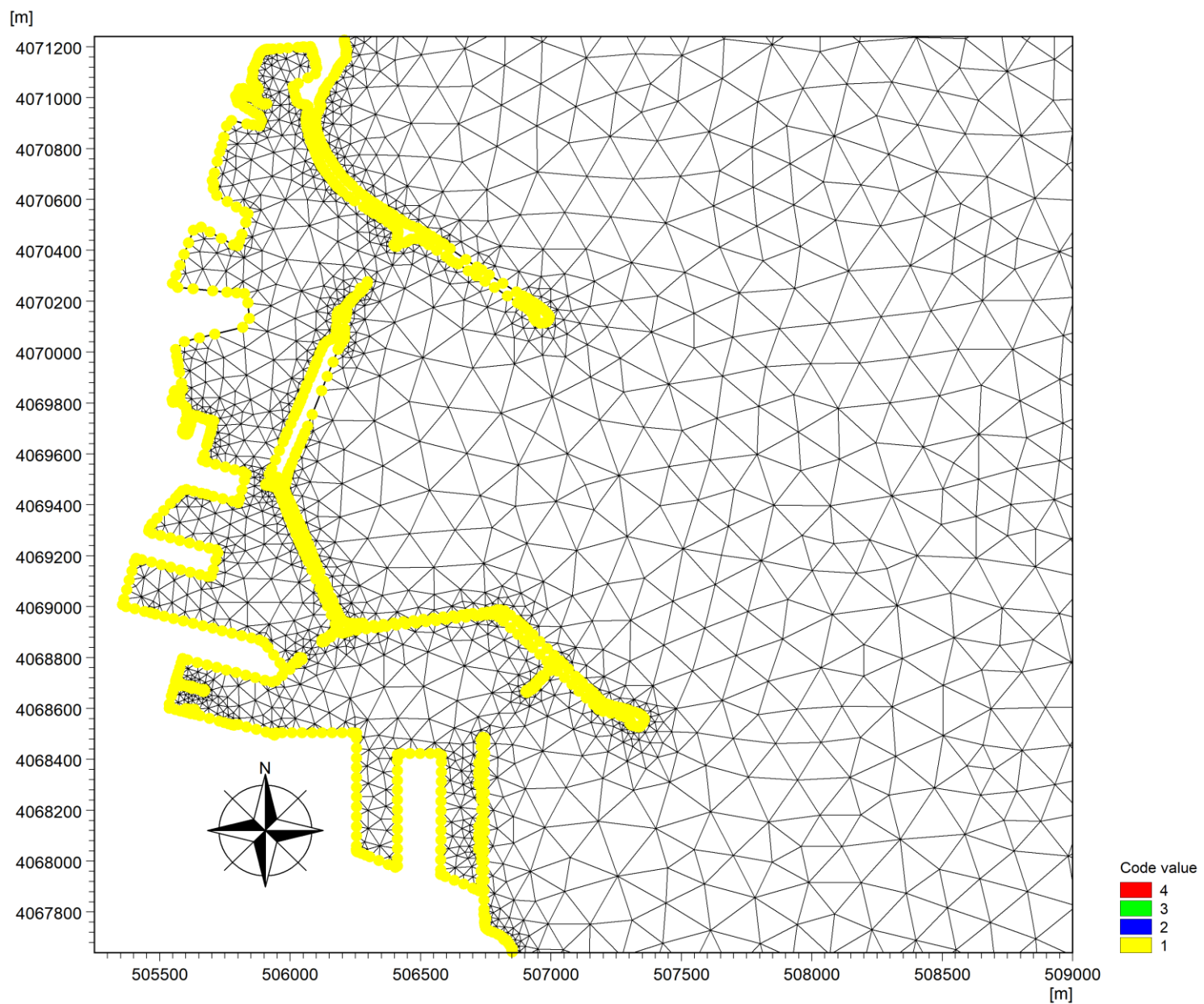


Figure N° 15: Maillage du modèle zoom sur le port.

2.2.2. Bathymétrie

La bathymétrie utilisée pour cette étude est celle issue de la digitalisation de la carte publiée par NAVIONICS SonarChart™, édition 2021 intitulée à l'échelle de 1/ 250000 », avec une résolution qui varie entre 100 et 0,5m de large vers la cote.

La bathymétrie du modèle importé générée avec ArcGIS vers MIKE21 (*.xyz).

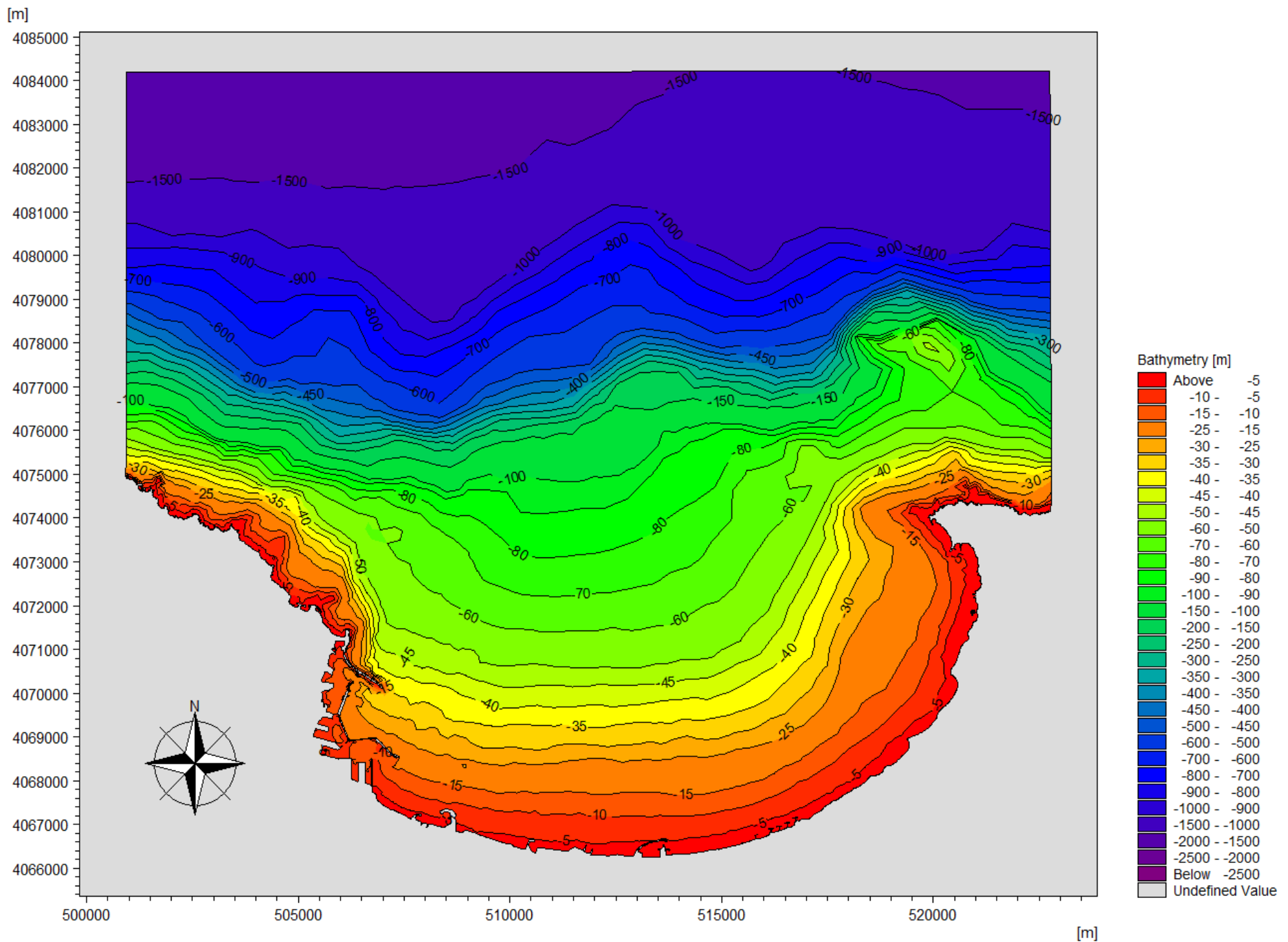


Figure N° 17: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d’Alger.

- **La bathymétrie de la baie d’Alger**

L’analyse de la carte bathymétrique obtenue pour la baie d’Alger nous montre deux parties distinctes :

Une partie côtière : Avec des isobathes un peut étalée au milieu de la baie parallèles au rivage qui varie de 0 m -15 m et bien serrée aux extrémités ce qui traduit une pente abrupte,

Une partie au large : Au niveau les extrémités de la baie on remarque que les isobathes sont très rapprochées les unes des autres ce qui traduit une pente forte, d'autre part la partie centrale de la baie est caractérisé par des isobathes espacées les unes des autres ce qui renseigne une pente douce cette situation est principalement expliqués par la morphologie de la limite du plateau continental.

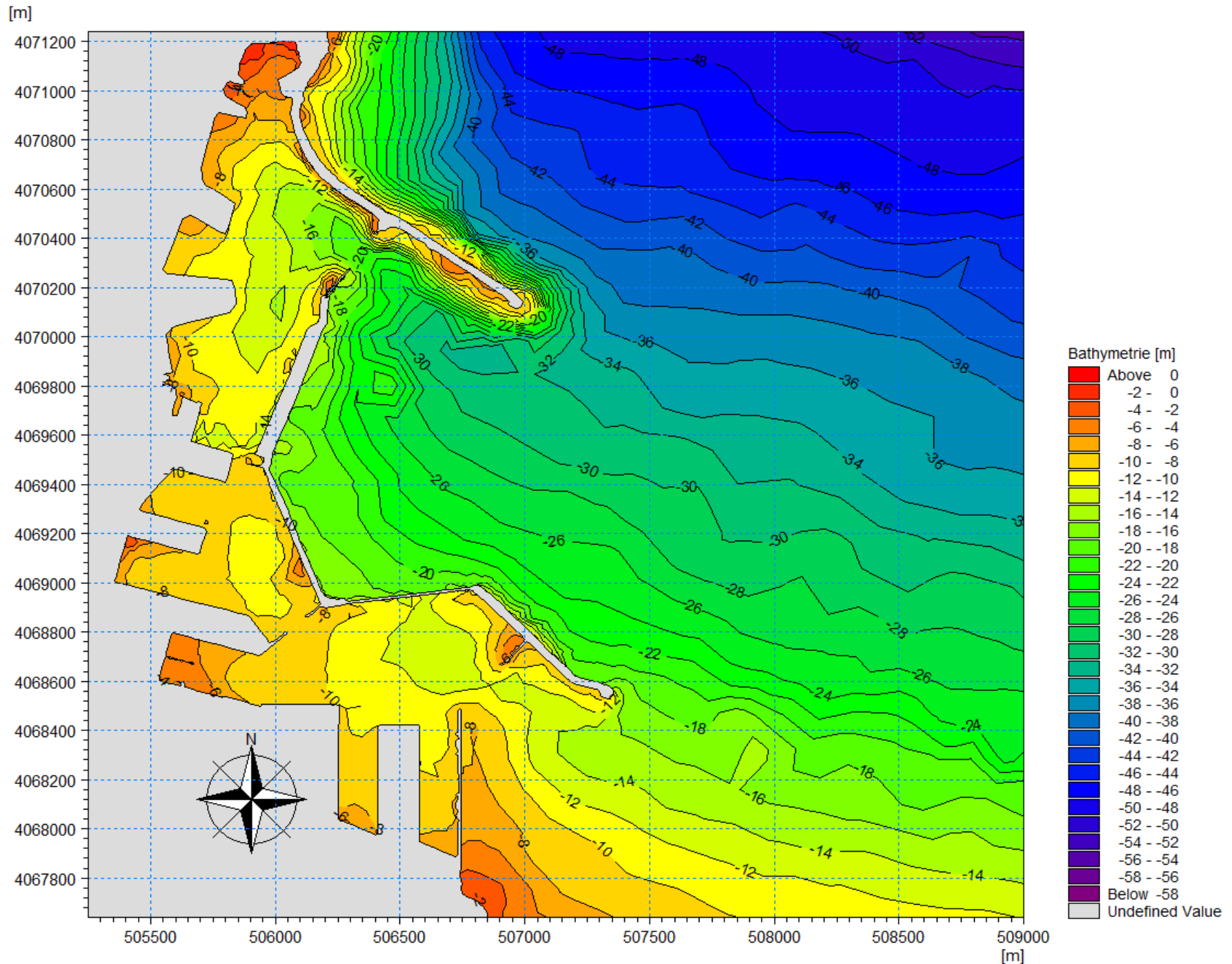


Figure N° 18: Bathymétrie du modèle zoom sur le port d'Alger.

• **La bathymétrie du port d'Alger**

La bathymétrie varie de - 2 m à -19 m, la profondeur aux près des quais varie entre 5 m à 11 m. Avec une variation abrupte au niveau de la jetée Khair-Eddine (-5 m à -15 m) et la jetée Mustapha ou la profondeur (-5 m à -12 m)

➤ Le bassin vieux port et le chenal d'accès passe Nord :

Les profondeurs de ce bassin varient de -2 m à -18 m. Des isobathes très serrées autour de la jetée nord qui varie de 6 m à 22m au près du musoir, plus on va vers le chenal d'accès les profondeurs augmentent avec une pente relativement douce en allant jusqu'à 19 m de profondeur.

➤ Le bassin Agha :

Les profondeurs de ce bassin varient progressivement de -3 m à -11m. L'essentiel des profondeurs sont comprises entre - 6 m et - 11 m, les valeurs diminuent en allant vers les darses et la jetée agha.

➤ Le bassin Mustapha et le chenal d'accès Sud :

Les profondeurs essentielles de ce bassin varient de -7 m à -13 m une irrégularité des profondeurs au niveau de la darse N° 06 Avec profondeurs varient entre -4 m et -8 m. Les isobathes sont serrées (-8 m à -13 m), Le long de la jetée Mustapha, Quant à l'intérieur du bassin les profondeurs varient peut -10 m à -13 m. Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de -7 m à -15 m, à partir du brise lame Est jusqu'à la passe Sud.

2.2.3. Les modules du modèle Mike21 :

➤ Mike SW : Houles Spectrales

La transformation des vagues du large à l'approche du littoral sous l'effet de la réfraction et du déferlement est simulée à l'aide du module SW (Spectral Waves) de MIKE 21. Le module SW intègre les développements les plus récents pour la simulation de la génération et de la transformation des vagues en eaux profondes et côtières. Les simulations permettent de reproduire les phénomènes de réfraction, de dissipation par déferlement et/ou frottement sur le fond, de génération des vagues par le vent, d'interaction non linéaire entre les vagues et d'interaction vagues-courants. Le module permet d'utiliser des données de vagues au large préétablies, qui doivent alors être connues grâce à des mesures ou autres données externes, ou de générer des vagues par le vent. La deuxième approche a été utilisée pour la présente étude.

Dans le module SW, c'est le paramètre T_p qui doit être utilisé. La relation suivante entre les paramètres T_z et T_p est utilisée afin de rentrer un paramètre T_p

Où γ correspond au pic spectral du spectre de JONSWAP utilisé dans le module S.W. On utilise dans cette étude la valeur recommandée dans le module SW, $\gamma = 3.3$.

De plus, les données de vent disponibles dans cette base de données se présentent respectivement sous la forme de la composante zonale et méridienne du vent U et V . Ces données sont exprimées en radians.

Une fois ces données modifiées, on dispose de tous les paramètres caractéristiques ainsi que des conditions de vent des états de mer au large de la base de données.

La propagation de la houle se traduit à l'approche du rivage par une légère modification de ses caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

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

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{(H_{s0} \cdot K_s)} \quad (02)$$

$$K_s = \frac{H}{H_0} \quad (03)$$

$$\frac{C_0}{C_g} = K_0 d \left(1 - \frac{1}{2} K_0 d + \frac{7}{72} (K_0 d)^2 \right) \quad (04)$$

Avec :

$$K_0 = \frac{2\pi}{L_0} \quad (05), \quad L = \frac{2\pi}{L_0} T^2 \quad (06)$$

Sachant que :

- | | |
|---|--|
| H_{s0} : La hauteur de la houle au large ; | H_s : Hauteur de la houle locale ; |
| K_s : Coefficient de Shaoling ; | H : Hauteur de la vague à une profondeur d ; |
| H'_0 : Hauteur de la vague équivalente au large ; | |
| C_0 : Célérité de phase ; | C_g : Célérité de groupe ; |
| K_0 : Nombre d'onde ; | L_0 : Longueur d'onde ; |
| d : Profondeur ; | T : Période de pic ; |

➤ **Mike HD : Hydrodynamique**

La modélisation des courants induits par la marée et les vagues (courants littoraux) repose sur le module FM (Flexible Mesh) de MIKE 21. Ce module utilise un maillage flexible aux volumes finis qui permet d'augmenter la résolution de la bathymétrie dans les zones d'intérêt. Celles-ci sont modélisées à l'aide d'un maillage relativement fin tandis que les champs éloignés sont modélisés avec un maillage plus grossier, permettant ainsi d'optimiser les temps de calculs. Dans le cas présent, d'après les niveaux de marée imposés aux limites de la zone modélisée, le module fournit les valeurs de niveaux et de vitesses d'écoulement intégrées sur la verticale en chacun des points de maillage de la bathymétrie. Le module intègre également les contraintes de radiation dues aux vagues (calculées à l'aide du module SW - voir section suivante), qui permettent de superposer les courants littoraux aux courants de marée. (DHI, 2014).

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résout les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant par la méthode volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire. Il traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc....

Il nous permet de simuler les courants côtiers dus à l'action de la houle dans la zone de déferlement (DHI, 2014 m).

L'équation en eau peu profonde dans le système de coordonnées Cartésien L'intégration des équations de quantité de mouvement horizontal et l'équation de continuité de la profondeur $h=\eta+d$ en eau peu profonde produisent (DHI, 2014c) :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \tag{07}$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S \tag{08}$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = \bar{f}uh - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yy}) + hv_s S \quad (09)$$

Où :

t : Temps ;

x, y, z : Coordonnées cartésiennes ;

η : Hauteur de la surface ;

d : Profondeur de l'eau ;

h : Profondeur totale de l'eau, $h = \eta + d$;

f : Paramètre de Coriolis, $f = 2\Omega \sin \theta$;

Ω : vitesse angulaire de révolution ;

θ : Latitude géographique ;

ρ_w : Densité de l'eau ;

p_a : Pression atmosphérique ;

ρ_0 : Densité de référence de l'eau ;

u, v, w : Composantes de la vitesse du courant dans les directions x, y, et z;

$S_{xy}, S_{yx}, S_{xx}, S_{yy}$: Composantes du tenseur de rayonnement ;

ν_t, A : Viscosités turbulentes verticale et horizontale, respectivement ;

S : Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles ;

(u_s, v_s) : Vitesses par laquelle l'eau est déchargée dans l'eau ambiante ;

$(\tau_{sx}, \tau_{sy}), (\tau_{bx}, \tau_{by})$: Composantes x et y des contraintes de cisaillement du vent de surface et du fond, respectivement, La barre supérieure décrit une valeur moyenne.

u, v : Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies par :

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad (10) , \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (11)$$

Les contraintes latérales T_{ij} comprennent le frottement visqueux, l'advection différentielle et le frottement turbulent. Ils sont estimés à l'aide d'une viscosité turbulente sur la base de la formulation des gradients de vitesse moyenne de la profondeur

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x'} \quad (12), \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (13), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y'} \quad (14)$$

➤ Mike ST : Transport Sédimentaire

Le modèle MIKE 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiment non cohésifs (Sable) sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues.

Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houle et des courants combinés. Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Generation of Q3D Sediment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré (DHI, 2014).

Le modèle proposé repose sur la formulation du Sédiment –Transport-Program basée sur une approche de calcul bidimensionnelle horizontale (2DH) dans laquelle, les taux de transport de sédiments sont calculés dans la direction du courant moyen avec une composante transversale résultante de la pente du fond. Les profils verticaux moyens sont calculés en intégrant la contrainte de frottement turbulent :

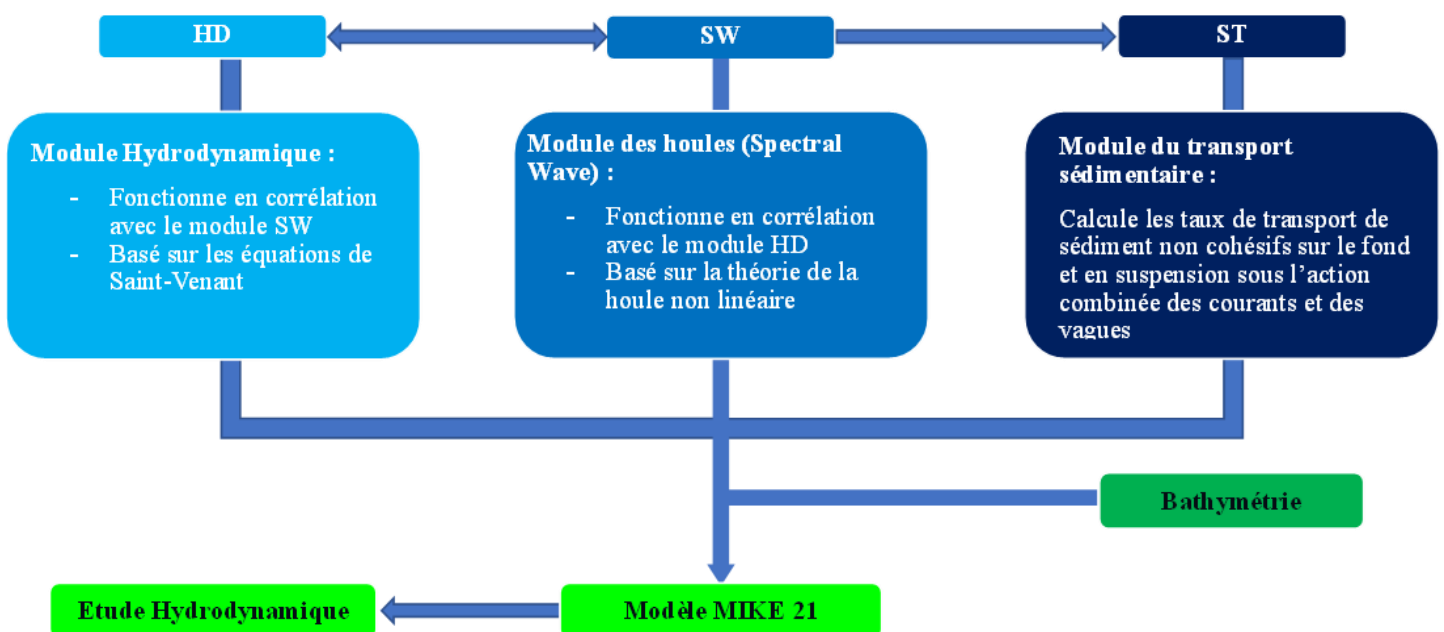
$$\bar{\tau} = \rho v_t \left| \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right| \tag{15}$$

Le taux total de transport de sédiments non cohésifs (q_t) est calculé en ajoutant les taux de transport de sédiments en suspension (q_s) et en charriage de fond.

$$q_t = q_s + q_b \tag{16}$$

Conclusion

Pour la version de MIKE 21 (2014) utilisée pour la présente étude, la modélisation de l'ensemble des processus peut être effectuée en modèle couplé, permettant une mise à jour de l'ensemble des variables (courants, vagues, transports des sédiments et morphologie) à chaque pas de temps du calcul. Le schéma suivant représente les relations entre les différents modules :



2.2. Choix des directions

L'analyse d'une série de données brutes des caractéristiques des vents et des houles (vitesse, direction, amplitude) fournie par WaveClimate pour une période entre 1992 et 2020 avec un pas de 3heures. Ces derniers ont été filtrés de deux manières :

- Par saison : saison hivernale, saison printanière, saison estivale et saison automnale et,
- Par mois.

Des séries chronologiques format (*.dfs0) ont été obtenues avec l'outil « Time séries », qui seront insérées dans l'outil « plot composer » dans le logiciel Mike 2.

L'analyse et le traitement de ses séries nous ont permis d'élaborer des roses des vents et des houles annuelles, trimestrielles et mensuelles.

Selon les roses (figures 7, 8, 10 et 11) les houles des directions Nord-Ouest, Nord et Nord-Est se sont les plus fréquentes et influencent directement sur notre zone d'étude et plus précisément le port d'Alger.

2.2.1. Simulation quasi-stationnaire des directions de propagation des houles par 10° (de 1° à 50° et de 300° à 360°) et estimation des conditions extrêmes

En analysant les roses de houles et en effectuant une analyse des statistiques des houles correspondant à la période entre 2016- 2020, nous avons choisis de réaliser les simulations quasi-stationnaires pour les intervalles de directions suivant (1° - 50° et 300° à 360°) avec un pas de 10 degrés, les scénarios sont définis dans la partie qui suit :

- Filtrer les données par ordre de grandeur de Hs du plus élevées aux plus faibles.
- Calculer la moyenne de tiers supérieure.

2.2.2. Présentation des résultats des simulations chaque 10°

SW – Direction 300°

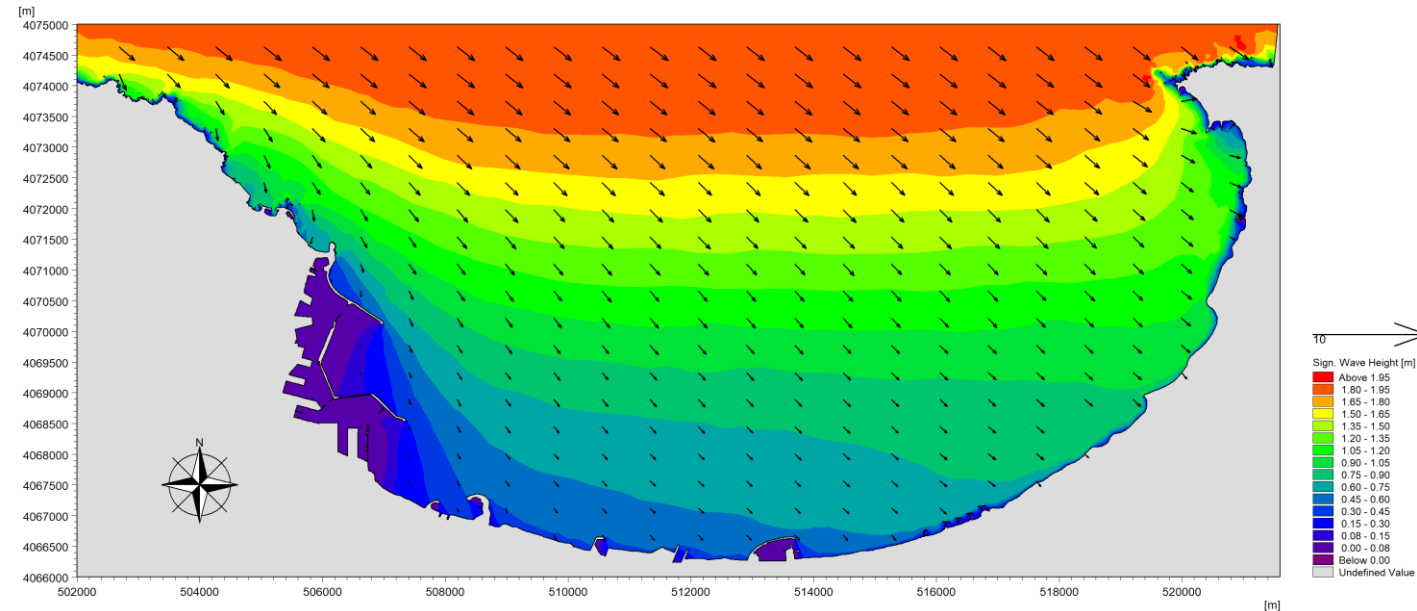


Figure N° 20: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.11$ m, $T_p = 7.43$ s, $U_{10} = 9.69$ m/s).

SW – Direction 310°

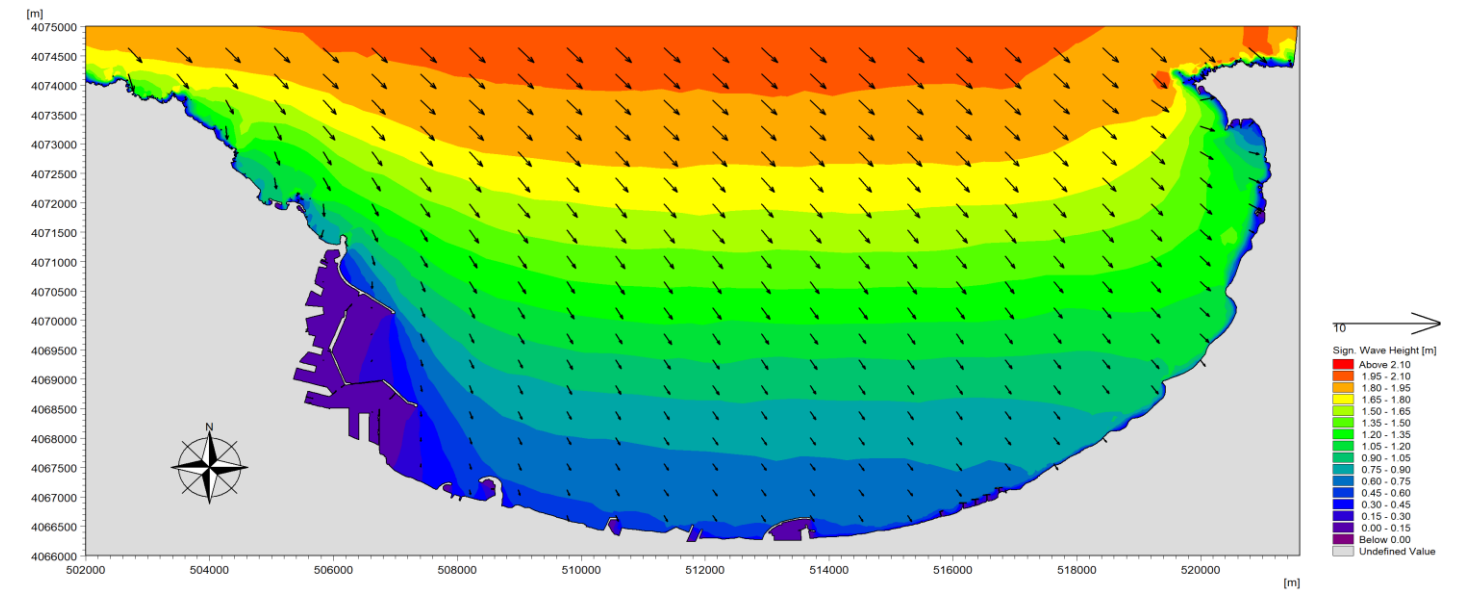


Figure N° 19: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.06$ m, $T_p = 8.1$ s, $U_{10} = 8.68$ m/s).

