

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur et de Master en Sciences de la Mer  
Option : Gestion et Protection du Littoral  
Thème :

**Etudes de faisabilité de l'augmentation du tirant d'eau du Port d'Alger :  
Etudes hydrodynamiques et agitation portuaire**

Présenté par :

**ABID Abderraouf**

**GOURARI BouthainaSoulaf**

Soutenus le 27/12/2020 devant le jury suivant :

|                        |  |                     |
|------------------------|--|---------------------|
| <b>Mr. OTMANI.H</b>    | <b>Maitre- conférencesB (ENSSMAL)</b>    | <b>Président</b>    |
| <b>Mr. MEZOUAR.KH</b>  | <b>Maître de conférences A (ENSSMAL)</b> | <b>Promoteur</b>    |
| <b>Mr. AZZI.I</b>      | <b>Ingénieur</b>                         | <b>Co-promoteur</b> |
| <b>Mr. Dahmani.A</b>   | <b>Maitre-assistant A (ENSSMAL)</b>      | <b>Examineur</b>    |
| <b>Mme. Abddaime.H</b> | <b>Maître de conférences B (ENSSMAL)</b> | <b>Examinatrice</b> |

**Promotion : 2019/2020**

# REMERCIEMENTS

*Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions particulièrement notre promoteur Mr. MEZOUAR.K maître de conférences chargé de cours de l'ENSSMAL qui nous a encadrés pendant la période de la réalisation de ce travail. Sa disponibilité, malgré ses responsabilités administratives, ses orientations nous ont permis de mener à merveille ce travail. Veuillez trouver ici Monsieur l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.*

*Nous remercions énormément notre co-promoteur Mr. AZZI.I ingénieur en bureau d'étude pour sa patience, très grande disponibilité, son soutien constant et ses encouragements le long de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier Mr. OTMANI.H, maître-assistant chargé de cours de l'ENSSMAL d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Nos remerciements s'adressent à Mr. DAHMANI.A maître-assistant chargé de cours de l'ENSSMAL pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*C'est avec un grand plaisir que nous remercions Madame ABD  
DAIEME.H, pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements, s'adressent aussi à Mme. SALEM CHRIF.Y.*

*Enfin, je tiens vivement à remercier toutes les personnes qui ont  
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent  
mémoire.*

# *Dédicaces 01*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Avant tous, à*

*Mon père ABID Amor ALLAH YERRAHMOU*

*Ma mère Aïcha, Pour leur générosité et leurs*

*Sacrifices*

*Mes frères*

*Abdellah, Abderrahmen, Mohamed Islem( Chouayb)*

*Ma sœur*

*Khadidja*

*Toute ma famille*

*Et à tous mes amis sans exception*

# *Dédicaces 02*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Avant tous, à*

*Mes parents BRAHIM, DAGHEB AMINA Pour leur  
générosité et leurs Sacrifices*

*Ma sœur WISSAL*

*Toute La famille GOURARI et DAGHEB*

*Et à tous mes amis sans exception*

## Table de matières

|   |           |
|---|-----------|
| REMERCIEMENTS .....   | II        |
| Dédicaces 01 .....  | IV        |
| Dédicaces 02.....   | V         |
| Liste des Figure .....  | VII       |
| Liste des tableaux .....  | IX        |
| Listes des acronymes et abréviations.....                             | X         |
| <b>Introduction générale.....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre I : Généralités .....</b>                                 | <b>3</b>  |
| 1 Généralités sur la zone d'étude .....                               | 4         |
| 1.1 Situation géographique .....                                      | 4         |
| 1.1.1 La Baie d'Alger .....   | 4         |
| 1.1.2 Le port d'Alger.....  | 4         |
| 1.2 Historique .....  | 5         |
| 1.3 Caractéristiques du port .....                                    | 6         |
| 1.3.1 Les différentes fonctions du port.....                          | 6         |
| 1.3.2 Le plan d'eau .....   | 6         |
| 1.3.3 La capacité d'entreposage .....                                 | 6         |
| 1.3.4 Terminal à conteneurs .....                                     | 7         |
| 1.3.5 Installations spécialisées .....                                | 7         |
| 1.3.6 Les infrastructures .....                                       | 7         |
| 1.3.6.1 Accès .....   | 7         |
| 1.3.6.2 Bassins .....   | 7         |
| 1.3.6.3 Jetées et brise-lames .....                                   | 7         |
| 1.4 Morphologie et nature du fond .....                               | 8         |
| 1.4.1 Morphologie .....   | 8         |
| 1.4.2 Nature du fond.....   | 8         |
| 2 Généralités sur l'hydrodynamique et l'agitation portuaire .....     | 9         |
| 2.1 Les phénomènes en mer .....                                       | 9         |
| 2.2 Les différents types de modélisation en hydraulique maritime..... | 11        |
| 2.3 Etude de propagation de houle du large vers la cote .....         | 12        |
| 2.4 Etude d'agitation portuaire .....                                 | 13        |
| <b>Chapitre II : Recueil et traitement des données .....</b>          | <b>14</b> |

|       |   |           |
|-------|---|-----------|
| 1     | Context.....  | 15        |
| 1.1   | Contexte et objectifs.....  | 15        |
| 1.2   | Méthodologie générale de l'étude proposée.....                        | 15        |
| 2     | Données océano-météorologiques.....                                   | 16        |
| 2.1   | Niveau d'eau.....   | 16        |
| 2.1.1 | Marée.....  | 16        |
| 2.1.2 | Surcote.....  | 16        |
| 2.2   | Données de houle.....   | 16        |
| 2.3   | Données de vent.....  | 22        |
| 3     | Conditions extrêmes au large de la baie d'Alger.....                  | 26        |
| 3.1   | Estimation statistique des événements extrêmes de houle.....          | 26        |
| 3.2   | Test de sensibilité.....  | 34        |
| 3.3   | Élévation du niveau de la mer liée au changement climatique.....      | 34        |
|       | <b>CHAPITRE III : Modélisation de la propagation de la houle.....</b> | <b>36</b> |
| 1     | Présentation de la modélisation.....                                  | 37        |
| 1.1   | Principe de la modélisation.....                                      | 37        |
| 1.2   | Présentation du modèle.....   | 37        |
| 1.2.1 | MIKE SW.....  | 37        |
| 1.2.2 | Configuration du modèle et equations.....                             | 38        |
| 2     | Mise en place du modèle.....  | 40        |
| 2.1   | Maillage et bathymétrie.....  | 40        |
| 2.1.1 | Création 2D Bathymétries sous le maillage.....                        | 41        |
| 2.2   | Interprétation des résultats bathymétriques.....                      | 44        |
| 3     | Les conditions de projet à simuler.....                               | 46        |
| 4     | Résultats.....  | 46        |
| 4.1   | Pour les houles de direction Nord-Est.....                            | 47        |
| 4.2   | Houle Nord-Nord-Est (30°).....  | 50        |
| 4.3   | Houle de secteur Nord -Ouest.....                                     | 50        |
|       | <b>Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire.....</b>       | <b>52</b> |
| 1     | Objectifs et méthodologie.....  | 53        |
| 2     | Logiciel utilisé.....   | 53        |
| 3     | Mise en place du modèle d'agitation portuaire.....                    | 54        |
| 3.1   | Emprise du modèle et présentation du maillage.....                    | 54        |
| 3.2   | Conditions aux limites.....   | 57        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.2.1 | Frontières liquides.....               | 57 |
| 3.2.2 | Frontières solides.....                | 57 |
| 4     | Résultats.....                         | 58 |
| 4.1   | Secteur Nord-Est.....                  | 60 |
| 4.1.1 | Scénario initial.....                  | 60 |
| 4.1.2 | Scénario aménagé.....                  | 60 |
| 4.2   | Secteur Nord-Nord-Est.....             | 69 |
| 4.3   | Secteur Ouest.....                     | 72 |
|       | <b>Conclusion Générale</b> .....       | 76 |
|       | <b>Référence bibliographique</b> ..... | 78 |
|       | <b>Annexes</b> .....                   | 80 |

## Liste des Figure

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1:</b> Situation géographique de la baie d'Alger. (Basemap ArcGis 2020).....   | 4  |
| <b>Figure 2 :</b> situation géographique et les équipements du port d'Alger (Basemap ArcGis 2020) .5   |    |
| <b>Figure 3:</b> Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (MAOUCHE, 1987) .....   | 9  |
| <b>Figure 4 :</b> Organigramme présente les différents phénomènes physiques en mer (CEREMA, 2018).....                                       | 10 |
| <b>Figure 5:</b> Les sept types d'études abordés en fonction de leur localisation géographique (CEREMA, 2018) .....                          | 11 |
| <b>Figure 6 :</b> Organigramme du déroulement d'une étude de propagation des vagues du large à la cote (CEREMA, 2018).....                   | 12 |
| <b>Figure 7 :</b> Organigramme du déroulement d'une étude d'agitation portuaire. (CEREMA,2018) .....   | 13 |
| <b>Figure 8:</b> Carte de la localisation géographique du point de l'extraction (basemap Arcgis, 2020) .....                                 | 17 |
| <b>Figure 9 :</b> Rose des houles pour la saison Hivernale .....   | 18 |
| <b>Figure 10:</b> Rose des houles pour la saison Automnale .....   | 18 |
| <b>Figure 11:</b> Rose des houles pour la saison Estivale .....  | 18 |
| <b>Figure 12:</b> Rose des houles pour la saison printanière.....  | 18 |
| <b>Figure 13 :</b> Rose des houles annuelle.....   | 18 |
| <b>Figure 14 :</b> les roses des houles mensuelles.....  | 19 |
| <b>Figure 15 :</b> Corrélogramme Dp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E .....   | 20 |
| <b>Figure 16 :</b> Corrélogramme Tp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E.....  | 21 |
| <b>Figure 17 :</b> Rose des vents pour la saison Hivernale .....   | 23 |
| <b>Figure 18 :</b> Rose des vents annuelle.....  | 23 |
| <b>Figure 19 :</b> Rose des vents pour la saison Automnale .....   | 23 |
| <b>Figure 20 :</b> Rose de vent pour la saison Estivale .....  | 23 |
| <b>Figure 21 :</b> Rose de vent pour la saison Printanière.....  | 23 |
| <b>Figure 22 :</b> Roses des vents mensuels .....  | 24 |
| <b>Figure 23 :</b> Corrélogramme Vitesse de vent/Direction de Vent pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E.....                                    | 25 |
| <b>Figure 24:</b> Série temporelle des paramètres de houle – Iowaga 1990-2018 .....  | 28 |
| ..... <b>Figure 25 :</b> Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes – Secteur Omnidirectionnel .....                                   | 29 |
| <b>Figure 26 :</b> Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes – Secteur 15-60°N .....  | 30 |
| <b>Figure 27 :</b> Les valeurs retenue pour le calcul des extrêmes – Secteur 270-315°N.....  | 31 |
| <b>Figure 28 :</b> Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Secteur omnidirectionnel.....                      | 31 |
| <b>Figure 29 :</b> Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Ajustement réalisé pour le secteur 15-60°N .....   | 32 |
| <b>Figure 30 :</b> Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Ajustement réalisé pour le secteur 270-315°N ..... | 33 |
| <b>Figure 31 :</b> Hauteur des houles au point d'extraction 1 – Passe d'entrée Sud .....   | 34 |
| <b>Figure 32 :</b> Hauteur des houles au point d'extraction 1 – Passe d'entrée Sud .....   | 33 |
| <b>Figure 33 :</b> Répartition spectrale en densité d'énergie à proximité du port, pour 2 évènements de houles différentes .....             | 34 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 34</b> : Projection de l'élévation du niveau marin pour les différents scénarios (IPCC 2013)  | 35 |
| .....   |    |
| <b>Figure 35</b> : Maillage du modèle sur l'ensemble de la zone.....  | 42 |
| <b>Figure 36</b> : : Maillage du modèle zoom sur la baie.....   | 42 |
| <b>Figure 37</b> : : Maillage du modèle zoom sur le port.....   | 42 |
| <b>Figure 38</b> : Bathymétrie du modèle sur l'ensemble de la zone.....   | 43 |
| <b>Figure 39</b> : Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger.....  | 43 |
| <b>Figure 40</b> : Bathymétrie du modèle zoom sur le port.....  | 44 |
| <b>Figure 41</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>50°N de période de retour 1 an.....     | 48 |
| <b>Figure 42</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>50°N de période de retour 5 ans.....    | 48 |
| <b>Figure 43</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>50°N de période de retour 20 ans.....   | 49 |
| <b>Figure 44</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>50°N de période de retour 100 ans.....  | 49 |
| <b>Figure 45</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>30°N de période de retour 100 ans.....  | 50 |
| <b>Figure 46</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>300°N de période de retour 50 ans.....  | 51 |
| <b>Figure 47</b> : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur<br>300°N de période de retour 100 ans..... | 52 |
| <b>Figure 48</b> : Maillage du modèle.....  | 54 |
| <b>Figure 49</b> : Bathymétrie du model (Bleukenue).....  | 55 |
| <b>Figure 50</b> : Bathymétrie du chenal après dragage.....   | 56 |
| <b>Figure 51</b> : Bathymétrie du chenal avant dragage.....   | 56 |
| <b>Figure 52</b> : carte des coefficients de réflexion.....   | 58 |
| <b>Figure 53</b> : Position des points d'extraction des hauteurs de vague.....  | 59 |
| <b>Figure 54</b> : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est<br>– Période de retour 1 ans.....      | 61 |
| <b>Figure 55</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 1 ans – scénario initial – Secteur<br>Nord-Est.....                      | 61 |
| <b>Figure 56</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 1 ans – scénario aménagé – Secteur<br>Nord-Est.....                      | 62 |
| <b>Figure 57</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 1 ans – Secteur Nord-Est<br>.....                             | 63 |
| <b>Figure 58</b> : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est<br>– Période de retour 5 ans.....      | 63 |
| <b>Figure 59</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 5 ans – scénario initial – Secteur<br>Nord-Est.....                      | 64 |
| <b>Figure 60</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 5 ans – scénario aménagé – Secteur<br>Nord-Est.....                      | 64 |
| <b>Figure 61</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 5 ans – Secteur Nord-Est<br>.....                             | 65 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 62</b> : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 20 ans .....       | 65 |
| <b>Figure 63</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est .....                       | 66 |
| <b>Figure 64</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est .....                       | 67 |
| <b>Figure 65</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 20 ans – Secteur Nord-Est.....                                | 67 |
| <b>Figure 66</b> : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 100 ans .....      | 67 |
| <b>Figure 67</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est .....                      | 68 |
| <b>Figure 68</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est .....                      | 69 |
| <b>Figure 69</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 100 ans – Secteur Nord-Est.....                               | 69 |
| <b>Figure 70</b> : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Nord-Est – Période de retour 100 ans ..... | 70 |
| <b>Figure 71</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Nord-Est.....                  | 70 |
| <b>Figure 72</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario aménagé – Secteur Nord-Nord-Est.....                  | 71 |
| <b>Figure 73</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 100 ans – Secteur Nord-Nord-Est .....                         | 72 |
| <b>Figure 74</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans – scénario initial – Ouest... 72                                  | 72 |
| <b>Figure 75</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans – scénario aménagé – Ouest .....                                  | 73 |
| <b>Figure 76</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 50 ans – Secteur Ouest 73                                     | 73 |
| <b>Figure 77</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial– Ouest.. 74                                   | 74 |
| <b>Figure 78</b> : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario aménagé– Ouest .....                                  | 74 |
| <b>Figure 79</b> : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 100 ans – Secteur Ouest .....                                 | 75 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1:</b> Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions..... | 46 |
| <b>Tableau 2:</b> Coefficients de réflexion utilisés dans le modèle .....                              | 57 |

## Listes des acronymes et abréviations

**ARTEMIS** Agitation and Refraction with TElemac on a Mild Slope

**CFSR** Climate Forecast System Reanalysis

**ECMWF** the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

**EPA** Enterprise Portuaire d'Alger

**Dp** Direction de pic

**GEV** Generalized Extreme Value

**GPD** Generalized Pareto Distribution

**IFREMER** Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

**IOWAGA** Interdisciplinary Ocean Wave for Geophysical and other Applications

**POT** Peaks Over Threshold

**PAC** Programmed'Aménagement Côtier

**SW** Spectral Waves

# **Introduction générale**

Depuis l'avènement de la mondialisation et l'expansion massive des échanges commerciaux internationaux, plusieurs travaux de recherche, notamment ceux des économistes et géographes comme, **(DUCRUET César et MOHAMED-CHERIF, 2014)** et plein d'autres économistes ont souligné l'importance grandissante de l'infrastructure portuaire et son rôle face à l'intensification des échanges maritimes. Ces recherches soulignent l'importance de ces ports, comme étant le pilier fondamental de l'économie mondiale et de celle du pays. Le port est un maillon indissociable de la chaîne du transport maritime, il est considéré comme le mode transport de marchandises le plus utilisé. D'après **(CNUCED, 2015)**, près de 80 % du commerce mondial en volume et plus de 70 % de sa valeur transitent par les ports). Les pourcentages sont encore plus élevés pour la plupart des pays en développement **(Kacha.i et Khris.H, 2017)**. Le port est destiné à abriter les navires de Faction de la houle pour leur permettre :

- De stationner en attendant de partir pour un autre voyage.
- D'effectuer des opérations commerciales d'embarquement et de débarquement Des passagers et des marchandises, de soutage et d'avitaillement,
- Enfin d'être construits, entretenus et réparés.

Les conditions d'abri sont évidemment plus sévères dans les deux derniers cas **(Chapon 1984)**.

Les ports demandent donc une protection renforcée afin de réduire au maximum l'agitation interne, et offrir ainsi les meilleures conditions possibles pour la navigation des différents types des navires à l'intérieur du port. **(RABEHI et RAHAL, 2011)**

Le port d'Alger est le plus grand port de marchandises dans le pays ne peut pas recevoir un 1200 EVP (Équivalent Vingt Pieds) de première génération, par le linéaire de quai (276 mètres maximum) et le tirant d'eau qui ne dépasse pas 13 mètres.

L'objectif de ce travail est de déterminer l'impact de l'agitation au sein du port dans l'éventualité de l'augmentation du tirant d'eau du chenal des grands bateaux (partie de commerce), de 13 m à 16 m afin que le port puisse accueillir des plus grands cargos. Nous avons utilisé les données IOWAGA pour effectuer le travail, donc le traitement de ces données est fait par une analyse statistique à l'aide de la méthode de POT. L'étude de l'agitation est faite par le module ARTIMIS qui simule tous les types d'agitation ainsi que l'agitation générée par la réflexion des houles sur les ouvrages que le MIKE ne peut pas faire.

Pour mener à terme cette étude nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres :

**Premier chapitre :** on a décrit les aspects généraux de la zone d'étude ; situation géographique, historique, caractéristique, morphologie et nature du fond. Ainsi que des généralités sur le concept de l'étude ; les phénomènes en mer, les différents types de modélisation, l'étude de la propagation de la houle et de l'étude de l'agitation portuaire.

**Deuxième chapitre :** consacré sur le contexte et l'objectif du travail, ainsi que la méthodologie générale de l'étude, l'acquisition et le traitement des données.

**Troisième chapitre :** Port la modélisation de la réfraction de la houle du large vers le port, commencent par la détermination du modèle ainsi que la réalisation de la bathymétrie et la détermination des conditions de projet à simuler.

**Quatrième chapitre :** Concerne la modélisation de l'agitation portuaire par un couplage des données résultantes de la réfraction de la houle du large vers le port (MIKE-SW) avec le logiciel ARTEMIS et le calcul du différentiel (Etat actuel / Approfondissement de la passe d'entrée), pour avoir la modification de l'agitation dans la partie aménagée après l'augmentation de tirant d'eau.



# **Chapitre I : Généralités**

### 1 Généralités sur la zone d'étude

#### 1.1 Situation géographique

##### 1.1.1 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 km<sup>2</sup>. 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 1).



**Figure 1:** Situation géographique de la baie d'Alger. (BasemapArcGis 2020)

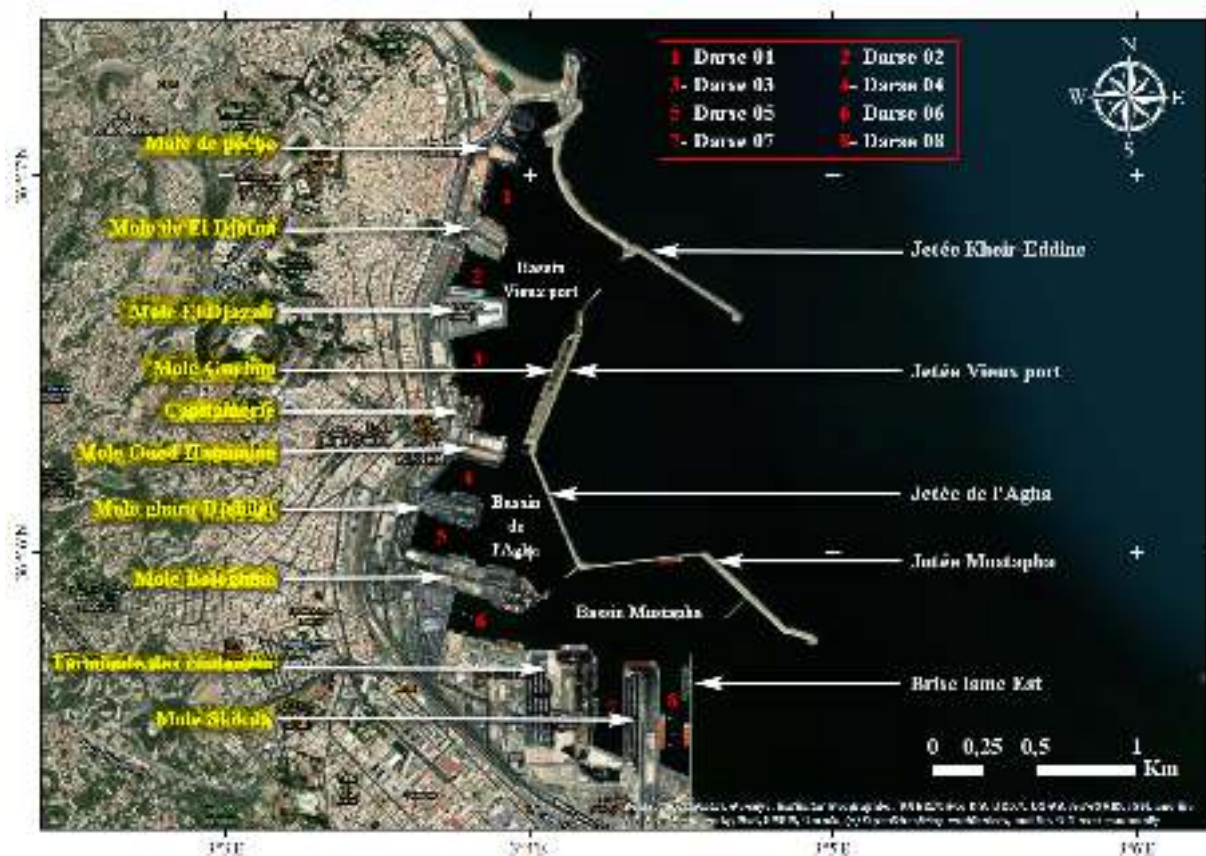
##### 1.1.2 Le port d'Alger

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 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 (Fig. 01).

De par sa situation géographique, le port d'Alger dessert plusieurs wilayas et assure le traitement de différentes catégories de marchandises : vracs, solides et liquides, les conteneurs, les véhicules et engins lourds, ainsi que les passagers et véhicules légers (gare



maritime).(REZGUI ET CHERIET,2008)

**Figure 2** : situation géographique et les équipements du port d'Alger (BasemapArcGis 2020)

### 1.2 Historique

En 1830, le port offrait une superficie de 3 hectares 50 ares avec une passe de 130 mètres de large au Sud.