SW – Direction 320°

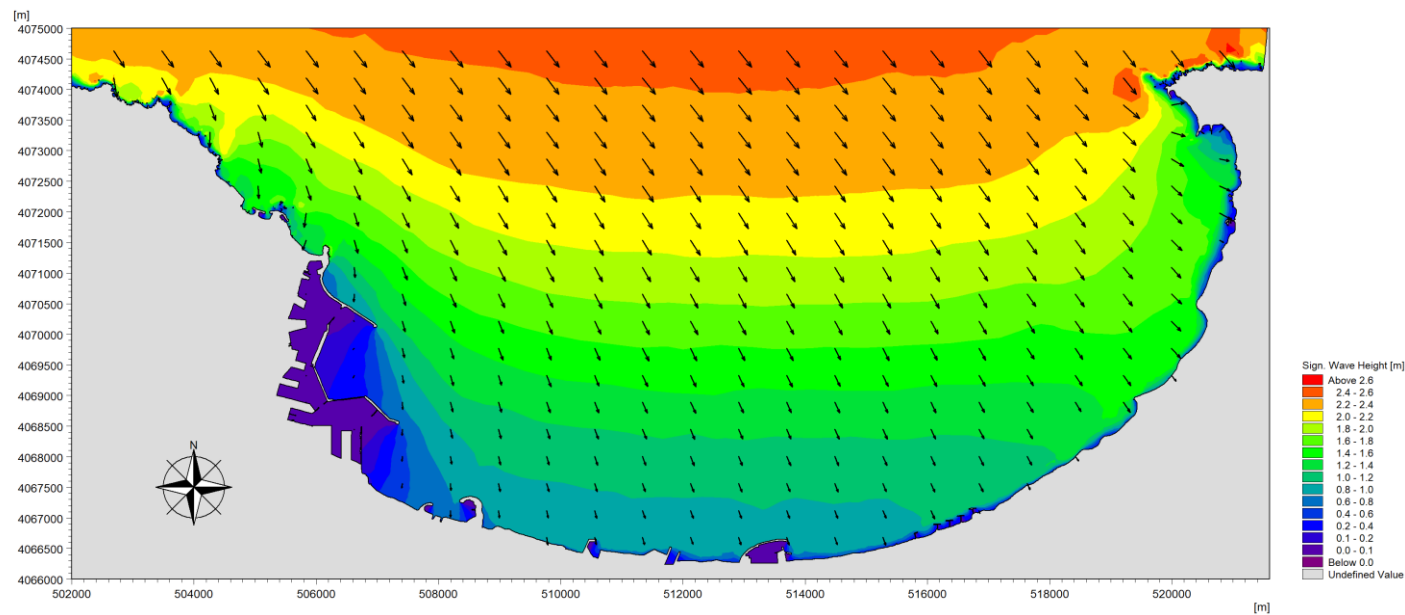


Figure N° 21: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.46$ m, $T_p = 9.22$ s, $U_{10} = 7.6$ m/s).

SW – Direction 330°

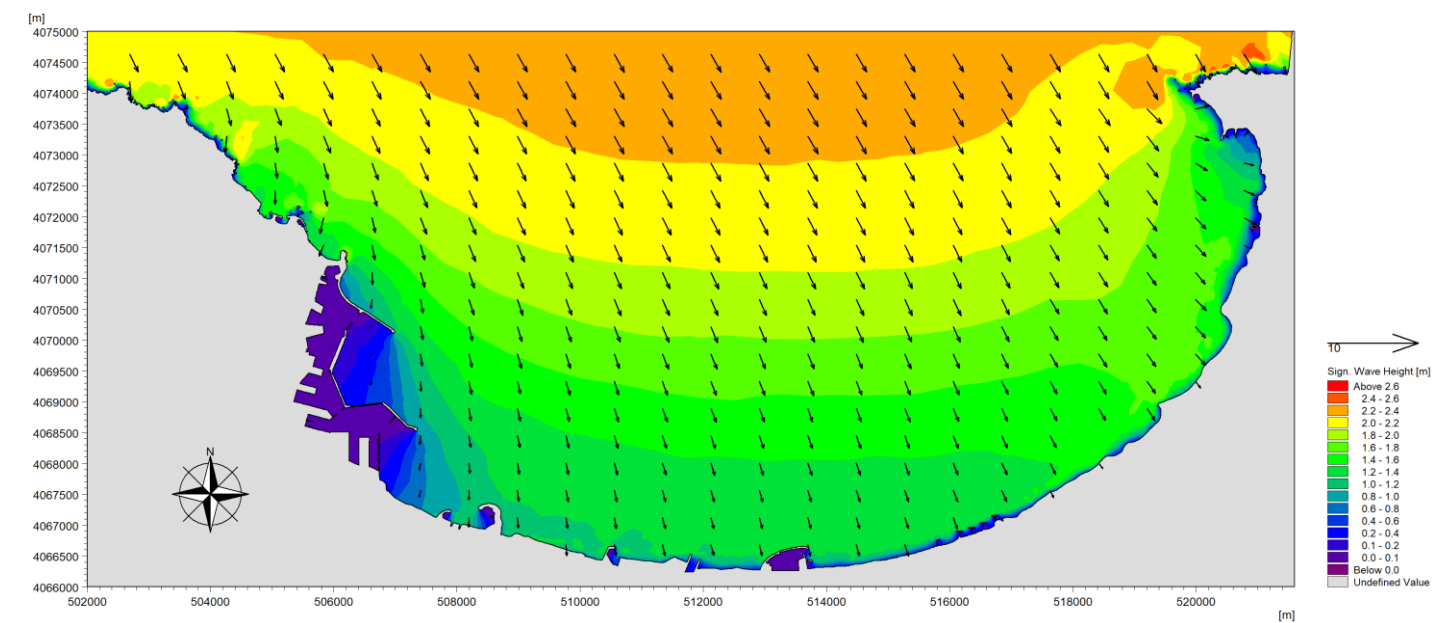
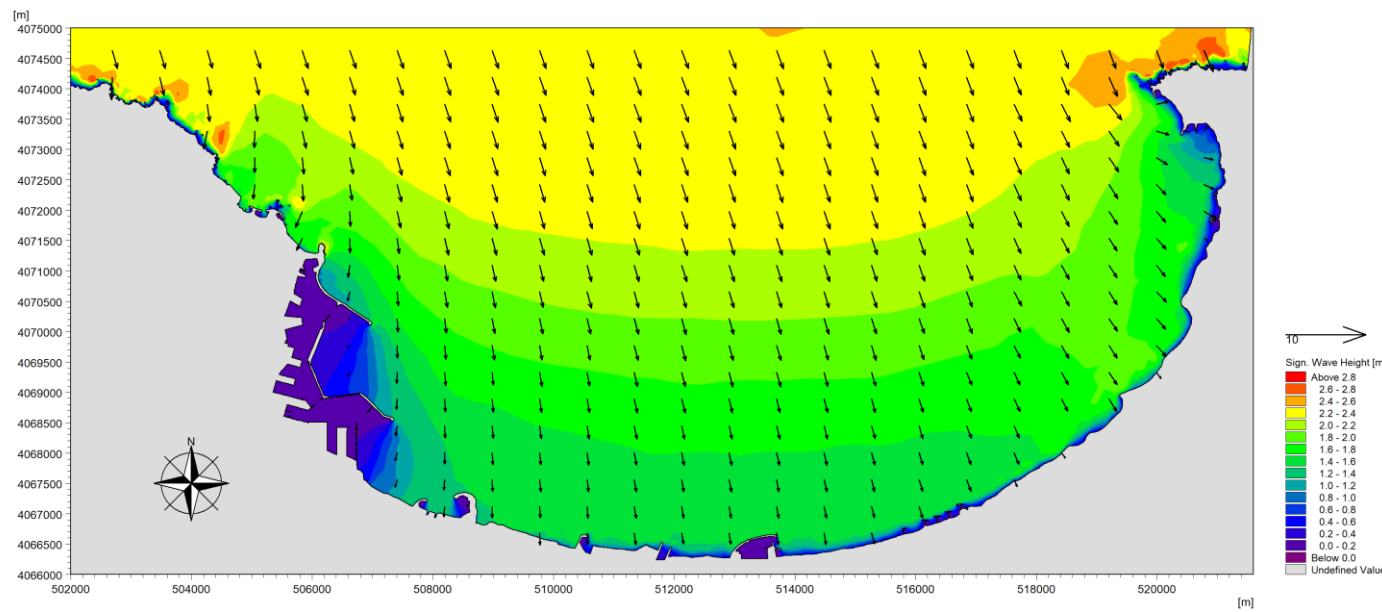


Figure N° 22: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.24$ m, $T_p = 9.62$ s, $U_{10} = 8.37$ m/s).

SW – Direction 340°



SW – Direction 350°

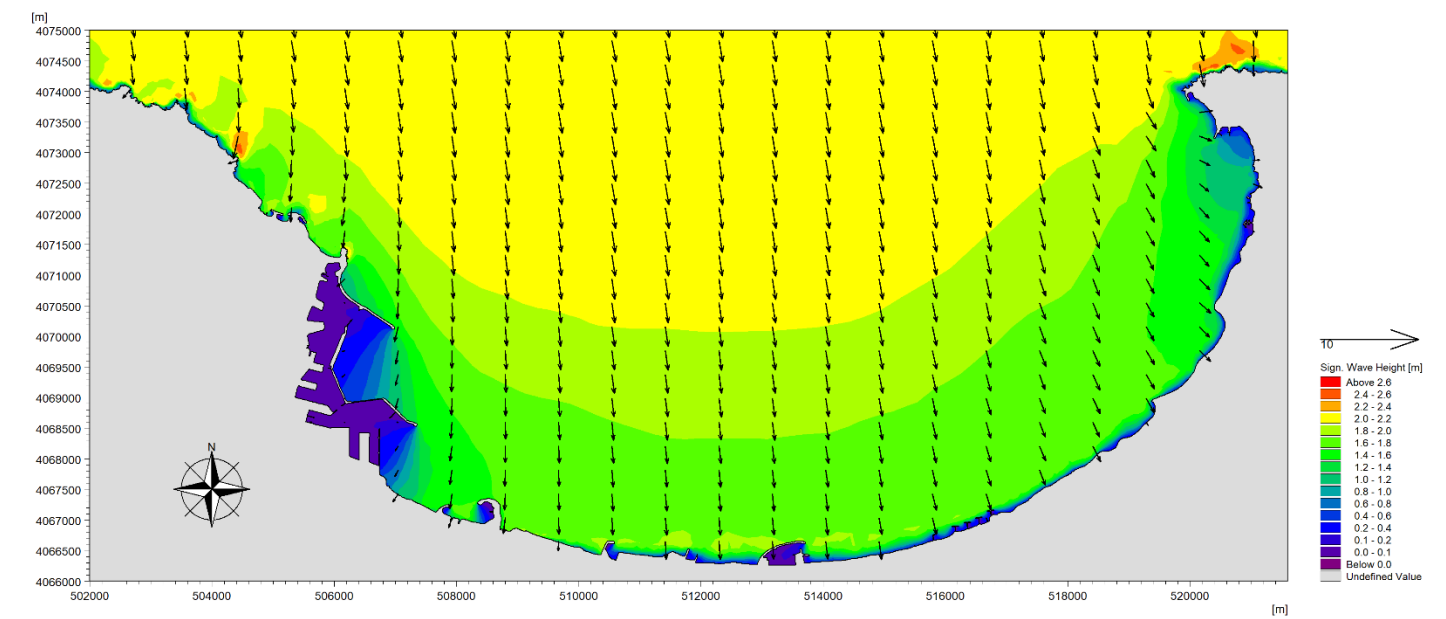
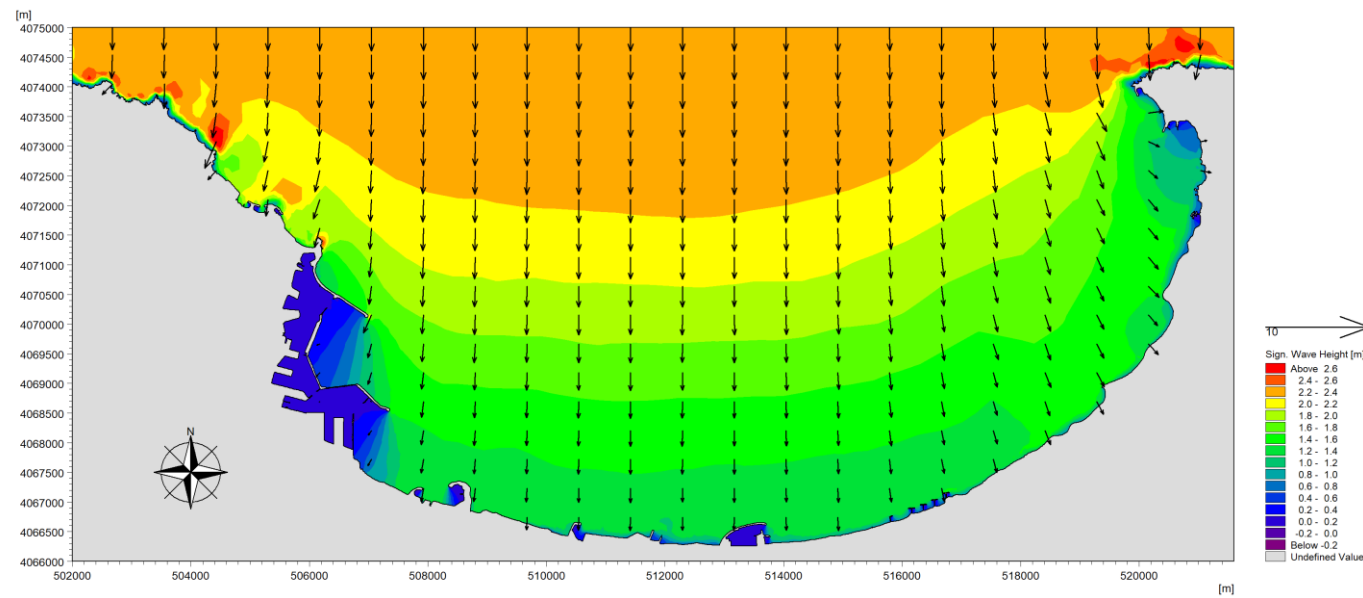


Figure N° 23: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.4$ m, $T_p = 9.76$ s, $U_{10}= 7.02$ m/s).

Figure N° 24: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.18$ m, $T_p = 10$ s, $U_{10}= 6.58$ m/s).

SW – Direction 0°



SW – Direction 10°

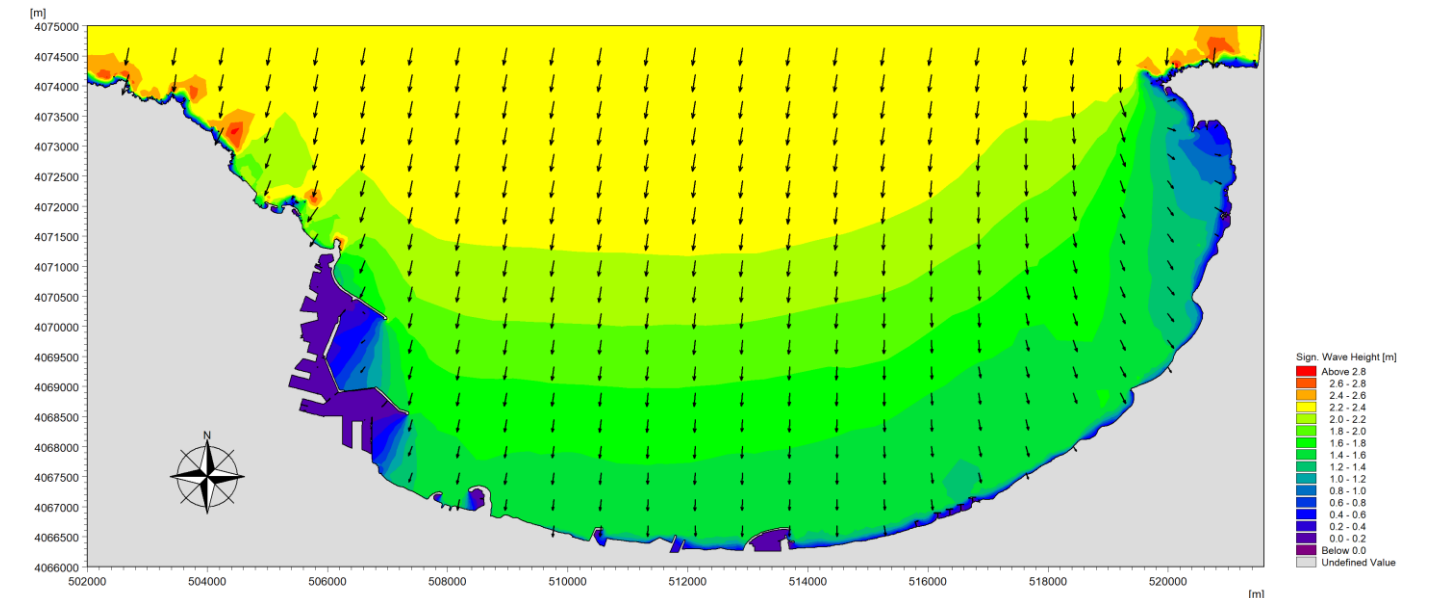


Figure N° 25: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.38$ m, $T_p = 10.88$ s, $U_{10}= 7.34$ m/s).

Figure N° 26: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.38$ m, $T_p = 10.74$ s, $U_{10}= 6.41$ m/s).

SW – Direction 20°

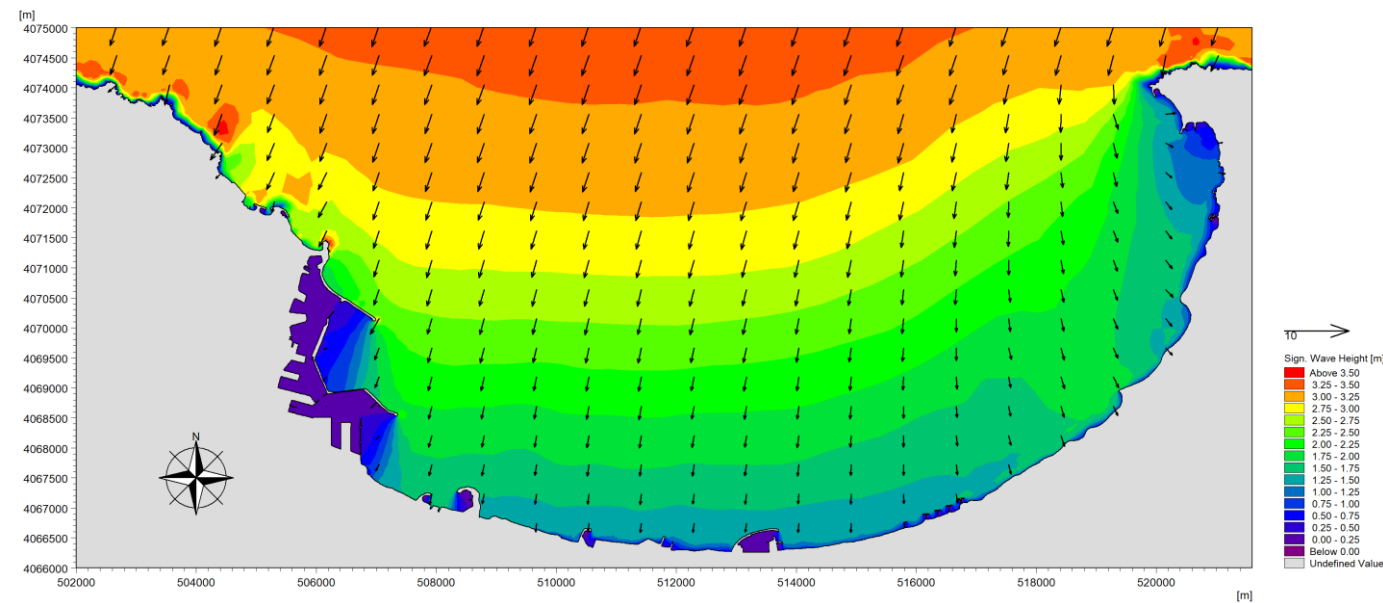


Figure N° 27: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.49$ m, $T_p = 10.87$ s, $U_{10}= 7.04$ m/s).

SW – Direction 30°

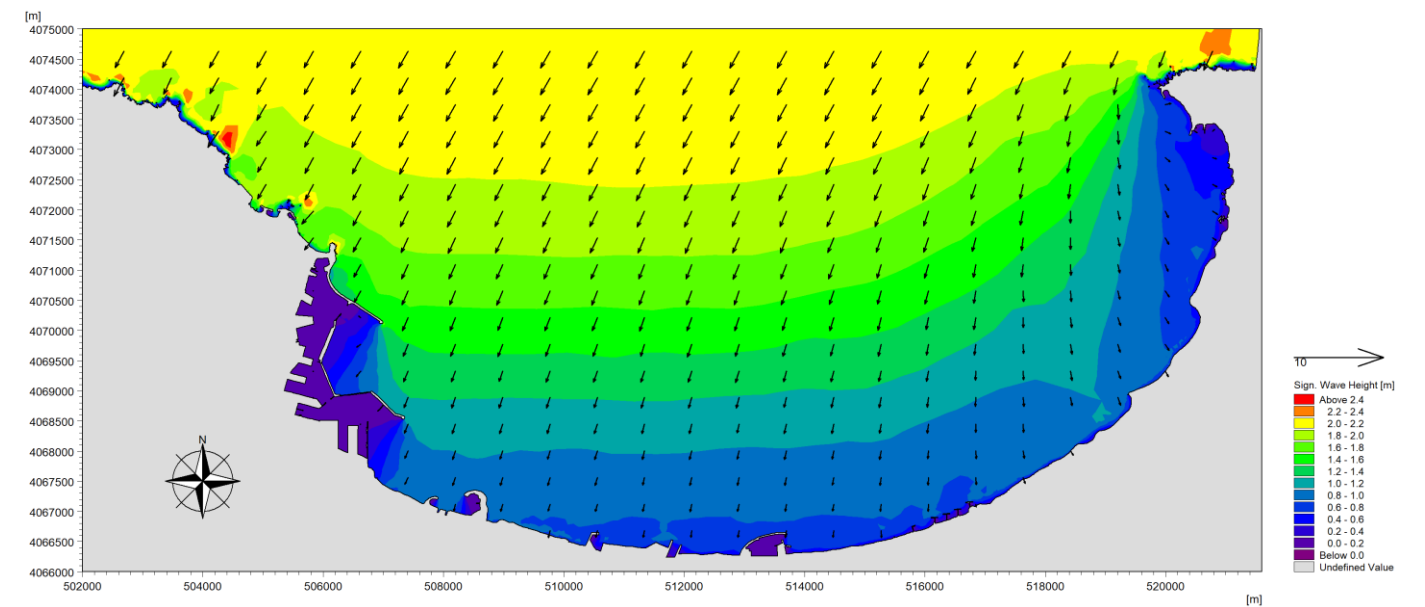


Figure N° 28: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 2.13$ m, $T_p = 10.32$ s, $U_{10}= 6.13$ m/s).

SW – Direction 40°

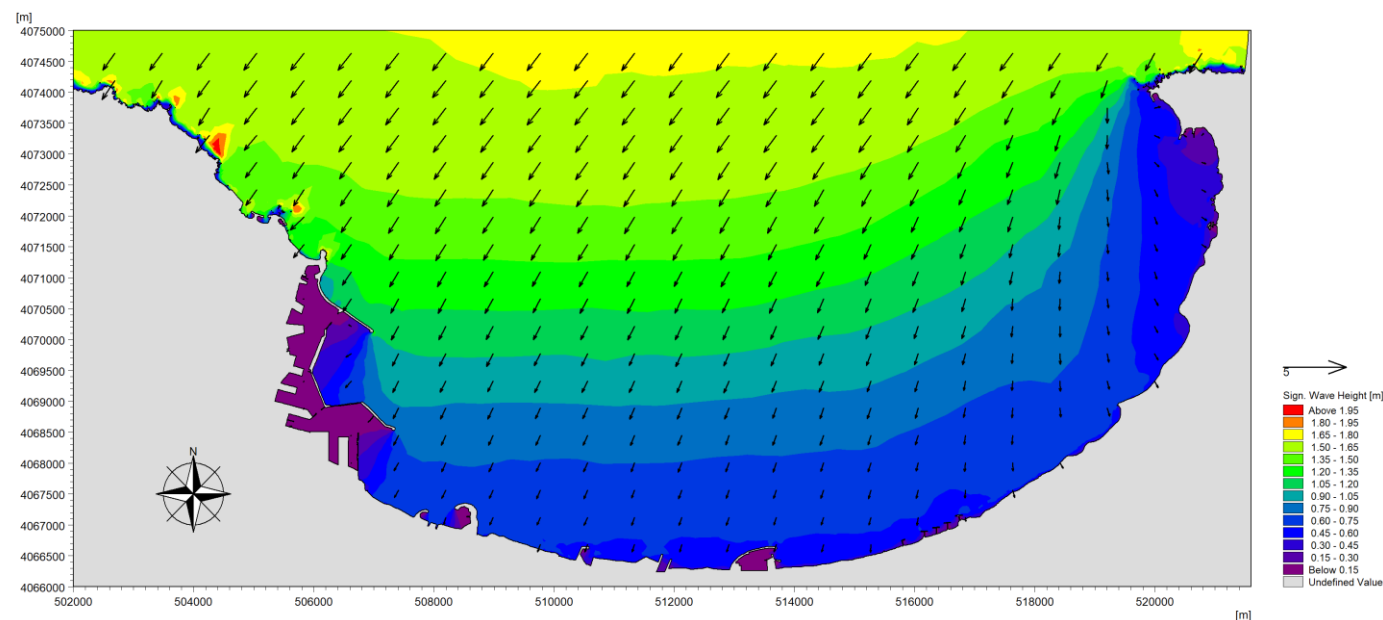


Figure N° 29: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 1.68$ m, $T_p = 9.3$ s, $U_{10}= 6.68$ m/s).

SW – Direction 50

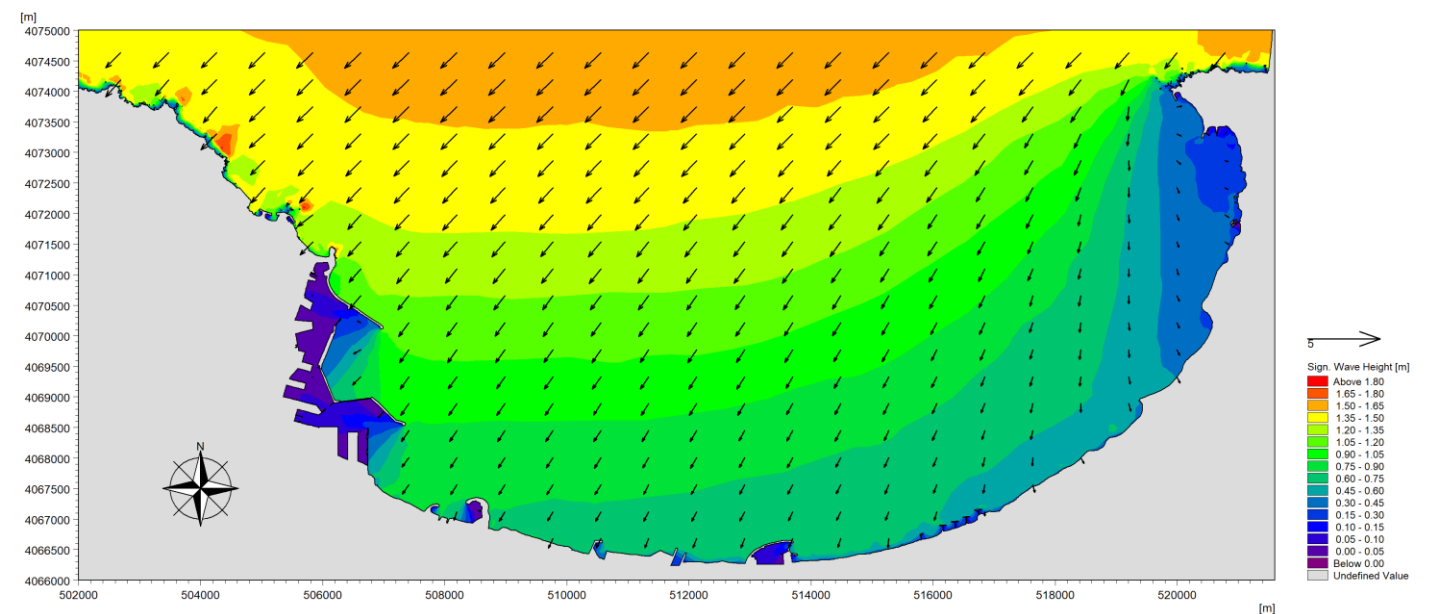


Figure N° 30: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H= 1.58$ m, $T_p = 8.58$ s, $U_{10}= 7.6$ m/s).