Il comprenait : la jetée Nord, l'actuelle grande jetée Khair-Eddine, la jetée du Sud (dite du large), les rampes reliant les quais à la ville, deux formes de radoub, gare et voies ferrées, ces dernières furent achevées en 1865.

La construction du bassin de l'Agha s'est faite de 1870 à 1914.

- De 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 100m.
- De 1950 à 1953 Construction de la gare maritime au môle El

Djazaïr ; De 1961 à 1963, construction du môle de Skikda ;

- De 1987 à 1988 remblayage de la darse de Calvi et réalisation d'un appontement en duc d'Albe et de six rampes Ro/Ro ;
- 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 qui comprend :

De ce fait, le Port d'Alger est le plus important port de marchandises générales en Algérie avec près de 10 Km de quai offrant des profondeurs variant de -7 à -11m. (REZGUI et CHERIET, 2008)

### 1.3 Caractéristiques du port

D'après (REZGUI et CHERIET, 2008) les caractéristiques du port d'Alger sont les suivantes :

#### 1.3.1 Les différentes fonctions du port

Les différentes activités qui y sont menées sont :

- Commerce;
- Pêche ;
- Port militaire.

Ces activités sont réparties géographiquement sur les trois bassins.

Le port de commerce occupe les bassins de Mustapha et de l'Agha.

Le port de pêche et la base navale d'Alger, occupent une partie du Vieux Port.

#### 1.3.2 Le plan d'eau

Le Port d'Alger couvre un plan d'eau de 184 ha avec des profondeurs qui varient entre -4 m à -13 m à l'intérieur du port et pouvant atteindre les -20m au niveau de la passe d'entrée Nord.

#### 1.3.3 La capacité d'entreposage

Le Port d'Alger dispose d'une surface totale d'entreposage de 282.000 m<sup>2</sup>, représentant 24% de la surface totale uniformément répartie entre les 3 zones géographiques du port et accueillant diverses marchandises (Fig.02).

- Terre-pleins de 232.000 m<sup>2</sup>;
- 16 magasins de 50.000 m<sup>2</sup>.

Cette capacité permet l'entreposage de 120.000 tonnes de marchandises, alors que le volume moyen débarqué mensuellement aujourd'hui est de 800.000 tonnes.

### 1.3.4 Terminal à conteneurs

Réceptionné en 1998, le terminal à conteneurs s'étend sur une surface de 17 hectares. Il dispose de quatre (04) postes à quai de 600 ml avec un tirant d'eau de 9 à 11 mètres.

### 1.3.5 Installations spécialisées

Une gare maritime située au quai 11, un silo à céréales au quai 35, un hangar à céréales au quai 26, les postes pétroliers situés au quai 37 et deux (02) formes de radoub servant à la réparation navale.

### 1.3.6 Les infrastructures

Le Port d'Alger présente trois bassins, quatre jetées et un linéaire de quais de 8609,80 m (Figure 02).

#### 1.3.6.1 Accès

L'accès au port s'effectue par deux passes :

- Passe Nord : 176 m de largeur et 22 de profondeur;
- Passe Sud : 240 m de largeur et 16 m de profondeur.

#### 1.3.6.2 Bassins

Le Port d'Alger se subdivise en trois bassins :

- Bassin du Vieux Port : 74 ha de plan d'eau avec des profondeurs de -7 à -19 m;
- Bassin de Agha : 35 ha de plan d'eau avec des profondeurs de -6 à -12 m;
- Bassin de Mustapha : 75 ha de plan d'eau et une profondeur de -7 à -15m.

#### 1.3.6.3 Jetées et brise-lames

Le Port d'Alger est doté de quatre jetées et d'un brise-lames :

- Au Nord : jetée de Khair-Eddine, d'une longueur de 1290 m;
- A l'Est : jetée du Vieux Port (môle Guelma) et celle de l'Agha (1500 m de longueur);
- Au Sud-est : jetée de Mustapha (1304 m de longueur);
- Au Sud : brise-lames d'une longueur de 1500m.

### 1.4 Morphologie et nature du fond

#### 1.4.1 Morphologie

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

La baie d'Alger qui est 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 (OuedsEL-Harrach et EL-HAMIZ). Cependant, aux deux points extrêmes de la baie, on constate qu'il se réduit à une largeur maximale de 1 km (Cap Matifou et Massif de bouzzeréah).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 Bouzaréah, 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).

#### 1.4.2 Nature du fond

La baie d'Alger a un fond sableux ainsi que notre zone d'étude qui se situe à l'ouest de la baie.

Les travaux de sédimentologie sur la nature des fonds en baie d'Alger, comparativement aux autres baies et golfes de la côte algérienne, sont nombreux et détaillés. **LE DANOIS (1925)**, **LECLAIRE (1972)**, **CAULET (1972)**, et **MAOUCHE (1987)** sont les principaux auteurs qui ont abordé l'étude de la couverture sédimentaire de la baie.

Ils ont en évidence ce qui suit (figure 3) :

- La distribution bathymétrique des sédiments de la côte vers le large selon un gradient d'envasement croissant ;
- La présence de sables fins, essentiellement d'origine terrigène, occupant les petits fonds de la baie ;
- Des zones sédimentaires de transition : les sables envasés et les vases sableuses, assurant le passage progressif des sables fins infralittoraux aux vases pures ;
- Des vases pures dans la partie centrale et septentrionale de la baie qui témoignent d'un important envasement de ce secteur

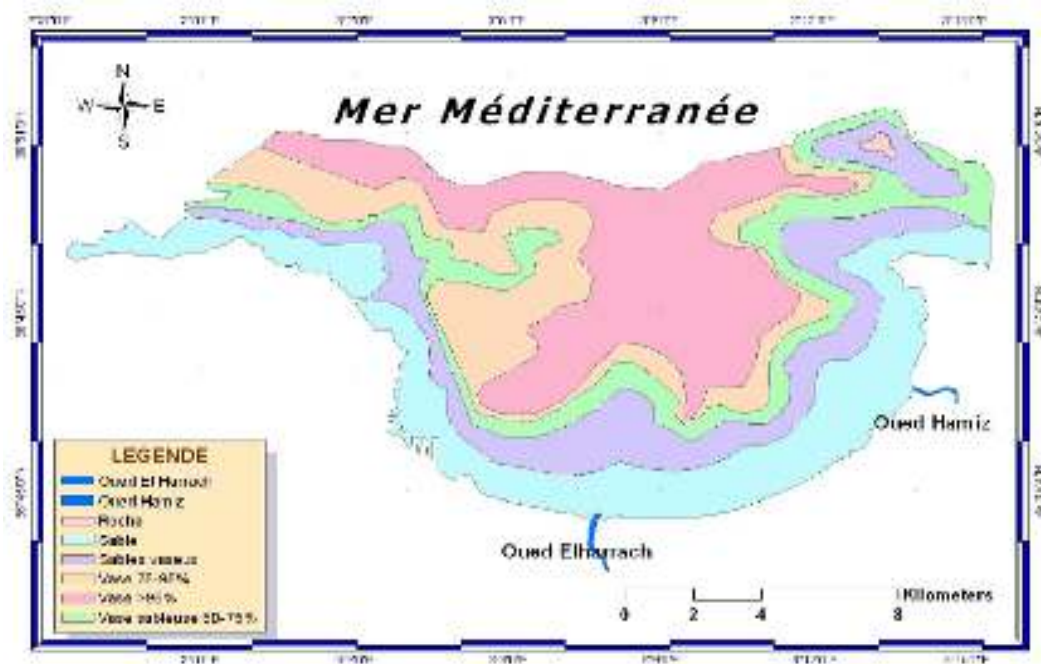


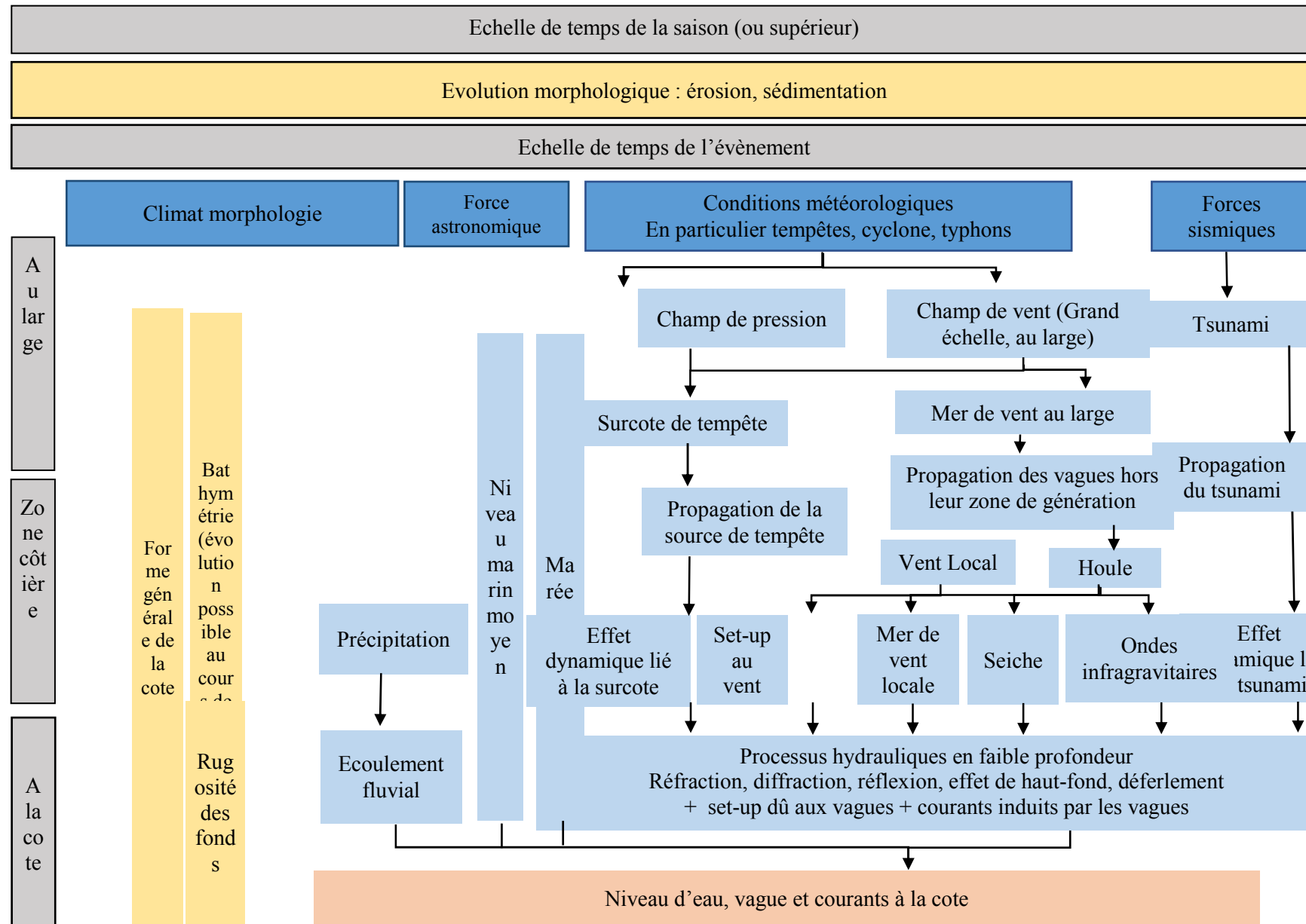
Figure 3: Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (MAOUCHE, 1987)

## 2 Généralités sur l'hydrodynamique et l'agitation portuaire

### 2.1 Les phénomènes en mer

La surface des océans est perturbée par de nombreux phénomènes physiques tels l'action du vent, les mouvements du plancher océanique dus aux séismes et glissements de terrains se répercutant dans la colonne d'eau, l'interaction entre la Terre et les astres, ou encore les différences de pressions atmosphériques. Les forces mises en jeu 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. La diversité de ces phénomènes entraîne ainsi pour l'ensemble des oscillations, une plage de périodes possibles extrêmement large. (JARRY, 2009)

L'organigramme ci-dessous résume les phénomènes en mer du large vers la cote selon les différentes échelles du temps et de l'espace et aussi avec les différents facteurs (figure 04)

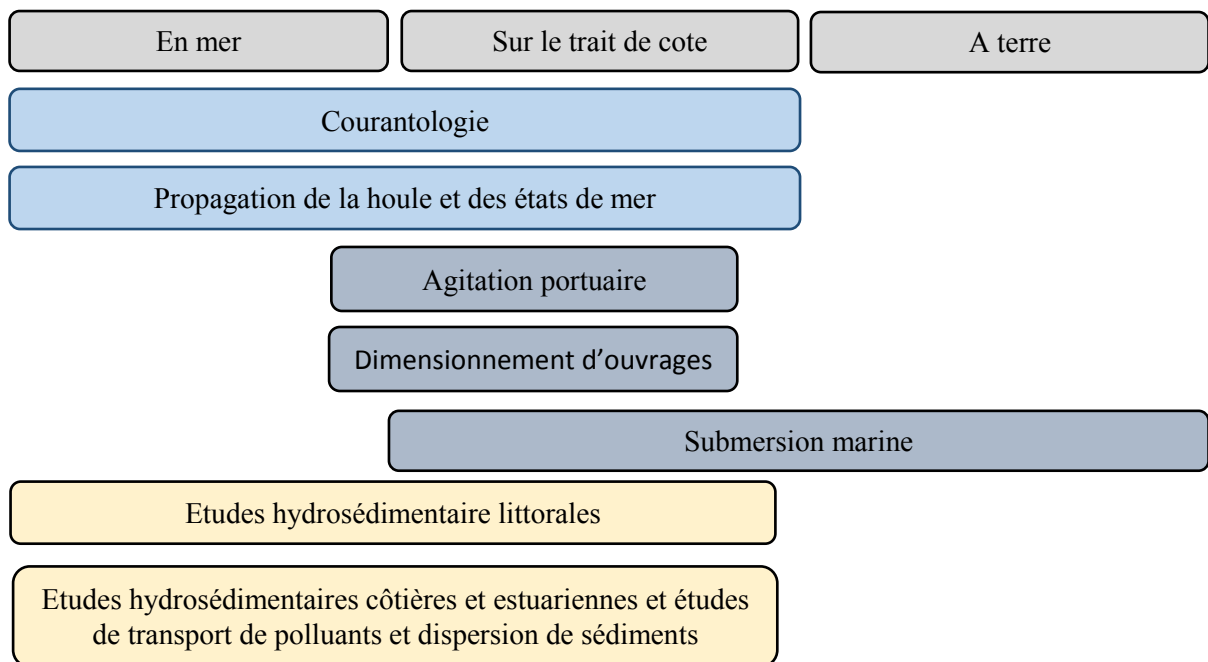


**Figure 4 :** Organigramme des phénomènes physiques en mer (CEREMA, 2018)

### 2.2 Les différents types de modélisation en hydraulique maritime

On trouve sept principaux types d'études hydraulique réalisées en milieu maritime qui s'intéressent aux mouvements de la mer.

- 1- L'étude de courantologie ;
- 2- L'étude de propagation de la houle et des états de mer ;
- 3- Les études d'agitations portuaire ;
- 4- Les études relative au dimensionnement d'ouvrage d'ouvrages de protection ;
- 5- Les études de submersion marine ;
- 6- Les études hydrosédimentaires littorales ;
- 7- les études hydrosédimentaires côtiers et estuariennes et études de transport de polluants et dispersion de sédiments.(CEREMA, 2018)

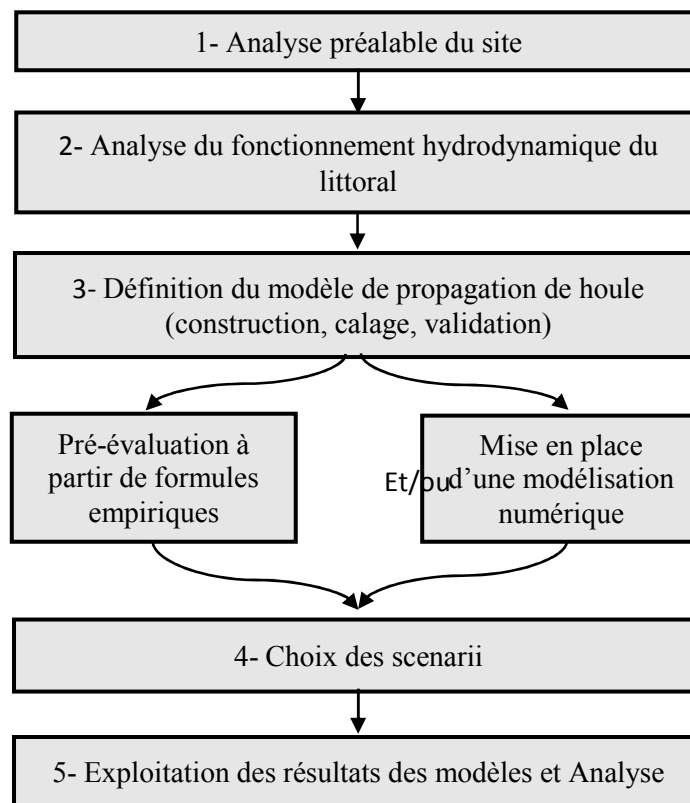


**Figure 5:** Les sept types d'études abordés en fonction de leur localisation géographique (CEREMA, 2018)

### 2.3 Etude de propagation de houle du large vers la cote

La houle se crée sous l'action du vent au large sur la surface de la mer formant des ondulations qui se propagent du large 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. Ces études sont obligatoires et permettent d'évaluer la surcote statique (waveset-up) à la cote. (CEREMA, 2018)

Le déroulement d'une étude de propagation de houle se fait de la façon suivante :

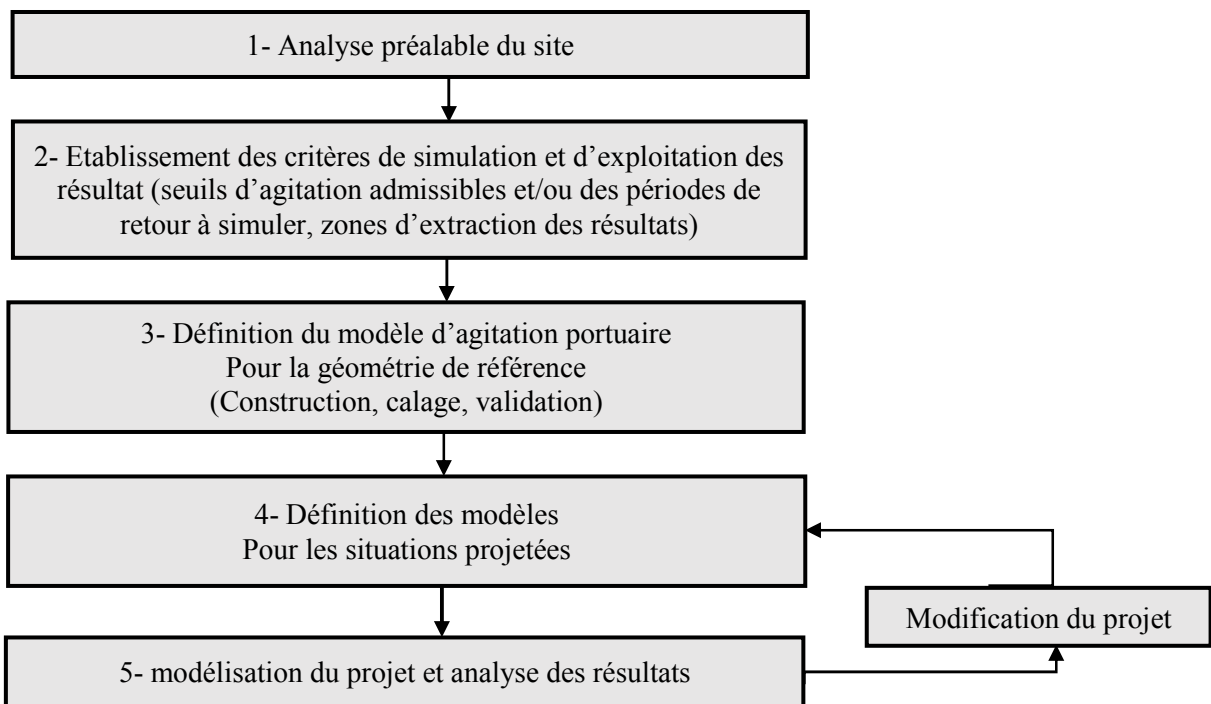


**Figure 6 :** Organigramme du déroulement d'une étude de propagation des vagues du large à la cote (CEREMA, 2018)

### 2.4 Etude d'agitation portuaire

Tous les ports consistent à faire l'étude de l'agitation portuaire pour but de connaître plusieurs objectifs tel que, les conditions d'exploitation associées à un nouvel aménagement portuaire, déterminer l'impact d'agitation au niveau des quais et d'autres objectifs. (CEREMA, 2018)

L'organigramme ci-dessous résume toutes les étapes de déroulements d'une étude d'agitation portuaire (Figure 7).



**Figure 7** : Organigramme du déroulement d'une étude d'agitation portuaire. (CEREMA,2018)

## **Chapitre II : Recueil et traitement des données**

### 1 Contexte

#### 1.1 Contexte et objectifs

Dans le cadre de la modification de la passe d'entrée du port d'Alger, il est nécessaire de disposer d'une connaissance précise des conditions d'agitation.

L'objectif de la présente étude est double :

- ▶ Il s'agit dans un premier temps de disposer des conditions d'agitation dans l'état actuel ;
- ▶ Dans un deuxième temps, la prestation vise à vérifier que l'augmentation du tirant d'eau ne soit pas de nature à augmenter sensiblement les conditions d'agitation à l'intérieur du bassin portuaire, et en particulier dans l'avant-port.

#### 1.2 Méthodologie générale de l'étude proposée

En fonction des points soulevés dans le contexte, la méthodologie de l'étude est :

- ▶ Phase 1 : Définition des conditions de houle au large :
  - ✓ Définition des conditions océano-météorologiques au large à prendre en compte pour la définition des conditions de projet : il s'agit de caractériser les conditions d'agitation au large, les conditions de vent et les niveaux extrêmes à prendre en compte pour les différentes périodes de retour.
- ▶ Phase 2 : Propagation des houles du large vers la cote et définition des conditions de projet à l'entrée du port à l'aide d'un modèle de génération/propagation de la houle (MIKE SW) :
  - ✓ Tests de sensibilité sur la direction de la houle ;
  - ✓ Test de sensibilité sur les mers de vent ;
  - ✓ Définition des conditions de houle les plus pénalisantes ;
  - ✓ Calcul des houles de projet pour l'ouvrage.
- ▶ Phase 3 : Etude d'agitation portuaire :
  - ✓ Modélisation d'agitation locale (ARTEMIS) dans l'avant-port permettant de vérifier que la modification de bathymétrie n'est pas de nature à augmenter significativement l'agitation dans le bassin portuaire.

### 2 Données océano-météorologiques

#### 2.1 Niveau d'eau

##### 2.1.1 Marée

Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomique et de l'ordre de 6cm. Les variations du plan d'eau sont soumises plus à l'effet des vents (phénomène de seiche) qu'à l'attraction luni-solaire. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à dix (10) cm. La différence entre valeur maximale et valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50 cm. (LEM, 1996).

##### 2.1.2 Surcote

La surcote associée aux vagues : surélévation moyenne du plan d'eau induite par le déferlement des vagues (« Waves setup »). Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

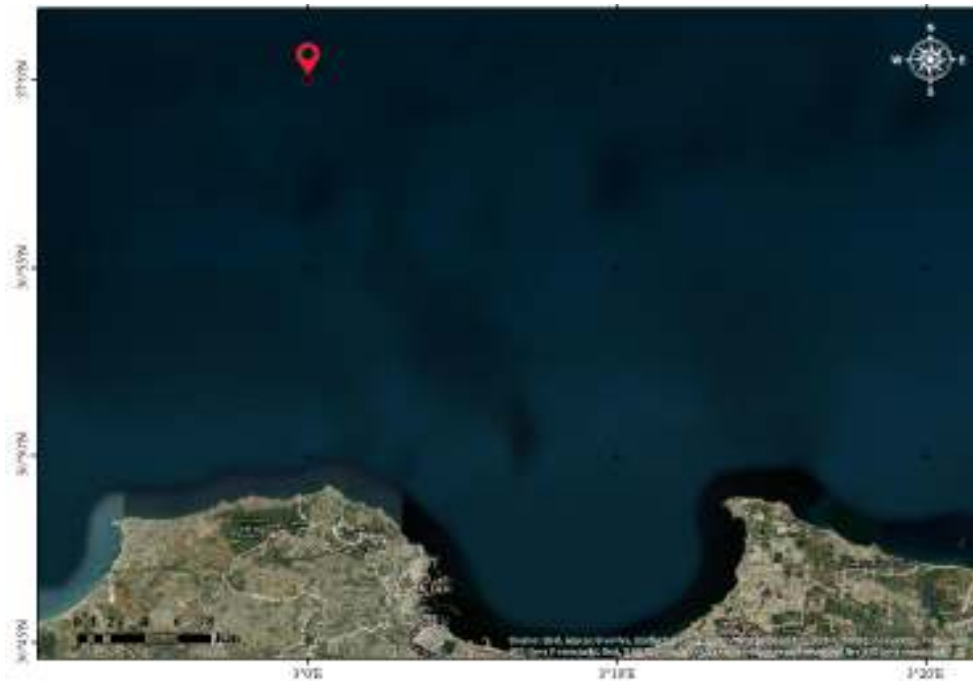
La surcote sur la baie d'Alger en période de tempête exceptionnelle est entre 1,5 m et 2m (LEM 2013)

#### 2.2 Données de houle

Une analyse statistique des houles a été réalisée à partir de la base de données IOWAGA (IntegratedOceanWaves for Geophysical and other Applications), développée par l'IFREMER (Ardhuin et al. 2011). Ce modèle est basé sur une approche multi-échelles combinant plusieurs modèles hauturiers et une série d'emprises côtières.

Une grille globale de résolution  $0.5^\circ$  (~50 km) couvrant les années 1990 à 2018. Le modèle global est forcé avec les vents CFSR de 1990 à 2012 et ECMWF de 2013 à 2018 mais seuls les vents CFSR sont disponibles au téléchargement.

La position du point d'extraction est présentée ci-dessous (figure8). Il a été choisi de manière à être les plus proches des limites du modèle de propagation des houles qui sera mis en place.



**Figure 8:** Carte de la localisation géographique du point de l'extraction (**basemapArcgis, 2020**)

Deux secteurs majoritaires de direction de provenance de la houle peuvent se distinguer : Le Secteur WNW et NNE, avec des hauteurs significatives qui dépassent 4.5 m dans le Secteur Ouest et des périodes variantes entre 4 et 10s. (figure 13)

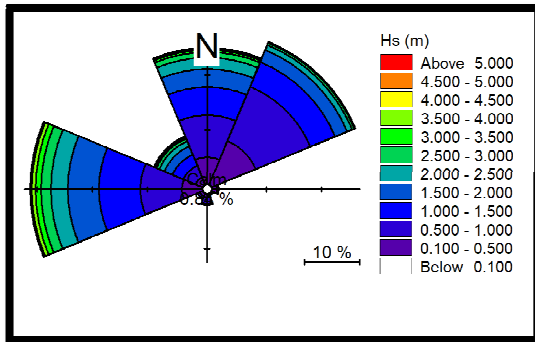


Figure 9 : Rose des houles pour la saison Hivernale

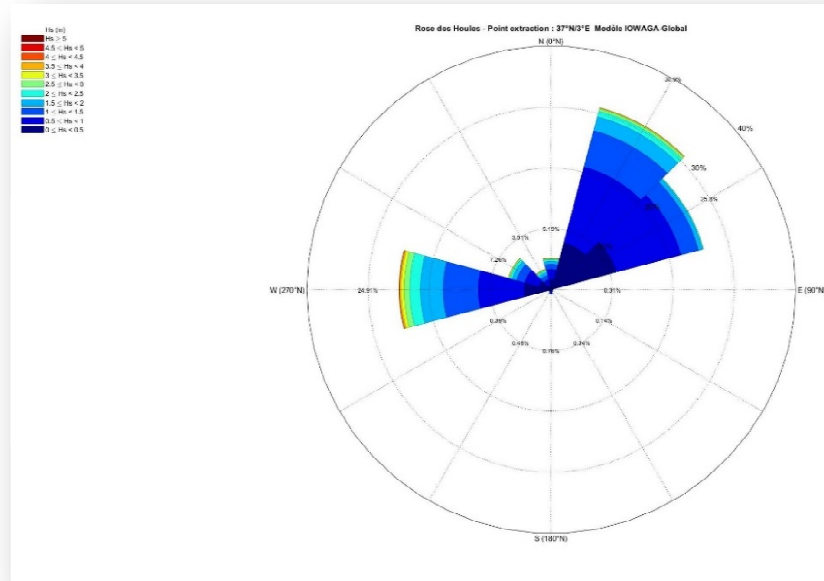


Figure 13 : Rose des houles annuelle

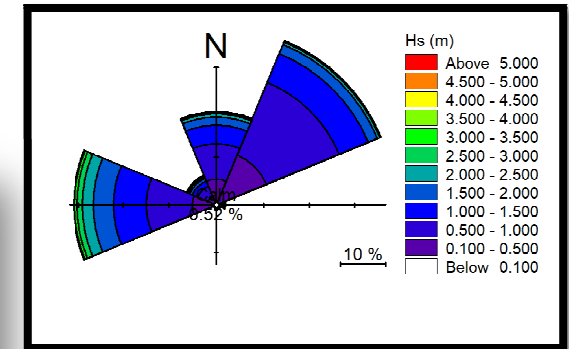


Figure 12: Rose des houles pour la saison printanière

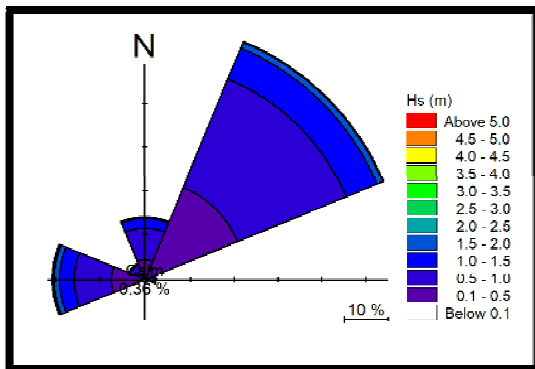


Figure 11: Rose des houles pour la saison Estivale

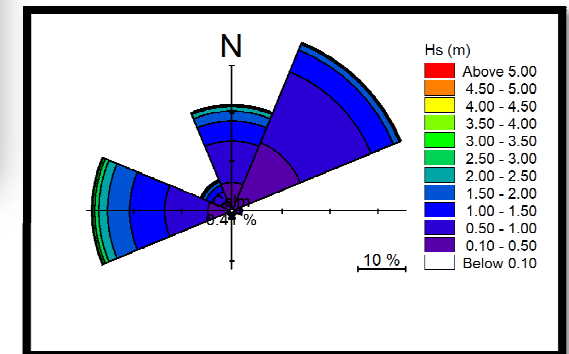


Figure 10: Rose des houles pour la saison Automnale

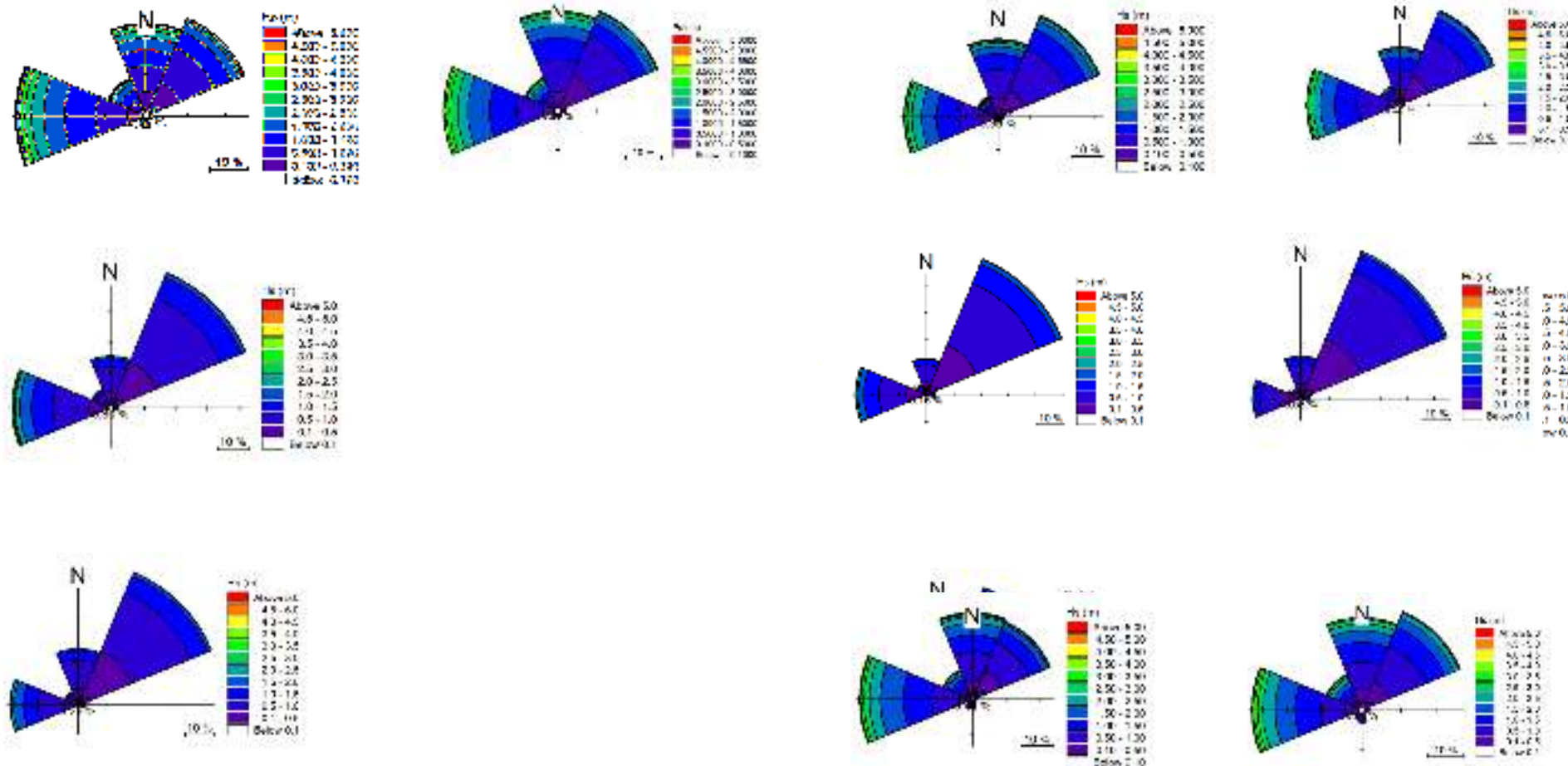


Figure 14 : les roses des houles mensuelles.

## Chapitre II : Recueil et traitement des données

|         |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
|---------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|----|-------|
| 140-145 | 295   | 437   | 234   | 437  | 427  | 34   | 34  | 35  | 0   | 0  | 4124  |
| 145-148 | 289   | 414   | 227   | 253  | 161  | 64   | 82  | 22  | 5   | 0  | 1459  |
| 145-150 | 307   | 422   | 233   | 333  | 96   | 33   | 33  | 15  | 4   | 0  | 1428  |
| 144-151 | 491   | 447   | 454   | 232  | 314  | 41   | 31  | 4   | 8   | 0  | 2124  |
| 145-160 | 1125  | 1477  | 831   | 295  | 122  | 96   | 36  | 17  | 1   | 0  | 4128  |
| 150-155 | 151   | 1834  | 1012  | 1664 | 713  | 234  | 213 | 69  | 24  | 0  | 10021 |
| 155-170 | 1221  | 1852  | 1732  | 1152 | 712  | 442  | 212 | 124 | 27  | 0  | 1221  |
| 140-170 | 03    | 06    | 15    | 17   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 395   |
| 125-170 | 51    | 45    | 4     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 128   |
| 140-175 | 84    | 67    | 3     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 69    |
| 145-175 | 121   | 92    | 12    | 14   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 284   |
| 150-185 | 26    | 23    | 43    | 2    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 372   |
| 145-190 | 44    | 39    | 46    | 1    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 148   |
| 150-185 | 74    | 75    | 15    | 1    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 168   |
| 125-190 | 54    | 07    | 7     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 10    |
| 125-195 | 42    | 25    | 9     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 12    |
| 125-195 | 25    | 15    | 2     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 15    |
| 95-195  | 42    | 15    | 9     | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 58    |
| 75-90   | 31    | 62    | 15    | 9    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0  | 290   |
| 40-45   | 4792  | 7434  | 447   | 512  | 38   | 4    | 4   | 0   | 0   | 0  | 1231  |
| 45-60   | 5712  | 6542  | 1082  | 453  | 37   | 19   | 7   | 1   | 0   | 0  | 10714 |
| 60-75   | 2441  | 2892  | 1144  | 334  | 40   | 31   | 4   | 0   | 0   | 0  | 4423  |
| 75-90   | 4227  | 7512  | 2841  | 1212 | 322  | 222  | 122 | 40  | 19  | 0  | 19523 |
| 3-10    | 1743  | 1742  | 41    | 2-3  | 424  | 74   | 34  | 19  | 5   | 0  | 2227  |
| 1-40    | 24501 | 32787 | 12899 | 722  | 9188 | 1642 | 722 | 324 | 118 | 77 | 26526 |
| 0-10    |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 10-15   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 15-20   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 20-25   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 25-30   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 30-35   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 35-40   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 40-45   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 45-50   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 50-55   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 55-60   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 60-65   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 65-70   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 70-75   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 75-80   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 80-85   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 85-90   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 90-95   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| 95-100  |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |
| Total   |       |       |       |      |      |      |     |     |     |    |       |

Figure 15:CorrélogrammeDp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E

## Chapitre II : Recueil et traitement des données

IOWAGA- Corrélogramme au point de coordonnées : 37°N 3°E

| Tp (h) | 0-6   |       |       |       | 6-12  |       |       | 12-18 |       |       | Total |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     |       |
| 0-6    | 23    | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 22    |
| 6-12   | 26    | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 47    |
| 12-18  | 76    | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 140   |
| 18-24  | 85    | 176   | 440   | 360   | 203   | 128   | 67    | 41    | 32    | 48    | 1680  |
| 24-30  | 345   | 2437  | 2108  | 1271  | 690   | 684   | 565   | 291   | 74    | 25    | 6667  |
| 30-36  | 3205  | 9480  | 6002  | 4719  | 2094  | 731   | 99    | 1     | 0     | 0     | 28811 |
| 36-42  | 15521 | 18015 | 6232  | 966   | 18    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 34346 |
| 42-48  | 8163  | 3474  | 18    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 11655 |
| 48-54  | 173   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 173   |
| Total  | 24491 | 32137 | 14336 | 7226  | 3188  | 1642  | 708   | 337   | 108   | 77    | 83200 |
|        | 0-0.5 | 0.5-1 | 1-1.5 | 1.5-2 | 2-2.5 | 2.5-3 | 3-3.5 | 3.5-4 | 4-4.5 | 4-4.5 | Total |

Figure 16 :CorrélogrammeTp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E

### 2.3 Données de vent

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 1990 à 2019 (vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 1h, IOWAGA\_Global) au point situé en Méditerranée selon les coordonnées géographiques (37°N, 3°E), mettent en évidence les répartitions suivantes :

Une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, avec des vitesses qui atteignent 18 m/s selon les directions comprises entre 240° et 280° N. Pour les directions comprises entre 45° et 100° N on trouve des vitesses maximales des vents qui atteignent 16m/s.

On observe 19,32% d'apparition des vents de secteur Est-Nord-Est et 16,56% d'apparition des vents de secteur Ouest-sud-ouest.

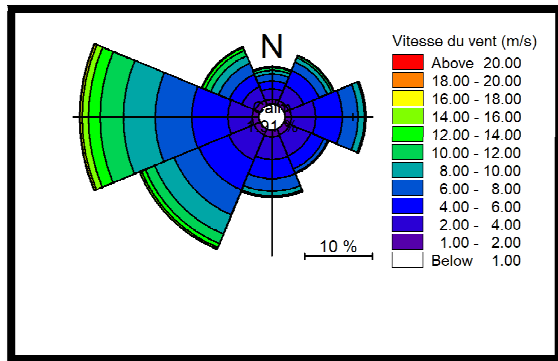


Figure 17 : Rose des vents pour la saison Hivernale

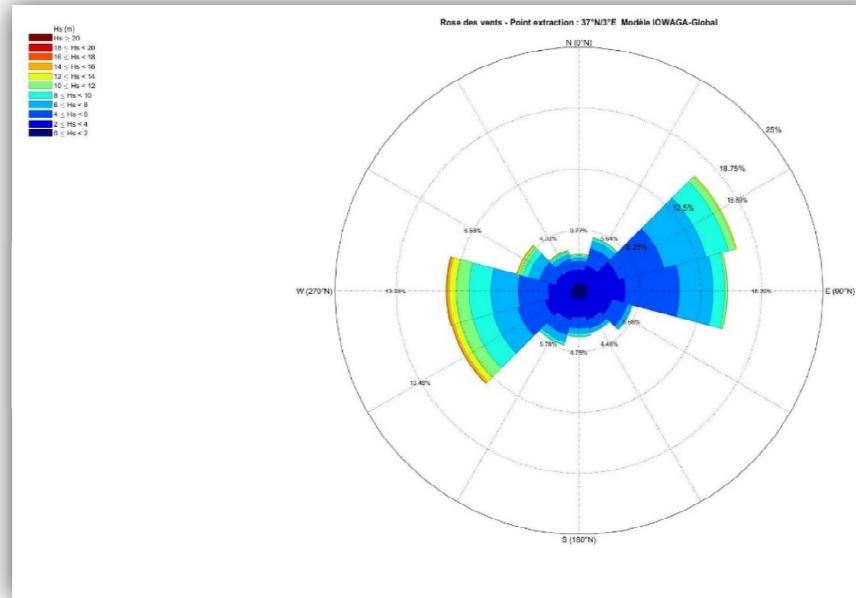


Figure 18 : Rose des vents annuelle

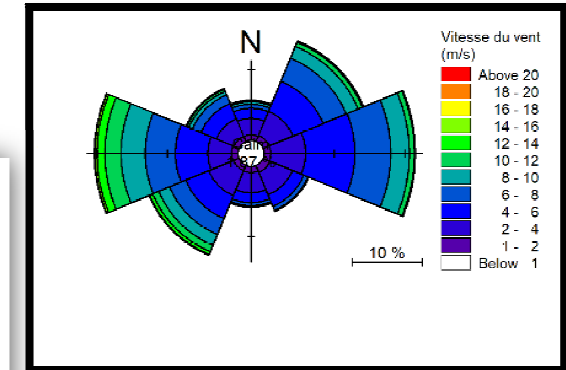


Figure 21 : Rose de vent pour la saison Printanière

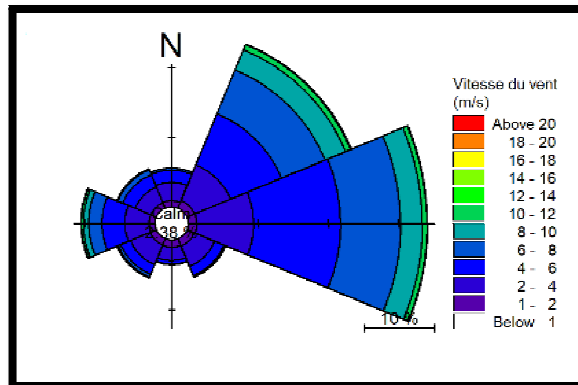


Figure 20 : Rose de vent pour la saison Estivale

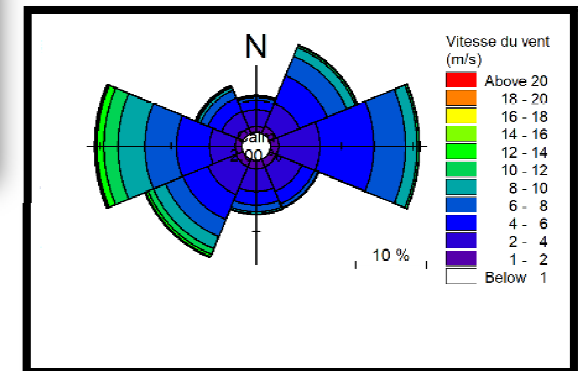


Figure 19 : Rose des vents pour la saison Automnale

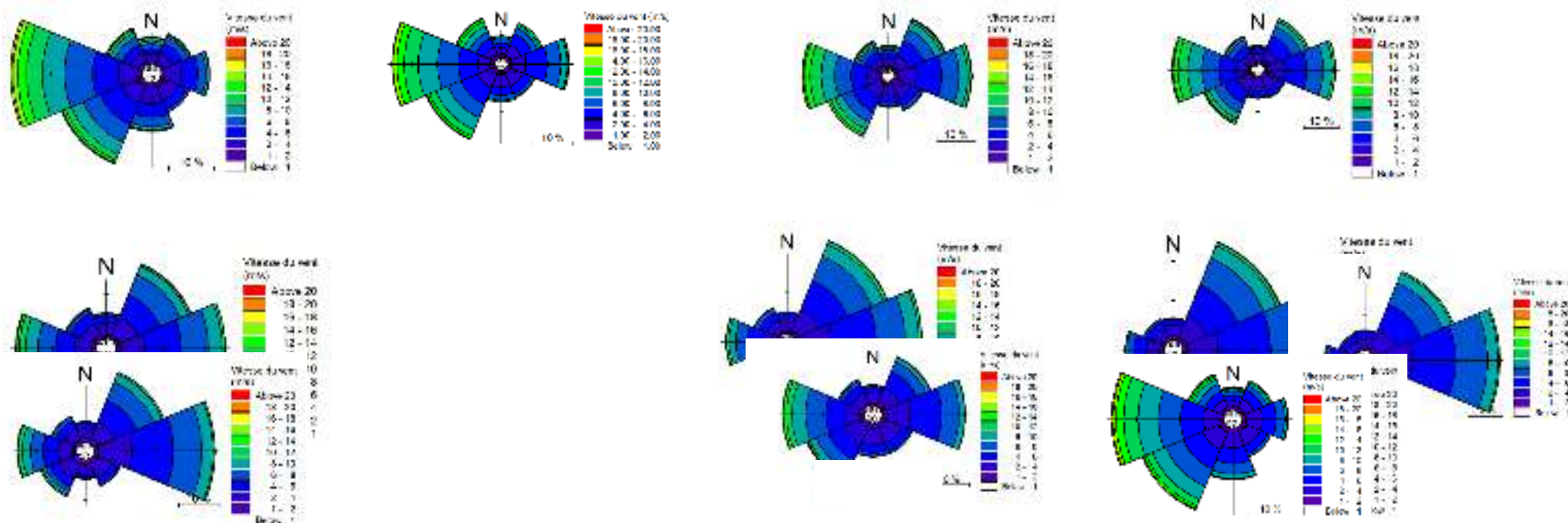


Figure 22 :Roses des vents mensuels

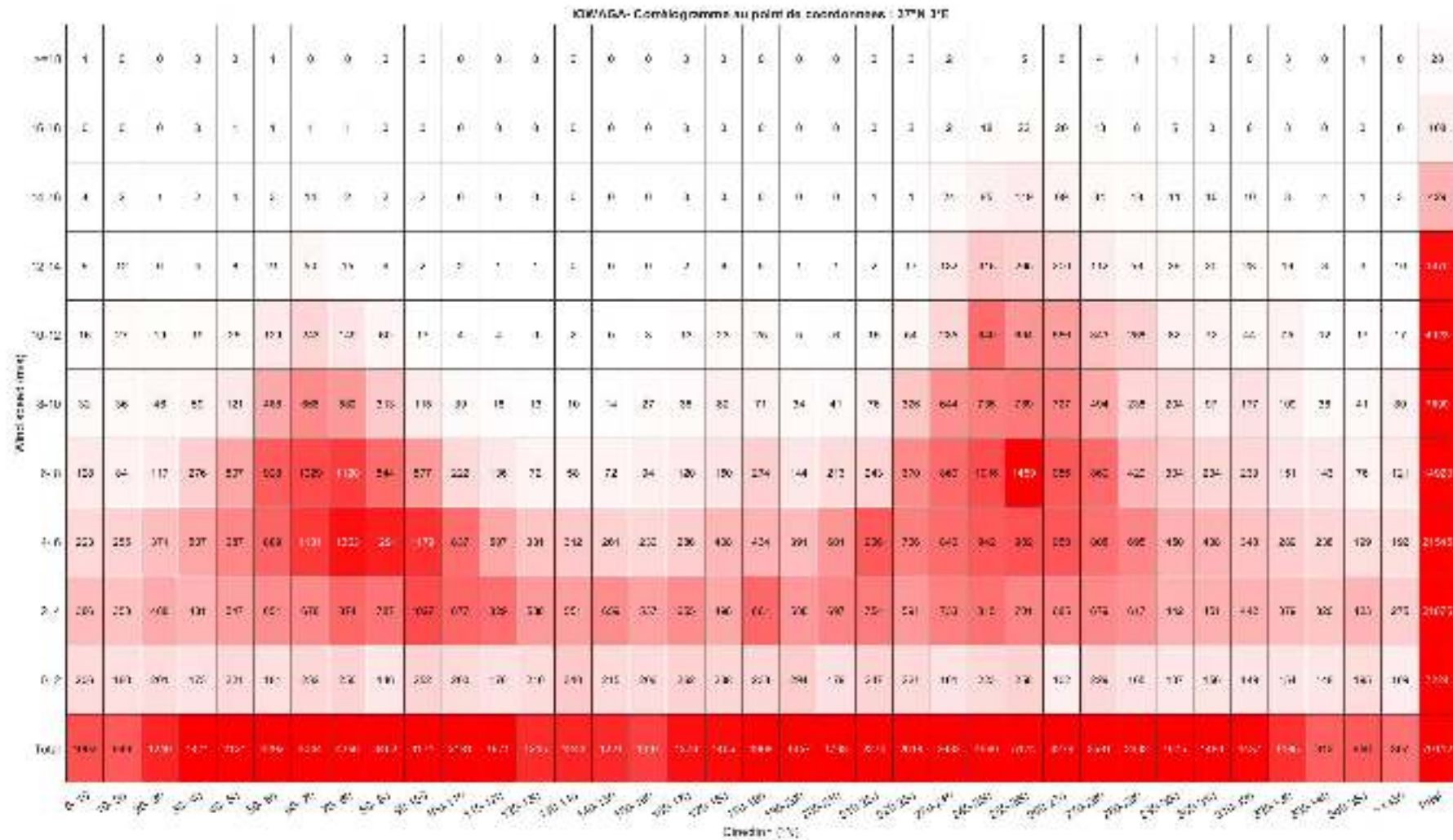


Figure 23. Corrélogramme Vitesse de vent/Direction de Vent pour le point IOWAGA : 37°N – 3°E