Tableau 5: Interprétation du SW pour chaque direction de propagation. Avec $K_r = \frac{H_s \text{ local}}{(H_{s0} \cdot K_s)}$

Direction	SW- Spectral Wave
300°	Valeur au large $H_{s0} = 2.14$ m Valeur au près du port $H_s = 0.75$ m $K_r = 0.35$
310°	Valeur au large $H_{s0} = 2,29$ m Valeur au près du port $H_s = 0.8$ m $K_r = 0.35$
320°	Valeur au large $H_{s0} = 2.94$ m Valeur au près du port $H_s = 1$ m $K_r = 0.34$
330°	Valeur au large $H_{s0} = 2.64$ m Valeur au près du port $H_s = 1.3$ m $K_r = 0.49$
340°	Valeur au large $H_{s0} = 2.64$ m Valeur au près du port $H_s = 1.2$ m $K_r = 0.46$
350°	Valeur au large $H_{s0} = 2.44$ m Valeur au près du port $H_s = 1.1$ m $K_r = 0.45$
0°	Valeur au large $H_{s0} = 2.64$ m Valeur au près du port $H_s = 1.2$ m $K_r = 0.52$
10°	Valeur au large $H_{s0} = 2.64$ m Valeur au près du port $H_s = 1.4$ m $K_r = 0.46$
20°	Valeur au large $H_{s0} = 3.84$ m Valeur au près du port $H_s = 2.25$ m $K_r = 0.59$
30°	Valeur au large $H_{s0} = 2,34$ m Valeur au près du port $H_s = 1.4$ m $K_r = 0.43$
40°	Valeur au large $H_{s0} = 2,14$ m Valeur au près du port $H_s = 1$ m $K_r = 0.47$
50°	Valeur au large $H_{s0} = 1.84$ m Valeur au près du port $H_s = 0.9$ m $K_r = 0.48$

Conclusion

Selon les résultats du tableau (5), les houles provenant du secteur Nord-Nord-Est (20°-30°) ont une grande valeur de Hs très importante pour la période de 2016-2020, et c'est ces houles qui gardent le plus de leurs caractéristiques $k_r(20^\circ)=0.64$ et $k_r(30^\circ)=0.7$ ce qui fait un impact très important sur l'ouvrage qui se trouve en face de cette direction. Par contre suite à la configuration de la baie d'Alger et la situation géographique du port dans la baie la direction Nord-Ouest ne montre pas une grande influence sur le port.

2.3. Simulations des conditions extrêmes

2.3.1. Etude des houles extrêmes au large

La définition de la distribution de probabilité d'événements de grande ampleur et extrêmes est utile dans le calcul des niveaux d'inondation. La détermination du climat d'agitation à long terme a pour but d'associer une hauteur de la houle à une période de retour donnée (habituellement 30 à 100 ans). (CIRIA, et al. 2009).

Par définition, la houle de période de retour R est la houle dont l'amplitude H(R) est atteinte et dépassée en moyenne pendant une durée cumulée de 24 h au cours d'une durée totale égale à R années. Sa probabilité d'occurrence s'exprime par :

Équation

$$P = \frac{24}{365 \cdot 24 \cdot R} = \frac{1}{365 \cdot R} \quad (17)$$

R : Nombre d'année (R = 1 : Houle annuelle, R = 10 : Houle décennale, R = 50 : Houle cinquantennale, R = 100 : Houle centennale, ...).

Si on considère que l'état de la mer change 3 fois par 24 heures, l'équation de la probabilité d'occurrence devient : équation

$$P = \frac{24}{3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot R} = \frac{1}{3 \cdot 365 \cdot R} \quad (18)$$

Une fois la période de retour fixée, la hauteur correspondante peut être déterminée par extrapolation de la courbe hauteur-probabilité dont on suppose qu'elle évolue selon la loi de LARRAS, qui suppose que les valeurs des creux extrêmes peuvent être approchées par l'équation :

$$H = B - A \log P \quad (19)$$

Où

- **A** : Pente
- **B** : Intersection de la droite de régression avec l'axe y.
- **H** : Hauteur de la houle R-annuelle (m).
- **P** : Probabilité d'occurrence de la houle R-annuelle.

Dans le cadre de cette étude prospective, Le calcul des niveaux d'eaux extrêmes à la côte d'occurrence centennale, décennale, vingtennale, cinquantennale et en tenant compte du Wave set-up, Wind set-up et l'élévation du niveau de la mer due à la baisse de la pression atmosphérique

En l'absence des données concernant les surcotes et décotes, enregistrements marégraphiques et de tempêtes au large de la côte de la zone d'étude, les niveaux d'inondation ont été calculés à partir l'équation de (**Hoozmans et al. 1993**) :

Équation

$$D_{ft} = MHW + S_t + W_f + P_f \quad (20)$$

Où :

1. **D_{ft}** : Différence des niveaux extrême d'inondation ;
2. **MHW** : Niveau moyen des hautes eaux ;
3. **S_t** : Elévation relative du niveau de la mer ;
4. **W_f**: Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;
5. **P_f**: Elévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique

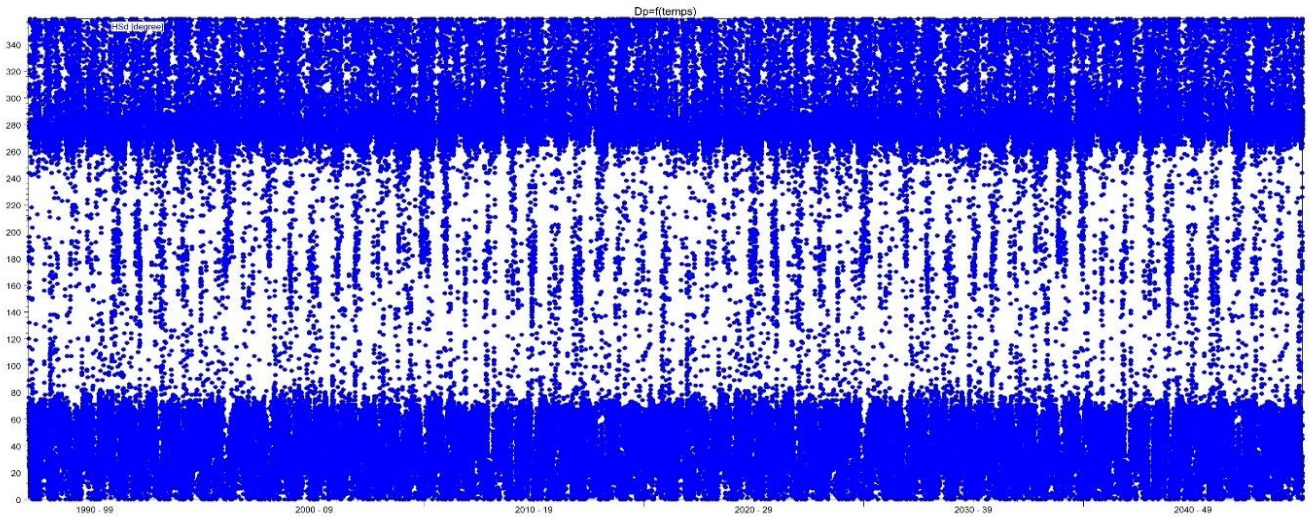


Figure N° 31: La distribution des directions des houles en fonction du temps (1992-2020).

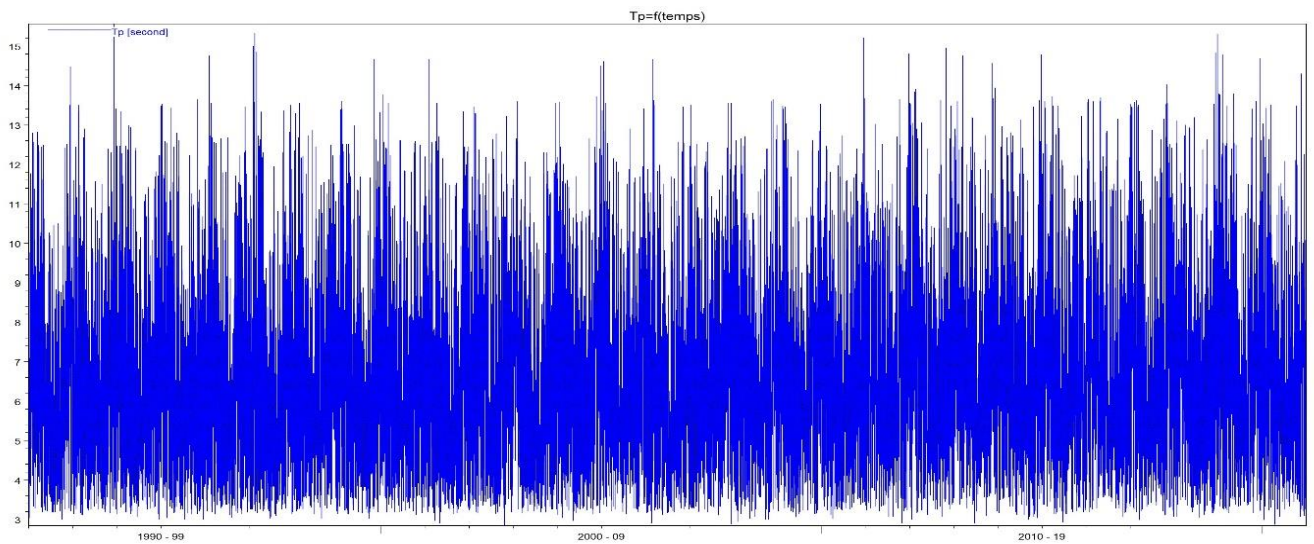


Figure N° 32: La distribution des périodes de houles en fonction du temps (1992-2020).

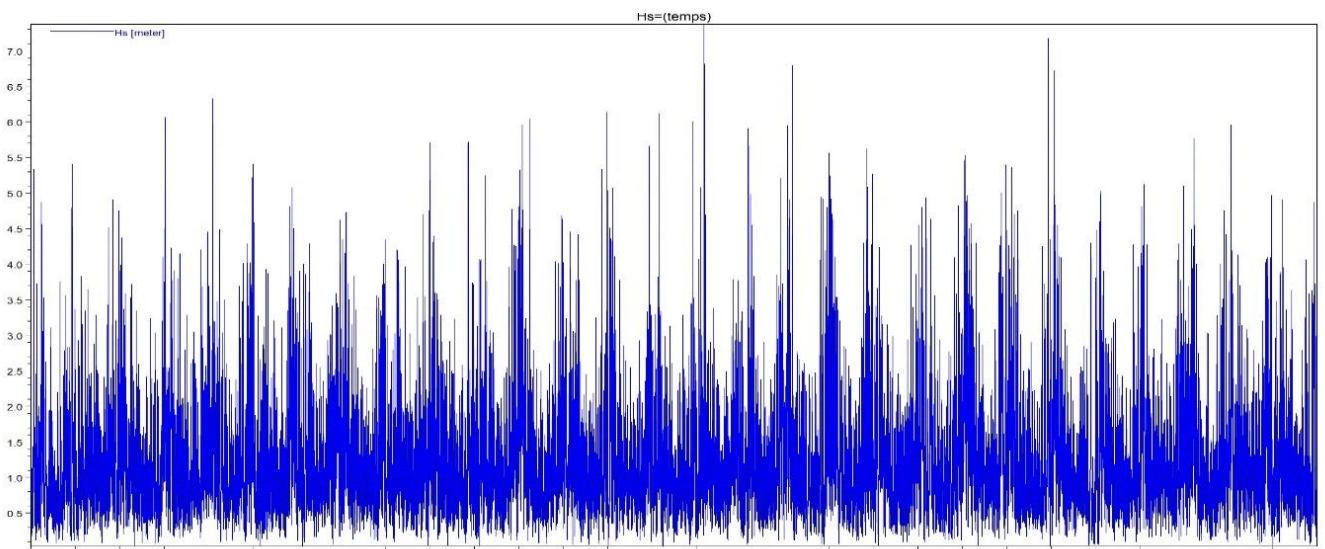


Figure N° 33: La distribution des amplitudes de houles en fonction du temps (1992-2020).

Les conditions de projet à simuler :

Le **Tableau 6** récapitule les états de mer en entrée du modèle. Les niveaux d'eau adoptés pour le modèle sont :

- **Cas pour les périodes de retour (1 an et 5 ans) :**
Il s'agit du niveau moyen de la marée haute (0.34 m).
- **Cas pour les périodes de retour (20 ans) :**
Le niveau est la somme du niveau moyen de la marée haute (0.3m) et de l'élévation du niveau d'eau (0.3 m)
- **Cas pour les périodes de retour (50 ans) :**
Le niveau est la somme du niveau moyen de la marée haute (0.34m) et la surcote de période de retour de 50 ans (+1.5 m, **LEM 2013**).

Cas pour les périodes de retour (100 ans) :

Le niveau est la somme du niveau moyen de la marée haute (0.34m), la surcote de période de retour de 100 ans (+1.5 m, **LEM 2013**) et de l'élévation actuel du niveau de la mer (+0.3m

Tableau 7: Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions

	Hs (m)				U10 (m/s)				TP (s)			
Période de retour (an)	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100
NW	3,84	4,43	5,94	5,8	7,6	8	8,5	8,9	12,1	13,1	14,4	15,3
N	3,44	4,04	5,54	5,77	7,3	7,3	7,4	7,5	7,1	7,5	8,1	8,6
NNE	4,44	4,74	6,54	5,34	10,2	10,2	10,7	11	9,8	10,5	11,4	12,1
NE	3,04	2,9	4,94	5,1	7,3	7,4	7,6	7,7	10,3	10,9	11,7	12,3

2.3.2. Présentation et interprétation des résultats de module SW :

- Les houles issues de secteur 315°N pour le scénario 100 ans (figure N°34), sont généralement des houles hivernales et automnales. Au large, ces houles ne subissent aucune modification ($H_{S0} = 5,8$ m), mais au fur et à mesure, lorsqu'elles perçoivent le changement de profondeur, la hauteur significative diminue au voisinage du pied de l'ouvrage pour atteindre des valeurs entre 2 et 2.5 m avec un coefficient de Shoaling faibles comprises entre 0.44 et 0.55. Le port et ses deux passes d'entrée Nord et Sud sont orientés d'une façon à protéger l'arrière port contre les houles de cette direction. Les orthogonales de la houle pivotent et se concentrent autour de la jetée Nord, la houle perd presque la moitié de son énergie et contourne vers l'intérieur du bassin.
- Selon la figure N°35, les houles de la direction Nord (Scénario 100 ans) préservent leurs caractéristiques du large ($H_{S0} = 5,77$ m, $T=7,26$ s). Les variations bathymétriques vont provoquer la déformation des houles, les hauteurs de ces derniers diminuent pour atteindre des valeurs comprises entre 2,8 m et 3,2 m. Le coefficient de Shoaling varie entre 0,58 et 0,66. En amont du port, la hauteur de la houle est de 3,5 m près de la jetée principale, cela est généralement dû au déferlement bathymétrique des houles et leurs diffractions au niveau de la jetée du port.
- Les houles de direction Nord-Nord-Est pour une période de retour de 100 ans (figure N°36) ne subissent aucune modification au large ($H_{S0} = 5,34$ m), des valeurs de 4,8 m à 4,4 m soit des coefficients de Shoaling de 0,84 et 0,92 sont calculées au voisinage des jetées. Par ailleurs les houles de cette direction frontale au port sont de l'ordre de 0.5 m à 1 m à l'abri des jetées.
- La figure N°37 montre que les houles de direction Nord-Est de période de retour 100 ans sont frontal et ne subissent aucune modification au large ($H_{S0} = 5.1$ m). Les hauteurs des houles atteignent la valeur de 2.7 m à proximité de la jetée principale, avec un coefficient de Shoaling qui atteint 0.9 le long de port. Ces houles ne perdent que très peu de leurs énergies du large, cela signifie que les houles de cette direction affectent directement l'ouvrage.

SW – Direction NW (période de retour 100 ans)

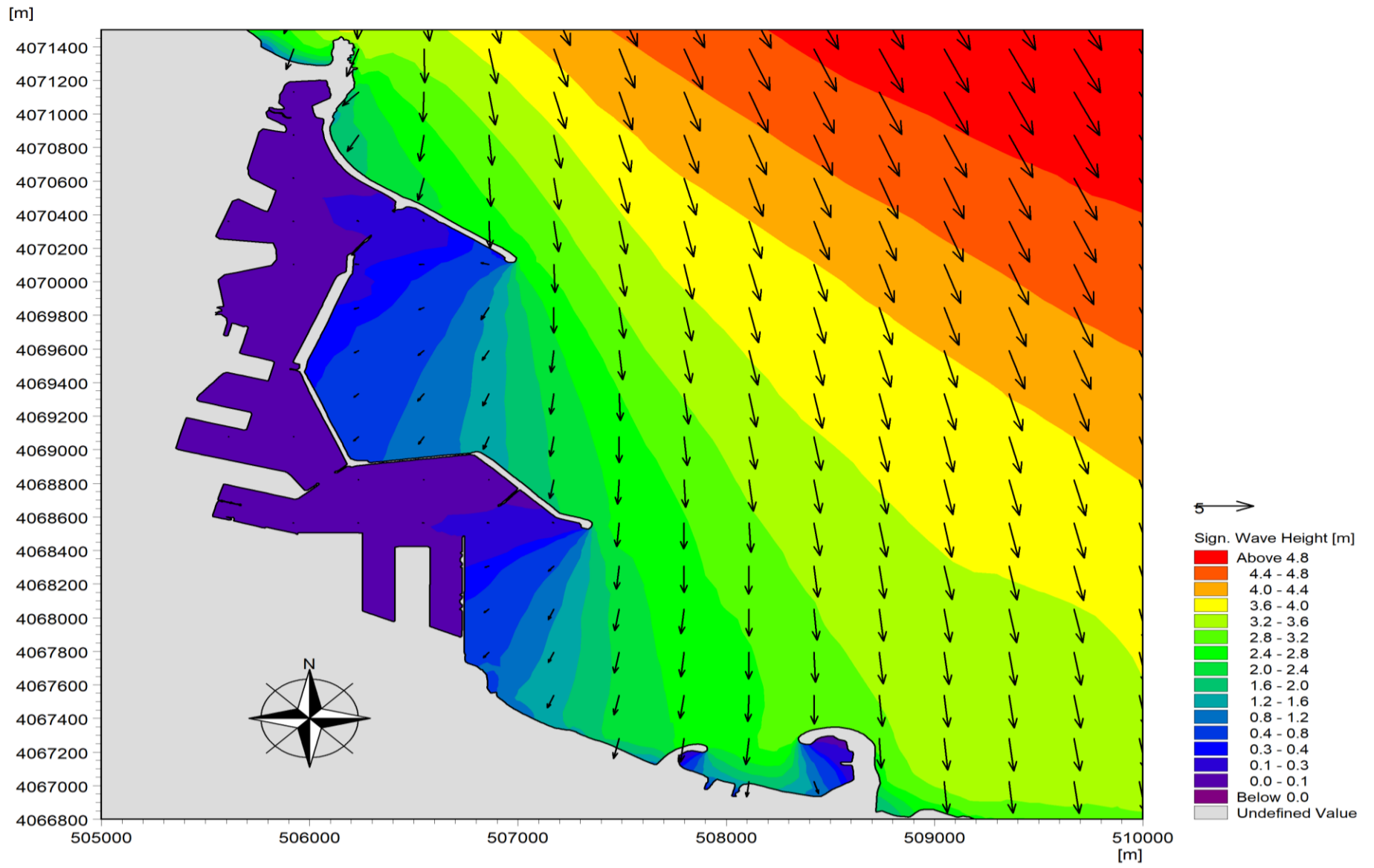


Figure N° 34: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5.8 \text{ m}$, $T_p = 8.93 \text{ s}$, $U_{10} = 15.32 \text{ m/s}$).

SW – Direction N (période de retour 100 ans)

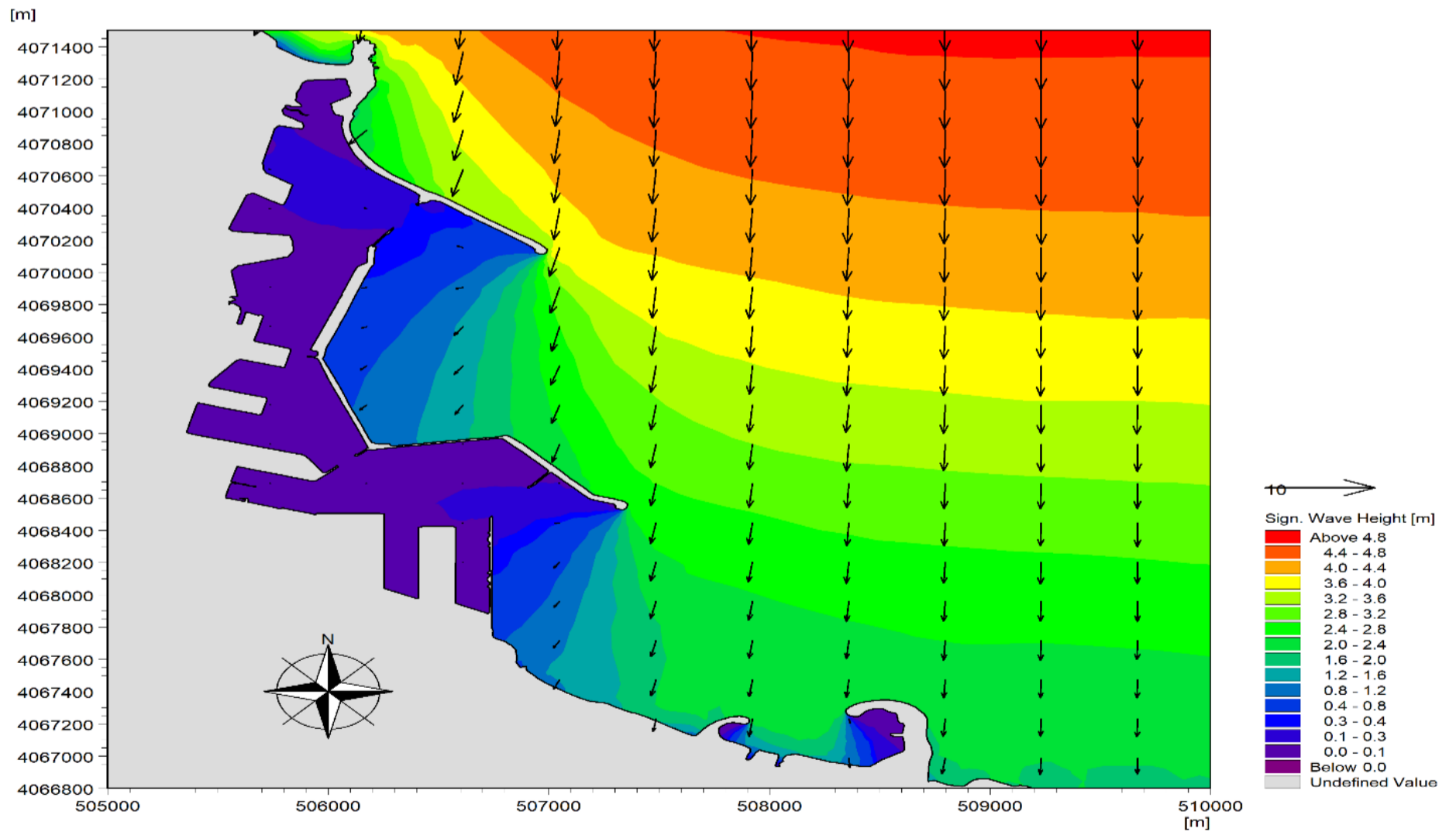


Figure N° 35: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5.77 \text{ m}$, $T_p = 7.26 \text{ s}$, $U_{10} = 8.6 \text{ m/s}$).

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 100 ans)

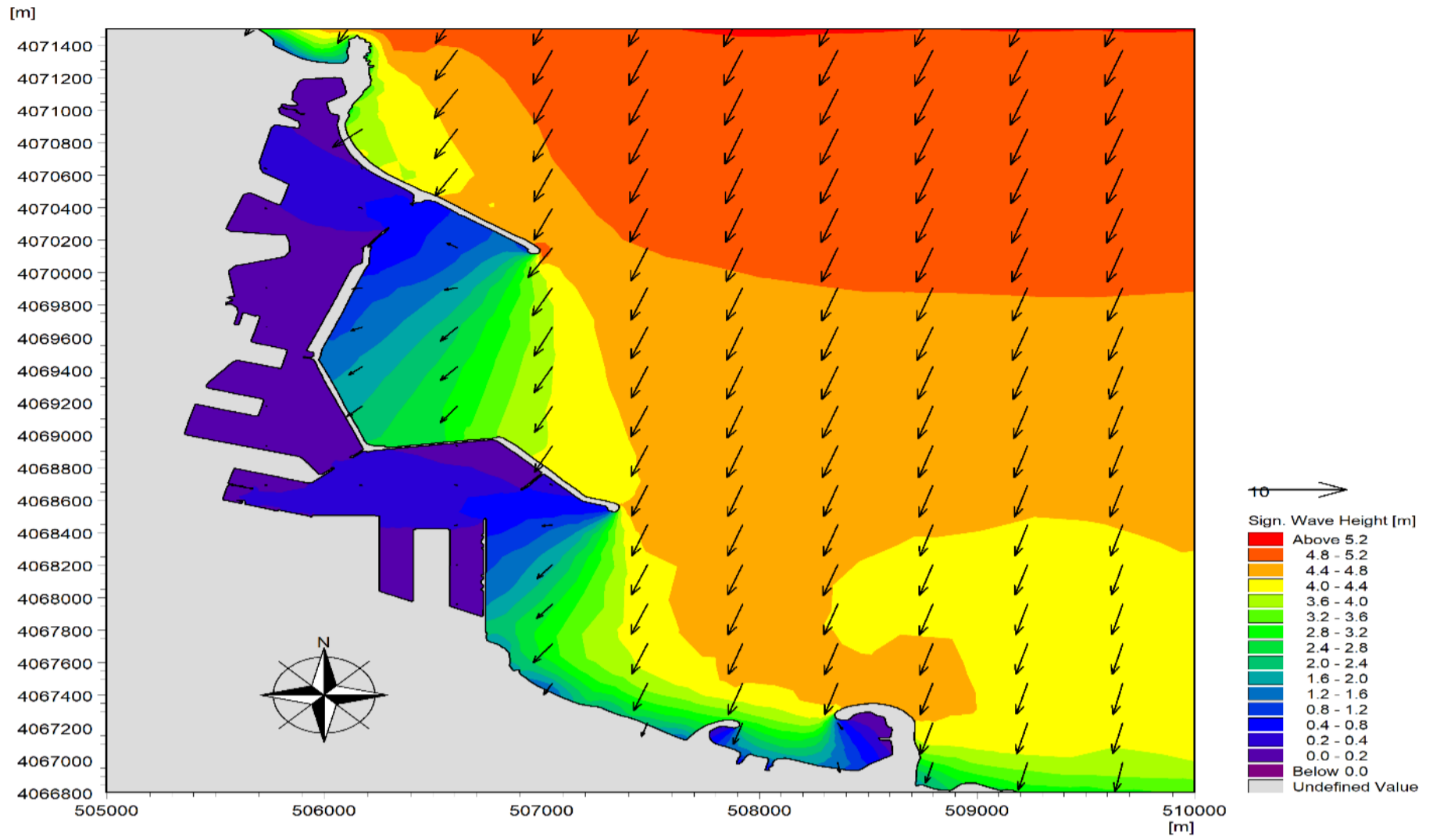


Figure N° 36: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5.34$ m, $T_p = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).

SW – Direction Nord-Est (période de retour 100 ans)

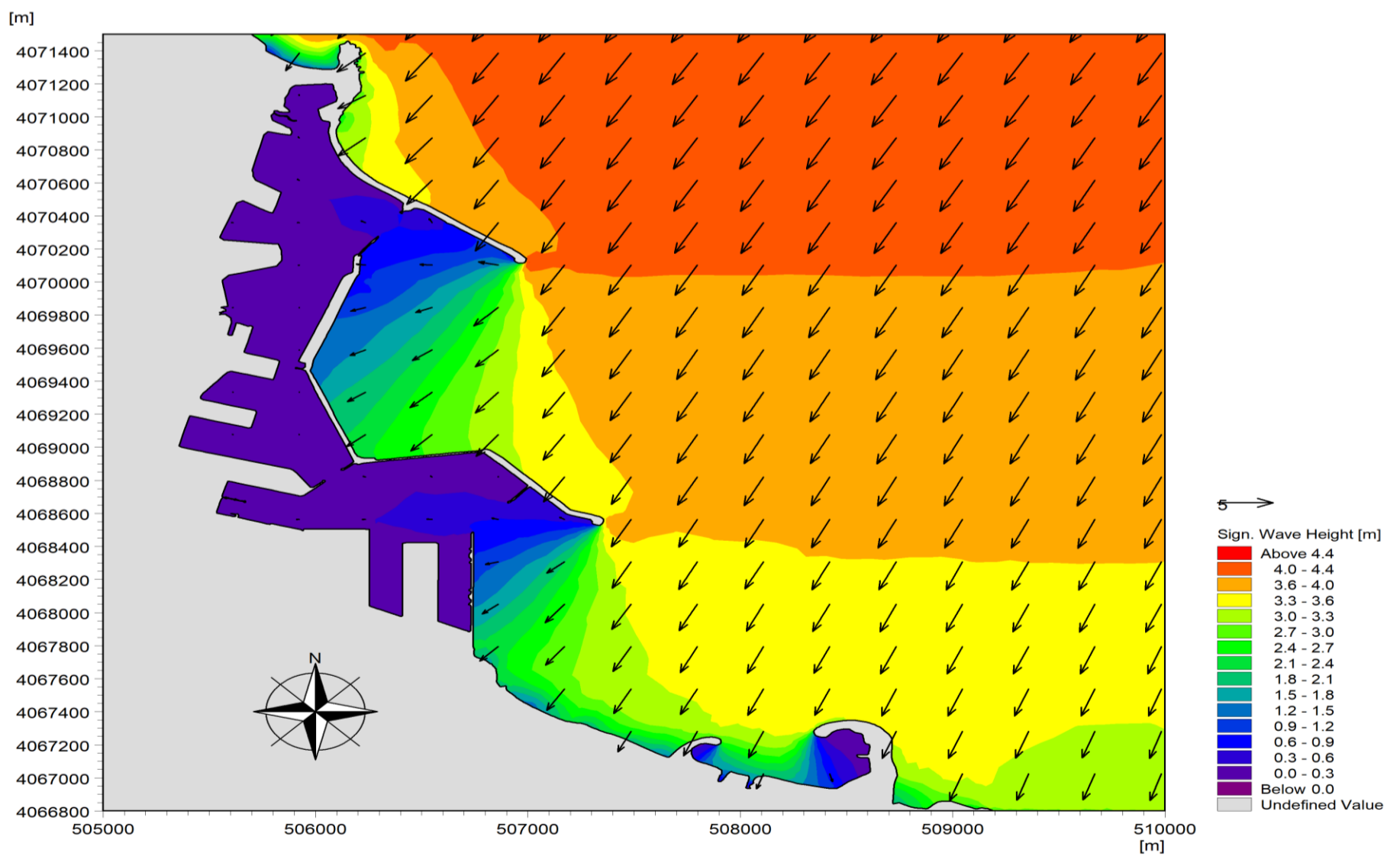


Figure N° 37: Champs des houles dans la Baie d'Alger ($H_s = 5.1$ m, $T_p = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).