### 3 Conditions extrêmes au large de la baie d'Alger

#### 3.1 Estimation statistique des événements extrêmes de houle

Il existe généralement trois méthodes pour définir les valeurs d'un ensemble de données à utiliser pour l'Estimation statistique des événements :

1. Utiliser toutes les données disponibles dans l'approche des distributions initiales (ID);
2. N'utiliser que les valeurs maximales au-dessus d'un certain seuil dans l'approche Peaks Over Threshold (POT)
3. En utilisant la valeur maximale par an dans l'approche Maximale Annuelle (AM).

L'un des avantages des méthodes 2 et 3 par rapport à la méthode 1 est que les valeurs utilisées dans ces méthodes sont statistiquement indépendantes, car elles sont (généralement) très éloignées dans le temps.

L'ajustement de la distribution appropriée aux données sélectionnées est fait parce que les extrêmes nécessaires (par exemple  $H_s$  avec une période de retour de 100 ans) se situent généralement en dehors de la plage des valeurs observées, donc une sorte d'extrapolation est nécessaire pour les déterminer.

Chacune des trois méthodes mentionnées a sa propre distribution : si les valeurs extrêmes sont déterminées par :

- 1- L'approche ID, deux distributions largement utilisées sont la distribution log-normale et la distribution de Weibull.
- 2- Les maximas déterminés par la méthode (2), l'approche POT, sont distribués asymptotiquement (distribution de Pareto généralisée ou GPD).
- 3- Les maximas déterminés par la méthode (3), sont distribués selon la distribution des valeurs extrêmes généralisées (GEV).

Pour étudier les conditions nominales extrêmes, la méthode POT a été appliquée sur les séries temporelles de données horaires de données de houle au point IOWAGA sélectionné. Afin d'obtenir des conditions plus réalistes, un affinement par secteur directionnel a été réalisé.

Le choix du seuil représente un compromis entre biais et variance : le choix d'un seuil trop bas est susceptible de violer la base asymptotique du modèle, conduisant à un biais ; un seuil trop élevé générera moins d'excès pour estimer le modèle, conduisant à une variance élevée. Une propriété importante de l'approche POT / GPD est la propriété de stabilité du seuil : si un GPD est un modèle raisonnable pour les dépassements d'un seuil, alors pour un seuil plus élevé, un GPD devrait également s'appliquer ; les deux GPD ont des paramètres de forme identiques et leurs paramètres d'échelle ont une relation simple. Cette propriété du GPD a été utilisée pour trouver le seuil optimal pour adapter un modèle GPD aux données.

## **Chapitre II : Recueil et traitement des données**

---

L'échantillon à utiliser dans la méthode POT doit être extrait de la série chronologique originale de manière que les données puissent être modélisées comme des observations indépendantes. Cela se fait par un processus de désagrégation dans lequel seules les observations de pointe (les plus élevées) dans les groupes de dépassements successifs d'un seuil spécifié sont conservées et, parmi celles-ci, seulement celles qui, dans un certain sens, sont suffisamment éloignées (pour qu'elles appartiennent à plus moins « tempêtes indépendantes ») sont considérées comme appartenant à la collection de points POT. Plus précisément, dans la présente demande, nous avons traité des maxima de cluster à une distance de moins de 48 h d'intervalle comme appartenant au même cluster (tempête). Cette période de 48h correspond à la durée maximale de la tempête dans les données.

Il existe plusieurs méthodes disponibles pour l'estimation des paramètres du GPD. Pour le type de données qui nous intéresse dans ce rapport, la méthode des moments pondérés par les probabilités (PWM) représente un choix adéquat. Afin de fournir des bandes de confiance asymétriques fiables, la méthode de PWM a été combinée avec des estimations Bootstrap ajustées pour le calcul des intervalles de confiance. Plus d'information est disponible sur la méthodologie dans les publications de S. Caires(Os, Caires, Gent 2011).

En résumé, la procédure d'analyse des valeurs extrêmes appliquée ici comprend les étapes suivantes :

- Les échantillons POT des maxima de tempête sont collectés à partir de la série chronologique originale en utilisant différents seuils.
- Pour chaque échantillon POT, les paramètres GPD et leurs incertitudes sont estimés.
- Sur la base de la variation des estimations des paramètres de forme avec le seuil, le seuil optimal est choisi.

En fixant ce seuil, les estimations des valeurs de retour seront définies.

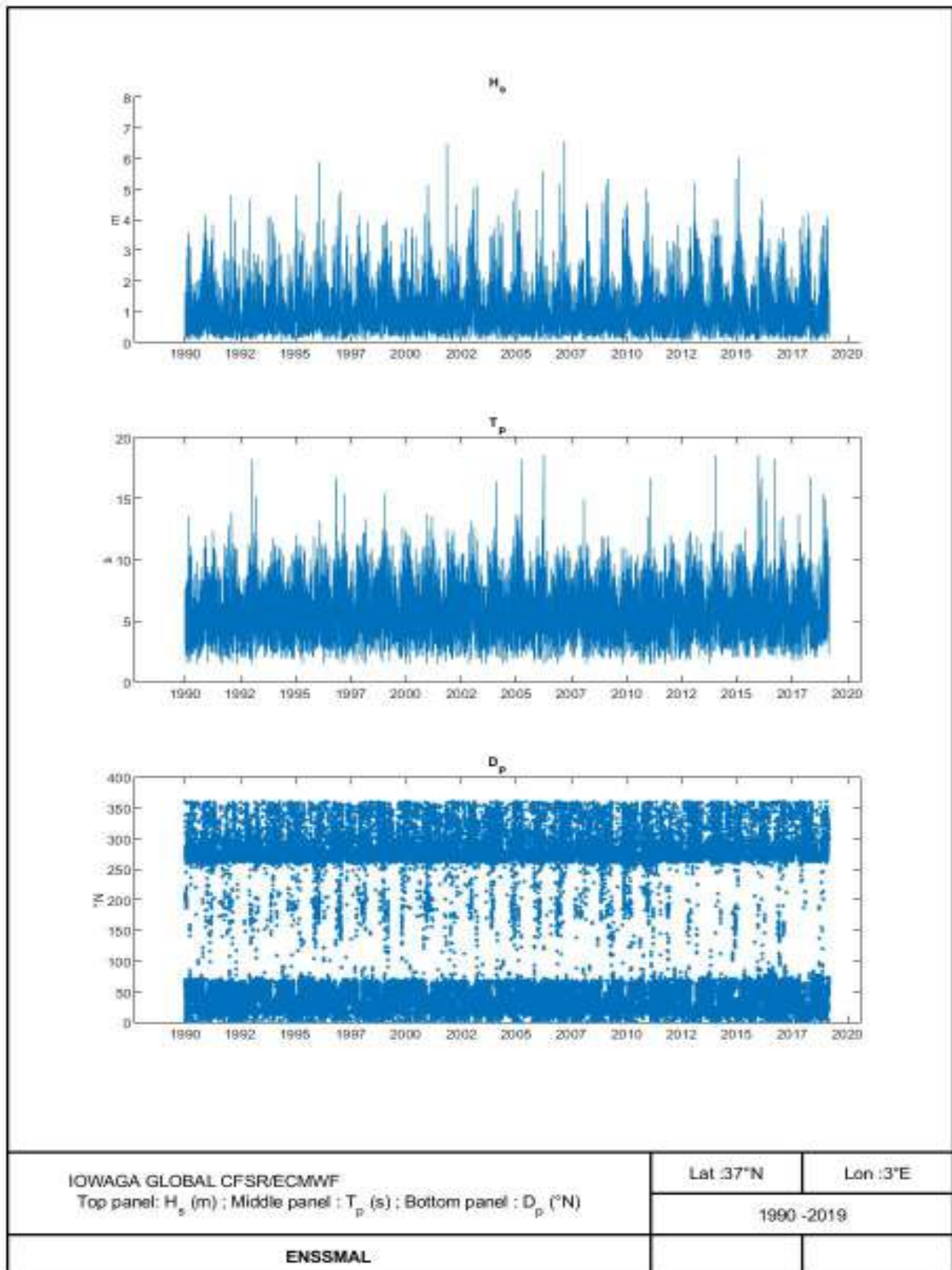


Figure 24: Série temporelle des paramètres de houle – Iowaga 1990-2018

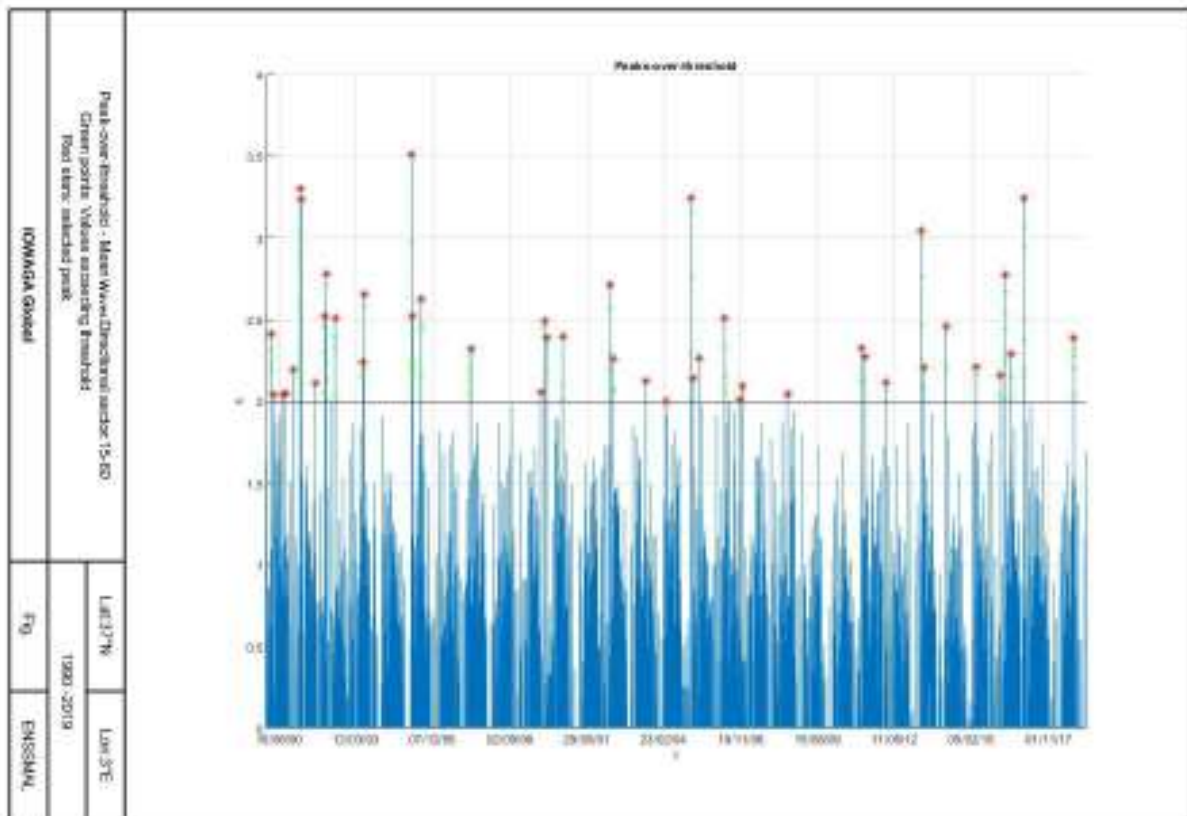
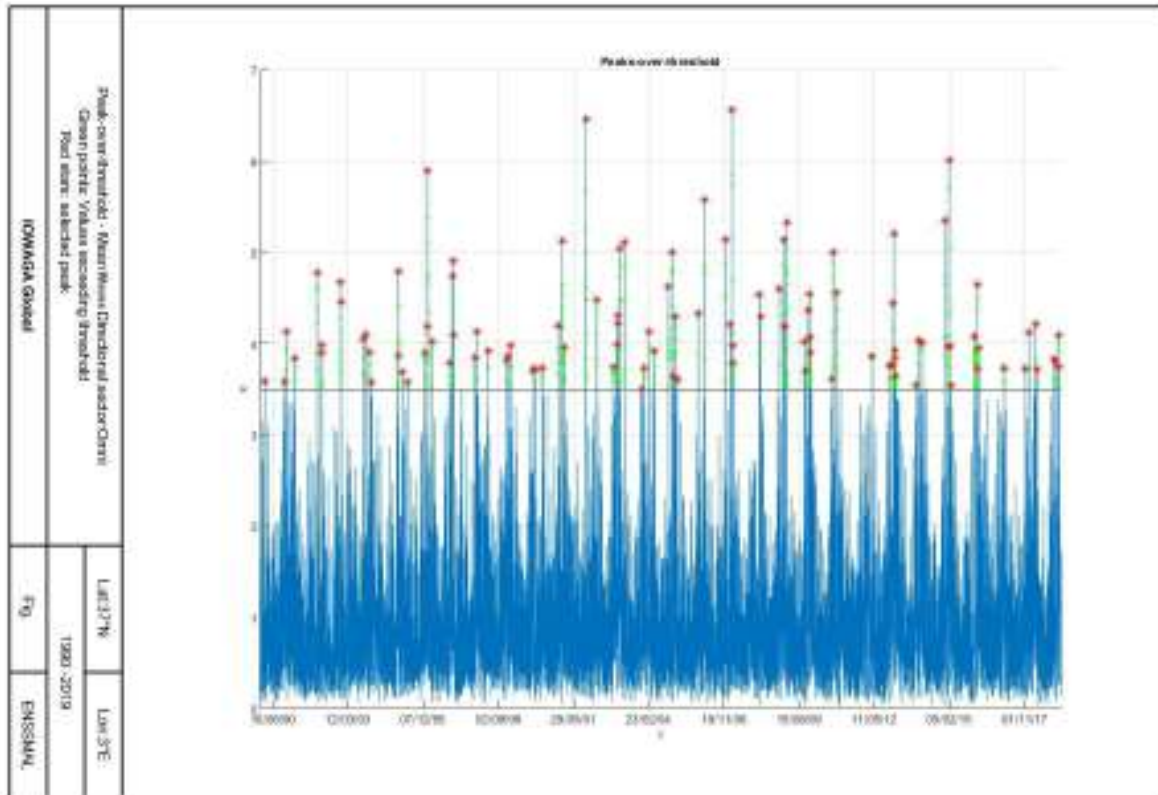


Figure 25 : Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes – Secteur Omnidirectionnel

**Figure 26** : Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes – Secteur 15-60°N

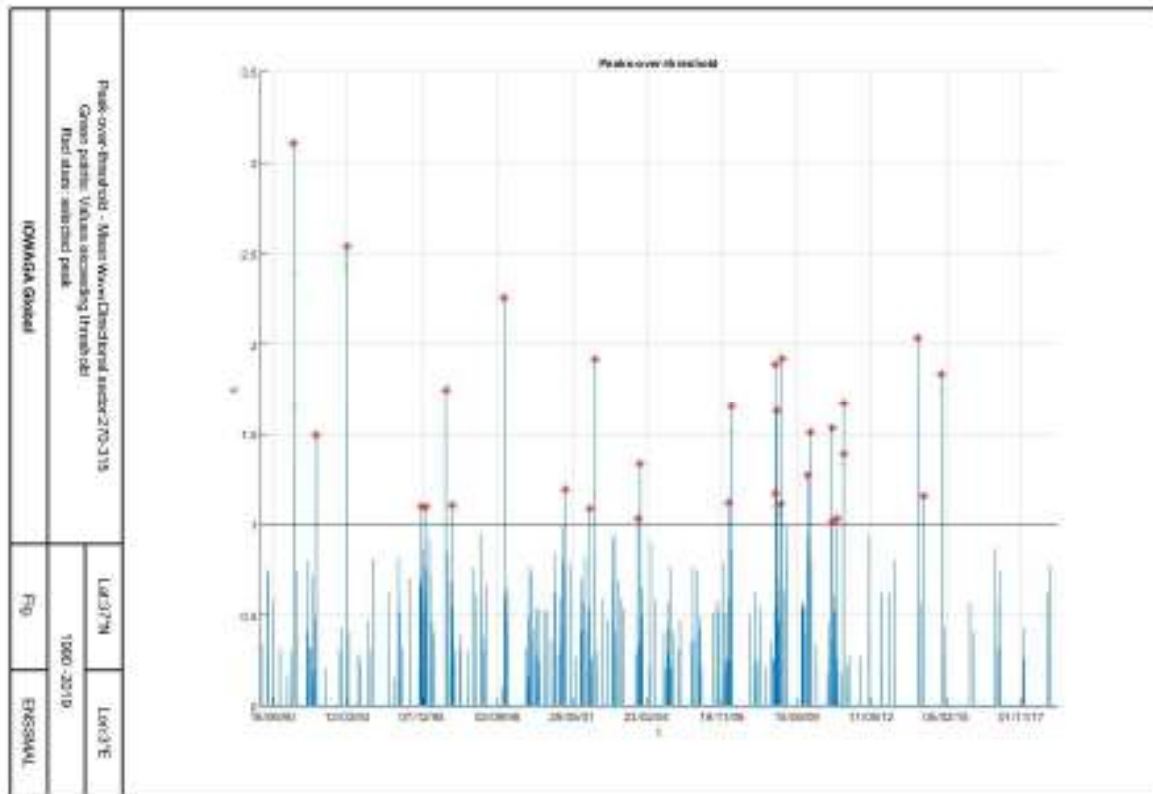


Figure 27 : Les valeurs retenue pour le calcul des extrêmes – Secteur 270-315°N

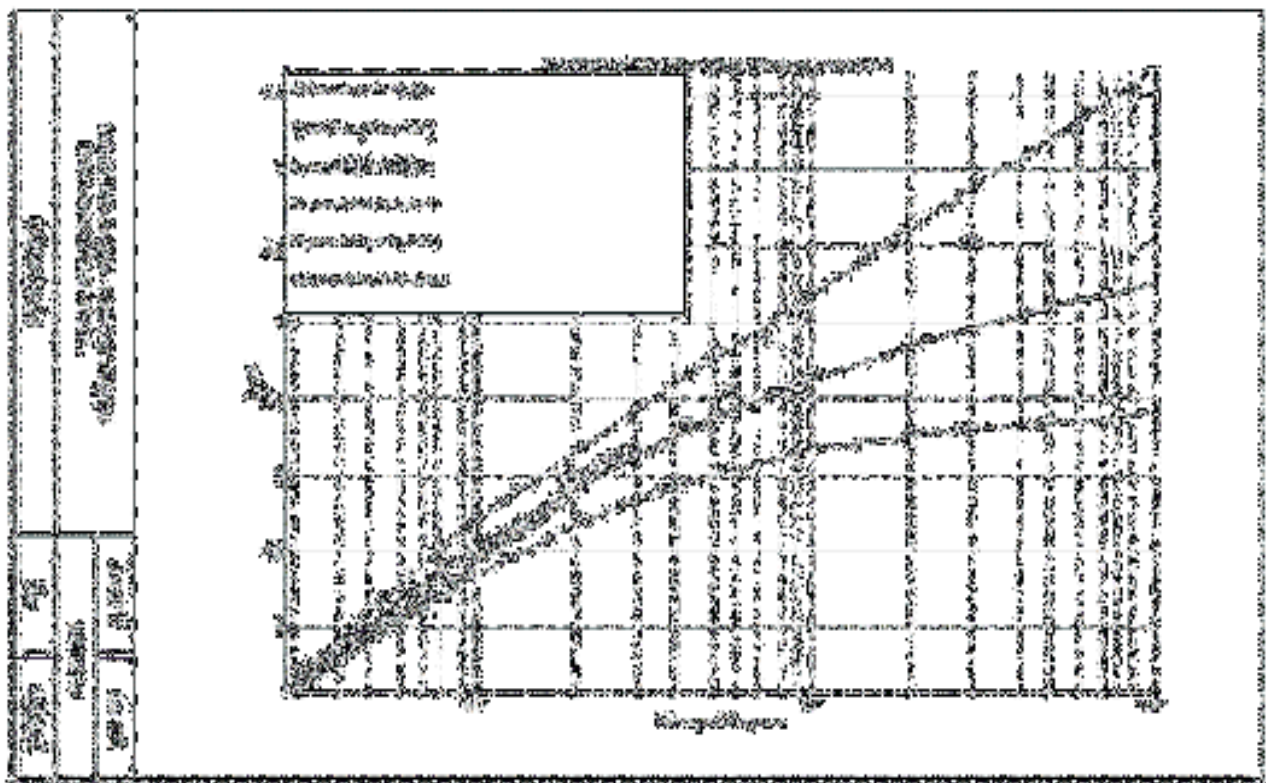


Figure 28 : Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Secteur omnidirectionnel