2.3.3. Présentation et interprétation des résultats des modules ST et HD :

- Le courant portant vers le Sud-Est pour une période de retour de 100 ans produira une dérive littorale de l'Ouest vers l'Est avec une vitesse variant entre 0,3 m/s et 0,45 m/s. Parallèlement, la vitesse enregistrée au chenal d'accès Est est de 0.9 m/s à 1.05 m/s vue qu'elle est frontale aux vagues provenant de cette direction. Cela entraîne un transport sédimentaire de 132 m³/an/m à 94 m³/an/m. ce faible taux de transport est du généralement à la situation du port dans la baie d'Alger même il est abrité par le cap, la nature du fond et la bathymétrie importante. (Figure N°38, 39).
- La houle du secteur N 100 ans produit une dérive littorale parallèle à la côte orientée d'Est en Ouest. La faible vitesse le long de la côte varie entre 0,1 et 0.2 m/s, sauf pour la zone portuaire où une vitesse plus importante est enregistrée qui est de à 1.2 m/s, en ordre de grandeur, ce déplacement de masse d'eau (Figure N°40, 41) engendre un déplacement sédimentaire minimale de l'ordre de 78 à 94 m³ par an et par mètre linéaire.
- Les houles venant du secteur Nord-Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest. Ces houles génèrent des courants de vitesses faibles varient de 0.5 à 1 m/s le long de la côte à l'exception au niveau de la zone du port qui enregistre des vitesses importantes de l'ordre de 1 à 1.5 m/s. Ces courants vont transportés des quantités considérables des sédiments (Figure N°42, 43) allant de l'Est vers l'Ouest tout en alimentant les secteurs adjacents. Ces quantités peuvent atteindre 150 à 200 m³ par an et par mètre linéaire.
- Les houles de direction Nord Est (Figure N°44), pour une période de retour 100 ans vont engendrer une dérive littorale d'Est vers l'Ouest avec des vitesses qui varient entre 0.6 m/s et 0.8 m/s. En direction du port, la vitesse varie de 1.4 m/s à 1.6 m/s, cela est dû à la concentration des énergies de la houle au voisinage des jetées du port qui sont perpendiculaire à cette direction. D'autre part, les houles peuvent engendrer des courants dirigés de L'Ouest vers l'Est selon la configuration de la baie. Les courants (Figure N°45) transportent une quantité plus importante de sédiments de 315m³/an/m à 440 m³/an/m, vue qu'il sont alimentés quotidiennement par un apport sédimentaire venant de l'Oued el Harrach et Oued el Hamiz. La morphologie de la zone (en forme Baie) favorise le déplacement des sédiments de ces deux oueds. Par ailleurs, l'apport sédimentaire de ces deux oueds est piégé par des obstacles le long de la côte tels que les ouvrages et infrastructures (la marina et le brise-lame Est du port).

HD – Direction NW (période de retour 100 ans)

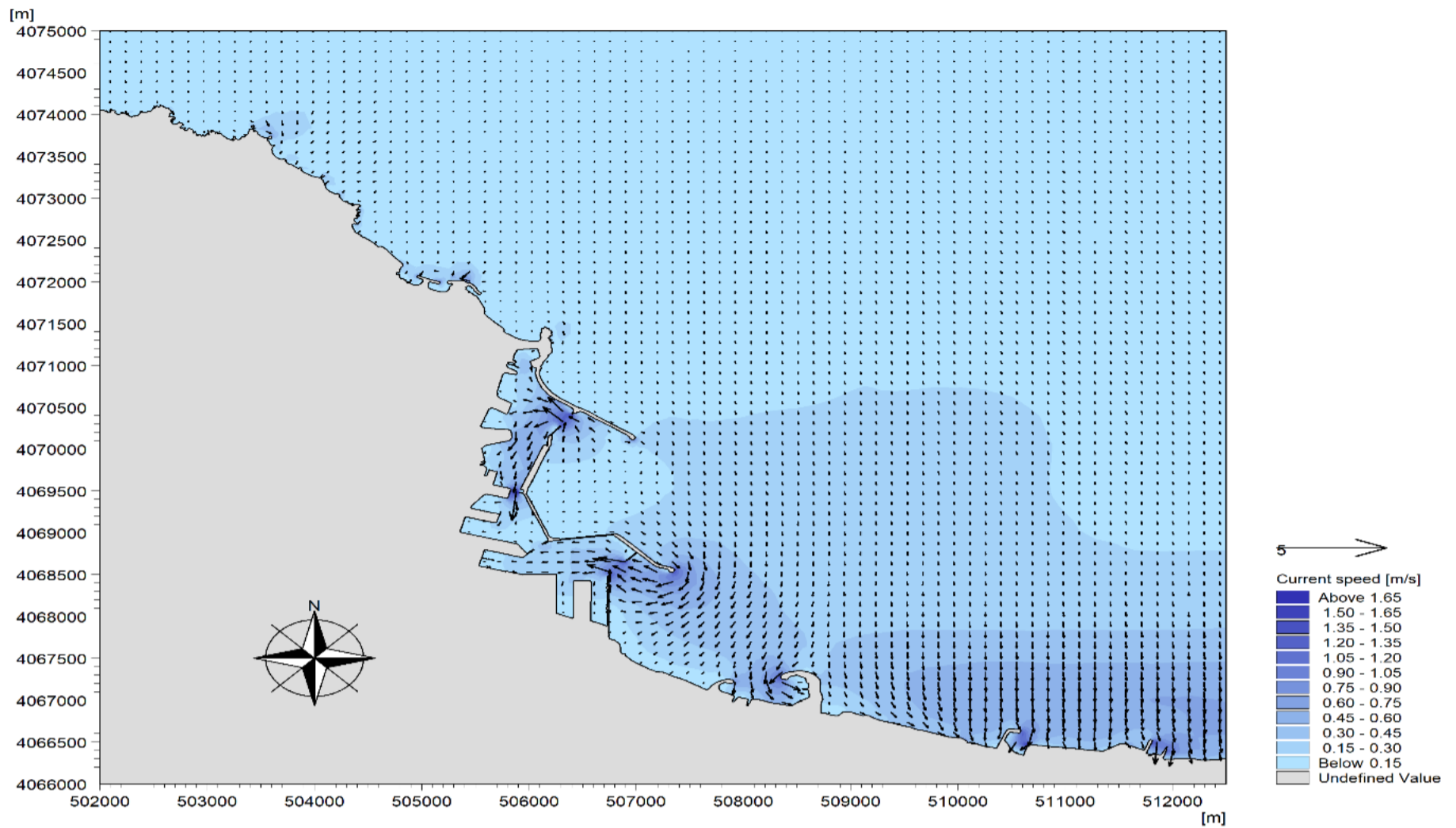


Figure N° 38: Champs des courants au voisinage du port d’Algier ($H_s = 5.8$ m, $T_p = 8,93$ s, $U_{10} = 15,32$ m).

ST – Direction NW (période de retour 100 ans)

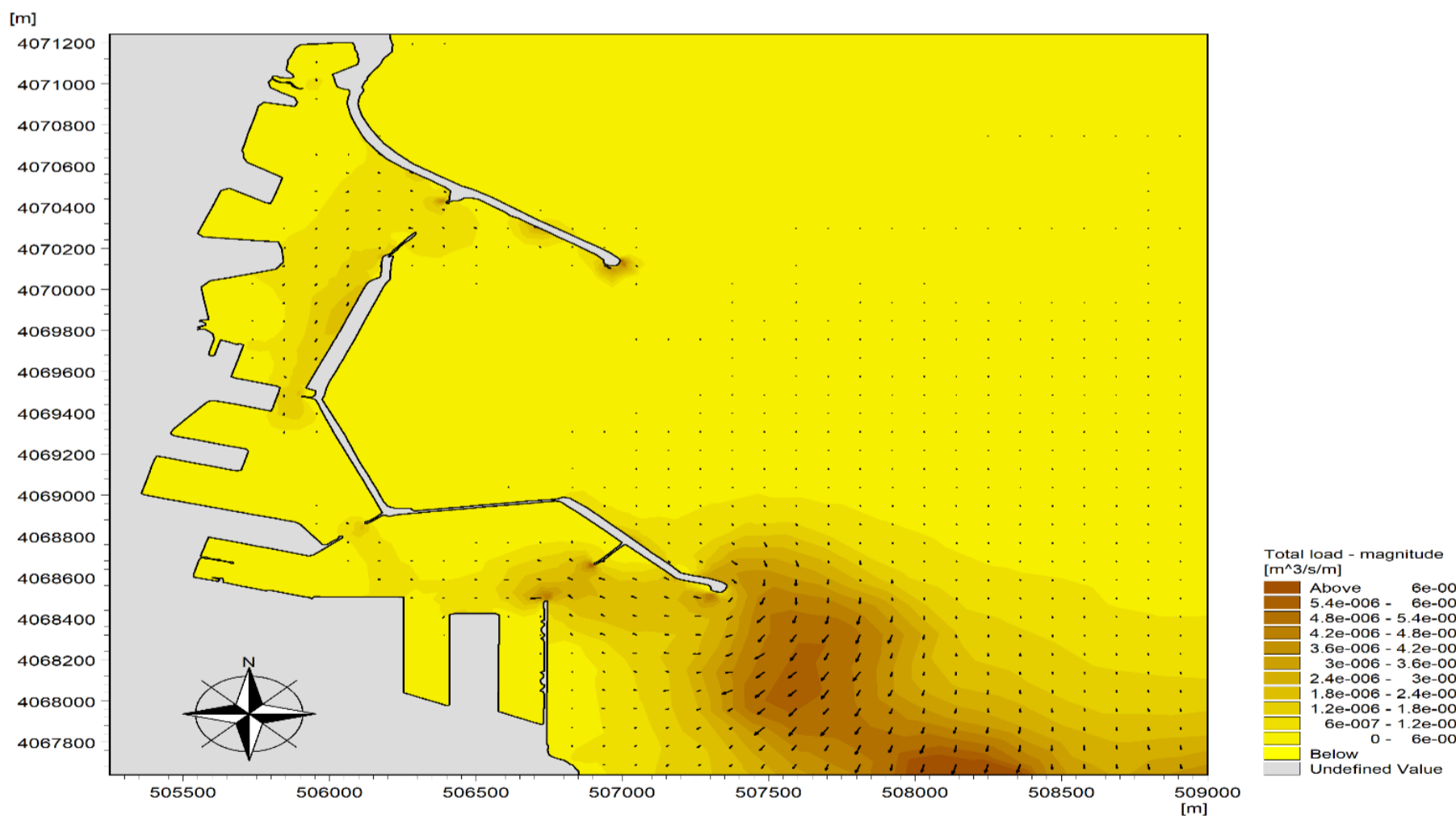


Figure N° 39: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d’Algier ($H_s = 5.8$ m, $T_p = 8,93$ s, $U_{10} = 15,32$ m).

HD-Direction N (période de retour 100 ans)

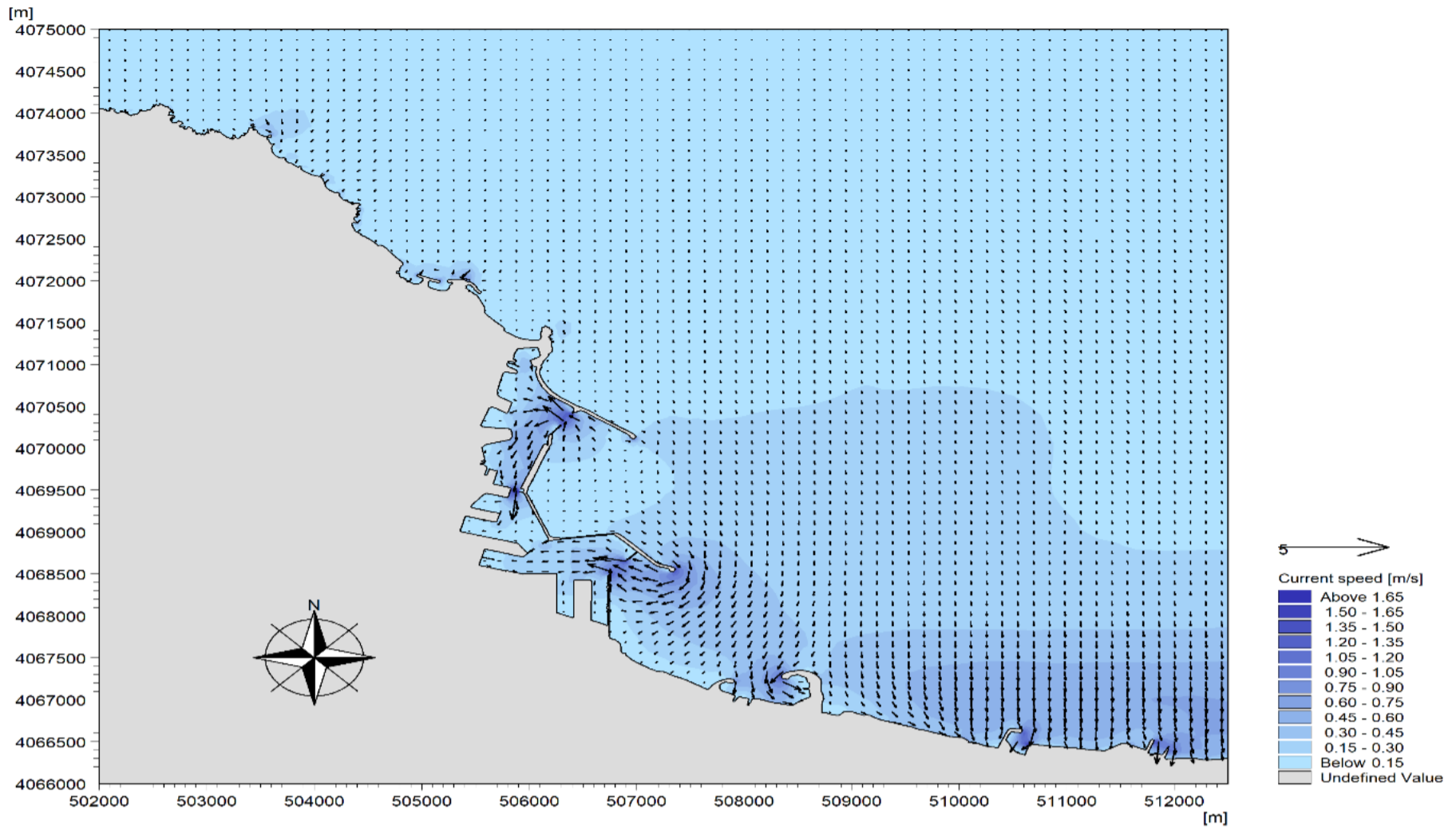


Figure N° 40: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,77$ m, $Tp = 7.26$ s, $U_{10} = 8.6$ m/s).

ST – Direction N (période de retour 100 ans)

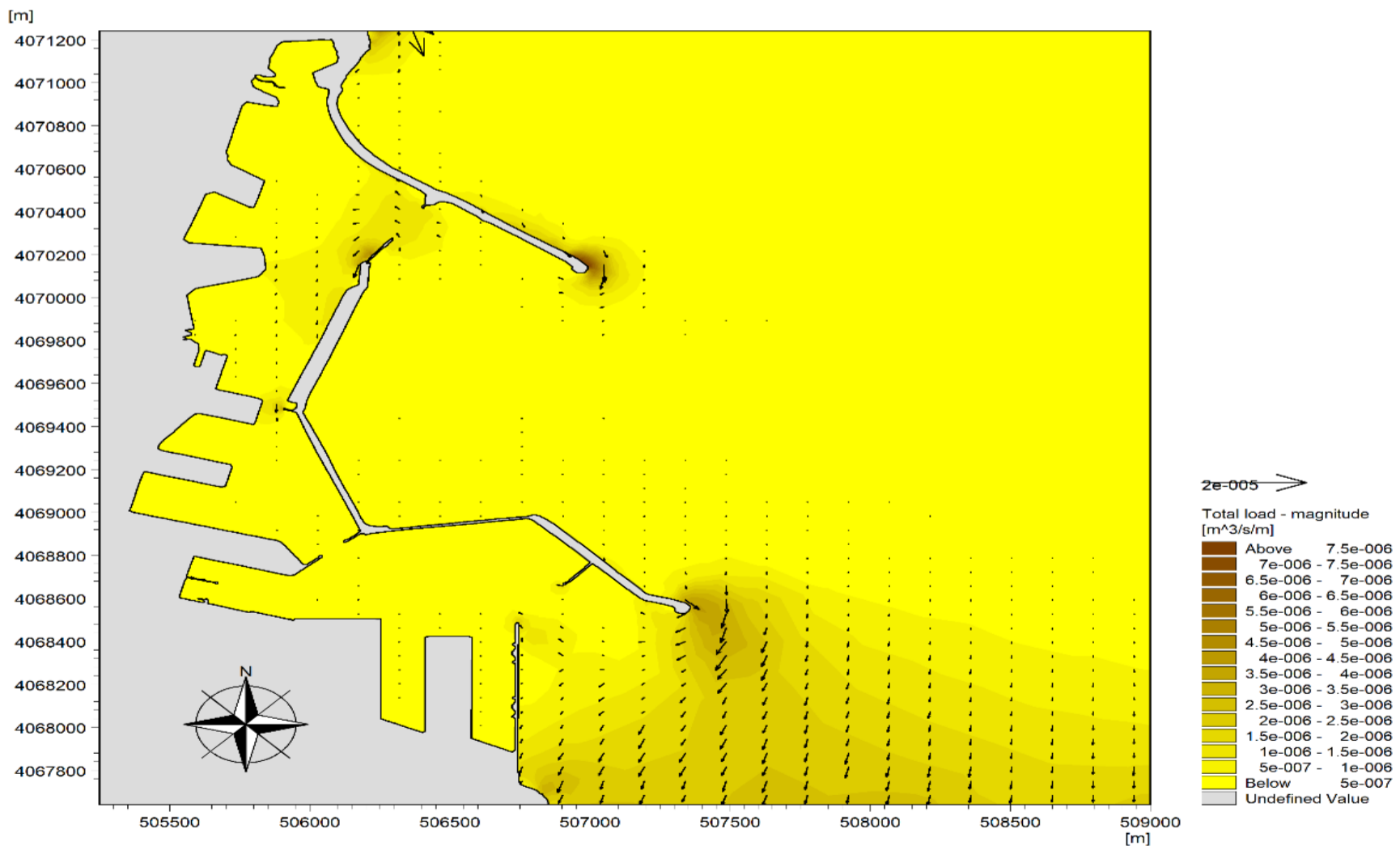


Figure N° 41: Champ de transport sédimentaire au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5,77$ m, $Tp = 7.26$ s, $U_{10} = 8.6$ m/s).

HD – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 100 ans)

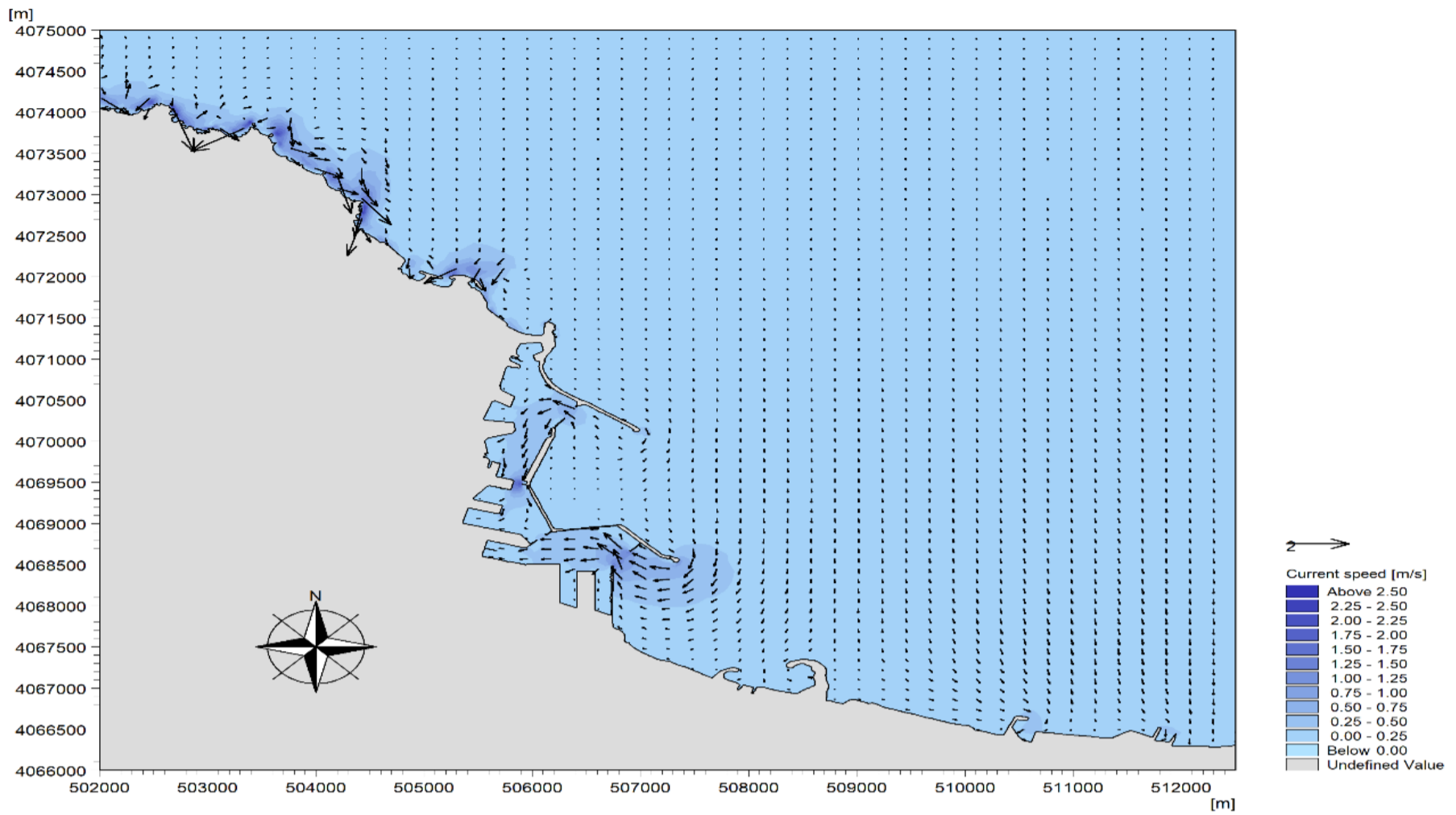


Figure N° 42: Champs des courants au voisinage du port d'Alger ($H_s = 5.34$ m, $Tp = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).

ST – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 100 ans)

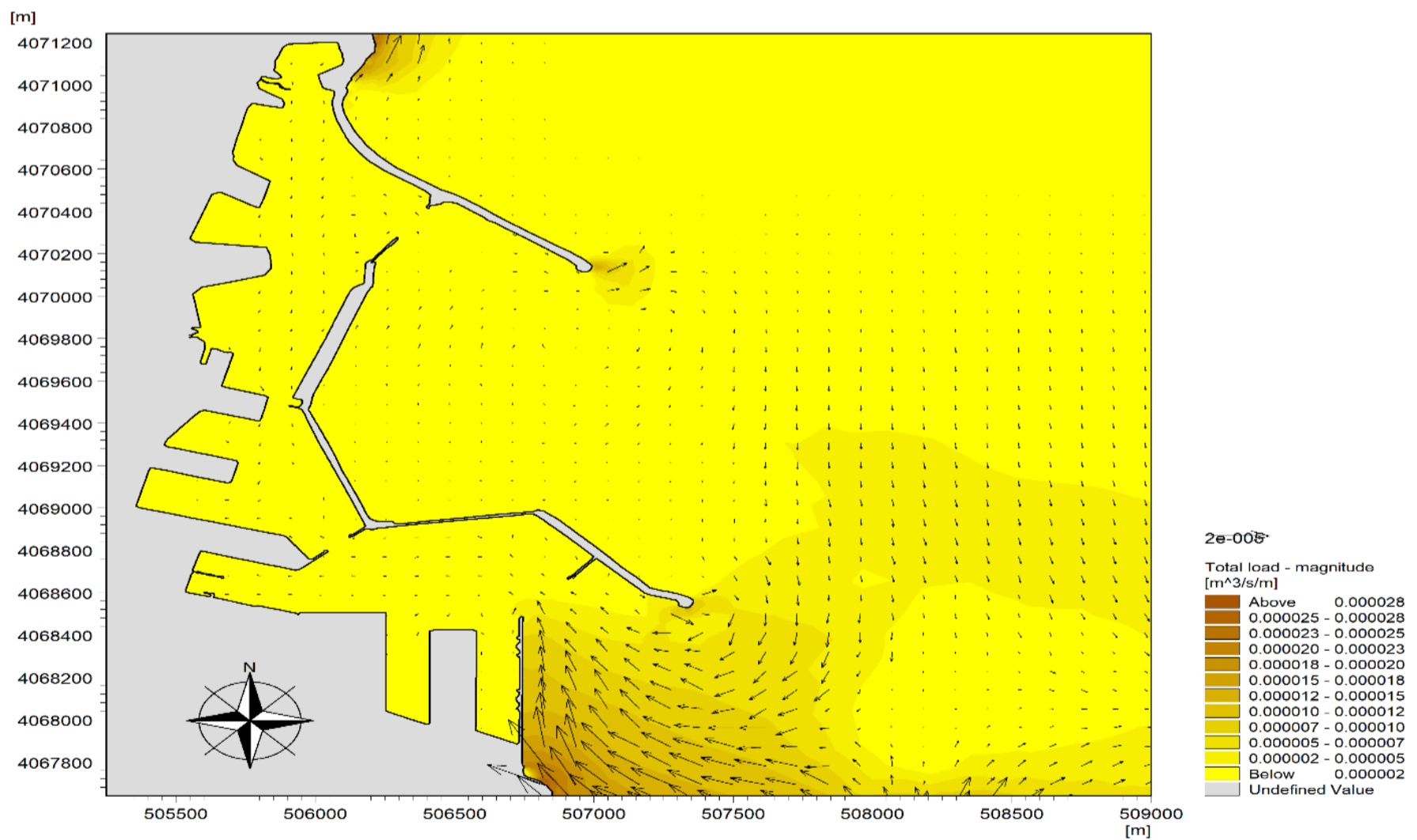


Figure N° 43: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d'Alger ($H_s = 5.34$ m, $Tp = 11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).

HD – Direction Nord-Est (période de retour 100 ans)

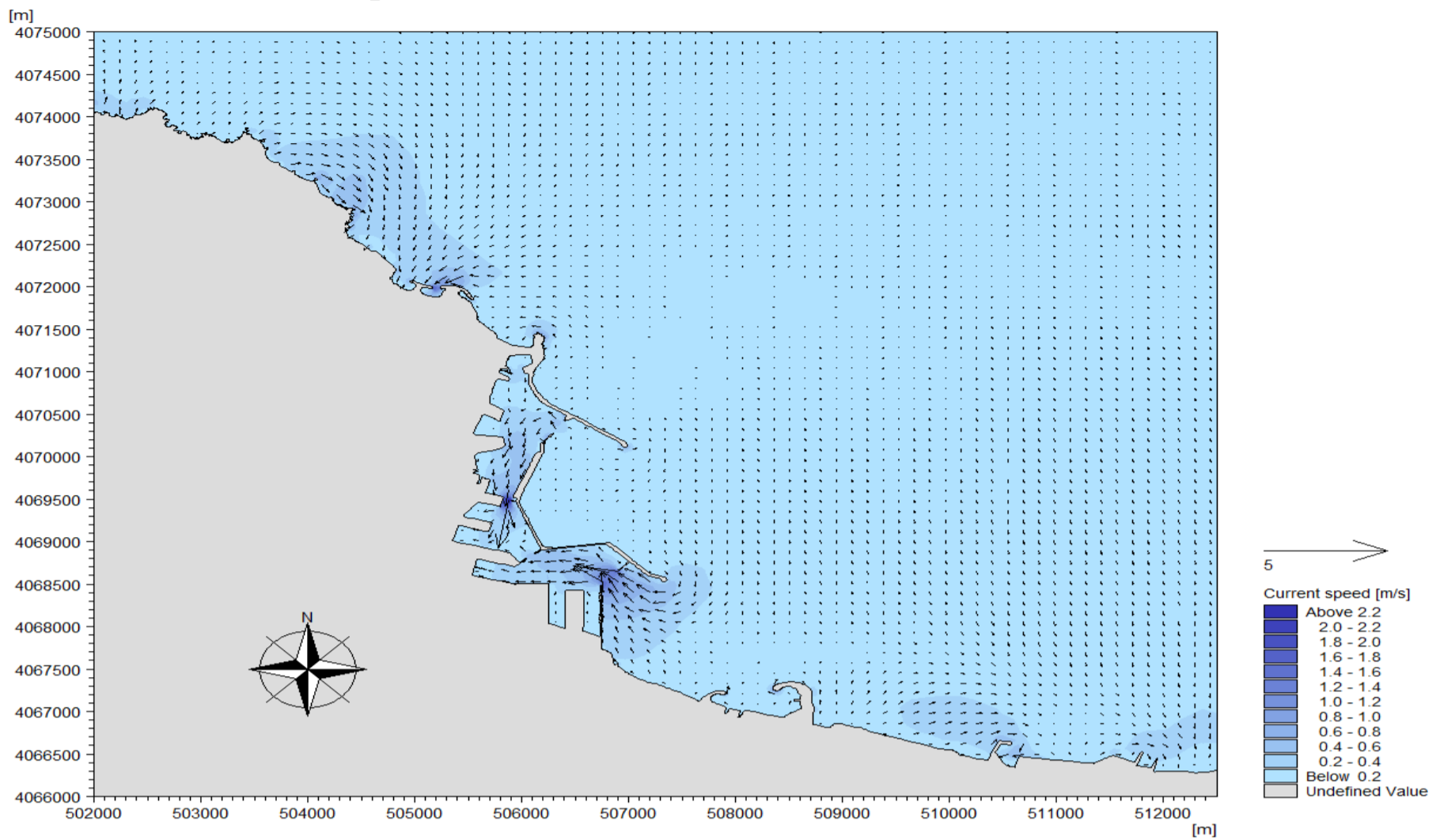


Figure N° 44: Champs des courants au voisinage du port d’Alger ($H_s = 5.1$ m, $Tp = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).

ST – Direction Nord-Est (période de retour 100 ans)

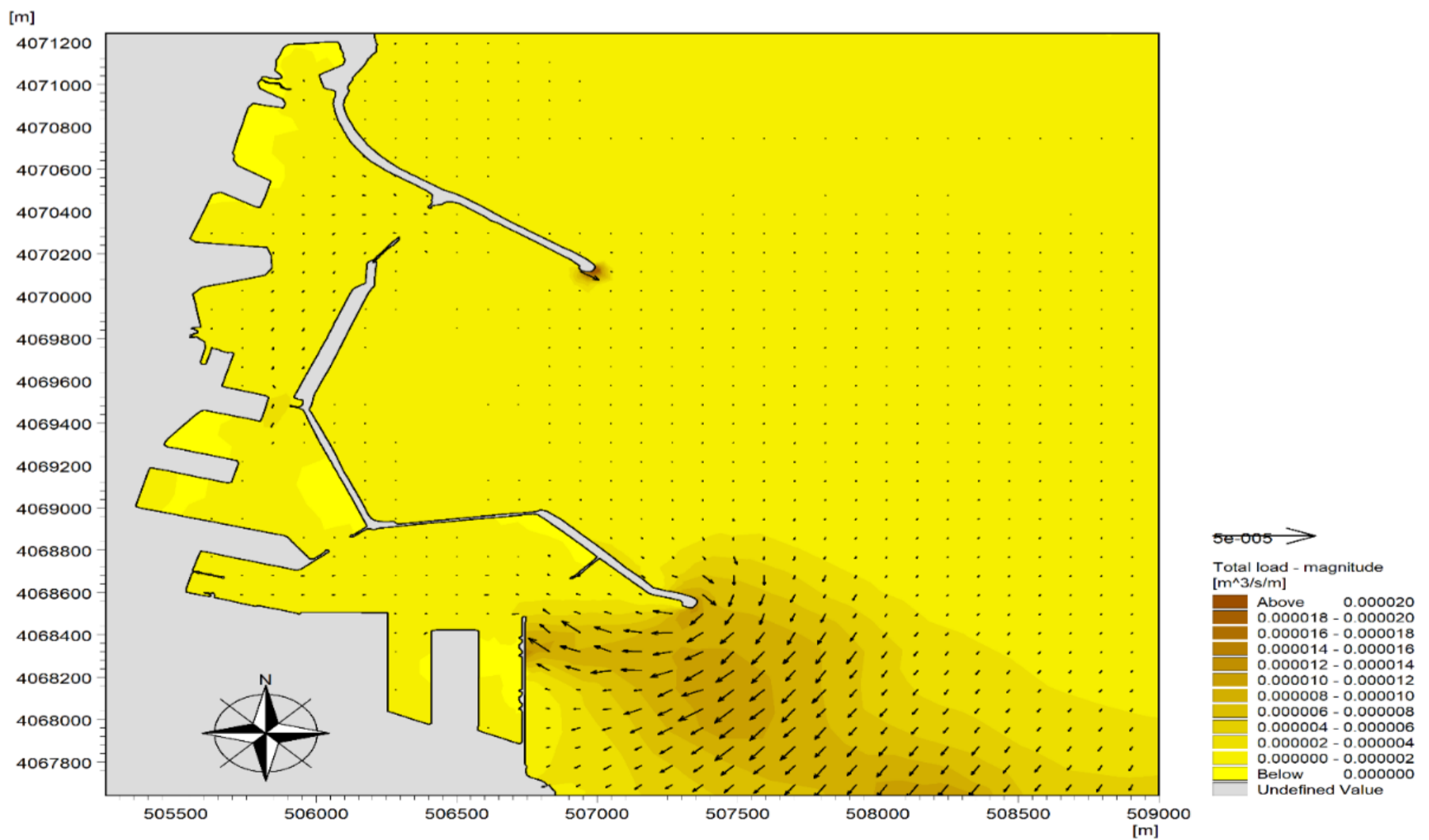


Figure N° 45: Champ de transport sédimentaire au voisinage du d’Alger ($H_s = 5.1$ m, $Tp = 7,7$ s, $U_{10} = 12,26$ m/s).

3. Etude d'agitation dans le port d'Alger

3.1. Présentation du BlueKenue

BlueKenue (Logiciel open source) est un outil perfectionné permettant aux modélisateurs hydrauliques de préparer, analyser et visualiser leurs données. Il s'agit d'une interface graphique de pointe intégrant des bases de données environnementales et des données géo référencées aux données de modèle (entrées et sorties). BlueKenue permet de lire directement les résultats des modèles TELEMAC, ADCIRC et HydroSim.

La visualisation des résultats dans BlueKenue se fait par le biais de vues dynamiques 1D, polaires, 2D, 3D ou sphériques que l'utilisateur peut enregistrer sous forme de films ou sauver sous forme d'images pour ses rapports et présentations.

Toutes les vues et les données sont entièrement géo référencées. BlueKenue permet de plus la conversion entre systèmes de coordonnées (projections courantes).(*BlueKenue 2011*)

3.1.1. Mesh

BlueKenue permet de générer des maillages rectangulaires et triangulaires à partir de points, de lignes, ou même à partir d'autres maillages réguliers ou triangulaires. L'utilisateur a la possibilité d'inclure des « nœuds durs » ou des « lignes de rupture » avec le générateur de grille triangulaire. Ces points et lignes seront préservés lors de la création des nœuds/éléments. La densité de nœuds est calculée à partir de cartes de densité définies par l'utilisateur (grilles rectangulaires, maillages triangulaires ou polygones).(*BlueKenue 2011*)

Les cartes de friction hydrodynamique sont quant à elles générées facilement par mappage de données sous forme de polygones ou autres grilles.

Le maillage utilise 96660 éléments triangulaires, de taille caractéristique approximative 1 m pour la Mesh. Voir figure N°48.

3.2. Présentation du TELEMAC-mascaret

Le système TELEMAC-MASCARET (Logiciel open source) est un puissant outil de modélisation intégré utilisable dans le domaine des écoulements à surface libre. Ayant été utilisé dans le cadre de très nombreuses études à travers le monde (plusieurs centaines à ce jour), il est devenu l'un des standards majeurs dans son domaine particulier d'éléments triangulaires, ce qui permet de l'affiner notamment dans les zones d'intérêt particulier

Les différents modules de simulation utilisent des algorithmes de grande capacité basés sur la méthode des éléments finis. L'espace est discrétisé sous la forme d'une grille non structurée d'éléments triangulaires, ce qui permet de l'affiner notamment dans les zones d'intérêt.

Les outils de pré et post-traitement sont particulièrement puissants et conviviaux. La plupart d'entre eux sont basés sur l'utilisation de bibliothèques Ilog/Views et offrent une gamme de fonctions extrêmement sophistiquées. Le réseau peut être généré avec le générateur embarqué

dans le système TELEMAC-MASCARET (module MATISSE, désormais obsolète) ou par d'autres (BlueKenue, Janet)

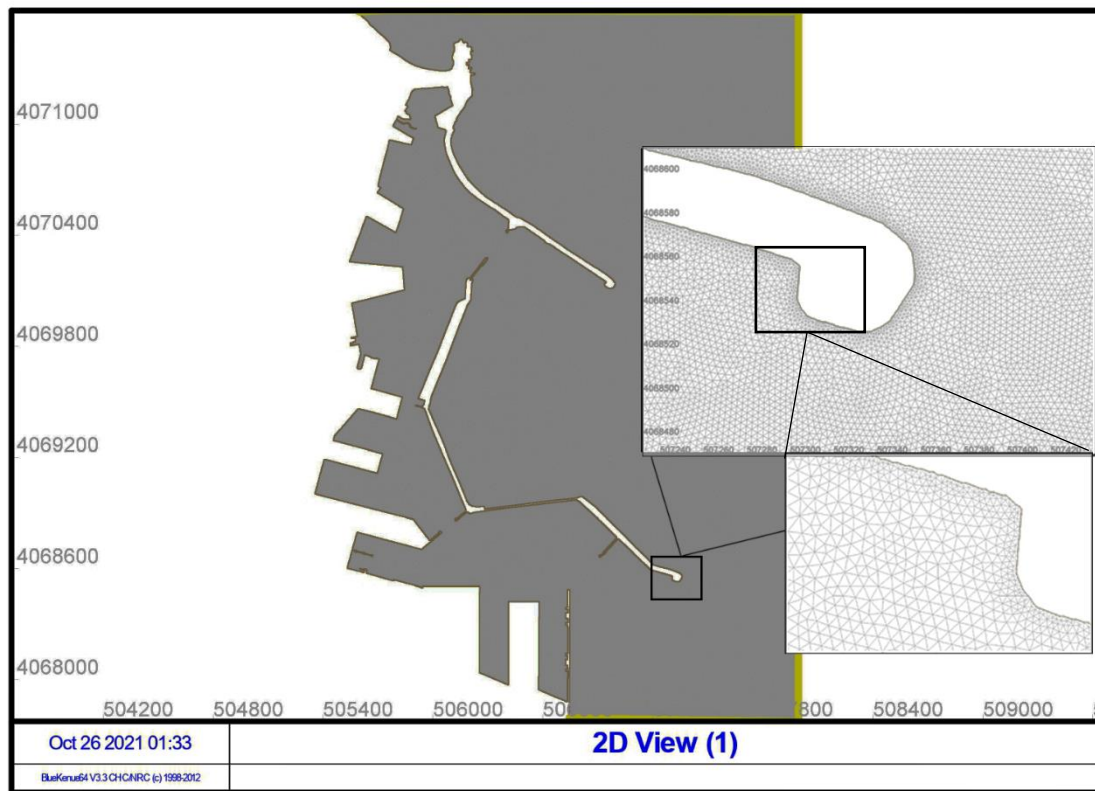


Figure N° 46: Maillage du port (Bluekenue).

3.2.1. L'outil Artémis

Le code ARTEMIS (Agitation and **R**efraction with **TE**lemac on a **M**ild **S**lope) résout l'équation de Berkhoff (1) par une méthode d'éléments finis au sein de la structure TELEMAC. Cette équation est déduite des équations de Navier-Stokes en prenant en compte un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (faible cambrure de la houle, faible pente des fonds ...). Ses résultats principaux sont, en chaque nœud du maillage de résolution, la hauteur, la phase et l'incidence de houle. ARTEMIS trouve ses principales applications dans le domaine de l'agitation, par la houle, d'un plan d'eau côtier ou d'un port. ARTEMIS est capable de prendre en compte les phénomènes suivants :

- Réflexion de la houle par un obstacle,
- Diffraction de la houle derrière un obstacle,
- Réfraction de la houle par variation de la bathymétrie,
- Houle monochromatique,
- Houle aléatoire monodirectionnelle ou multidirectionnelle,
- Frottement sur le fond,
- Déferlement bathymétrique.
- Phénomènes de dissipation par déferlement et/ou par frottement sur le fond

- Amélioration des conditions aux limites avec prise en compte des angles d'incidence sur une paroi, et prise en compte des angles d'entrée ou de sortie sur les frontières liquides.

Par contre, la version actuelle du logiciel ne permet pas de prendre en compte les effets suivants :

- Réfraction de la houle par un courant,
- Présence de zones sèches dans le domaine de calcul (bancs découvrant)

Les domaines d'application du logiciel sont nombreux. Il permet en particulier d'étudier l'agitation dans un port ou dans une baie, d'apprécier l'impact de la construction d'un ouvrage protecteur contre la houle (jetée, digue), d'estimer l'agitation derrière une brèche, l'amortissement de la houle derrière une île ou un haut fond, les seiches dans un chenal, etc.

L'ensemble des structures de données est regroupé au sein de fichiers Fortran, appelés modules.

Pour ARTEMIS, le fichier s'appelle DECLARATIONS_ARTEMIS. Pour avoir accès aux données d'ARTEMIS, il suffit d'insérer la commande USE DECLARATIONS_ARTEMIS en début de sous-programme. Il peut être également nécessaire d'ajouter la commande USE BIEF, qui permet d'avoir accès aux structures de la bibliothèque BIEF. (*Logiciel Artemis - Agitation d'un plan d'eau par la houle 2009*)

3.2.2. Insertion des données

Lors d'un calcul, le logiciel ARTEMIS utilise un certain nombre de fichiers en entrée et en sortie, dont certains sont optionnels.

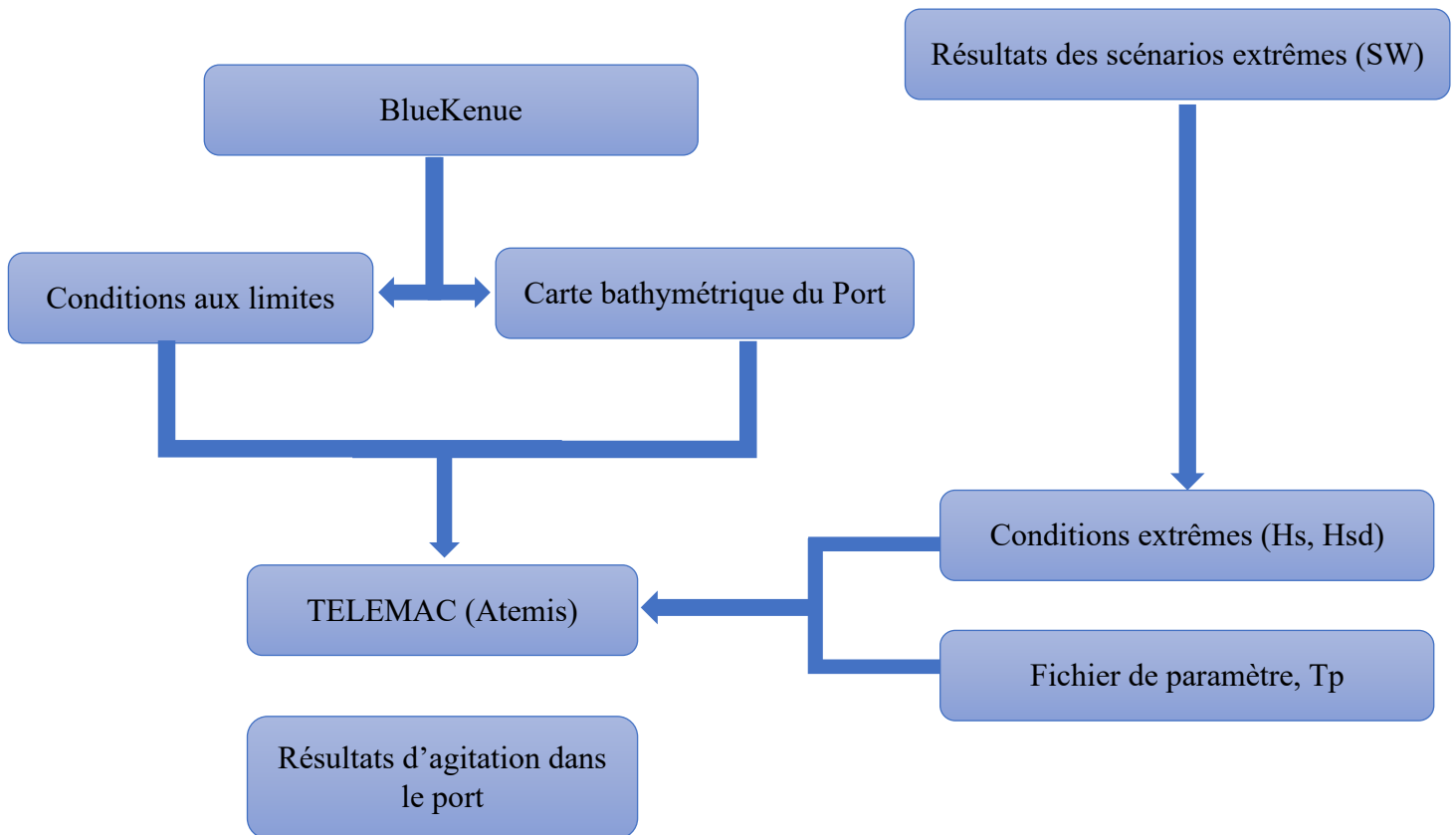
Les fichiers en entrée sont :

- Le fichier de géométrie (*.geo)
- Le fichier des paramètres (*.cas)
- Le fichier des conditions aux limites, (*.cli)
- Le fichier des fonds, (*.slf)
- Le fichier Fortran, (*.f)
- Les fichiers de données binaires,
- Les fichiers de données formatés.

Les fichiers en sortie sont :

- Le fichier des résultats (*.slf)
- Le listing de sortie,
- Le fichier de résultats formaté,
- Le fichier de résultats binaire

Ce schéma résume les fichiers d'entrées d'ARTEMIS :



3.2.3. Modèle d'agitation des vagues

Les modèles de prédiction des vagues sont généralement basés sur l'équation de l'énergie où de la densité de l'énergie de la vague $E(\sigma, \theta)$, fonction de la pulsation ω et de la direction θ de la vague qui varie lentement en fonction de l'espace (x, y) et du temps. En présence d'un courant ambiant, il est plus pertinent de simuler la quantité du mouvement de la vague $N(\sigma, \theta)$ plutôt l'énergie de la vague :

$$N(\omega, \theta, x, y, z, t) = \frac{E(\omega, \theta, x, y, z, t)}{\sigma} \quad (24)$$

Le comportement de la houle à l'approche des côtes est modélisé par l'équation de (BERKHOF, 1972), qui traduit les équations du mouvement en théorie linéaire pour un fond graduellement varié. Elle s'écrit : équation

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \theta) + \frac{c}{c_g} \omega^2 \theta = 0 \quad (25)$$

Avec :

$$\omega^2 = gk \tanh(kd), \quad (25-1)$$

L'équation (25-1) peut être résolue directement, par la méthode des éléments finis (MARCER *et al.* 1994). Ce type de modèle est notamment destiné à étudier les problèmes d'agitation portuaire où les effets de diffraction et réflexion de la houle peuvent être importants.

3.2.4. Agitation admissible pour un port

Agitation admissible pour des pétrolier < 100 000 TPL sont :

Navires	Pour la manutention (m)	Pour la tenue à poste (m)
Pétroliers < 100 000 TPL	0.3 à 2.05	0.8 à 1.2

Afin de se placer dans une logique sécuritaire et dans un cas défavorable (période longue, navire chargé) la hauteur d'agitation maximale admissible a été évaluée à 0.5 m. in (BCOEM France 2005)

Tableau 8: Limites d'agitation admissibles dans les grands ports,

Opérations	Tonnage des navires	
	30 à 100 000 TPL	200 000 TPL
Utilisation de remorqueurs	2,0 m	2,0 m
Maintien du navire à poste	2,0 m	4,0 m
Chargement des pondéreux en vrac	3,0 m	
Déchargement des pondéreux	1,0 m	
Chargement et déchargement des liquides	1,0 à 1,5 m	2,5 m

Source : Georges M. 1977, Les installation portuaire de jorf Lasfar, Maroc

Les agitations admissibles à l'intérieur des bassins d'un port données dans les ouvrages :

- Notice du *S.T.C.P.M.V.N.2, Décembre 1992*, Mouvements des navires amarrés
- *A.I.PC.N3. : Critères régissant les mouvements des navires amarrés dans les ports – guide pratique - 1995.*

Tableau 9 : Armateurs nationaux 2002.

Désignation	Nombre de navire	Tonnage en TPL	Tonnage en TPL par navire
CNAN	42	535 834	2 7625
HYPROC	16	442 001	4 484
CALTRAM	02	8 967	2 833
ENTMV	05	14 165	3 116
NOLIS	01	3 116	710
SOTIC	01	710	14 997
Total	67	1 004 793	12 758

Source: Khayar, M. Zerouklane, N. Op. cit, p43.

3.2.5. Résultats et Interprétation de la simulation d'agitation pour le logiciel ARTEMIS

Le calage du modèle a permis de confirmer que ce sont les houles comprises entre le secteur NNE et le secteur NE qui sont les plus pénalisantes. La direction des houles les plus pénalisantes sont frontales par rapport à la passe d'entrée Sud du port. Les houles modélisées doivent être représentatives de conditions exceptionnelles (houle décennale, vingtennale, cinquantennale, centennale) afin de déterminer l'exploitabilité du port.

Pour les houles de périodes de retour 100 ans ($H_s = 5,2$ m, $T_p = 11$ s pour la direction NNE ; et $H_s = 3,6$ m, $T_p = 7,7$ s, $U = 12,26$ m/s) pour la direction Nord Est, l'agitation varie entre 0.7 m - 1.6 m dans la passe d'entrée Sud, et environs 1.1 m dans le bassin Mustapha, et entre 1.2 m - 2 m au niveau du quai 30, de 1 à 1.5 m pour le quai 31/1 et 31/2.

Sur l'ensemble du port, la houle d'incidence la direction NNE effectue une agitation légèrement plus importante que la houle d'incidence NE. La propagation de la houle de NNE pénètre mieux à cause de la différence de longueur des jetées Nord et Sud. La jetée Nord plus courte favorise la propagation de la houle dans l'avant-port et dans le chenal.

Pour les houles de périodes de retour 100 ans ($H_s = 5,2$ m, $T_p = 11$ s) direction NNE, l'agitation reste supérieure à 1.6 m dans le chenal d'accès Sud, par contre une agitation de 0.8 m - 1.6 m dans le bassin Mustapha, en allant vers les quais 30 et 31 l'agitation augmente considérablement pour des valeurs de 1.6 m jusqu'au 2.1 m dans certaines zones.

Les directions N et NW ont moins affecté moins les différentes zones du port avec une agitation d'environ 1 m pour la passe Sud, et de 0.5m à 0.9 m pour le bassin Mustapha.

Scénario initial NW 100ans :

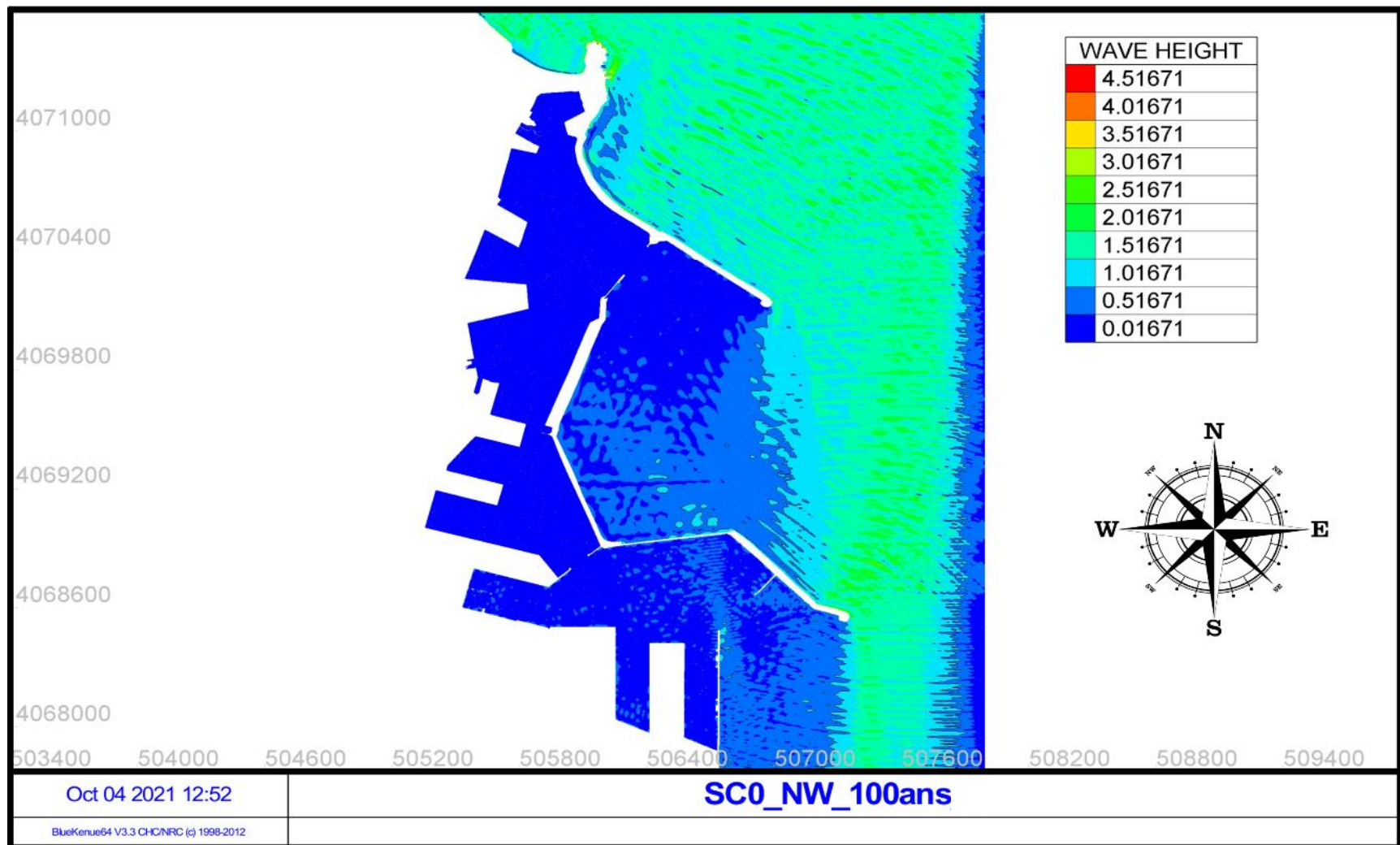


Figure N° 47: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Ouest.

Scénario initial N 100ans :

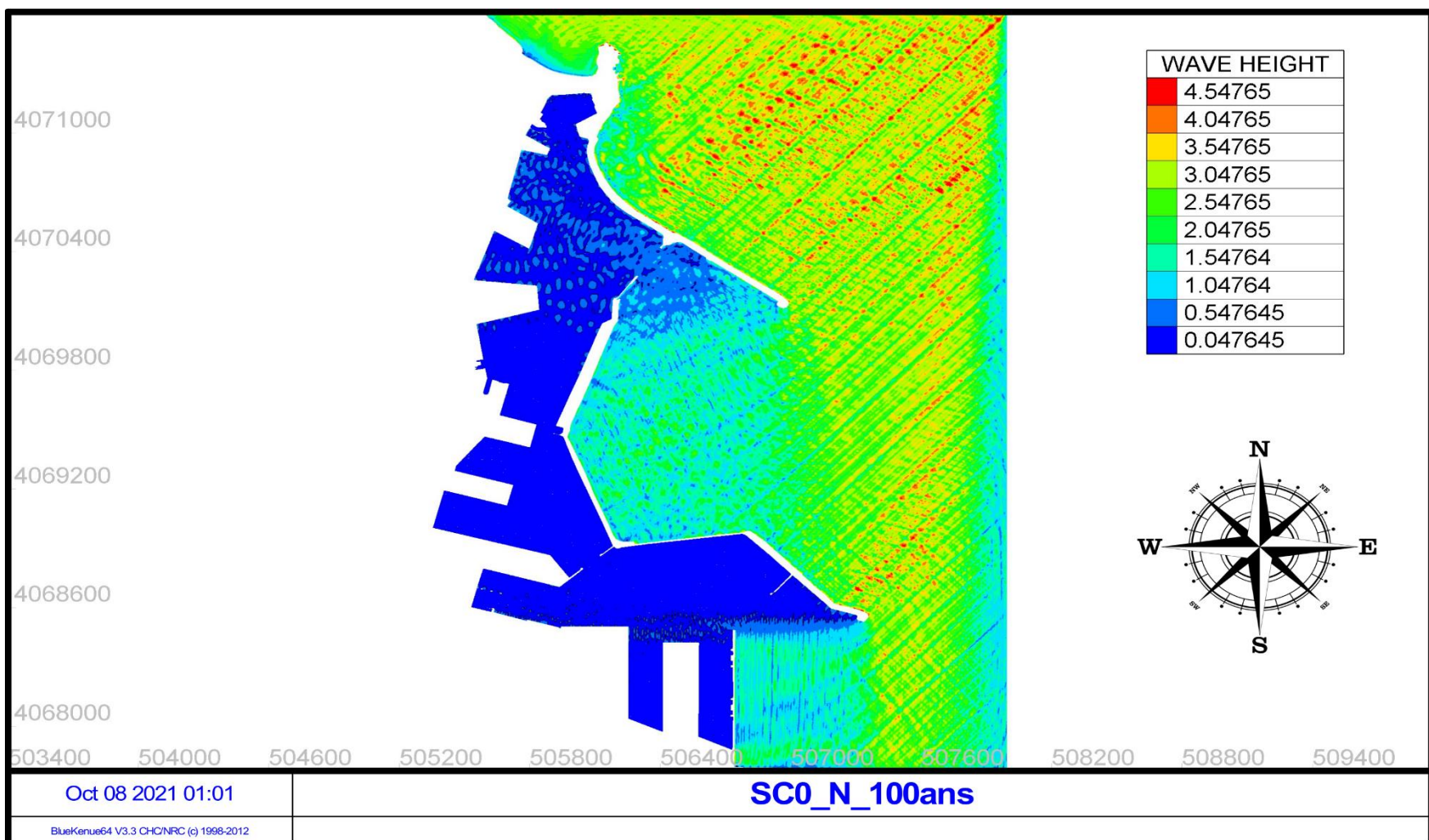


Figure N° 48: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord.