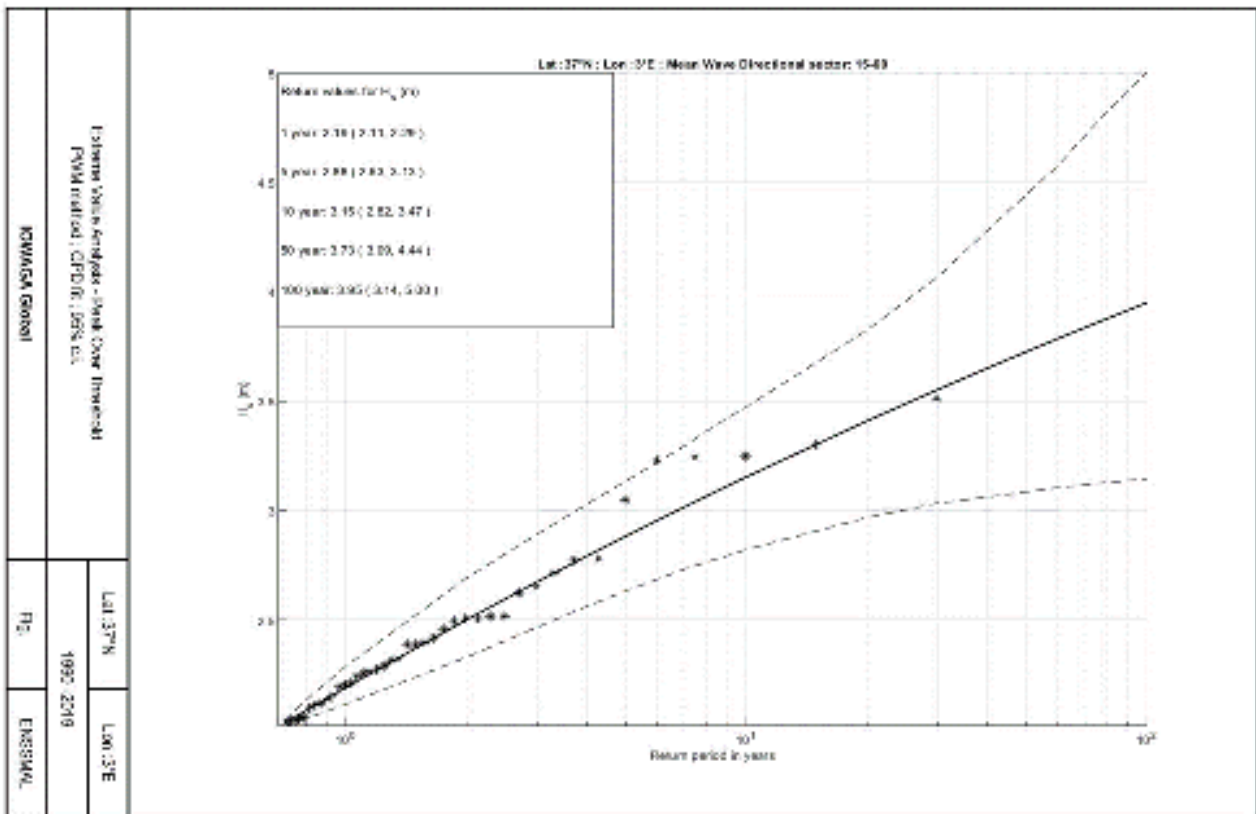
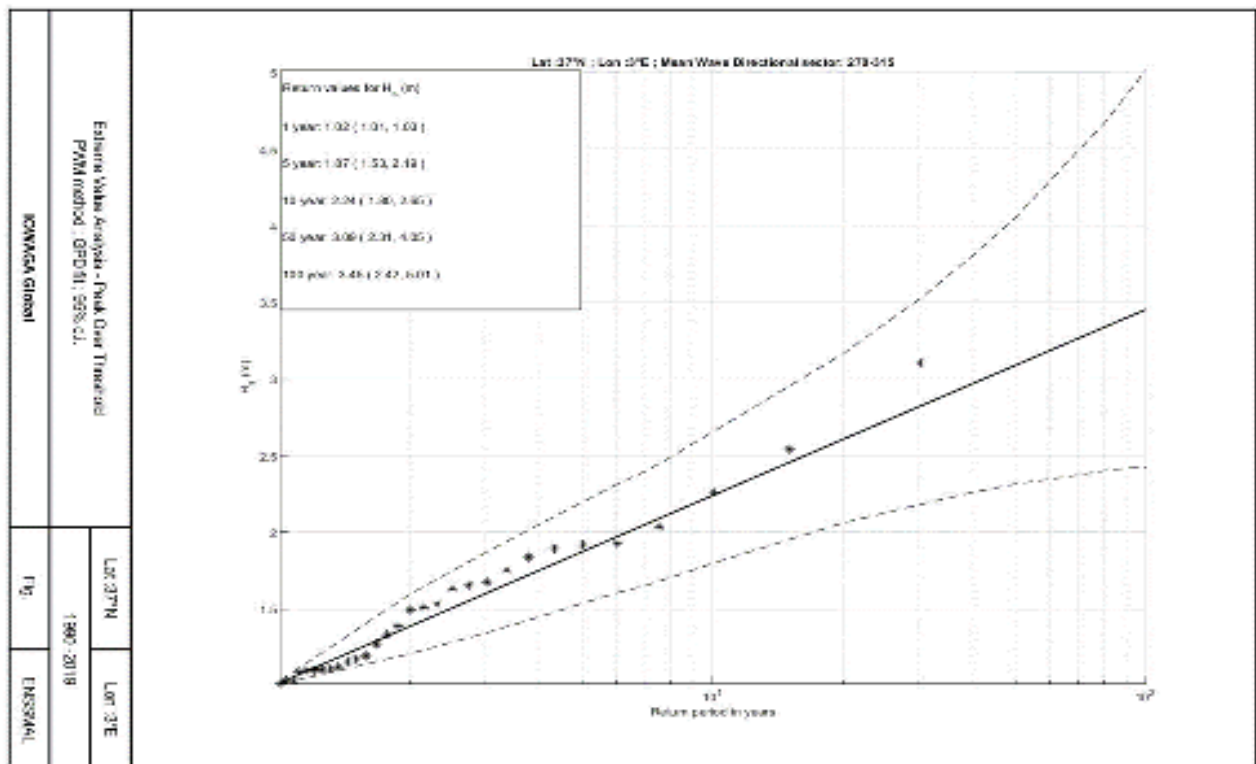


Figure 29 :Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Ajustement



réalisé pour le secteur 15-60°N

**Figure 30** :Extrapolation statistique des valeurs extrêmes des hauteurs de houle – Ajustement réalisé pour le secteur 270-315°N

## Chapitre II : Recueil et traitement des données

Deux approches de définition des conditions de projet ont donc été abordées dans ce chapitre. La première consiste à privilégier les conditions d'agitation compte-tenu de leur impact sur les efforts hydrodynamiques agissant sur le port. La seconde approche, retenue pour l'agitation portuaire, consiste à déterminer les conditions de propagation les plus défavorable vis-à-vis l'orientation de la passe d'entrée.

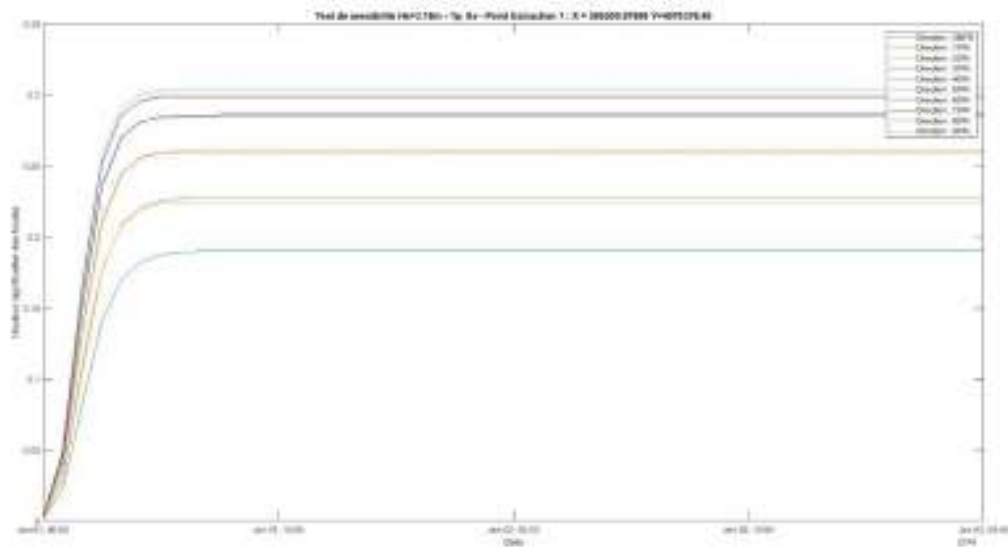
### 3.2 Test de sensibilité

Des tests de sensibilité sur les directions, les périodes ont été menés afin de déterminer les contributions de ces différents phénomènes sur l'agitation de la zone d'étude.

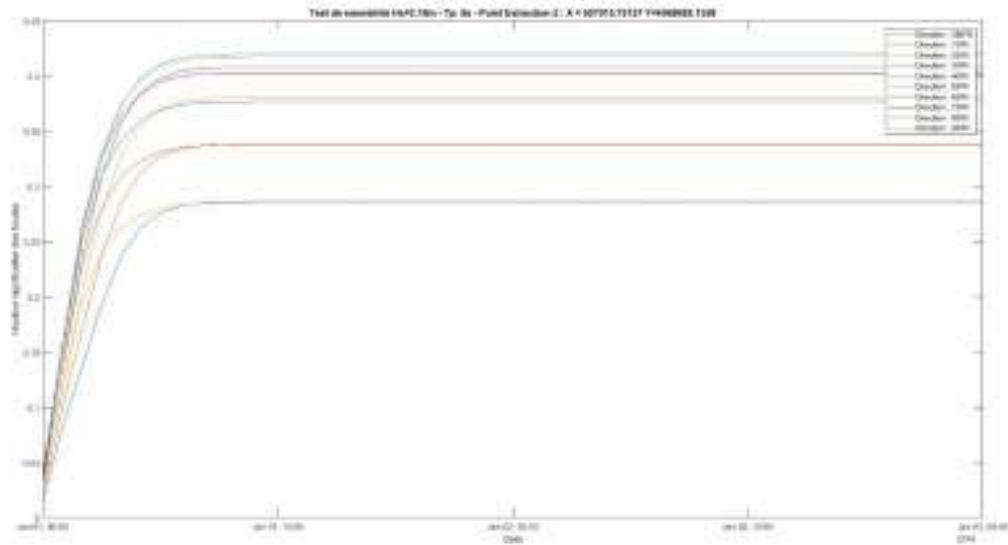
La configuration du port avec la protection des houles offerte par le cap Rais Himidou à l'Ouest tend à limiter les influences des houles de secteur Sud à Ouest (jusqu'à 300°N) sur l'agitation à proximité de l'entrée du port. La réfraction sur les fonds tend à modifier l'angle d'arrivée des houles de secteur Nord-Ouest à Nord vers une orientation Nord-Ouest. Ces remarques ont été vérifiées lors des tests de sensibilité à la direction.

Les tests ont également montré que les houles de secteur 40-50°N génèrent l'agitation la plus importante à l'intérieur du bassin portuaire. En effet des simulations ont été lancées pour des directions Nord à Est avec un pas de direction de 10°. Il faut aussi noter que les autres paramètres de houle n'ont pas été changés.

Ci-dessous, les graphiques des deux points d'extraction (situés aux deux passes d'entrée), montrent l'évolution de la hauteur de houle pour chaque simulation lancée.



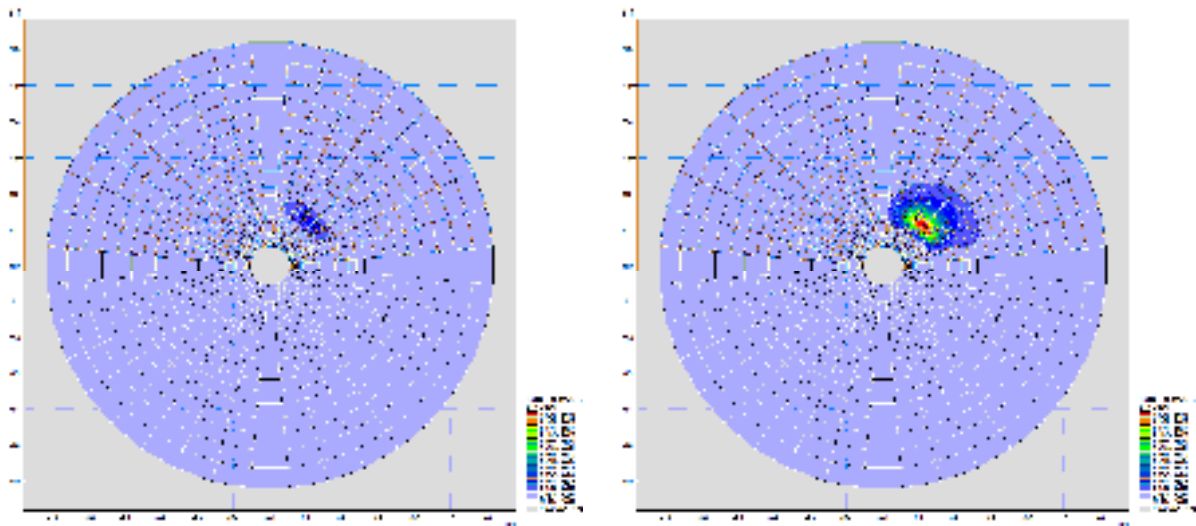
**Figure 31** : Hauteur des houles au point d'extraction 1 – Passe d'entrée Sud



**Figure 32** : Hauteur des houles au point d'extraction 1 – Passe d'entrée Sud

Une analyse du spectre en fréquence/direction à proximité du port issu d'une simulation d'une série temporelle de houle et de vent a permis notamment de bien identifier les influences respectives de la houle provenant du large, de secteur Nord-Est et de la mer du vent (de courte période) levée par des vents dont la direction de provenance ne correspond pas tout le temps à l'orientation de la houle. Deux cas de figures peuvent être observés :

- ✓ Un spectre en énergie présentant un pic bien marqué (Figure 33, à gauche), correspondant aux houles du large, avec une influence minimale du vent. Ces houles présentant une période généralement supérieure à 6s (en période de pic).
- ✓ Un spectre en énergie relativement étalé, qui peut tendre à former 2 pics d'énergie (Figure 33, à droite), correspondant à une houle du large à laquelle se superpose une houle formée par le vent local, correspondant à la mer du vent.



**Figure 33** : Répartition spectrale en densité d'énergie à proximité du port, pour 2 événements de houles différentes

Cette analyse spectrale nous permet de souligner le rôle du vent local dans l'entretien des houles de longue période (>à 6 s). Les houles entretenues par le vent sont susceptibles de générer une agitation plus importante dans le bassin portuaire.

### 3.3 Elévation du niveau de la mer liée au changement climatique

La planète est dans une phase de réchauffement climatique fortement accentuée depuis le siècle dernier par l'activité humaine. Ce réchauffement climatique a une incidence sur la montée du niveau des océans et des mers à travers le monde. Le dernier rapport AR5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) présente les derniers résultats des différents modèles à l'horizon 2100.

Dans l'AR5, sur la base de quatre hypothèses différentes concernant la quantité de gaz à effet de serre qui sera émise dans les années à venir (période 2000-2100), chaque scénario RCP (representative concentration pathways) donne une variante jugée probable du climat qui résultera du niveau d'émission choisi comme hypothèse de travail. Les quatre scénarios sont nommés d'après la gamme de forçage radiatif ainsi obtenue pour l'année 2100 : le scénario RCP2.6 correspond à un forçage de +2,6 W/m<sup>2</sup>, le scénario RCP4.5 à +4,5 W/m<sup>2</sup>, et de même pour les scénarios RCP6 et RCP8.5.

Les résultats sont synthétisés dans les graphiques ci-dessous.

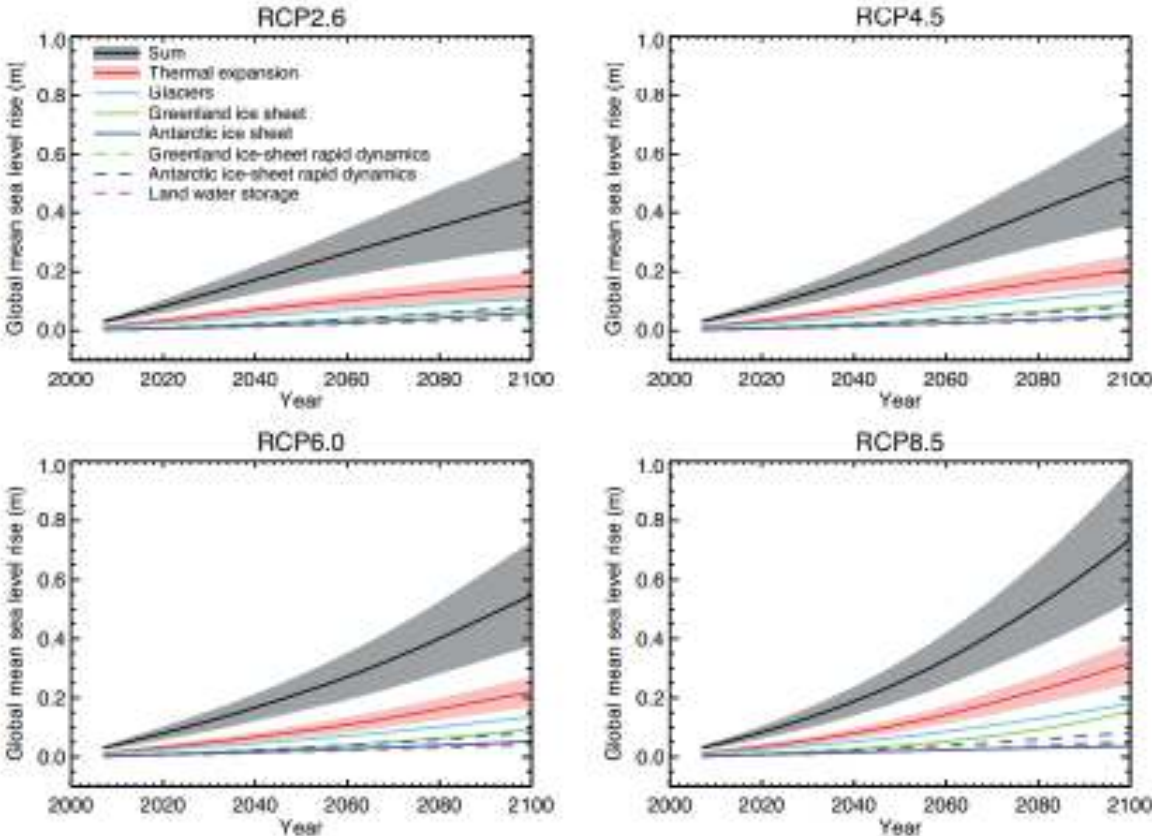


Figure 34 : Projection de l'élévation du niveau marin pour les différents scénarios (IPCC 2013)

# **CHAPITRE III : Modélisation de la propagation de la houle.**

### 1 Présentation de la modélisation

#### 1.1 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 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.)

#### 1.2 Présentation du modèle

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques. il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

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

##### 1.2.1 MIKE SW

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

- **L'équation de base :**

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

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

### Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

Avec  $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$  densité d'action,  $t$  le temps,

$\vec{x} = (x, y)$  Les coordonnées cartésiennes,

$\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$  Est la vitesse de propagation d'un groupe de vagues dans l'espace de phase à quatre dimensions.

$S$  est le terme source pour l'équation de l'équilibre énergétique.

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

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad (2)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial}{\partial} + \vec{U} \cdot \nabla_{\vec{x}} \right] - c_g \vec{k} \frac{\partial}{\partial} \quad (3)$$

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

Ici,  $S$  est la coordonnée de l'espace dans la direction de l'onde  $\theta$ , et  $m$  est une coordonnée perpendiculaire à  $S$ .  $\nabla_{\vec{x}}$  est l'opérateur différentiel bidimensionnel dans l'espace  $x, y$ . (DHI, 2014).

#### 1.2.2 Configuration du modèle et equations.

L'approche spectrale consiste à discrétiser le spectre de variance bi-dimensionnel  $S(f, \theta)$  en direction  $\theta$  et en fréquence  $f$  afin de résoudre une équation de conservation de l'action d'onde, par la méthode des caractéristiques pour discrétiser les termes de propagation.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + x \frac{\partial N}{\partial x} + y \frac{\partial N}{\partial y} + \theta \frac{\partial N}{\partial \theta} + f \frac{\partial N}{\partial f} = \tilde{B} \tilde{Q}(x, y, \theta, f, t)$$

Avec  $N=F/s$  : l'action d'onde

- $F(f, \theta)$ : le spectre de variance.
- $S(f, \theta) = \rho g F(f, \theta)$  : le spectre d'énergie.
- $\rho$  : densité.
- $g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$
- $f$  : fréquence.
- $\theta$  : direction de propagation.

### Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle

Cette équation introduit des termes sources et puits (termes de droite) pour prendre en compte les processus suivants :

- ✓ La génération par le vent,
- ✓ La dissipation d'énergie par moutonnement,
- ✓ Les interactions non-linéaires entre fréquence,
- ✓ La dissipation d'énergie par frottement sur le fond et par déferlement.

Les effets de la réfraction et du shoaling sont pris en compte dans les termes de propagation. Ne sont pas pris en compte les effets de la diffraction et de la réflexion (**Le module d'agitation portuaire ARTEMIS calculera ces effets. Voir le chapitre Agitation portuaire**).

Le terme source est proportionnel au rapport entre la vitesse de frottement  $u_*$  dû au vent et la célérité de la houle.

Le terme de proportionnalité est calculé en fonction des deux paramètres adimensionnels suivants :

- ✓  $A = \frac{u_*}{c}$
- ✓  $\Omega = \frac{gz_0}{u_*^2}$

$z_0$  étant la hauteur de rugosité à l'interface mer-océan et  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  la gravité.

Ce terme source fait intervenir plusieurs coefficients empiriques qui peuvent être ajustés le cas échéant. Les valeurs par défaut du modèle ont été utilisées :

- ✓ Coefficient b de génération de la houle :  $b=1.2$
- ✓ Constante de Charnock :  $a=0.01$
- ✓ Coefficient de frottement quadratique :  $C_d = \frac{u_*^2}{U_{10}^2} = 1.2875 \cdot 10^{-3}$

Avec  $U_{10}$  la vitesse du vent à 10m.

- Dissipation de la houle par moutonnement

Le terme de dissipation fait intervenir un coefficient de proportionnalité ( $C=4.5$ ), d'après la formulation de Komen et al.

- Dissipation de la houle par frottement sur le fond

La formulation de Hasselman par défaut est utilisée pour le frottement sur le fond.

- Discrétisation spectrale et directionnelle

## Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle

Un spectre bi-dimensionnel  $S(f, q)$  permet de décrire de manière continue un état de mer. Par définition  $S(f, q) \cdot df \cdot dq$  représente la contribution des ondes de fréquence comprises entre  $f$  et  $f+df$  et de direction comprise entre  $q$  et  $q + dq$ .

La discrétisation du spectre en un nombre  $N_f$  de fréquences est calculée suivant une progression géométrique de raison  $r > 1$ .

$$f_i = f_{\min} r^{i-1} \quad i = 1, \dots, N_f$$

La fréquence maximale correspond à  $f_{\max} = f_{\min} r^{N_f-1}$

Le spectre d'énergie de la houle est discrétisé en  $N_f$  fréquences et  $N_p$  directions.

La variance totale de la surface libre est donnée par :

$$m_0 = \iint S(f, \theta) df d\theta$$

Le spectre bi-dimensionnel est le produit du spectre mono-dimensionnel  $S(f)$  et de la distribution angulaire :

$$S(f, \theta) = S(f)D(\theta)$$
$$D(\theta) = G \cos^{2s} \frac{(\theta - \theta_m)}{2}$$

Avec  $s$  : directional spreading

$\theta_m$  : direction moyenne de propagation

Le paramètre  $s$  contrôle l'étalement du spectre par rapport à la direction moyenne.

## 2 Mise en place du modèle

### 2.1 Maillage et bathymétrie

Les changements morphologiques du domaine marin ont pu être observés sur des cartes bathymétriques. Au total trois cartes bathymétriques ont été acquises pour l'ensemble de la zone, la baie et le port d'Alger à partir de février 2020 jusqu'en Mars 2020 (**données Navionics**). Cette base de données a été complétée par plusieurs levés au large réalisés par GEOBCO, afin d'obtenir une carte globale de la région à partir de la ligne de cote jusqu'au large (plus de 2700 m de profondeur).

Les données bathymétriques proviennent de captures prenant de la base de données Navionics (précision 0.5m). Ces captures sont bien geo-référencés grâce à logiciel ArcGis et à l'aide d'une

### **Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle**

---

image satellitaire de résolution de 50cm. Les données recueillies de la digitalisation des isobathes sont étaient enregistrées sous forme d'un fichier XYZ.

#### **2.1.1 Création 2D Bathymétries sous le maillage**

Le module ‘*MeshGenerator*’ nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. ‘*MeshGenerator*’ génère un format souple de maillage (\*. Mesh).

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.

Le maillage en éléments finis autorise une grande souplesse dans la représentation de zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner localement les mailles aussi précisément que voulu. Dans le modèle utilisé, la taille des mailles est de l'ordre de quelques kilomètres aux limites du modèle tandis que dans les zones les plus sensibles, elle est d'environ 20 mètres. Cette gradation de la définition du maillage permet d'optimiser le rapport entre une bonne représentation des phénomènes physiques dans les petits fonds et des temps de calculs raisonnables. Le maillage mis en place est utilisé pour l'ensemble des études présentées dans ce document.

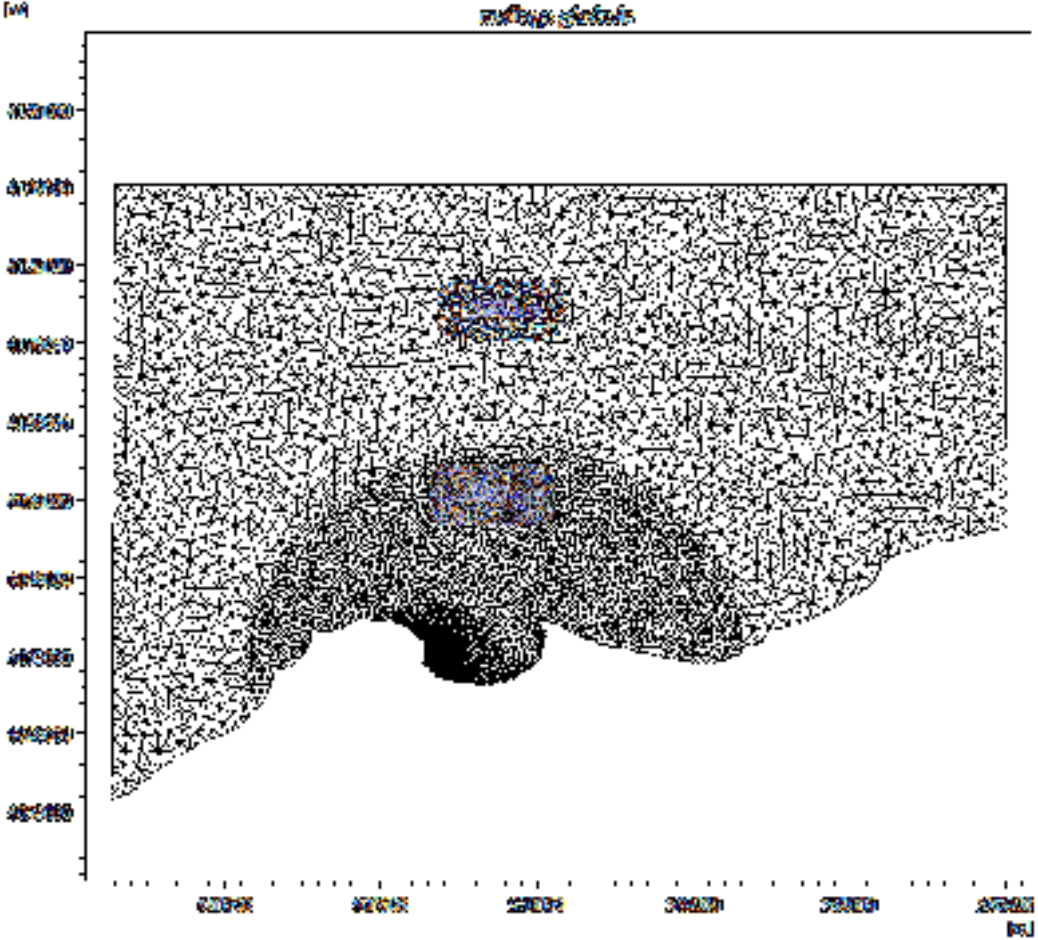


Figure 35: Maillage du modèle sur l'ensemble de la zone.

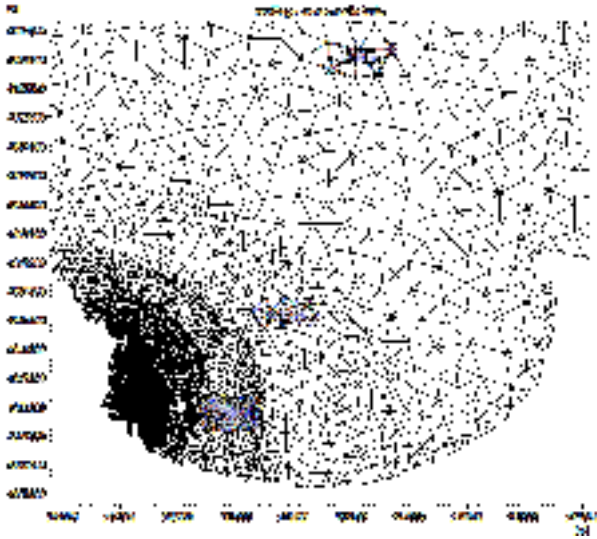


Figure 36: :Maillage du modèle zoom sur la baie.

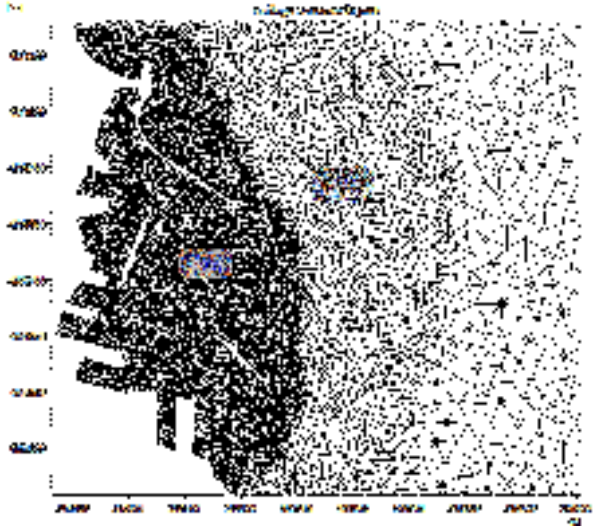


Figure 37: : Maillage du modèle zoom sur le port.

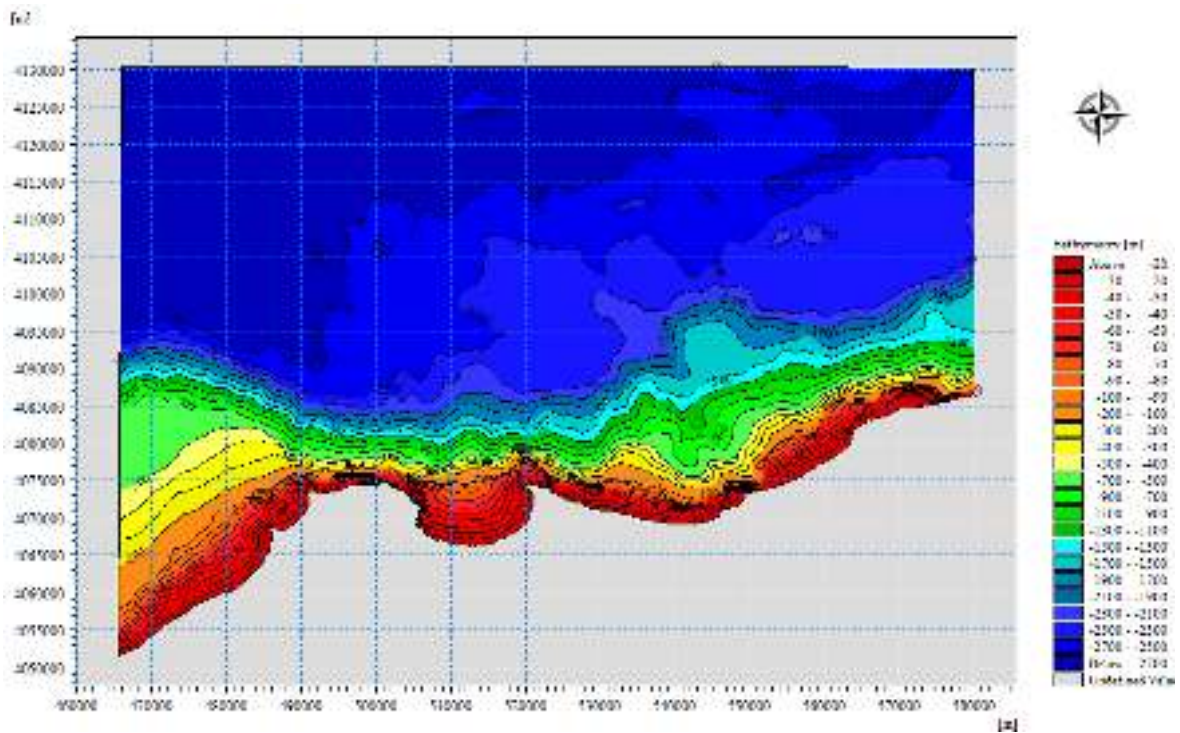


Figure 38: Bathymétrie du modèle sur l'ensemble de la zone.

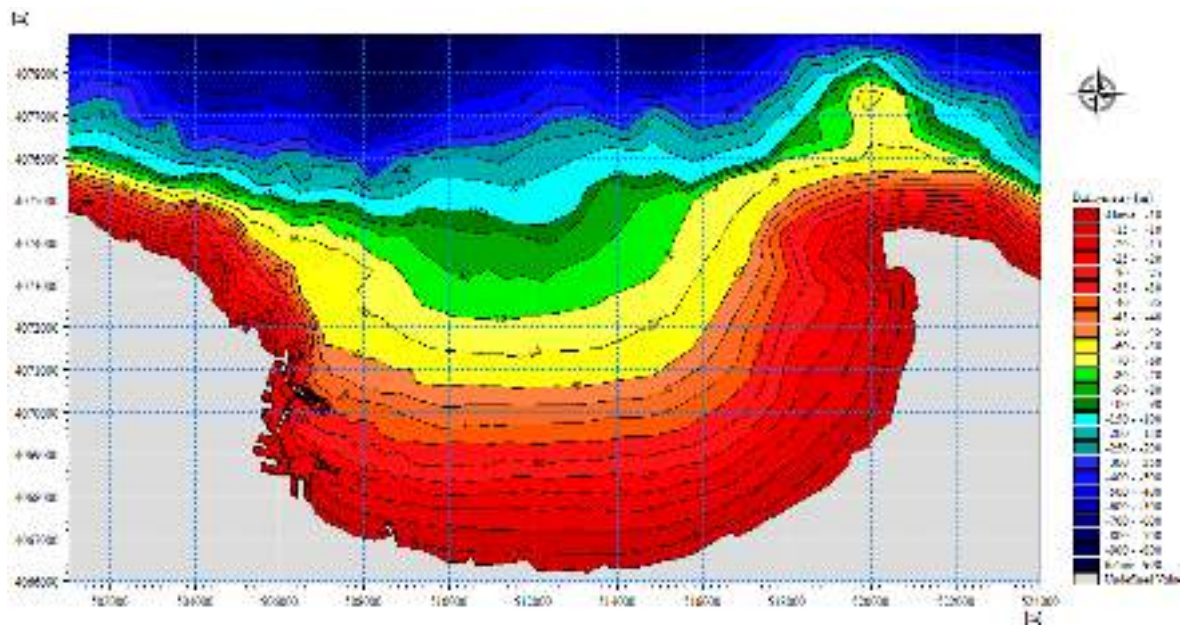


Figure 39: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger

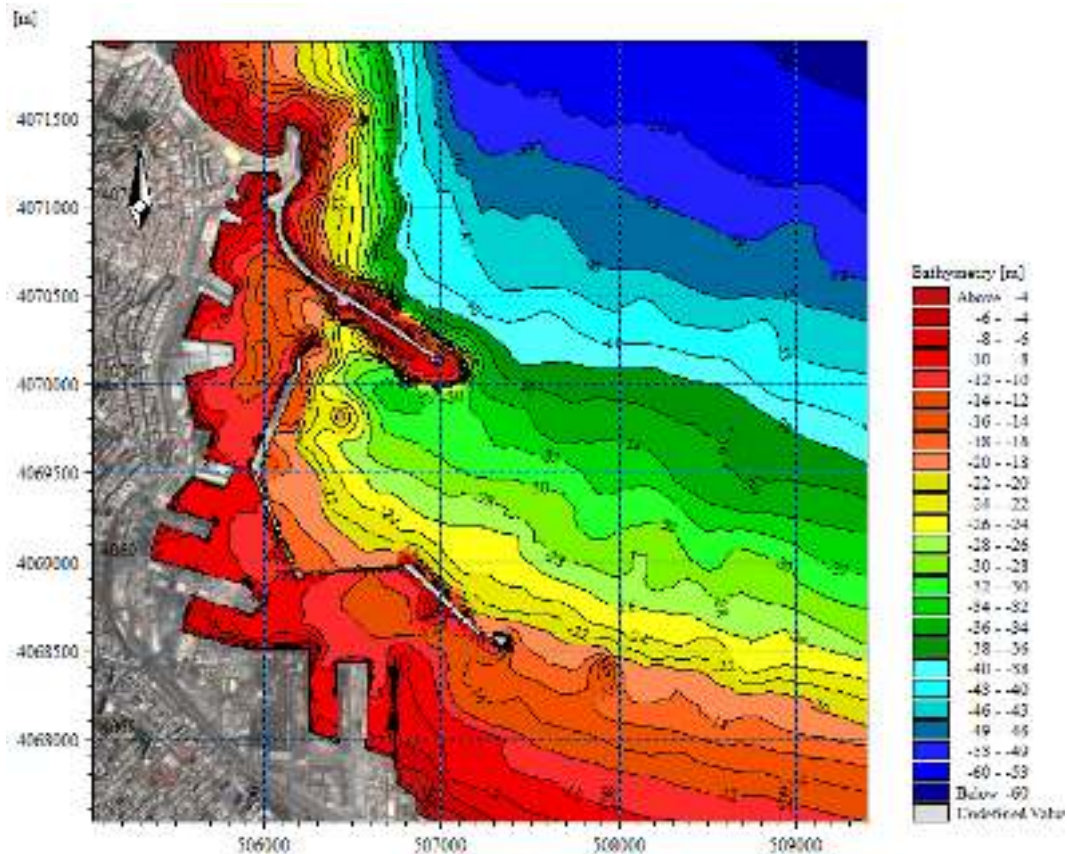


Figure 40: Bathymétrie du modèle zoom sur le port.

### 2.2 Interprétation des résultats bathymétriques

#### ✓ Toute la zone :

Après avoir conçue la carte bathymétrique de l'ensemble de la zone, nous avons pu constater que le plateau continental est très réduit.

De point de vue globale, la pente au pré de la côte est considérée forte jusqu'aux profondeurs voisines de -40, au-delà les isobathes deviennent espacées, donc la pente est devenue faible jusqu'aux limites du plateau continental au voisinage des isobathes -100. Puis nous remarquons un changement très important au niveau de la pente, et elle devient abrupte jusqu'on arrive aux grands fonds marins où les profondeurs se stabilisent entre -2700m et -2900m

#### ✓ La Baie d'Alger

Après avoir conçue la carte bathymétrique de la baie d'Alger, nous avons pu faire les constatations suivantes :

Deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence :

- **Une zone au large** : montre des isobathes généralement régulières (entre -30 à -100 m), parallèles au rivage, elles sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier.

### **Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle**

---

Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. Cependant, à l'Est de Cap Matifou, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement des fonds rocheux.

- **Une zone côtière :** montre de l'isobathe généralement hétérogène bien serrée (entre -0.5 à -30m) et une morphologie particulière caractérisée par la présence de rides d'avant côte discontinue, cette irrégularité est due au rapport de l'Oued el Harrache et l'implantation des ouvrages de protections (Sablettes,...). La zone Est est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Des zones d'étude ont été choisies sur ce littoral.

#### ✓ **Port d'Alger :**

Le port d'Alger est divisé en trois bassins (vieux port, Agha et Mustapha). La bathymétrie varie du bassin à l'autre.

- **Le bassin vieux port :**

Les profondeurs varient entre -4 m et -19 m, les petites isobathes sont relevées au long de la jetée de vieux port, et au niveau des moles, ces profondeurs augmentent avec une pente relativement douce allant jusqu'à -19m au niveau de la passe Nord.

La profondeur moyenne du bassin est de -10 m à -15 m.

- **Le bassin de l'Agha :**

Les profondeurs varient entre -6 m et -11 m, les plus importantes sont situées à l'intérieur du bassin -10 m et -11 m et diminuent progressivement en allant vers les darses et la jetée Agha jusqu'à -6 m.

- **Le bassin Mustapha :**

Les profondeurs de ce bassin sont comprises entre -4 m et -15 m. L'essentielle des profondeurs sont comprises entre -8 m et -13 m.

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

### 3 Les conditions de projet à simuler

Le Tableau ci-dessous récapitule Les conditions océano-météologiques en entrée du modèle. Ces conditions déterminées après l'analyse des différents résultats (voir chapitre II).

**Tableau 1:** Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions.

| Numéro de simulation | Scénario      | Hauteur Hs (m) | Période Tp (s) | Direction en degré /Nord | Niveau d'eau (m) | Période de retour |
|----------------------|---------------|----------------|----------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| 1                    | Nord-Est      | 2.19           | 9              | 50                       | 0.34             | 1 an              |
| 2                    | Nord-Est      | 2.88           | 9              | 50                       | 0.34             | 5 ans             |
| 3                    | Nord-Est      | 3.40           | 10             | 50                       | 0.34+0.3         | 20 ans            |
| 4                    | Nord-Est      | 3.95           | 12             | 50                       | 0.34+1.5+0.3     | 100 ans           |
| 5                    | Nord-Nord-Est | 7.2            | 14             | 30                       | 0.34+1.5+0.3     | 100 ans           |
| 6                    | Nord-Ouest    | 3.09           | 10             | 300                      | 0.30+1.5         | 50 ans            |
| 7                    | Nord-Ouest    | 3.45           | 10             | 300                      | 0.3+1.5+0.3      | 100 ans           |

✓ Les niveaux d'eau adoptés pour le modèle sont :

- ❖ **Cas pour les périodes de retour (1 an et 5 ans) :** 0.34m. 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).

### 4 Résultats

Des simulations de propagation des vagues ont été réalisées avec le modèle MIKE SW pour les différentes conditions retenues. Les paramètres de la houle, pour les conditions retenues, ont été appliqués aux limites du modèle.

Les valeurs des hauteurs significatives des vagues ont pu être déterminées spatialement et représentées graphiquement.

### **Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle**

Les résultats en termes des hauteurs significatives sont présentés sur les figures ci-après et reprennent la nomenclature des conditions de projet.

Il est utile de signaler, que toutes les modélisations ont été associées à un vent constant moyen équivalent à 12 m/s et direction 60°, en effet le couplage entre un vent d'une période de retour avec une houle d'une même période de retour, ramène à des valeurs hautement surestimées.

La solution qui a été proposée est la détermination d'une probabilité d'occurrence des couples vents/houles, appelé communément la probabilité conjointe ou croisée.

La probabilité d'occurrence ne fera pas l'objet de cette étude, la vitesse et direction du vent constant choisi correspond à un vent moyen utilisé pour l'ensemble des modèles.

Les résultats présentés ici n'ont pour objectif que de fournir les conditions aux limites du modèle d'agitation en phase 2. Néanmoins, la lecture de ces résultats permet de dresser les constats suivants :

#### **4.1 Pour les houles de direction Nord-Est**

Comme mentionné précédemment, pour le secteur Nord-Est, les modélisations ont été faites pour les périodes de retour 1ans, 5 ans, 20 ans et 100 ans.

Le même acheminement est remarqué pour cette direction. La houle arrivant au large est atténuée au contact du fond, la houle perd 25 à 30 % de sa hauteur.

Les directions n'ont pas été modifiées par réfraction, aux alentours du port, les houles présentent une direction de 50°. Aucun effet de réfraction bathymétrique a signalé.