Scénario initial NE 100ans :

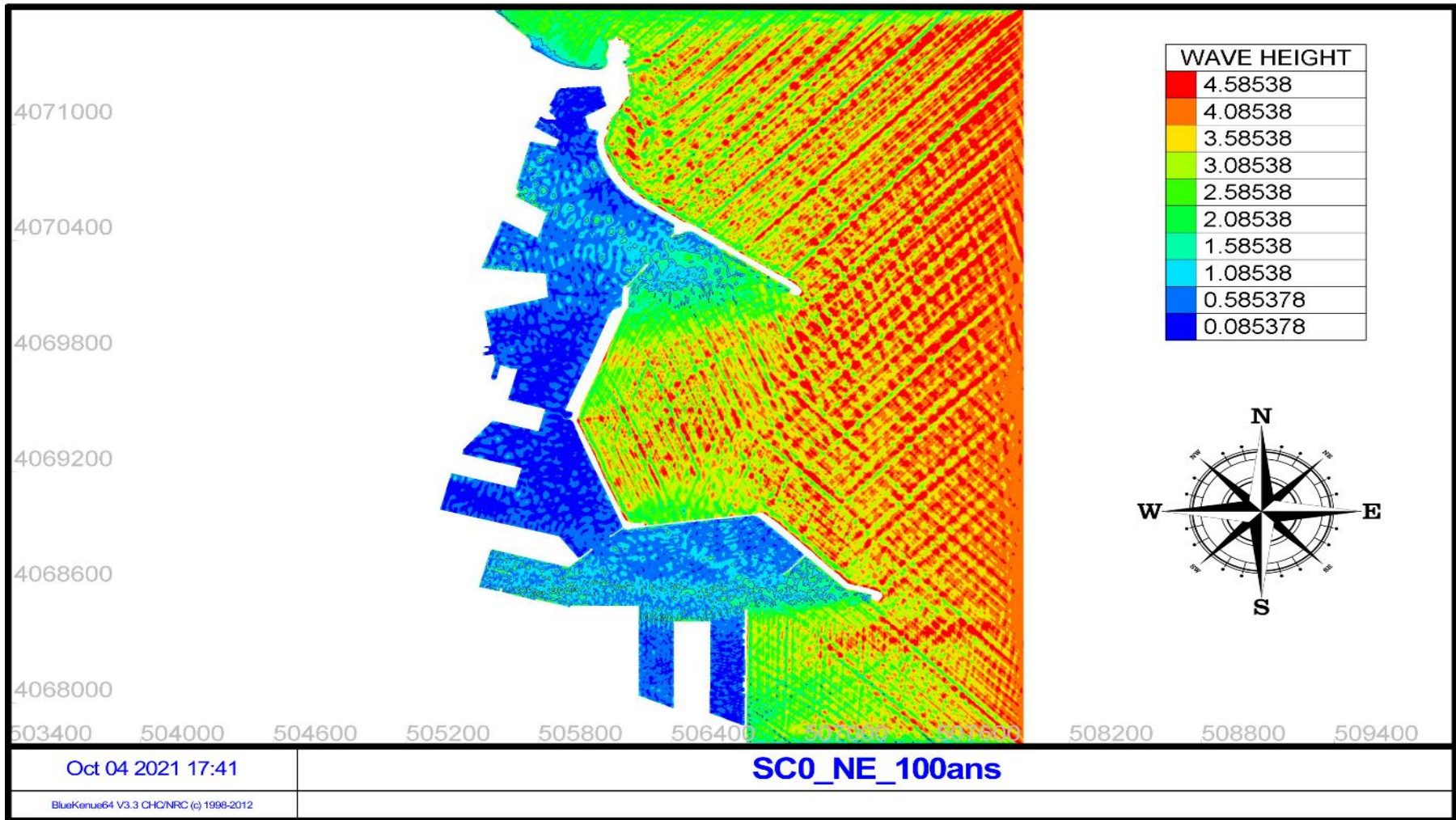


Figure N° 50: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Est.

Scénario initial NNE 100ans :

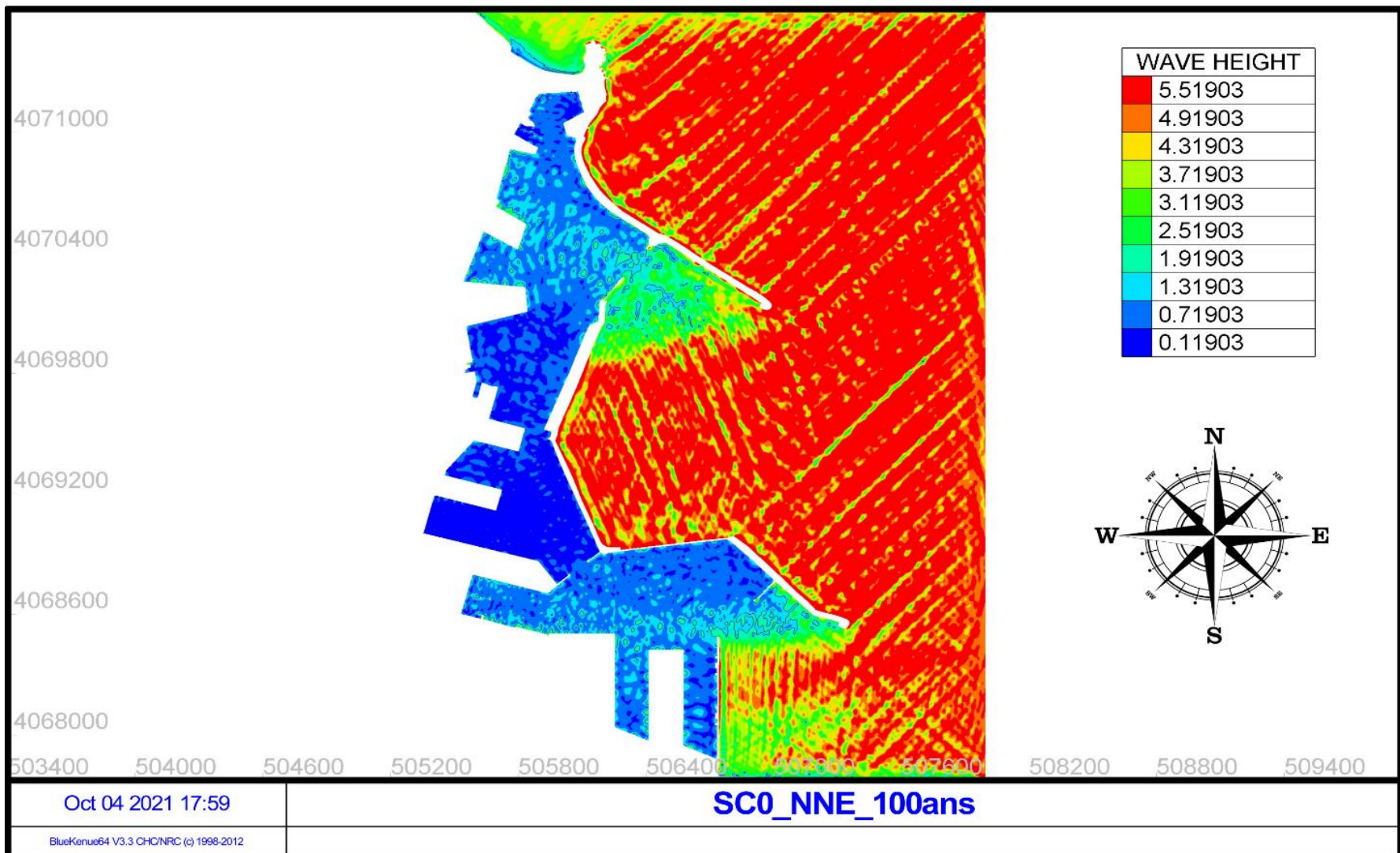


Figure N° 49: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario initial- Nord-Nord-Est.

Chapitre IV : Solutions

L'accès au port est impossible si une trop grande quantité de sédiments s'accumule. Pour maintenir les activités maritimes et assurer la sécurité des navires, les ports doivent maintenir la profondeur des chenaux d'accès et des bassins : c'est le dragage portuaire. Il s'agit dans ce cas de remettre dans le cycle naturel les sédiments bloqués dans le port.

Dès le début des échanges commerciaux, les personnes, l'équipement, les matériels et les marchandises ont été transportés par voies fluviales et maritimes. L'histoire du dragage commence avec l'apparition de la navigation commerciale, mais il faut attendre le XVe siècle pour voir apparaître les premiers outils adaptés pour de grands volumes (dragues) en Europe,

1. Concernant le sous-critère dragage et entretien :

Il a tout d'abord été pris en compte l'évaluation des opérations de dragage en phase d'exploitation puis l'évaluation des opérations de maintenance. Ces dernières ont été considérées proportionnelles aux linéaires des ouvrages de protection maritime existants.

Cependant, le dragage génère des impacts environnementaux à différentes échelles. Les écosystèmes marins peuvent être significativement perturbés. *Sabol&Shafer, 2005. Rehithaet al., 2017*), en particulier les communautés benthiques, particulièrement présentes dans les vases, et dont la structure trophique, la biomasse mais aussi la diversité peut être gravement affectées par les activités de dragage (*Newell et al. 1998 ; Gulbin et al. 2003*).

Qu'il soit réalisé de manière mécanique ou hydraulique, le dragage contribue aussi, nettement, à la remise en suspension de sédiment dans la colonne d'eau, ce qui augmente par conséquent la turbidité ambiante (*Van Maren et al, 2015*). Cela peut avoir des effets adverses sur les écosystèmes, en diminuant la pénétration de la lumière dans l'eau (*Onuf, 1994 ; Short & Wyllie-Echeverria 1996 ; Becker et al, 2015*), mais aussi sur la qualité globale de l'eau, en libérant des particules polluées directement dans le milieu (*Cearreta et al, 2004 Turekian et al, 2010*). Dans les milieux portuaires, les polluants tels que les métaux lourds, pesticides et hydrocarbures stagnent et se concentrent tout particulièrement sur les sédiments.

2. Dragage de l'intérieur du bassin portuaire

D'après (*Foucher 2005*), La comparaison des hauteurs d'agitation dans le port montre qu'on permet de réduire faiblement l'agitation dans l'avant-port devant la plage d'amortissement. A l'inverse, l'agitation se propage plus à l'intérieur du port le long de la rive droite et dans la nouvelle darse à cause du dragage du chenal de navigation et de l'absence de contre-épi.

L'annexe et la Figure 54 démontre l'effet du dragage sur l'agitation aux différents postes du port d'Alger

3. Les techniques de dragage

On distingue généralement les dragues mécaniques, hydrauliques et pneumatiques (*CETMEF, 2000*).

3.1. Les dragues mécaniques

La caractéristique commune des équipements excavateurs mécaniques est qu'ils sont dotés de godets ou de bennes, dont les dimensions et les formes varient. Les dragages mécaniques impliquent un contact physique direct entre ces godets ou bennes et les matériaux à draguer. Le plus souvent, les dragues mécaniques font appel à des chalands pour recevoir et transporter les matériaux dragués.

Les pertes de matériaux par remise en suspension ou par mauvaise fermeture de la benne sont notables dans le cas de dragage de sédiments fins non cohésifs. Le rendement de ces dragues s'améliore pour des sédiments cohésifs, les matériaux récoltés étant généralement assez compacts (formation de « blocs ») et peu chargés en eau. Ces navires sont utilisés dans des zones difficiles d'accès (bordures de quais, bassins étroits) et peuvent travailler jusqu'à des profondeurs de 25 m (drague à godets) à 30 m (drague à benne). Il existe différents types de drague mécanique tel que :

- La drague à godets qui fonctionne comme un élévateur ;
- La drague à pelles ou à cuillers qui est fondamentalement une pelle mécanique montée sur un ponton ;
- La drague à benne preneuse qui fait descendre, se fermer et remonter une benne ou un godet unique au moyen de câbles.

3.2. Les dragues hydrauliques

Les dragues hydrauliques sont basées sur le principe de la pompe à eau centrifuge et opèrent par création d'un vide à l'entrée de la pompe. La pression atmosphérique dans l'eau oblige la mixture (mélange d'eau et de matières solides) à suivre la conduite d'aspiration, seule trajectoire disponible. L'efficacité du dragage peut être accrue par l'adjonction d'un désagrégateur (sorte de fraise ou de roue à pelle) au niveau du bec d'élinde. Ce désagrégateur entraîne une augmentation des remises en suspension au fond lors des opérations de dragage. Son utilisation est cependant indispensable dans le cas de matériaux cohésifs. Parmi les dragues hydrauliques, on distingue les catégories suivantes :

- Drague aspiratrice refouleuse stationnaire ou aspiratrice simple ;
- Drague aspiratrice à désagrégateur ;
- Drague aspiratrice porteuse à élinde traînante ;
- Drague à balayage ;

3.3. Drague aspiratrice refouleuse stationnaire

Sous sa forme la plus simple, ce type de navire est une drague hydraulique généralement stationnaire, équipée d'un ponton et utilisée en premier lieu pour l'excavation et l'élimination de matériaux sans cohésion, et des sables peu compacts.

Les engins les plus évolués peuvent également draguer le limon. Le principal avantage réside dans leur rendement (jusqu'à 7 000 m³/h) supérieur à toute drague de puissance comparable.

Le principal désavantage est l'irrégularité du fond qu'elle laisse après travail en raison de son mode opératoire. De plus, le dragage n'est pas d'une grande précision et ne permet pas de sélectionner différentes couches de sédiments.

3.4. Drague aspiratrice à désagrégateur

Ce type de drague aspiratrice est particulièrement répandu aux États-Unis et au Canada. Ces dragues aspiratrices à désagrégateur sont moins utilisées en Europe à des fins de dragage d'entretien en raison essentiellement des longues distances sur lesquelles les matériaux de dragage doivent être transportés.

Les dimensions des dragues aspiratrices à désagrégateur vont des petites unités standardisées ou démontables jusqu'aux grandes unités capables de travailler dans des zones exposées et par une profondeur maximale de 30 m. La précision du dragage est bonne (de 10 à 25 cm) d'autant plus que le matériel tend à être équipé d'un système de positionnement GPS. Le rendement est en général élevé et varie entre 50 et 5 000 m³/h selon la drague et le matériau. Elles peuvent uniquement refouler à terre sur une distance limitée (entre 500 m et 2 000 m) suivant la puissance des pompes. La concentration du mélange varie de 10 à 40 % selon les caractéristiques des produits dragués.

3.5. Drague aspiratrice en marche

La drague aspiratrice en marche est utilisée dans le monde entier à des fins de dragage d'entretien, des entrées et des chenaux d'accès portuaires.

C'est un engin automoteur et autoporteur. Le dragage se fait en marche à une vitesse réduite de 1 à 3 nœuds. Une dépression produite par une pompe centrifuge permet d'aspirer une mixture de matériaux solides et d'eau, au moyen d'une élinde traînante prolongée par un bec descendu sur le fond. La capacité des divers types de dragues varie entre 500 et 10 000 m³. Pratiquement toutes les dragues aspiratrices en marche comportent des clapets de fond.

Le principal inconvénient de l'utilisation de ce type de drague réside dans la nature cyclique intermittente de l'activité de dragage, dont une partie majeure du cycle consiste quelques fois dans le transport non productif des matériaux de dragage vers un site de dépôt éloigné. De plus, la position de l'élinde étant difficile à contrôler, il est malaisé d'atteindre précisément la cible et la profondeur de dragage souhaitée. La précision habituelle est autour de 50 cm à 1 m. Les rendements varient de 200 à 10 000 m³/h selon la taille de la drague, la nature du matériau dragué et le temps de trajet entre la zone de dragage et le site d'immersion. Ces dragues étant automotrices, elles gênent peu la navigation.

3.6. Autres types de dragues hydrauliques

3.6.1. Drague environnementale à vis sans fin

Elles ont été utilisées, depuis quelques années, principalement dans les projets de restauration des lacs. Ces dragues spécialement conçues pour le prélèvement de fines couches de sédiments contaminés, sont à la base des dragues stationnaires classiques équipées d'une vis sans fin, qui coupe le matériau en couche d'une épaisseur allant de quelques centimètres à un mètre.

3.7. Techniques de transport et de rejet

3.7.1. Dépôt à terre

Dans le cas de volumes limités, les dépôts à terre des sédiments à faible teneur en eau peuvent se faire directement à la benne. Les sédiments peuvent être placés dans

des chambres de dépôt qui permettent leur consolidation et facilitent par exemple la réalisation de terre-pleins portuaires (*Alzieu, 1999*).

3.7.2. Dragage d'entretien

Les opérations de dragage d'entretien concernent la majeure partie des travaux réalisés dans les ports. Ces opérations répétitives visent à extraire les sédiments qui se sont déposés et gênent la navigation. Il faut distinguer les opérations d'entretien selon qu'elles sont réalisées dans :

- Les chenaux d'accès des ports maritimes, où la sédimentation est, la plupart du temps, à dominante sableuse et potentiellement non contaminée ;
- Dans les chenaux d'accès et près des quais, l'extraction des dépôts excédentaires est réalisée par des dragues mécaniques ou aspiratrices en marche.
- Dans les bassins portuaires, les courants généralement faibles et l'agitation réduite favorisent la sédimentation vaseuse. Le taux de sédimentation étant connu, la périodicité des dragages peut être prévisible et programmable. La concentration en contaminants de ces sédiments peut être élevée. Les navires utilisés pourront être les dragues à balayage, les dragues coupeuses à disque ou les dragues environnementales à vis sans fin.

3.8. Dragage d'approfondissement et aménagement de nouvelles aires portuaires

L'évolution de la taille des navires suppose une modernisation des ports et en particulier l'adaptation du seuil de navigation pour les chenaux d'accès et les bassins. Ces travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiment et demandent des moyens de dragage importants. La nature de ces sédiments est d'autant plus marquée par les activités humaines historiques environnantes, résultant en une contamination potentielle variable, que le dragage s'effectue en profondeur dans le sous-sol.

3.9. Filières de valorisation

Trois filières de valorisation peuvent avoir lieu dans le cas du dragage d'un port, afin d'évaluer si les déblais de dragages portuaires auraient des usages dans les secteurs du Bâtiment et des Travaux publics, de l'agronomie et du rechargement de plage. L'exploitation de carrières devient difficile sur le territoire car des impératifs urbanistiques ou environnementaux freinent leur ouverture ou leur extension.

4. Calcul de la profondeur

Dragage de la zone sud du port d'Alger :

Profondeur a dragué = TE+ pied de pilote (0.32) + marée basse (0.3) + 0.4 (marge de sécurité) (26)

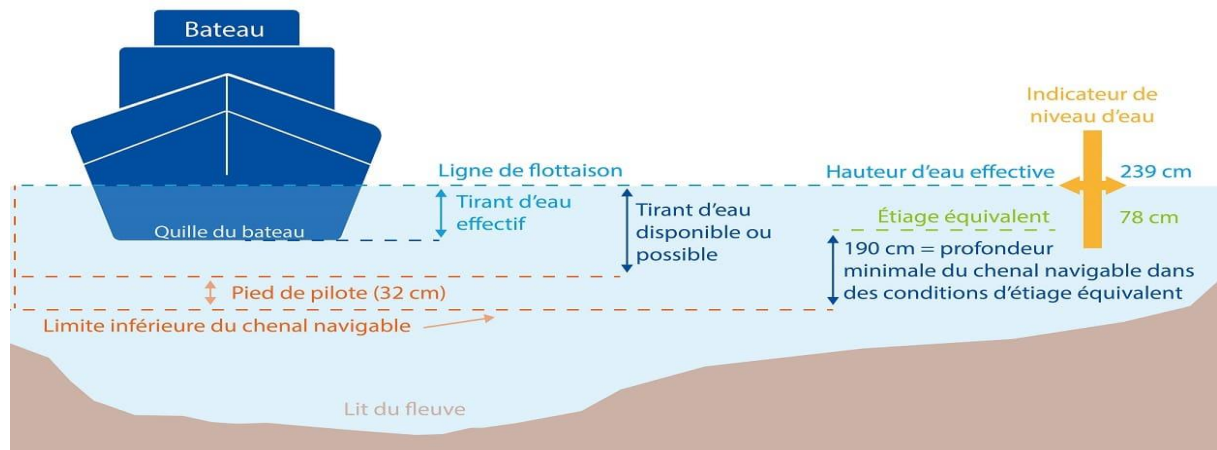


Figure N° 51: hauteur d'eau effective, tirant d'eau effectif, étiage équivalent, profondeur minimale du chenal navigable et tirant d'eau possible ou disponible à kaub/sur le rhin moyen.

Source: données communiquées à la CCNR par l'Institut fédéral allemand d'hydrologie (Bundesanstalt für Gewässerkunde – BfG) (2015)

Tableau 10 : Volumes a dragué en fonction de profondeur

Volume a draguée (m ³)	Profondeur (m)	Tirant d'eau
1 497 065	12	11
2 810 155	14	13
4 350 660	16	15

4.1. Simulation du scenario d'aménagement :
Scénario aménagé NE 100ans :

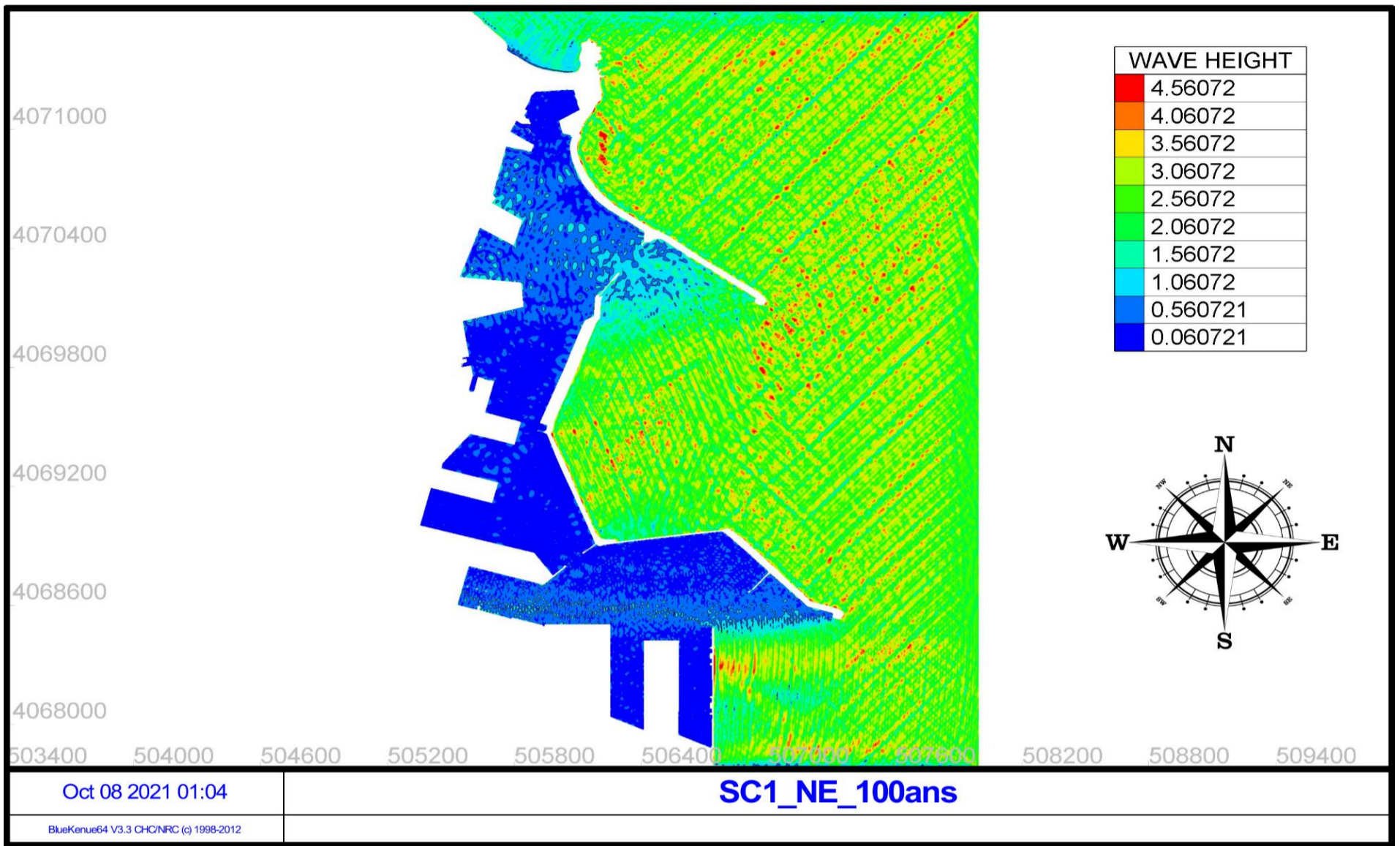


Figure N° 52: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario aménagé- Nord-Est.

Scénario aménagé NNE 100ans :

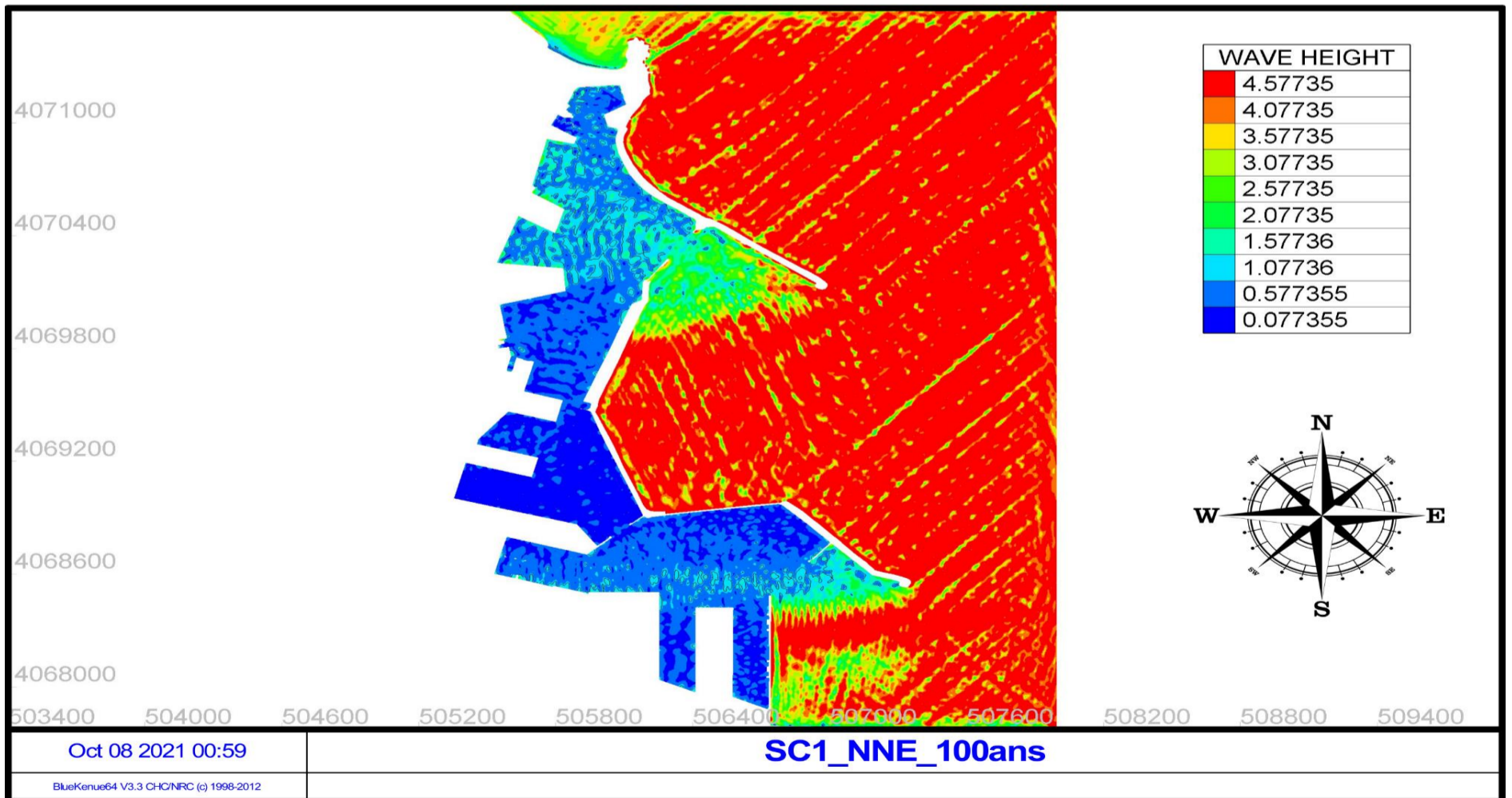


Figure N° 53: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans -Scénario aménagé- Nord-Nord-Est.