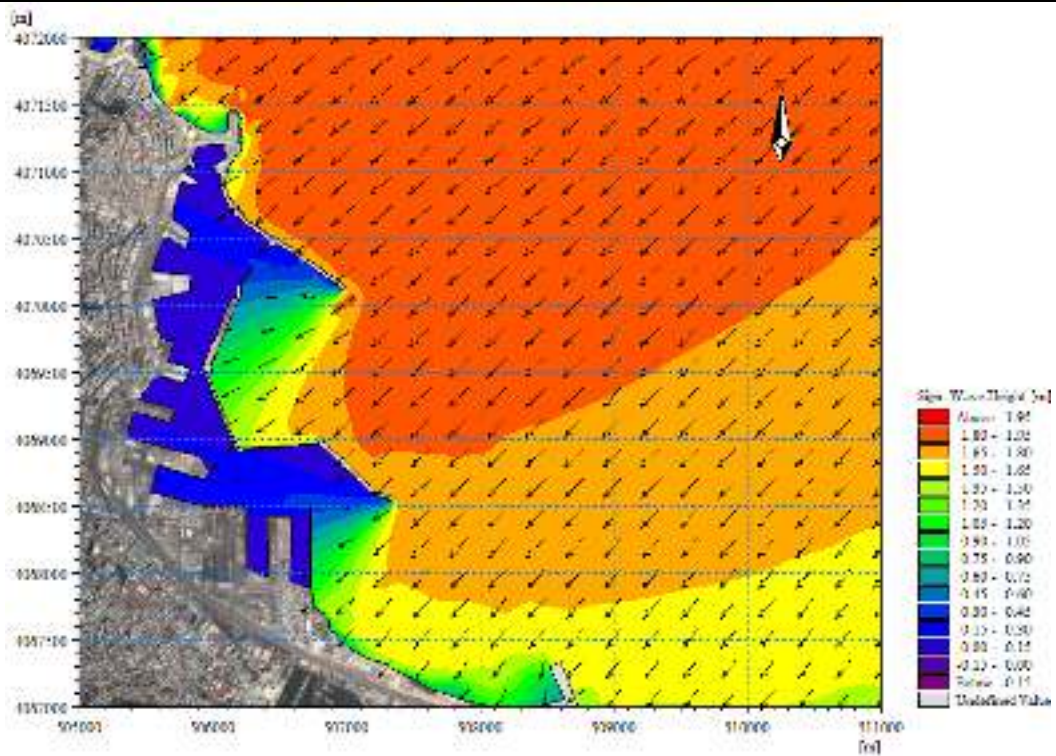


Figure 41 : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 1 an

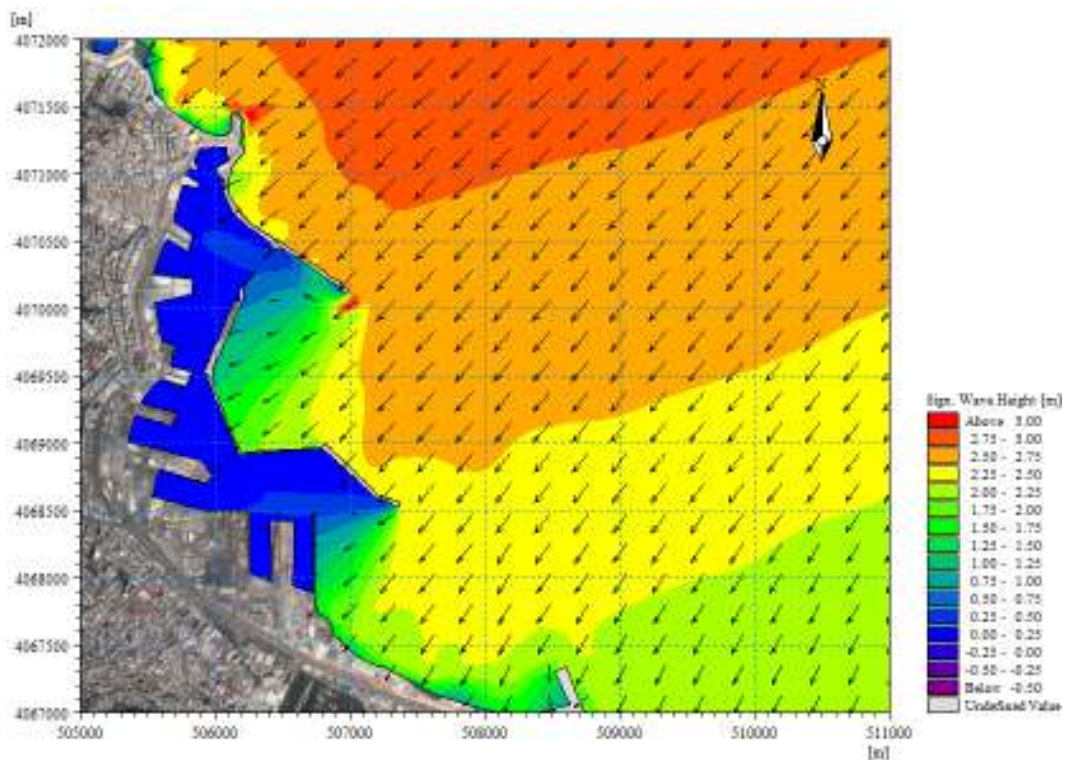


Figure 42 :Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 5 ans

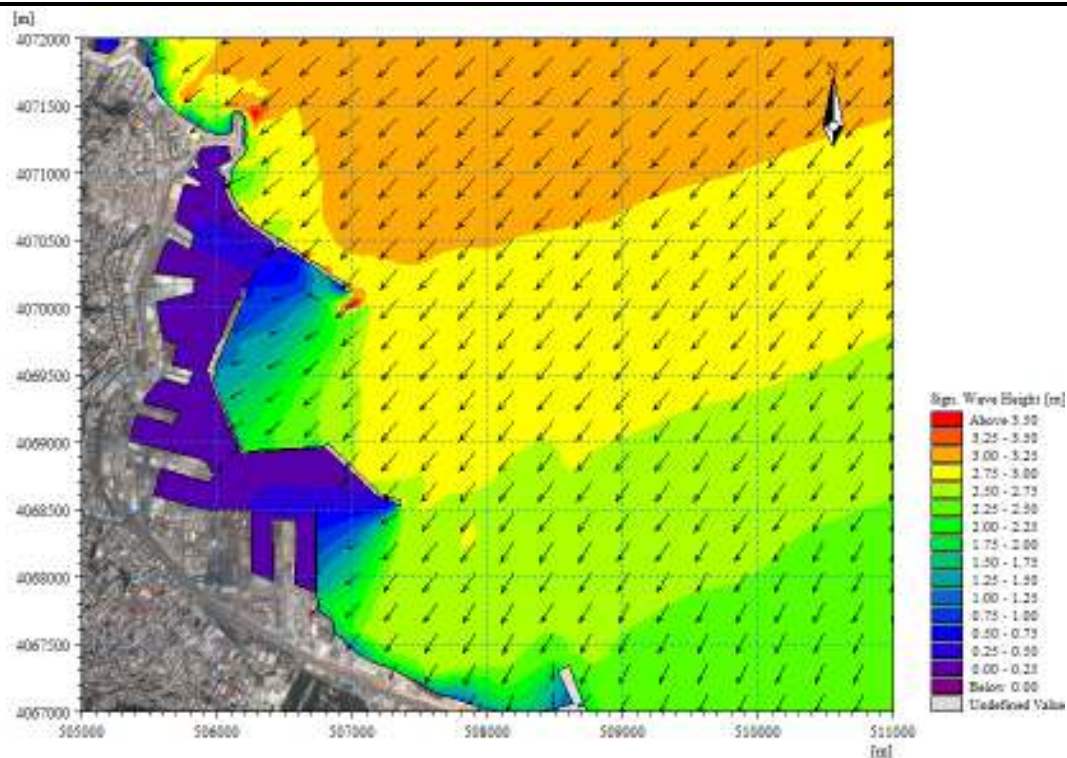


Figure 43 : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 20 ans

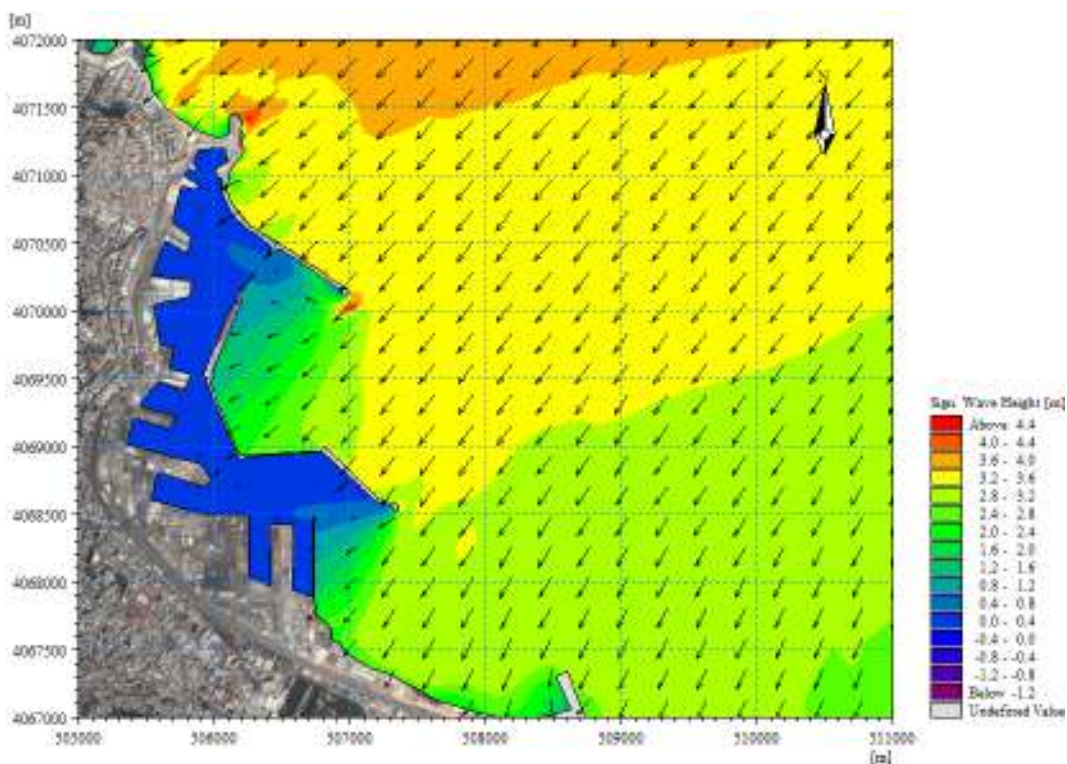


Figure 44 : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 100 ans

### 4.2 Houle Nord-Nord-Est (30°)

Pour le secteur Nord-Nord-Est, il a été décidé de modéliser une seule période de retour (la centennale). Il convient de garder à l'esprit que la direction 30° n'est pas une direction pénalisante d'un point de vue de l'orientation des passes d'entrée du port. Cependant il a été jugé nécessaire compte tenu de l'effet de « tempête » et les grandes hauteurs de houle arrivant du large.

Les houles se propagent du large avec une hauteur de 7.2 m, une atténuation de houle par l'effet de la bathymétrie est enregistrée en se rapprochant de la cote, la houle ne subit pas de réfraction. Les valeurs de Hs aux environs du port atteignent 4.5 m.

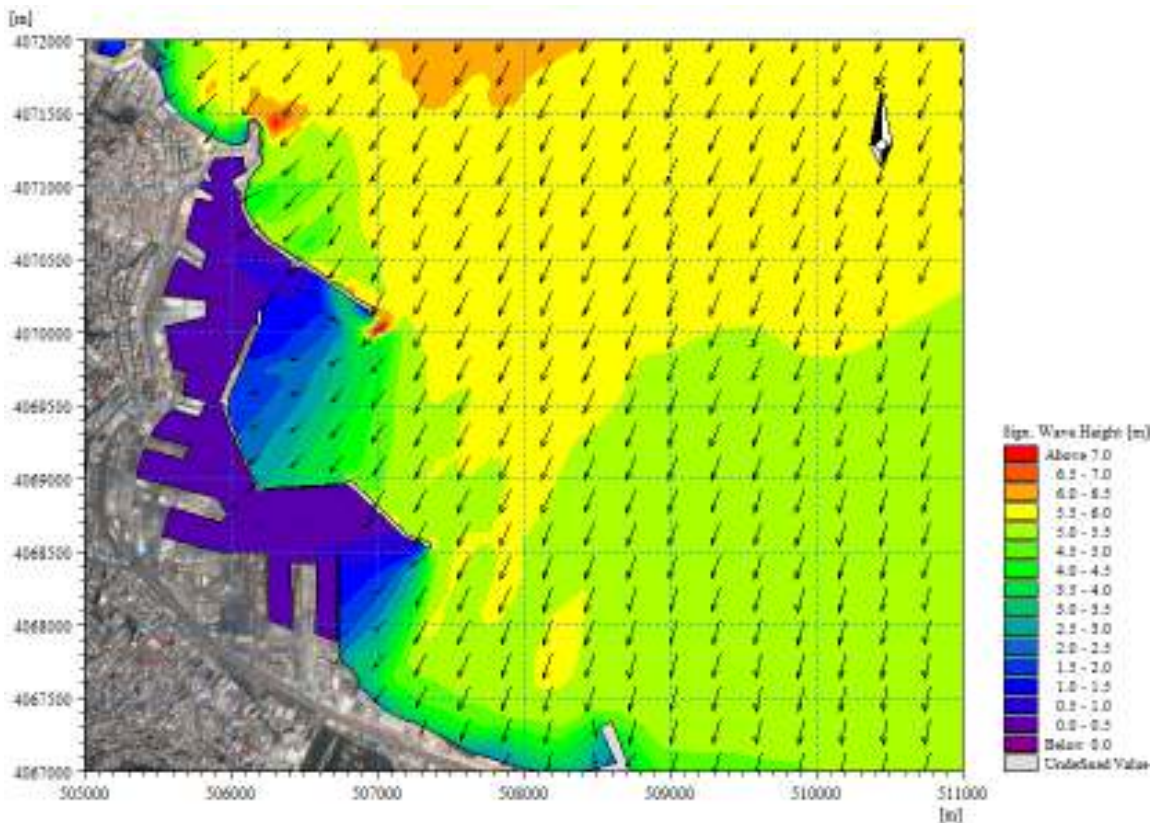


Figure 45 : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 30°N de période de retour 100 ans

### 4.3 Houle de secteur Nord -Ouest

Les planches ci-dessous, présentent les résultats des simulations pour le secteur Nord-Ouest (300°N) en périodes de retour cinquantennale et centennale.

Les deux modèles présentent une atténuation de houle par l'effet de fond, les directions sont également fortement modifiées par réfraction. En effet les houles aux alentours du port présentent une direction de 20 à 30°.

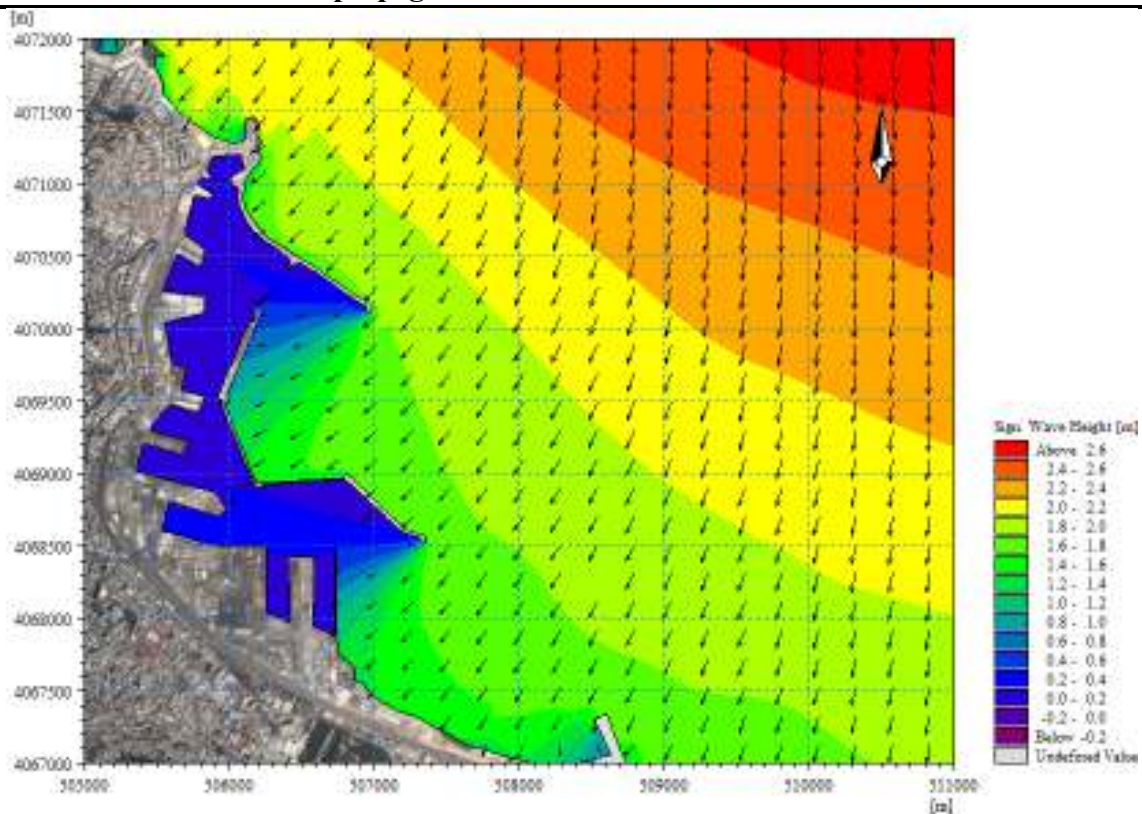
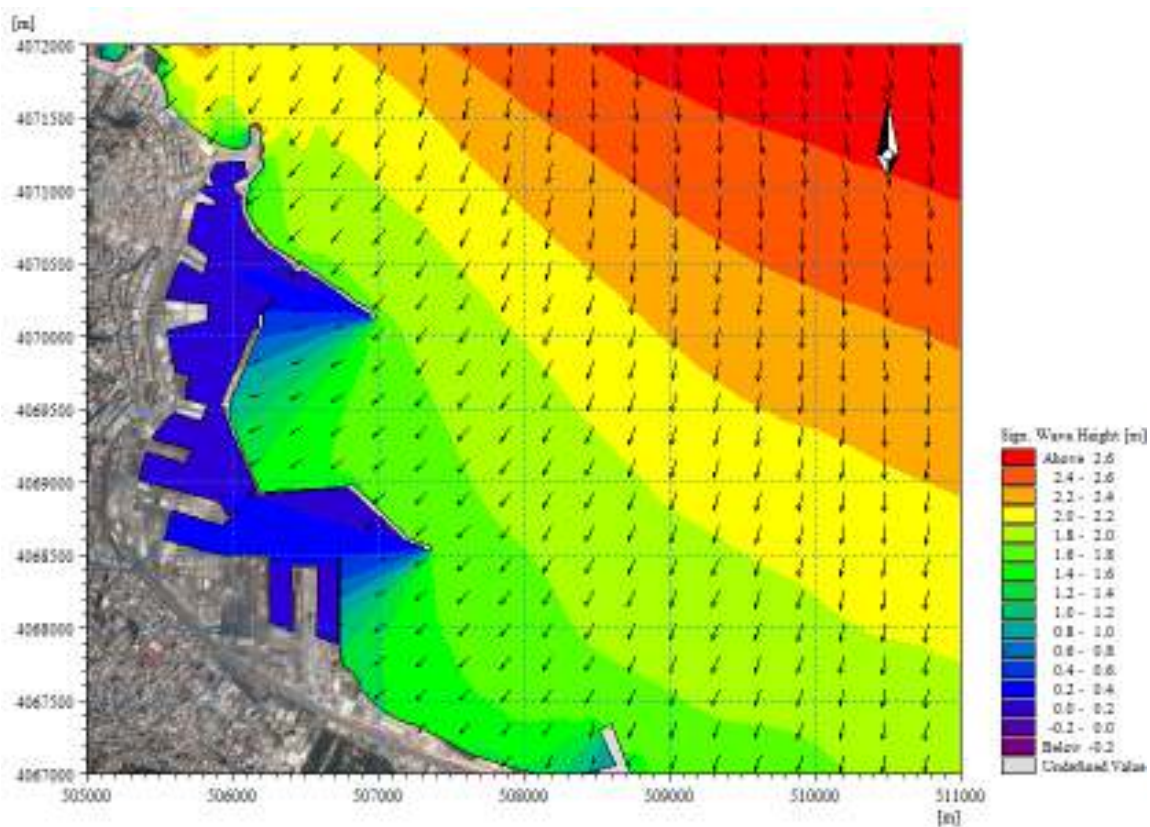


Figure 46 :Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 300°N



de période de retour 50 ans

### **Chapitre III : Modélisation de la propagation de la houle**

---

**Figure 47 :** Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 300°N de période de retour 100 ans

# **Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire**

### 1 Objectifsetméthodologie

L'objectif du modèle d'agitation portuaire est d'étudier les effets de la houle sur le plan d'eau, en tenant compte des interactions houle/structures de type réflexion et diffraction.

Les simulations permettent dans un premier temps de caractériser l'agitation dans le port en l'état actuel, puis dans un second temps de définir et d'analyser les impacts de l'augmentation du tirant d'eau dans le bassin portuaire.

### 2 Logicielutilisé

Le code ARTEMIS (Agitation and RefractionwithTElemac on a MIldSlope) résout l'équation de Berkhoff 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,

Cependant, 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).

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

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. (**système de modélisation TELEMAC- Logiciel ARTEMIS notice théorique et manuel utilisateur. V6.2**)

ARTEMIS est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) de la Recherche et Développement d'EDF.

### 3 Mise en place du modèle d'agitation portuaire

#### 3.1 Emprise du modèle et présentation du maillage

Le modèle réalisé s'étend sur environ 3.3 km du Sud au Nord, et sur environ 2.8 km de l'Est à l'Ouest.

L'emprise du modèle a été choisie afin de prendre en compte les effets de la houle au large sur la zone portuaire.

Le maillage est constitué d'éléments finis triangulaires obtenus grâce au logiciel de pré et post traitement Bluekenue. Les tailles des mailles sont comprises entre 1.5 et 3 m afin de respecter les recommandations (taille des mailles inférieure à longueur d'ondes divisée par 7). Au total le modèle, compte plus de 868 000 mailles.

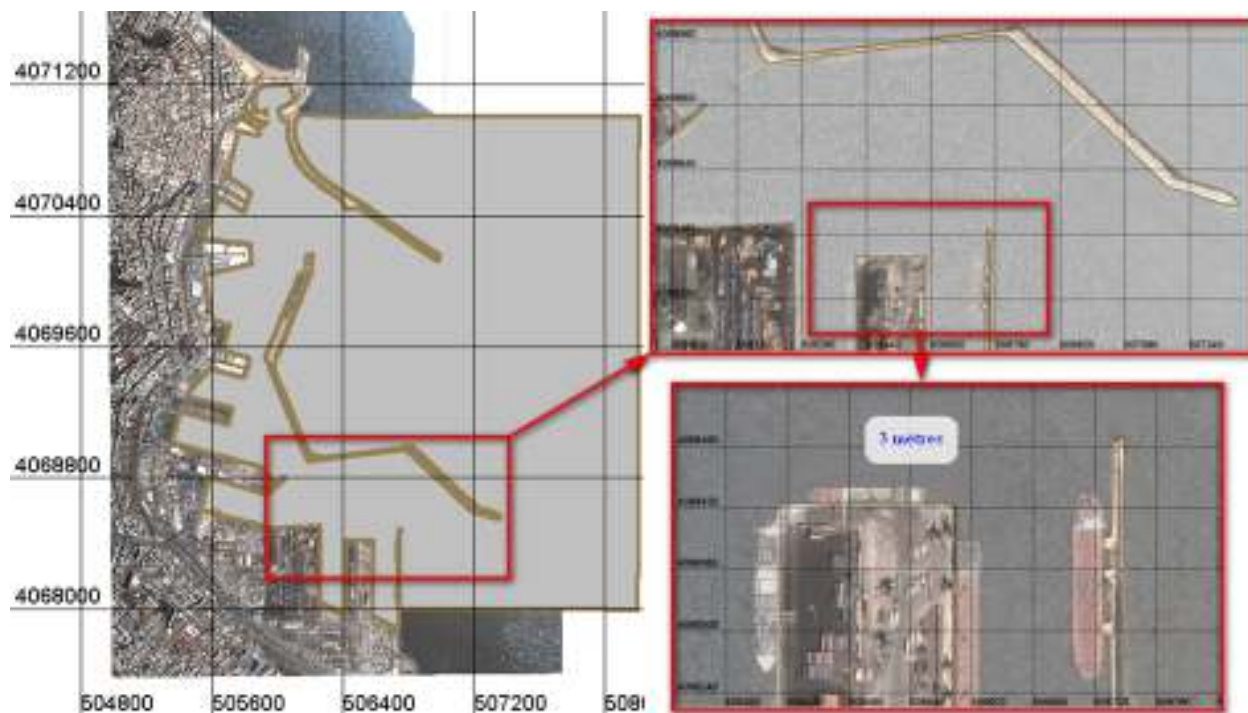
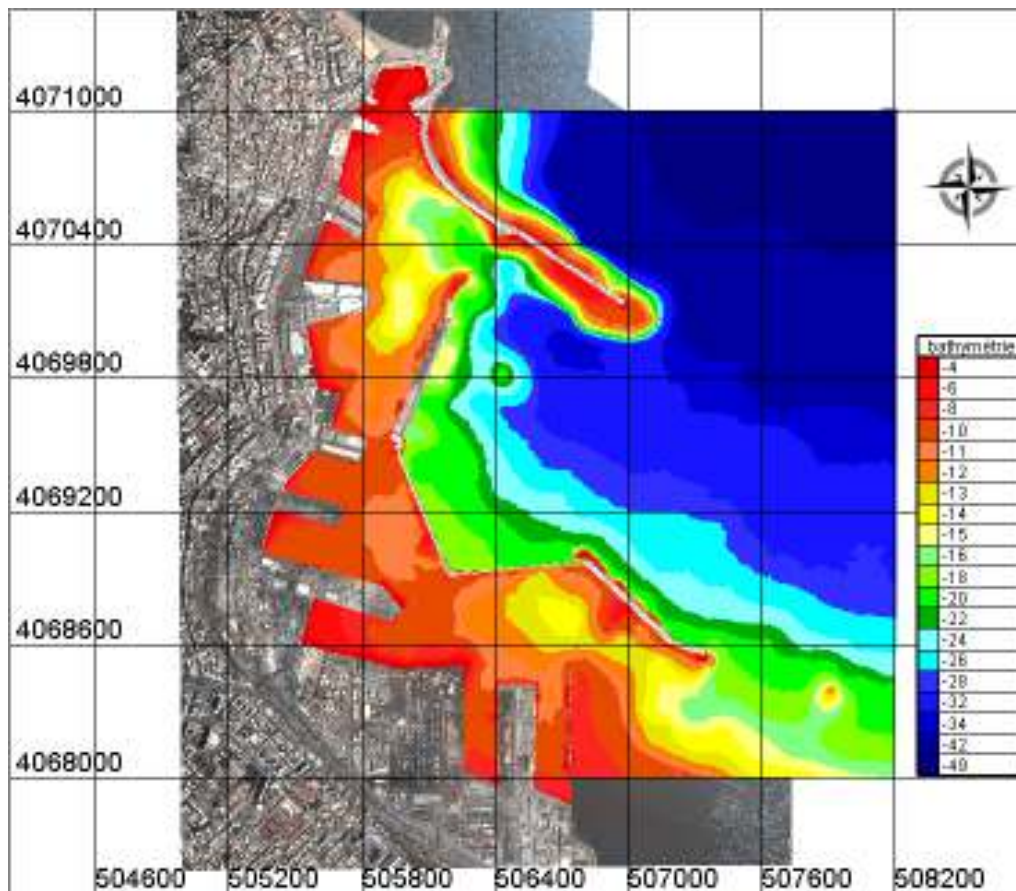


Figure 48: Maillage du modèle

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

Les données bathymétriques utilisées pour l'élaboration du modèle numérique de terrain sont celles de la base des données **navionics2020**.