4.1. Interprétation des résultats du scénario aménagé (SC1)

Les directions Nord-Nord-Est et Nord-Est qui avaient le plus grand effet sur le port en enregistrant des houles qui dépassent les valeurs de l'agitation admissible pour les opérations de déchargement des pondéreux et chargement et déchargement des liquides,

Les houles prévenantes de ces deux secteurs NNE et NE caractérisées par $H= 5,2$ m, $T_p = 11$ s pour la direction NE ; et $H= 3,6$ m, $T_p = 7,7$ s, $U= 12,26$ m/s ont subi un déclin appréciable sur l'ensemble du port suscité par le changement du fond, avec des valeurs qui ont atteint 0.7 m à 1.5 m dans la passe d'entrée Sud, et environs 0.5 à 1 m dans le bassin Mustapha, et entre 0.8 m et 1.1 m au niveau du quai 30, de 1a 0.5 m pour le quai 31/1 et 31/2.

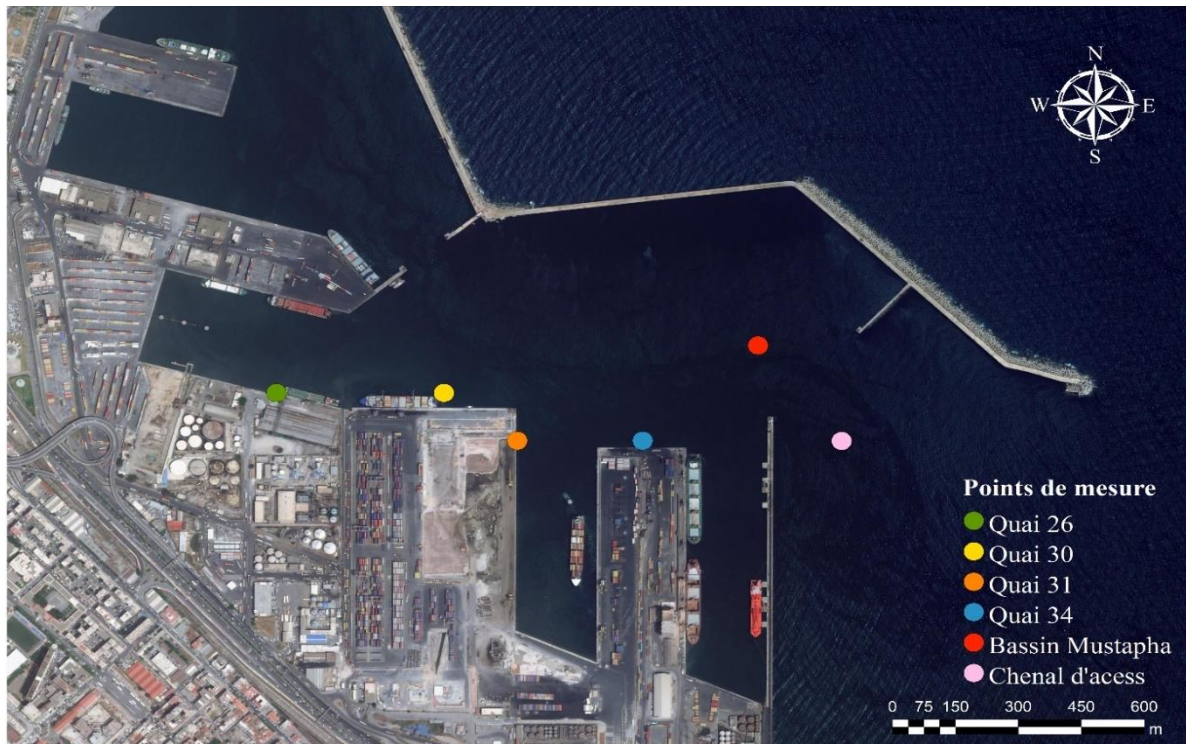


Figure N° 54: Points de mesure des hauteurs de la houle avant et après dragage (BaseMap 2021).

La comparaison des résultats d'agitation admissible (ANNEXE 01) pour des Navires de moins de 100 000 TPL entre SC0 et SC1 Direction Nord-Est et Nord-Nord-Est, a démontré l'efficacité du dragage de cette zone qui s'est répercuté d'une manière adéquate aux exigences d'amarrage et des opérations des navires au niveau des quais (26, 30, 31 et 34).

Le dragage est une opération très importante pour l'aménagement portuaire, ceci permet d'améliorer le rendement du port une agitation admissible dans la zone portuaire ce qui améliore le rendement du port, mais cela ne peut être qu'une solution temporelle de longue durée, des travaux de prolongement de la jetée au niveau du chenal d'accès ou/et de le réorienté d'une pour que l'ouvrage puissent avoir plus d'effet sur les houles d'incidence Nord-Nord-Est et Nord-Est, confortement de la carapace...

Conclusion générale

Conclusion générale

L'environnement du marché pour le commerce maritime a considérablement évolué au cours des 15 dernières années. La mondialisation, la délocalisation et la croissance sans précédent de la conteneurisation ont modifié le transport maritime et les chaînes logistiques. Le ralentissement économique mondial en 2008–2009 a également eu des répercussions sur les secteurs portuaire et maritime. La plupart des ports et des armateurs ont connu une diminution des volumes ou des flux de marchandises. (**Direction Générale des Politiques Internes de l'Union Européenne, 2009**). Il faudrait que chaque port maintienne la performance économique et l'attractivité des ports en favorisant la création ou la modernisation de certaines infrastructures, dont ils servent au développement des activités économiques, financières et même sociales et maintenir des capacités portuaires satisfaisantes.

Dans notre cas, l'objectif de ce travail est d'étudier les phénomènes d'hydrodynamiques qui perturbent le bon déroulement des opérations portuaires, il s'agit plus précisément de l'agitation portuaire qui présente des soucis d'amarrage des navires et leurs sécurités par rapport aux quais.

En Algérie, on prend l'exemple du dragage mécanique dont le cout de 1 m^3 est de 10.000,00DA (**MEDITRAM**) accompagner par un cout d'immobilisation du train de dragage qu'est de 360.000,00DA par jour. Si nous voulions draguer et rejeter en mer les sédiments à moins de 5 Km du port un volume de 4 350 660 m³ avec un montant total d'environ en H.T (hors Taxe) est d'environ 43 506 960 000,00 DA (environs 318M\$). Ce prix reste initial pour les travaux de dragage ou de déroctage, la fourchette du prix dépend de plusieurs facteurs relatifs à la nature du fond, la profondeur et la sensibilité des quais et autres conditions déterminés par l'opérateur de dragage, Cette dépense est nécessaire pour assurer le bon rendement du port, ce qui va faire une partie de l'objet de cette étude. Mais cela doit être renforcés par d'autre aménagement afin de garder ces performances. Autres techniques de drague peuvent être plus efficace pour notre zone.

Cette étude nous a permis de :

- Un traitement statistique des paramètres H_s , T_p , U_{10} sur une longue période. Plusieurs bases de données météorologiques et océaniques ont été utilisées. Cette zone Ouest de la baie d'Alger, subit les actions des vents de prédominance de directions Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest, Est et Ouest Avec des vitesses U_{10} qui varient entre 6 et 20 m/s. Des houles de directions Ouest et Nord-Est avec des hauteurs significatives qui varient entre 1 et 4,5 m qui affectent directement la stabilité du plan d'eau du port.
- Définition des conditions extrêmes de projet et ceux qui affecte le plus notre ouvrage, par l'étude des houles extrêmes et les périodes de retour, ainsi la prise en compte de tous les types de forçages vis-à-vis la configuration et l'orientation du port par le biais des tests de sensibilité. Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude subie l'effet des houles extrêmes de 5 m et de direction Nord-Nord-Est pour une période de retours de 100ans
- Une étude de propagation des houles avec un model numérique le Mike 21, a permis de définir les conditions hydrodynamiques à l'intérieur du port.
- Une étude d'agitation portuaire visant à calculer l'agitation résiduelle en tenant compte de toutes les conditions pénalisantes, avec un model numérique l'extension ARTEMIS de logiciel TELEMAC.

Conclusion générale

Afin de mieux valoriser ce travail vaut mieux avoir :

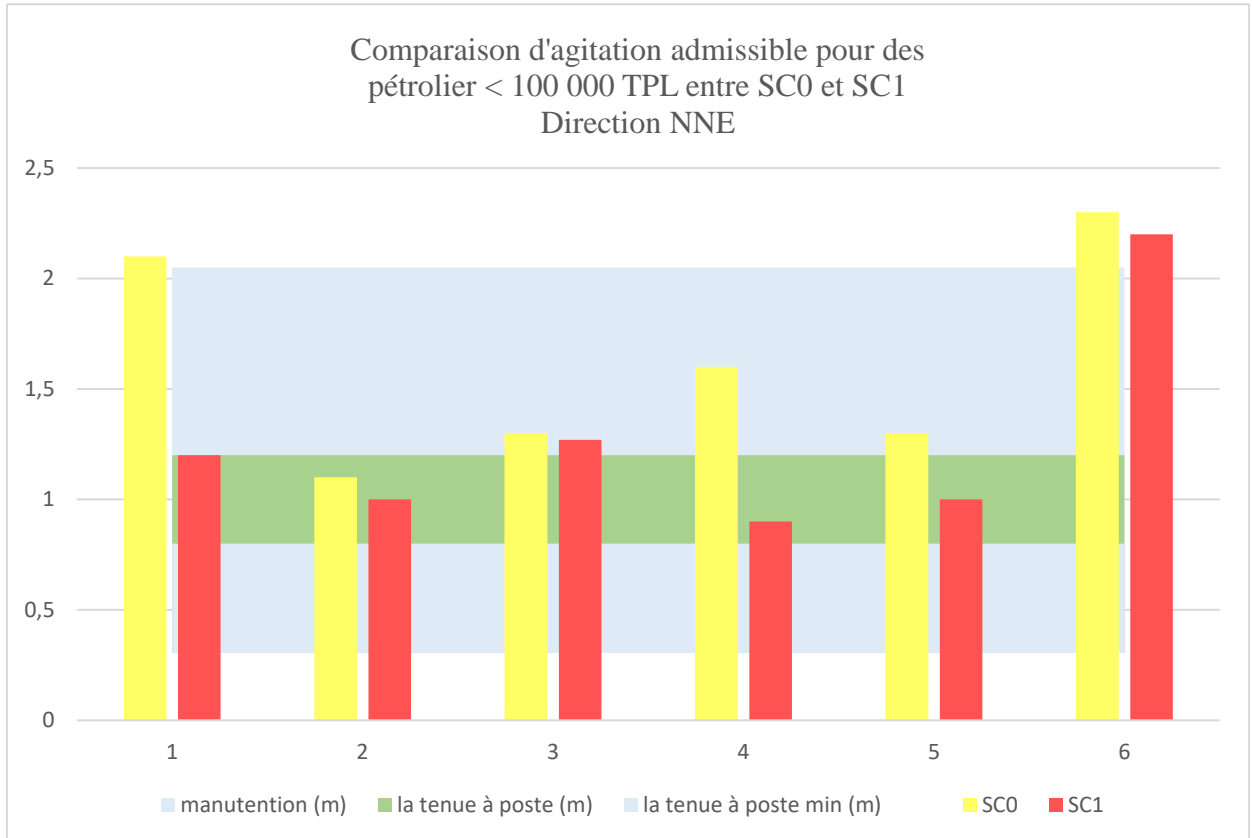
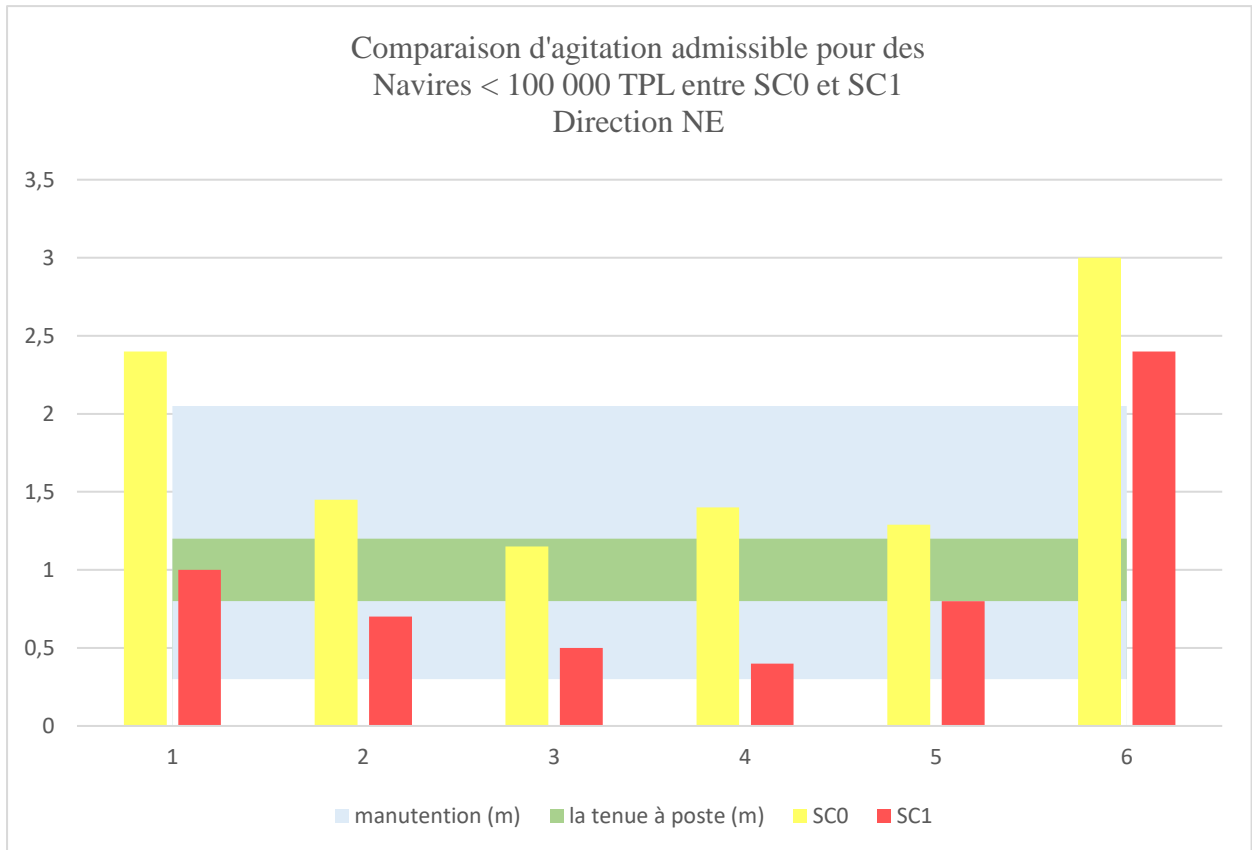
- Le traitement statistique n'a pas pris en compte l'analogie et la probabilité conjointe entre les différents forçages.
- Une expertise hydro-sédimentaire, et de conditions courantologies, en effet il est primordial d'étudier l'impact du dragage sur la circulation des courants d'eau, et notamment sur le fond. Les courants peuvent être modifiés et enclenche une déstabilisation au niveau des couches de sédiment.
- Une étude sur Les niveaux de turbidités qui peuvent être générés par les travaux.
- Une évaluation des risques générés sur l'environnement, dans le cas d'un rejet de matériaux de dragage au large et précisément sur les éventuels panaches turbides.
- Une série d'enregistrement de marégraphe du port d'Alger pour l'étude de l'agitation,
- Des données sur la nature du fond du port d'Alger.

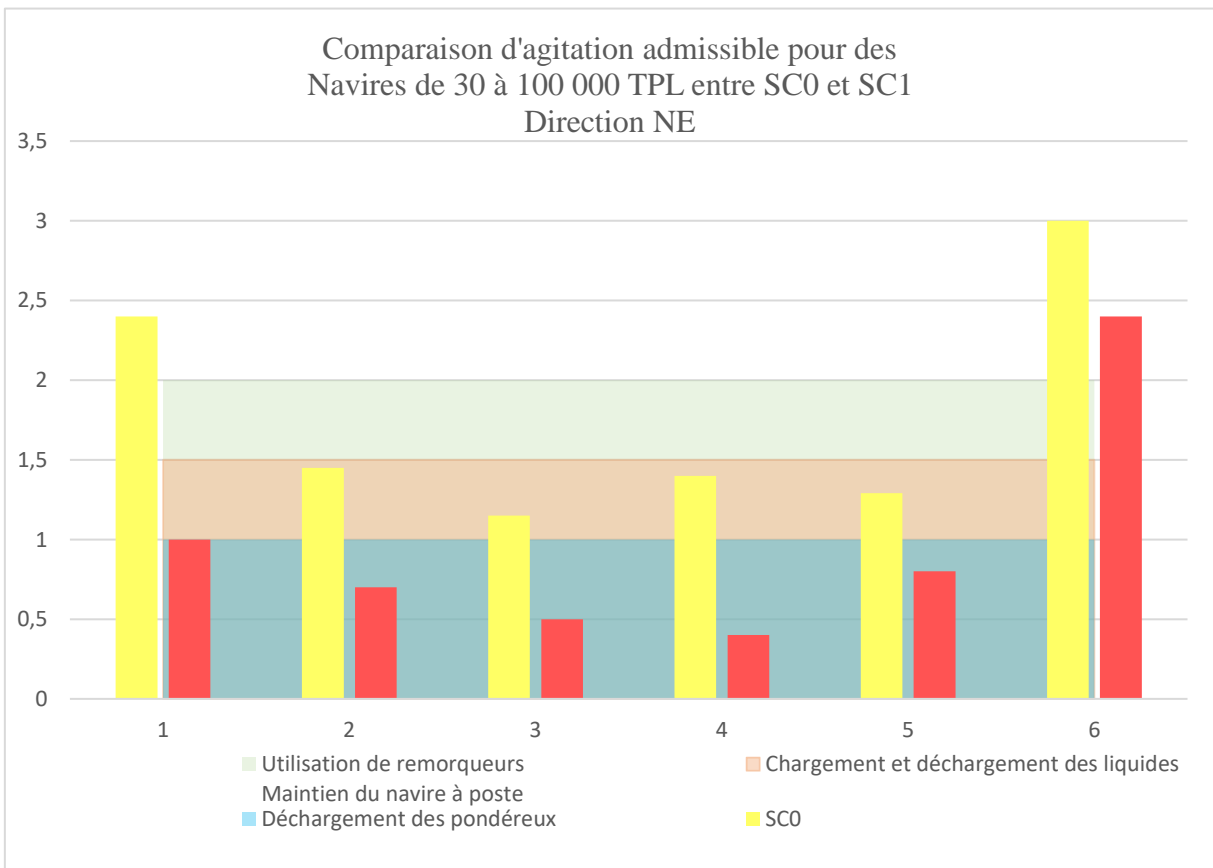
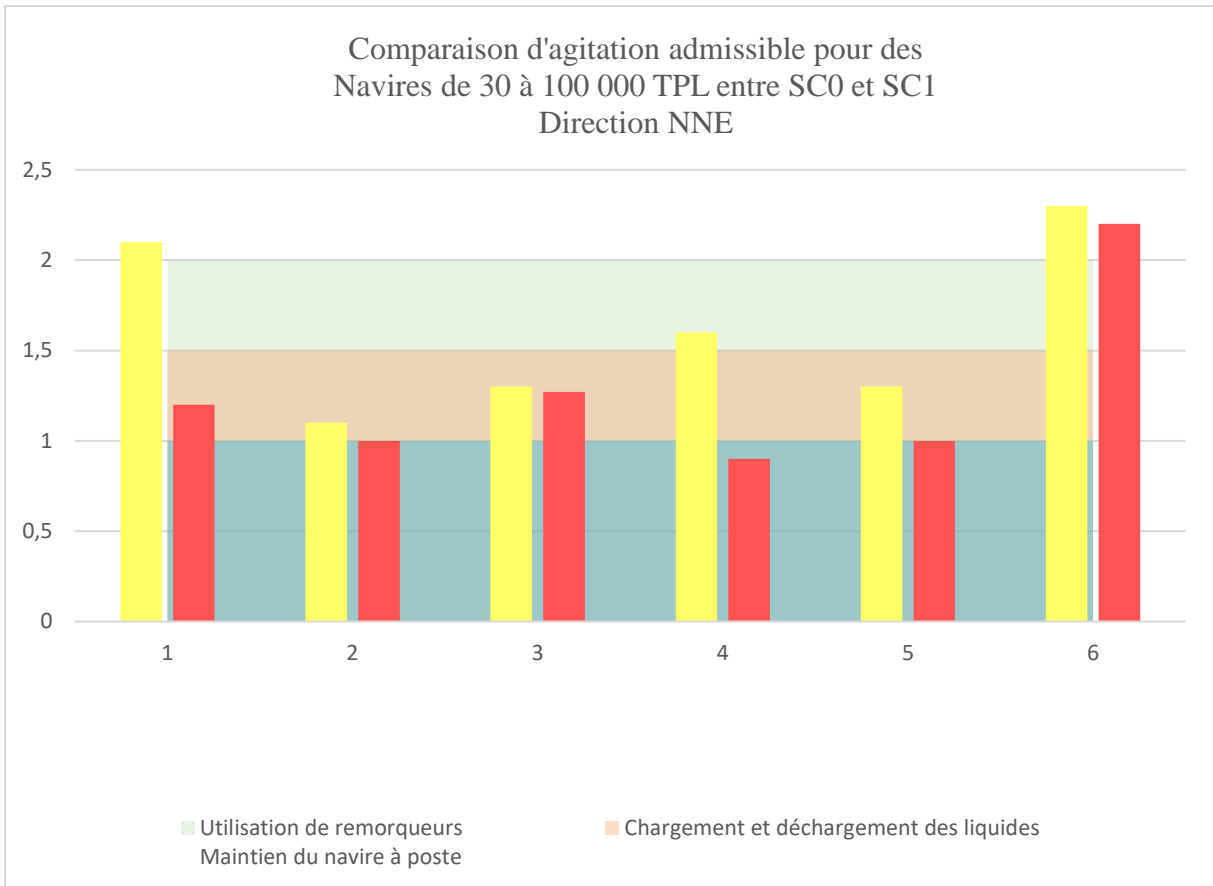
Références

- **Amarouche, K. (2015).** *Contribution à la recherche des zones à fort potentiel d'énergie houlomotrice à base d'un modèle hydrodynamique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral.* Alger : ENSSMAL,
- **BCOEM (2010).** *Extension du port de Saint-Leu – Etude d'agitation, France*
- **BCOEM (2005).** *Etude d'aménagement sur modèle numérique. France*
- **Becker, J, et al. (2015),** 'Estimating source terms for far field dredge plume modelling', *Journal of Environmental Management*, vol. 149, no. February, pp. 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.022>
- **BlueKenue References manual, (2011),**
- **BMT ARGOSS, (2017).** *Waveclimate.com: the on-line offshore climate assessment system,*
- **Bougis, J. (2003).** *Les Etats de Mer Naturels'. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France , 152p*
- **Briere, C. (2005).** *Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée ; l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Pau, France, 257p*
- **Cearreta et al., (2004).** *Human activities along the Basque coast during the last two centuries: geological perspective of recent anthropogenic impact on the coast and its environmental consequences. Oceanography and marine environment of the Basque Country. Elsevier oceanography series, 70 (pp.27-50)*
- **Chapon, J (1971).** « Travaux maritime Tome 1 ». Edition eyrolles, 2ème Edition mise à jour / paris Ve, France 285 p
- **DHI (2014).** *MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator,*
- **DHI (2014).** *MIKE 21 Spectral Wave Module,*
- **DHI (2014).** *MIKE 21/3 Couple Model FM,*
- **Dreal, L. (2013).** *Concepts, cadres et méthodologies pour évaluer la vulnérabilité elles stratégies d'adaptation. Manuel Winograd. Vol.7, n°5,*
- **El Fadili, M., & Messenger, M. (2015).** *Enquête dragage 2011. Synthèse des données. Cerema – Cetmef, France 39 p.*
- **Foucher, J., 2005.** *Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France métropolitaine. Mémoire de fin d'études ENTPE, Lyon. Juin 2005, 64p.*
- **Gulbin, V.V., Arzamastsev, I.S. & Shulkin, V.M. (2003)** *Ecological Monitoring of the Water Area of Port Vostochnyi (Wrangel Bay) in the Sea of Japan (1995–2002). Russian Journal of Marine Biology 29, 284–295.*
- **Hoozemans, E M. J., et al., , (1993)** *Sea Level Rise:A Global tidnerability Assessment — Vulnerabilis y Assessments for Population, Coastal life lands and Rice Production on a Global Scale, second revised edition, Delft Hydraulics and Rijkswaterstaat, Delft and The Hague, The Netherlands, xxxii+184pp*
- **Ifremer, (2013).** *Contribution de la méthodologie et de la technologie géodécisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France. Journal de l'Ifremer. Vol.10, n°5,*
- **Jarry, Nicolas (2009).** « Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier », *PhDthesis, Université du Sud Toulon Var. France 339p*
- **Laaribi, Narimene. (2017).** « Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK) », *ENSSMAL, Algerie*
- **Logiciel Artemis (2009) - Agitation d'un plan d'eau par la houle,**
- **Lzieu C. (1999),** *Dragages et environnement marin état, de connaissances. Édition Ifremer, France*
- **M. Stopford, Maritime Economics, New York: Routledge, 2009,**
- **Mihoubi, Mustapha et al.. (2011)** « Modélisation numérique de la houle côtière et du transport sédimentaire pour l'étude d'un port de pêche : cas du port de Khemisti » *Article n° 48 Conf. CM², Tanger Maroc*
- **Nadir M. (2016).** *Modélisation numérique de la morpo dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL,*
- **Ndiaye, Ndèye Fatma. (2016).** « Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire », *Université du Havre, France*

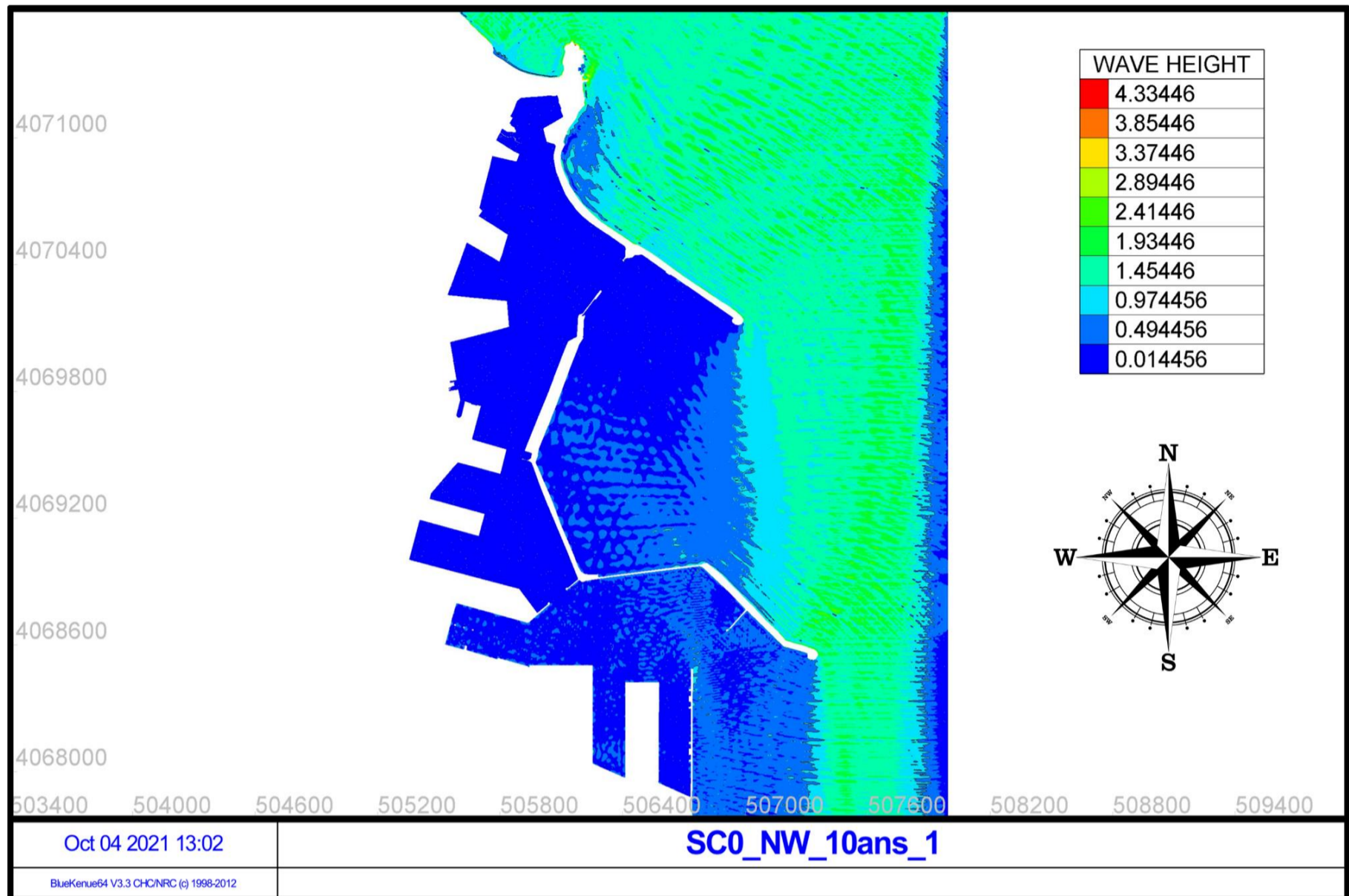
- **Newell, R.C., Seiderer, L. and Hitchcock, D.R. (1998)** *The Impact of Dredging Works in Coastal Waters: A Review of the Sensitivity to Disturbances and Subsequent Recovery of Biological Resources in the Seabed. Oceanography Marine Biology Annual Review*, 36, 809-818.
- **Onuf, C.P. (1994).** *Seagrasses, dredging and light in Laguna Madre, Texas, U.S.A. Estuarine Coastal and Shelf Science*, 39, 75-91.
- **PAC. (2005) :** *Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. Rapport final integer. MATE,*
- **Rehitha, T. V., et al. (2017)** *Impact of Maintenance Dredging on Macrobenthic Community Structure of a Tropical Estuary. Ocean & Coastal Management,*
- **Saha, S., et al. (2014).** *The NCEP climate forecast system version 2. Journal of Climate*, 27(6),
- **Histoire du port d'Alger jusqu'en 1951,** *Documents algériens- série économique, n° 82, 1er juillet 1951, Cabinet du gouverneur général, Service d'information, Alger.*
- **Sett M., et al., (2011)** « *Les ports algériens dans la mondialisation: la fin du paradoxe ?* », *Méditerranée*, 116 |, 85-93.
- **Turekian, K. K., Steele, J. H., & Thorpe, S. A. (2010).** *A derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences: Marine Chemistry & Geochemistry. Academic Press, London,*
- **Wright et Short. (1984).** *Andrew D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine geology*, 1984, vol. 56, no 1-4,

Annexes



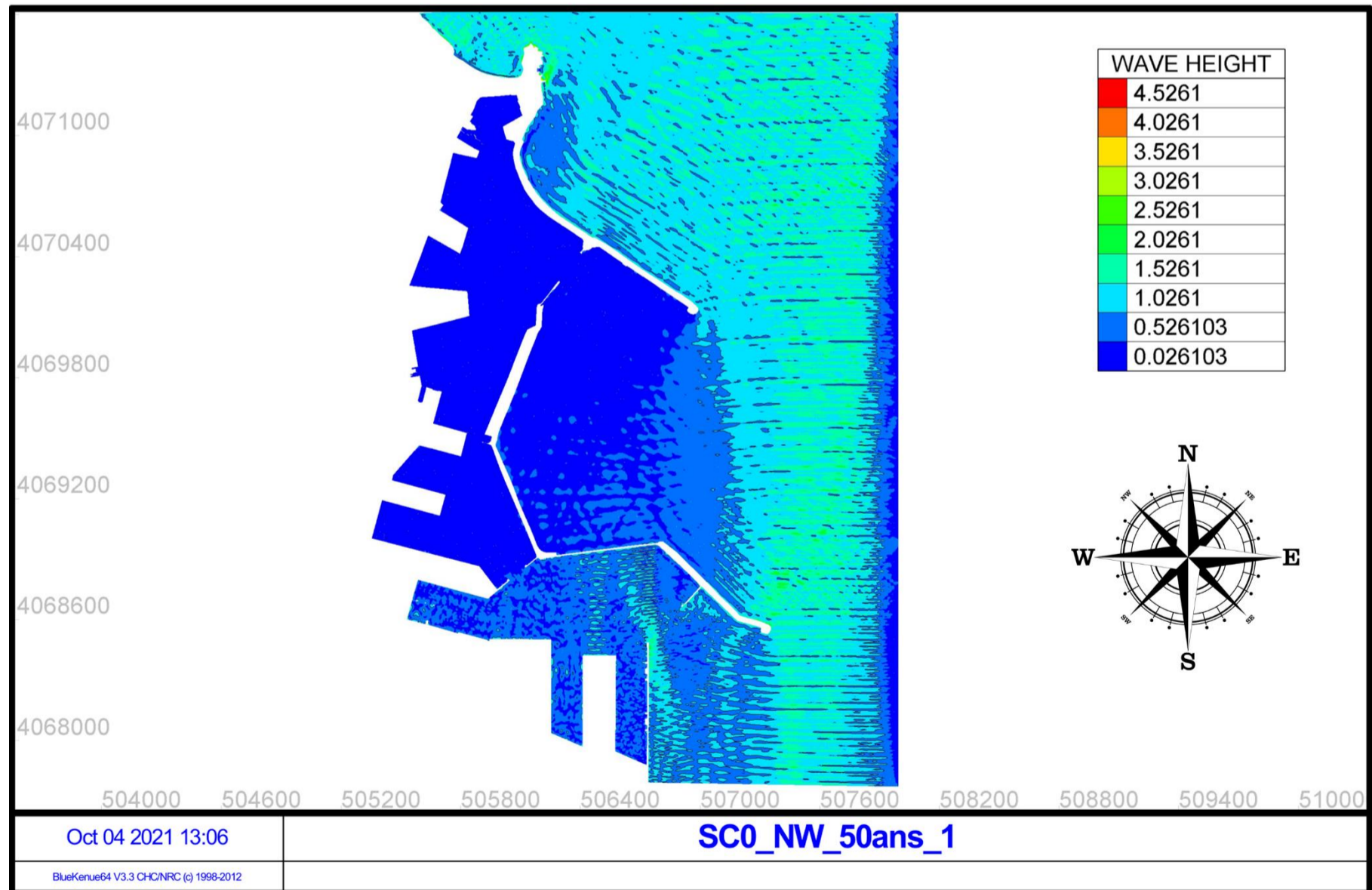


Scénario aménagé NW 10ans :



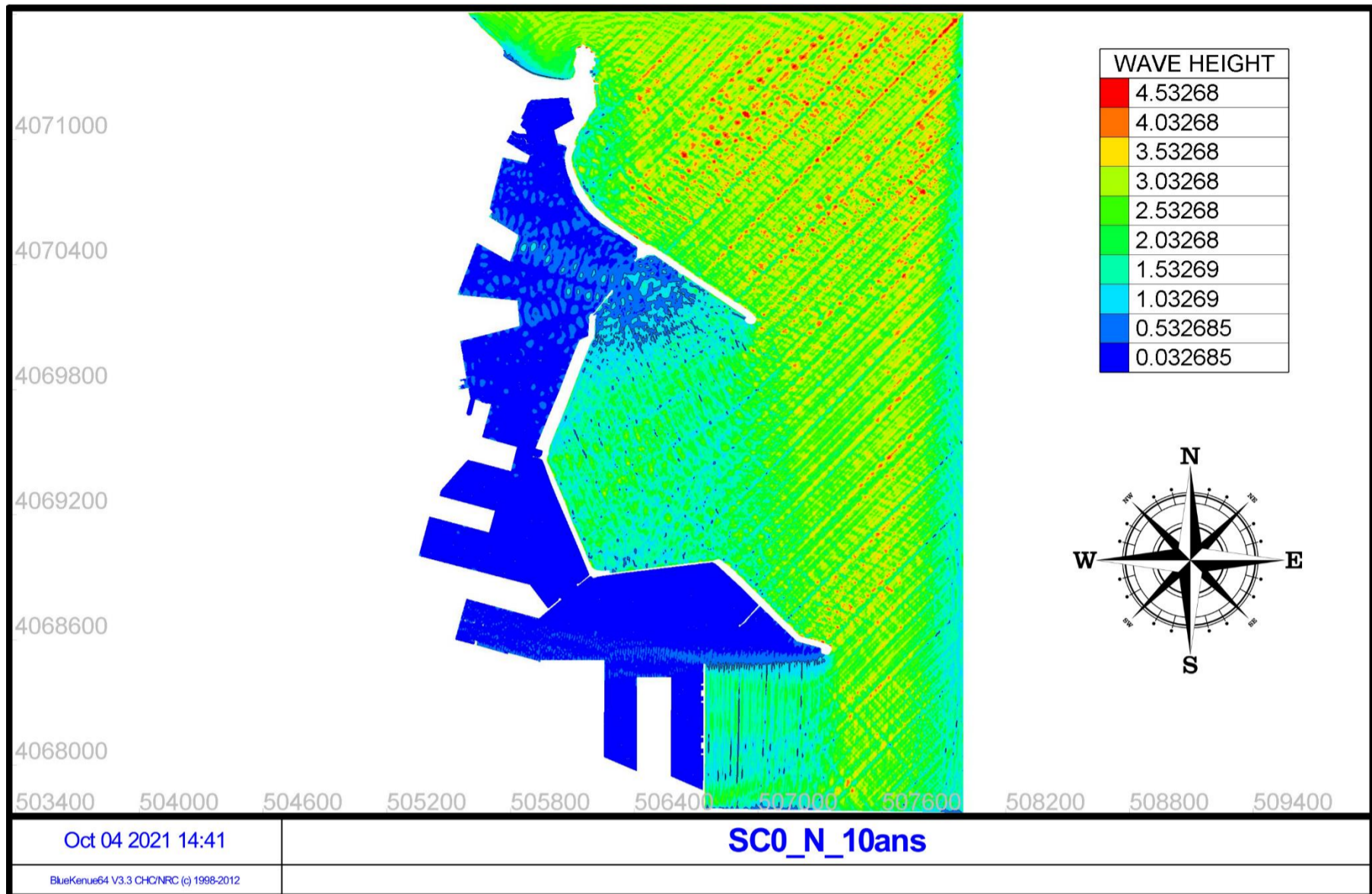
Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans -Scénario aménagé- Nord-Ouest.

Scénario aménagé NW 50ans :



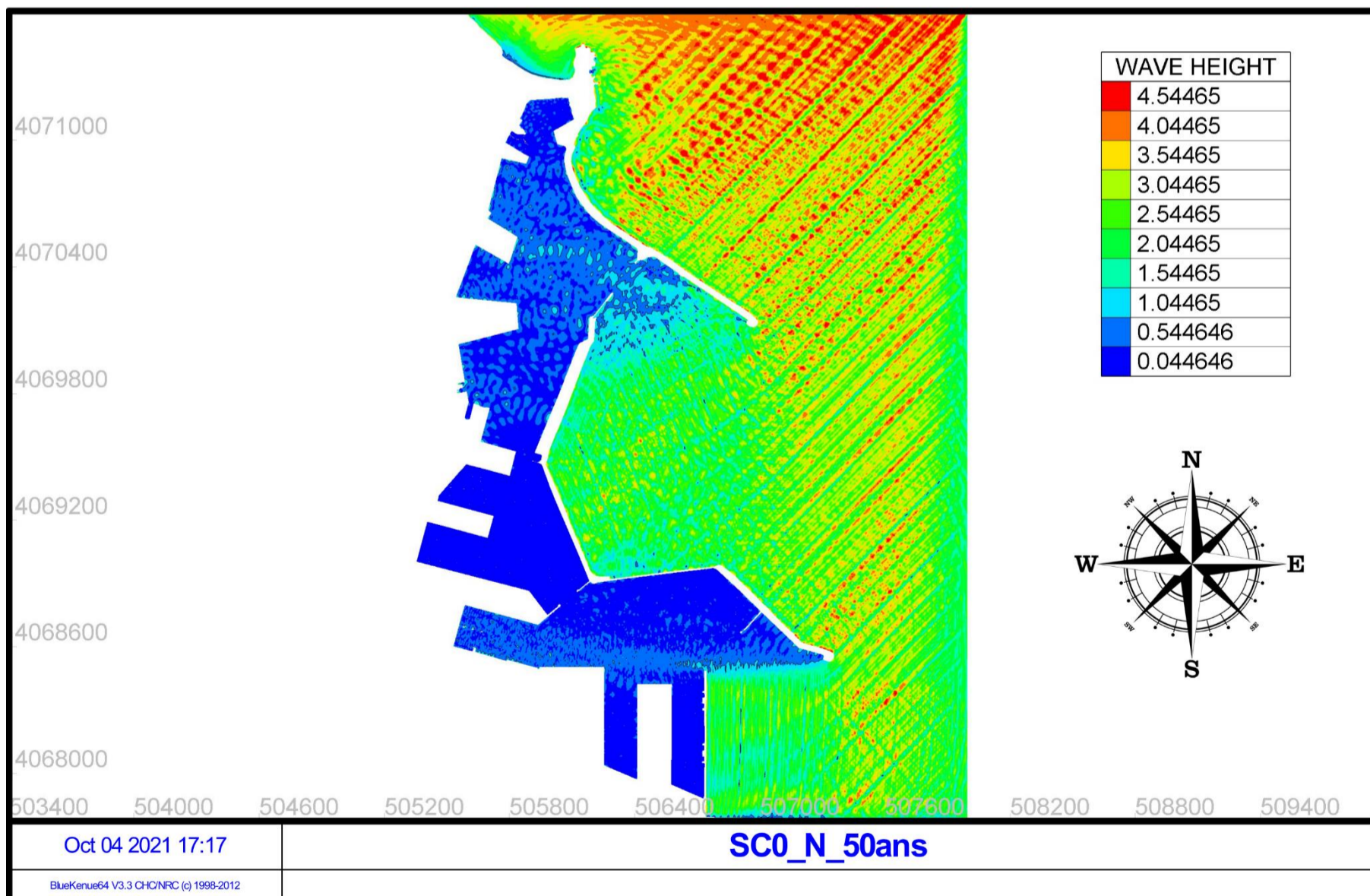
Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- Nord-Ouest.

Scénario aménagé N 10ans :



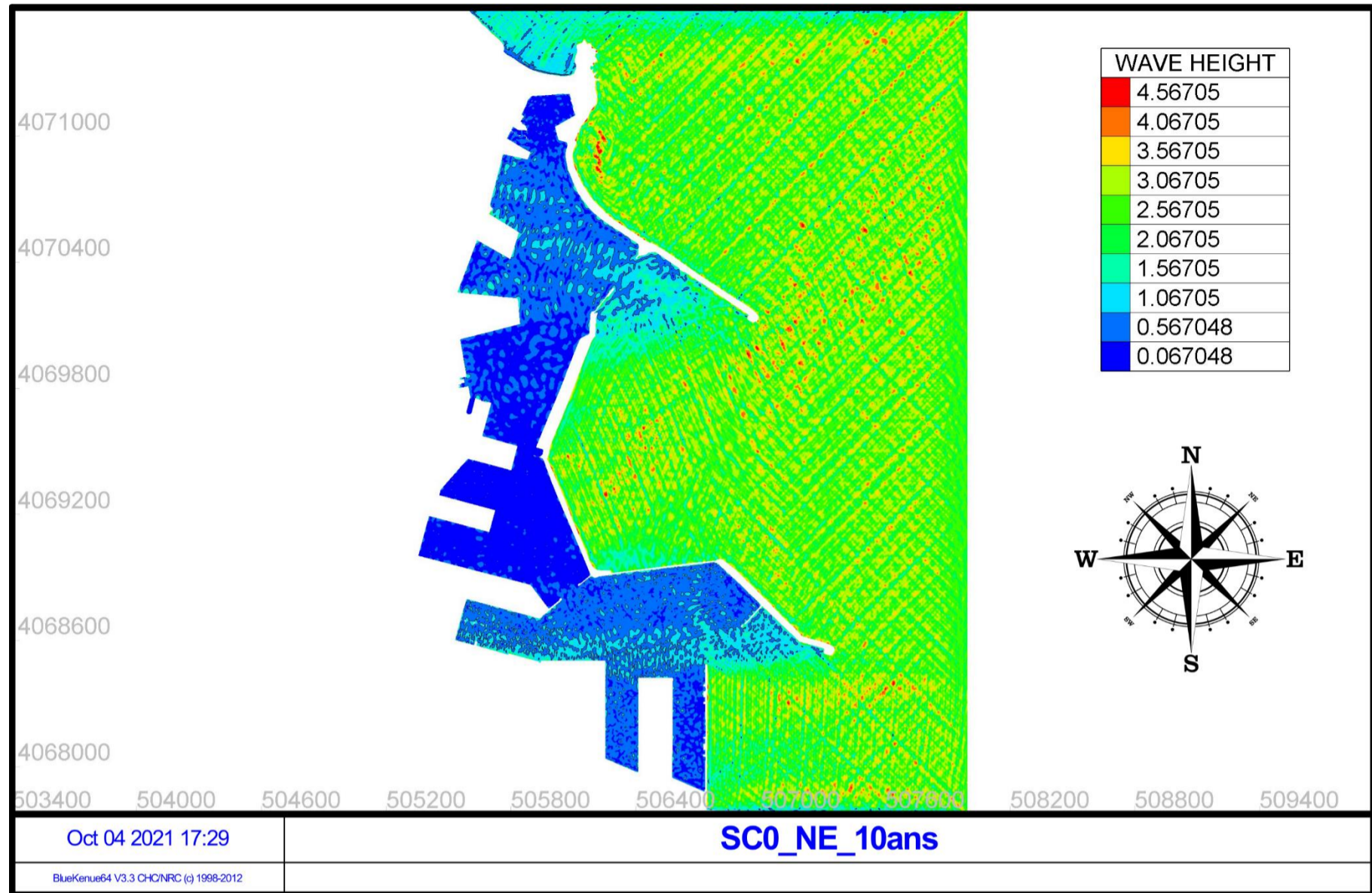
Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans -Scénario aménagé- Nord.

Scénario aménagé N 50ans :



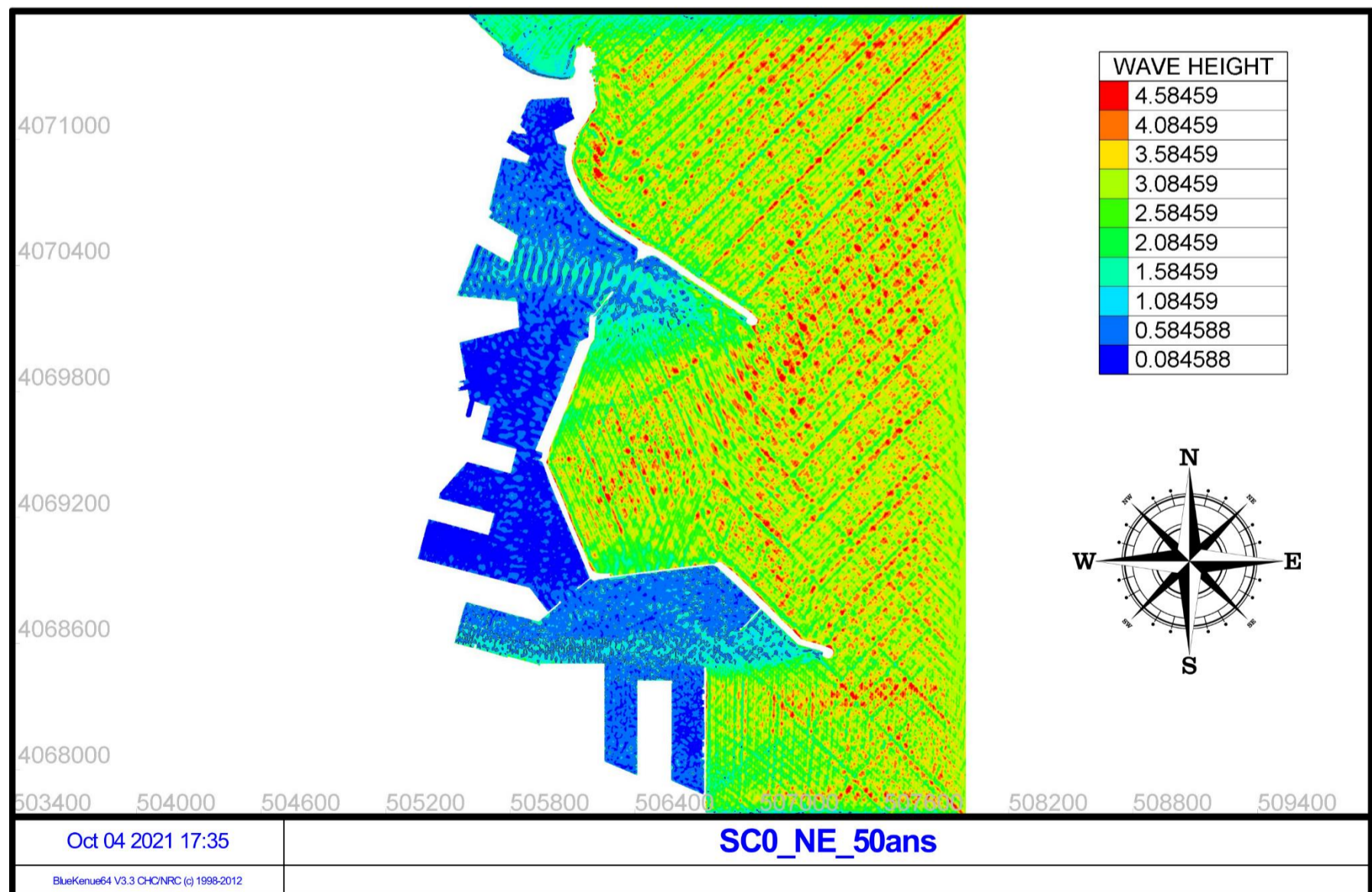
Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- Nord.

Scénario aménagé NE 10ans :



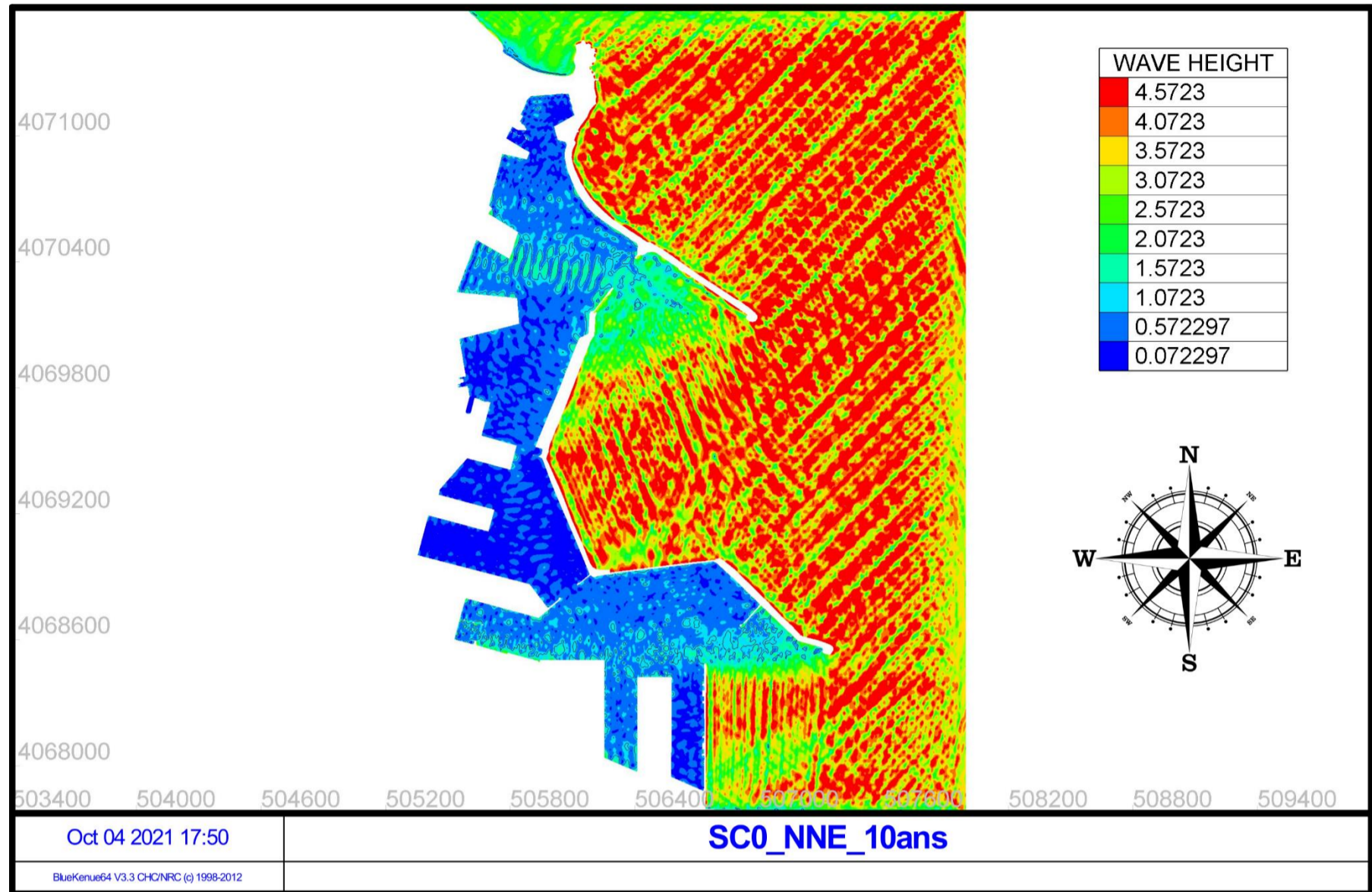
Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans -Scénario aménagé- Nord -Est.

Scénario aménagé NE 50ans :



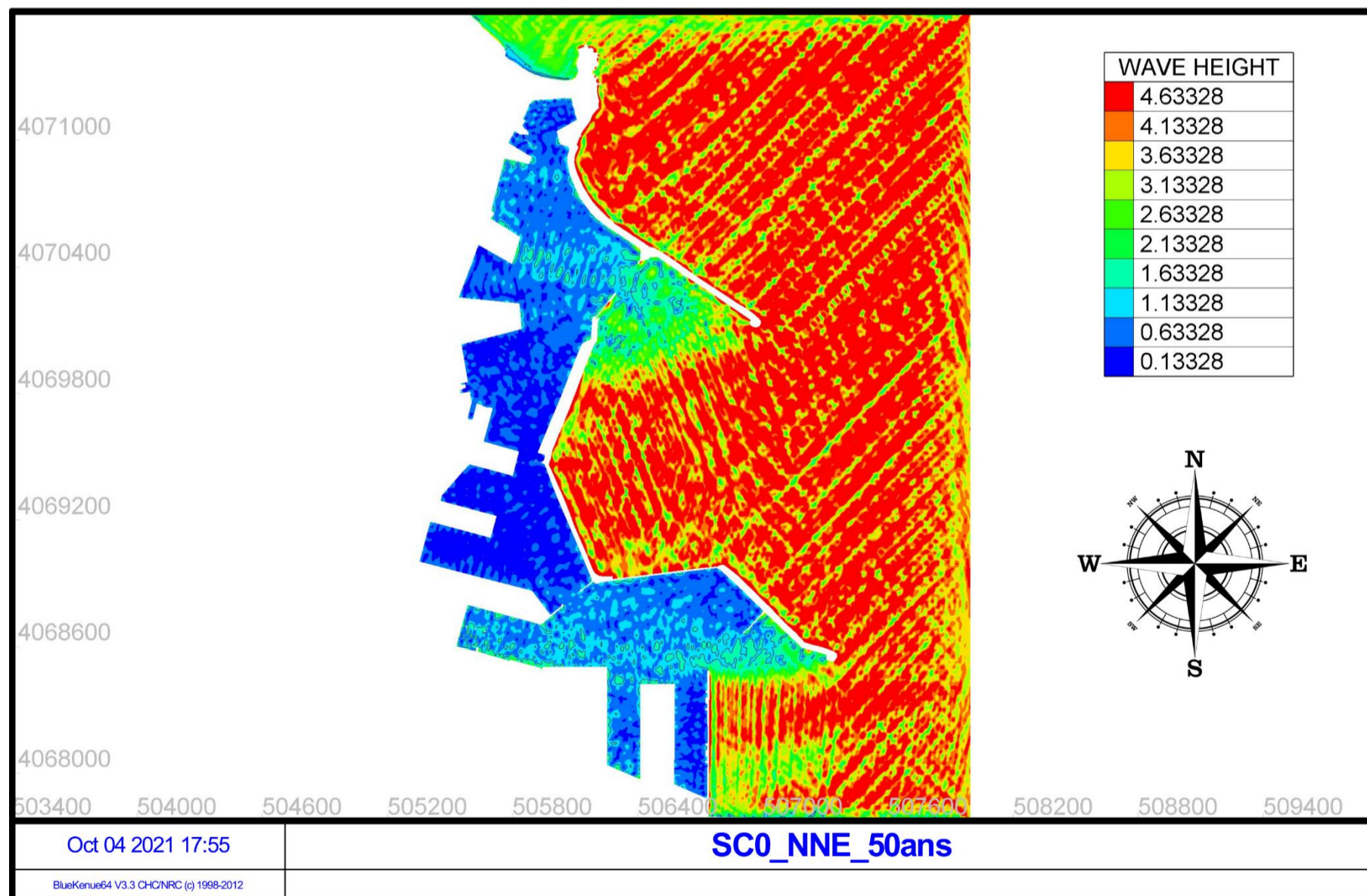
Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- Nord -Est.

Scénario aménagé NNE 10ans :



Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans -Scénario aménagé- Nord-Nord-Est.

Scénario aménagé NNE 50ans :



Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- Nord-Nord-Est.

Résumé

Ce mémoire présente une synthèse des reconnaissances hydrodynamique réalisées dans le cadre d'une étude basée sur la problématique posée par DP Word El-Djazair qui concerne une perte de performances due aux phénomènes météorologiques et d'agitation portuaire. L'objectif de ce projet de fin d'études est de déterminer le degré d'agitation existant dans le port d'Alger et de déterminer une solution adéquate qui assure une agitation admissible pour le bon déroulement des opérations et qui répond aux critères d'exploitation sécurisée des quais. L'analyse des données existantes a permis de proposer la solution du dragage de l'avant-port et du Bassin Mustapha, cette dernière s'est avérée nécessaire pour l'aménagement du port et aussi réduire l'agitation au niveau des différents postes. Ceci va être un pas stratégique qui vas améliorer les performances le rendement économique et du port d'Alger pour les différents termes d'activité au bord des quais.

Mots clé: Port, Agitation portuaire, Dragage, Genie cotier, Hydrodynamique, Mike 21, ARTEMIS

Abstract

This thesis presents a synthesis of the hydrodynamic knowledges produced as part of a study based on the problematic set by "DP Word El-Djazair" which concerns a loss of performance owing to meteorological phenomena and port agitation.

The research aims to determine the degree of agitation in the port of Algiers, and to define a suitable solution that ensures an acceptable agitation in order to achieve a better conduct of operations which conforms with the criteria of secure operation of the dockside.

It is possible to propose a dredging solution for the access channel of the port and Mustafa Basin based on the existing analysed data, due to the fact that the latter validates its fundamental role for the development of the port, as well as reduces strains at the different terminals. This will be a strategic step that will improve the economic growth and the performance of the Port of Algiers for the numerous conditions of activity on the quay.

Keywords : Port, Port agitation, Dredging, Marine engineering , Hydrodynamics, Mike 21, ARTEMIS