**Figure 49:** Bathymétrie du model (Bleukenue)

Deux scénarios sont présentés Pour l'étude de l'agitation du port d'Alger:

- Scenario 0 : Etat initial (Port avant dragage).
- Scenario 1: Port après dragage

Le scenario 2 présente une simulation de dragage sur la partie sud du port (figure 50 et 51).

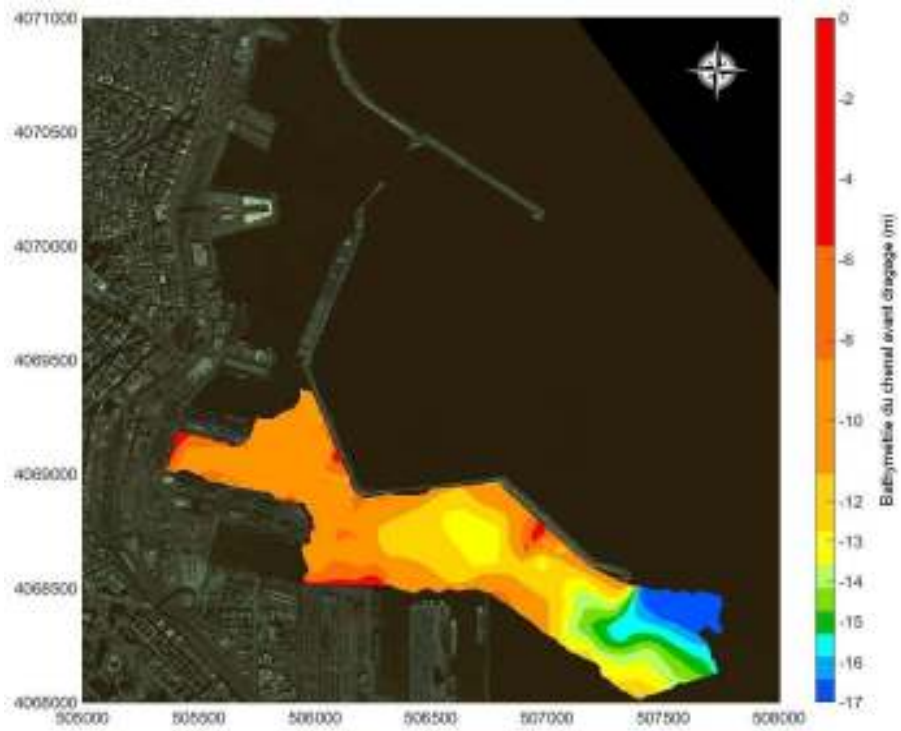


Figure 51: Bathymétrie du chenal avant dragage



Figure 50: Bathymétrie du chenal après dragage

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

### 3.2 Conditions aux limites

#### 3.2.1 Frontières liquides

Les conditions propagées jusqu'à l'entrée du port peuvent être consultées dans le détail dans le chapitre précédent. Les valeurs de  $H_s$ ,  $T_p$  et  $D_p$  ont été extraites du modèle de propagation de la houle pour l'intégralité des cas simulés.

#### 3.2.2 Frontières solides

Chaque limite solide est représentée par un coefficient de réflexion lui correspondant. Les coefficients sont issus du manuel de référence des ouvrages du CEREMA.

Le coefficient de réflexion est attribué à chaque ouvrage en fonction de :

- La nature et la rugosité de l'ouvrage (béton, enrochement...),
- De la pente et l'inclinaison : (Quai vertical, enrochement à plat...),
- La cambrure et le degré d'exposition à la houle.

De manière générale et afin de ne pas sous-estimer les potentiels réfléchissants des ouvrages, les coefficients de réflexion retenus pour le Port d'Alger représentent une "moyenne haute". Le Tableau ci-dessous illustre les coefficients utilisés dans le modèle.

**Tableau 2:** Coefficients de réflexion utilisés dans le modèle

| Limite                        | Pente    | Coefficient de réflexion |
|-------------------------------|----------|--------------------------|
| Jetée Kheir-E (Est, >2T)      | 3/2      | 45 %                     |
| Jetée Kheir-E (Ouest, 1T-2T)  | 3/1      | 80 %                     |
| Jetée Vieux.P (>2T)           | 3/2      | 45 %                     |
| Jetée Agha (1T-2T)            | 3/1      | 80 %                     |
| Jetée Mustafa (Ouest, ciment) | 2/1      | 93 %                     |
| Jetée Mustafa (Est, >2T)      | 1/1      | 65%                      |
| Brise lame Est (ciment)       | Vertical | 95 %                     |
| Quais, moles, digue coté port | Vertical | 95%                      |

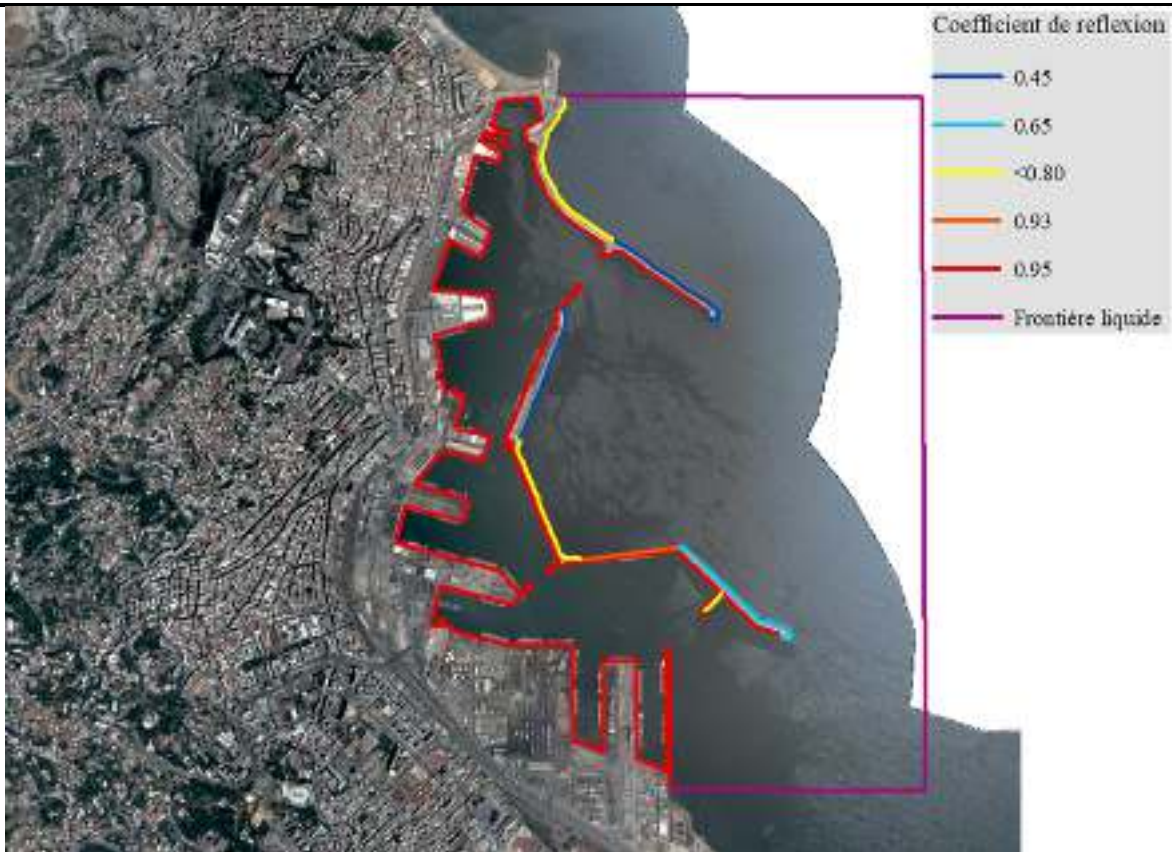


Figure 52: carte des coefficients de réflexion

### 4 Résultats

Les résultats vont être interprétés sur la base des critères d'agitation.

Les critères d'agitation permettant de caractériser les niveaux de confort et de sécurité sont définis selon plusieurs variables, telles que la hauteur et la période des vagues, pour différentes occurrences.

Plusieurs organismes français (Secrétariat d'Etat à la Mer, Conseil Supérieur de la Navigation de Plaisance et des Sports Nautiques) et nord-américains (US Army Corps of Engineers) ont établi des standards généraux que l'on peut synthétiser de la manière suivante :

- ✓ Critère de confort : 0.3 m
- ✓ Critère de sécurité : 0.6 m

Une présentation graphique des résultats des modèles ci-dessous pour le scénario actuel, et le scénario d'aménagement. Des différentiels sont calculés afin de permettre une meilleure visualisation et interprétation des résultats.

#### Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

---

Les résultats sont présentés :

- ✓ Sous forme de cartographies des hauteurs de vagues pour les deux scénarii.
- ✓ Sous forme de tableaux de synthèse des hauteurs de vagues en différents points du port
- ✓ Sous forme de cartographies de différentiel entre les deux scénarii.

Les points d'extraction des résultats de l'agitation sont positionnés sur la carte suivante comme suit :

Point 1 : entrée du port ;

Point 2 : Bassin Mustapha - 1 ;

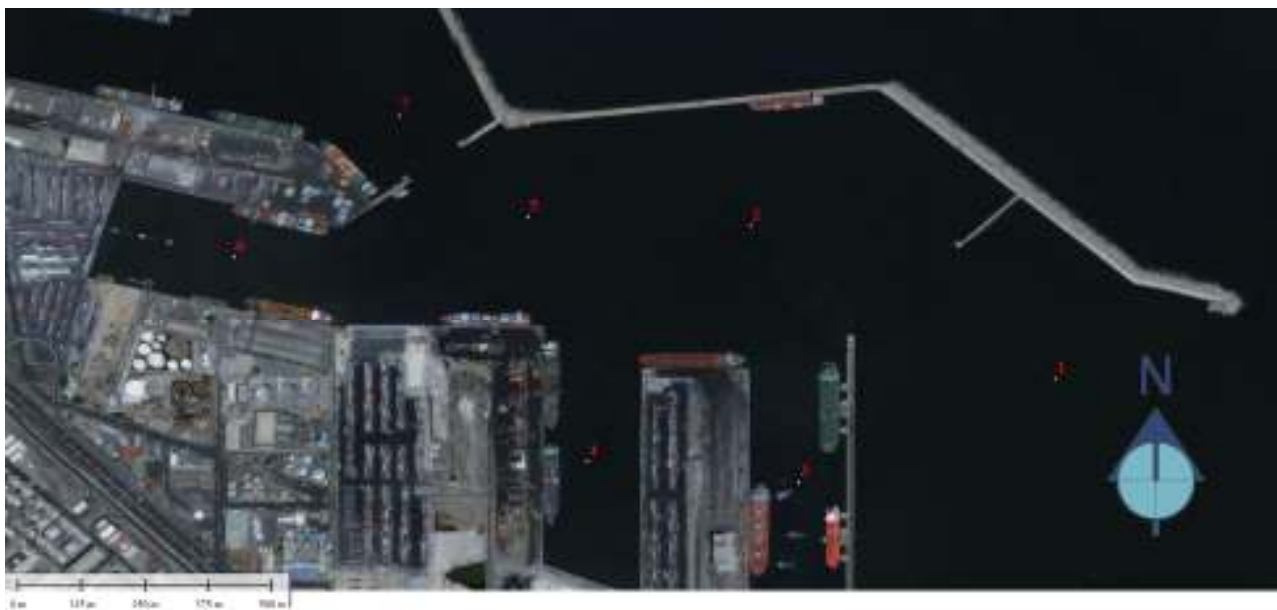
Point 3 : Terminal des conteneurs - 1 ;

Point 4 : Terminal des conteneurs - 2 ;

Point 5 : Bassin Mustapha - 2 ;

Point 6 : Terminal des conteneurs - 3 ;

Point 7 Bassin Agha ;



**Figure 53** :Position des points d'extraction des hauteurs de vague

### 4.1 Secteur Nord-Est

#### 4.1.1 Scénario initial

Le cas de la houle Nord-Est est clairement en évidence la direction pénalisante de cette houle, en effet la passe d'entrée du port (Sud), favorise la pénétration de la propagation de la houle.

Dans le cas d'une houle de période de retour annuelle, l'agitation est de l'ordre de 0.4 m à l'entrée du port, l'agitation dans le bassin Sud ne dépasse pas les 0.3m.

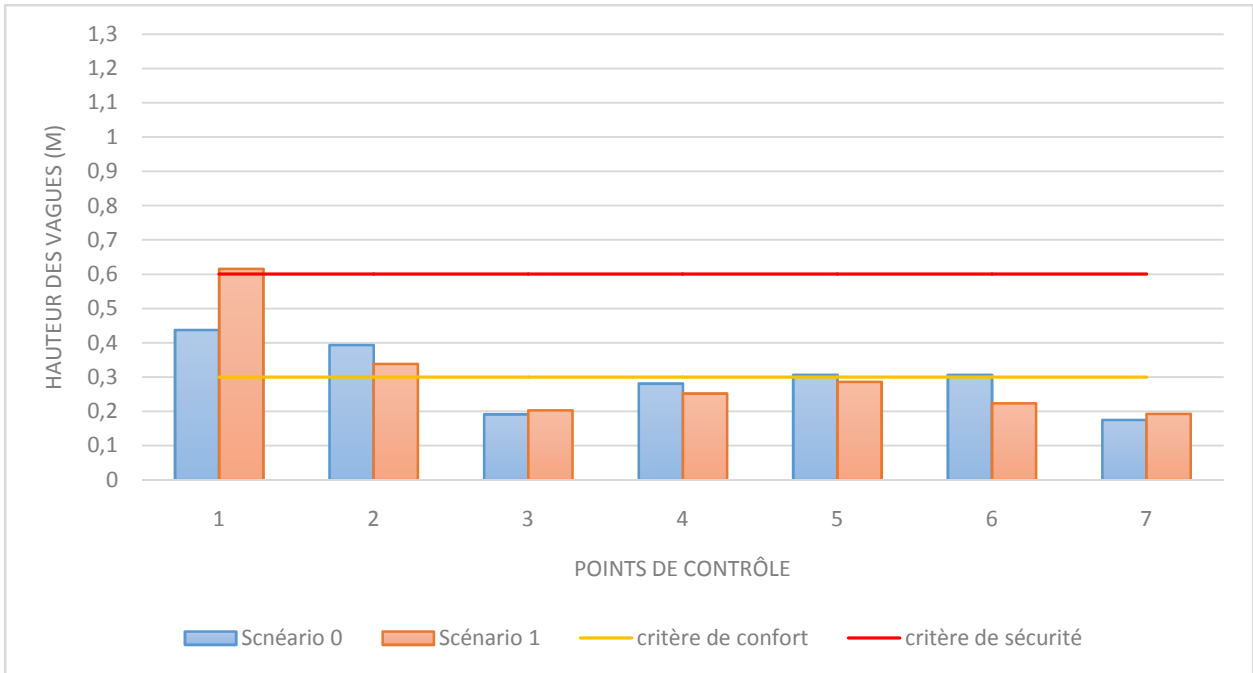
Pour la période de retour de 5 ans, l'agitation est plus importante, les réflexions sur les ouvrages du port favorisent la dispersion de l'agitation au bassin. Des hauteurs de houles de l'ordre de 0.5 m dans la partie sud du port sont enregistrés, et atteignent les 1 m dans la partie Nord.

Quant aux périodes de retour 20 et 100 ans, les mêmes tendances sont observées, pénétration de la houle par la passe d'entrée sud et Nord, réflexion des ondes sur les ouvrages ce qui engendre une augmentation de l'agitation au sein du bassin portuaire.

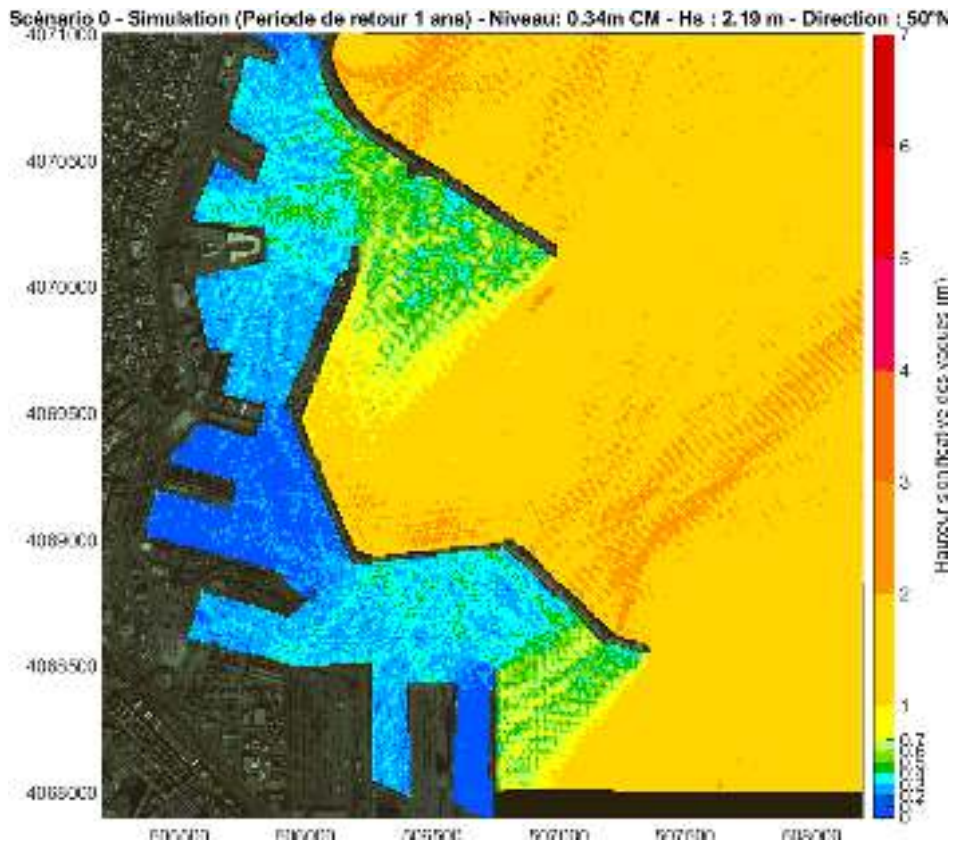
#### 4.1.2 Scénario aménagé

Les états de mer observées dans le scénario aménagé ont tendance à suivre le même chemin que le scénario initial, il est difficile de se prononcer sur un éventuel impact due à l'approfondissement de la partie sud du port. Le différentiel « pour rappel est un modèle calculé sur la base du scénario aménagé – scénario initial » démontre que pour les périodes de retour 1 ans et 5 ans, l'agitation au sein du bassin portuaire a augmenté de l'ordre de 10 à 20 cm et se localise principalement au niveau du bassin Mustapha. Au niveau de la passe d'entrée, il est observé une augmentation significative de l'agitation et qui atteint les 90 cm pour la période de retour de 20 ans.

En ce qui concerne la période de retour centennale, une diminution de l'agitation sur certaines zones et une augmentation dans d'autres zones. L'hypothèse avancé ici est que les ondes réfléchies par le musoir de la digue créaient filtre l'agitation pénétrante (un effet de ping-pong).

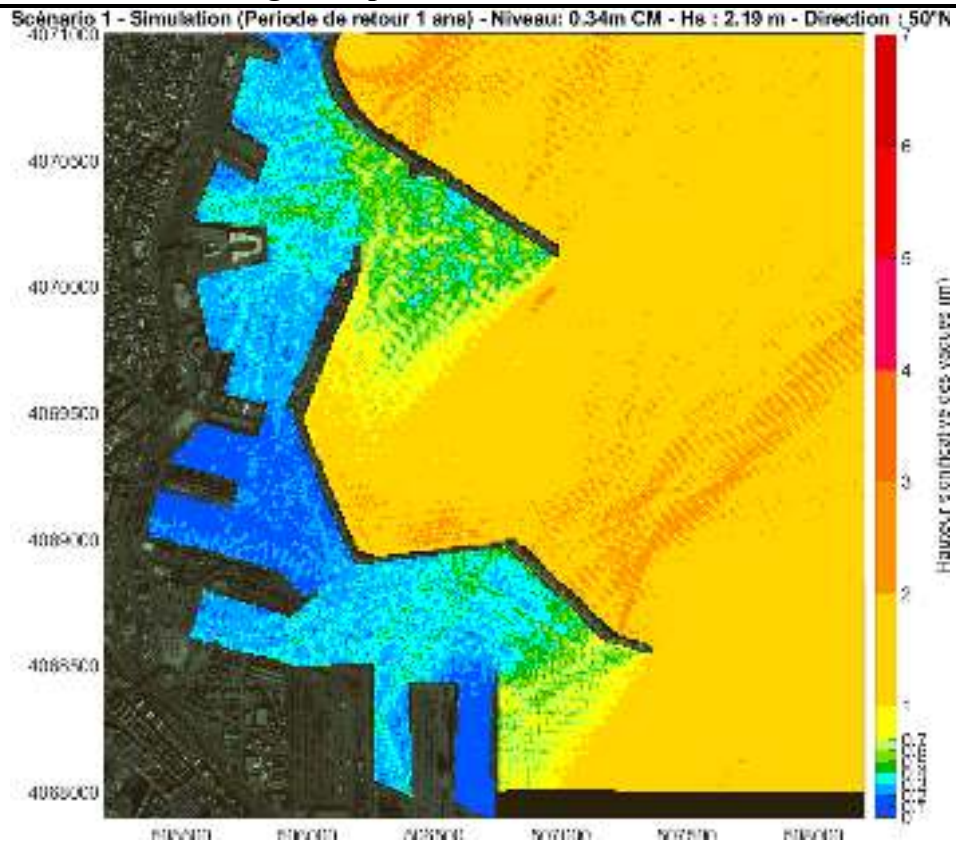


**Figure 54 :** Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 1 ans

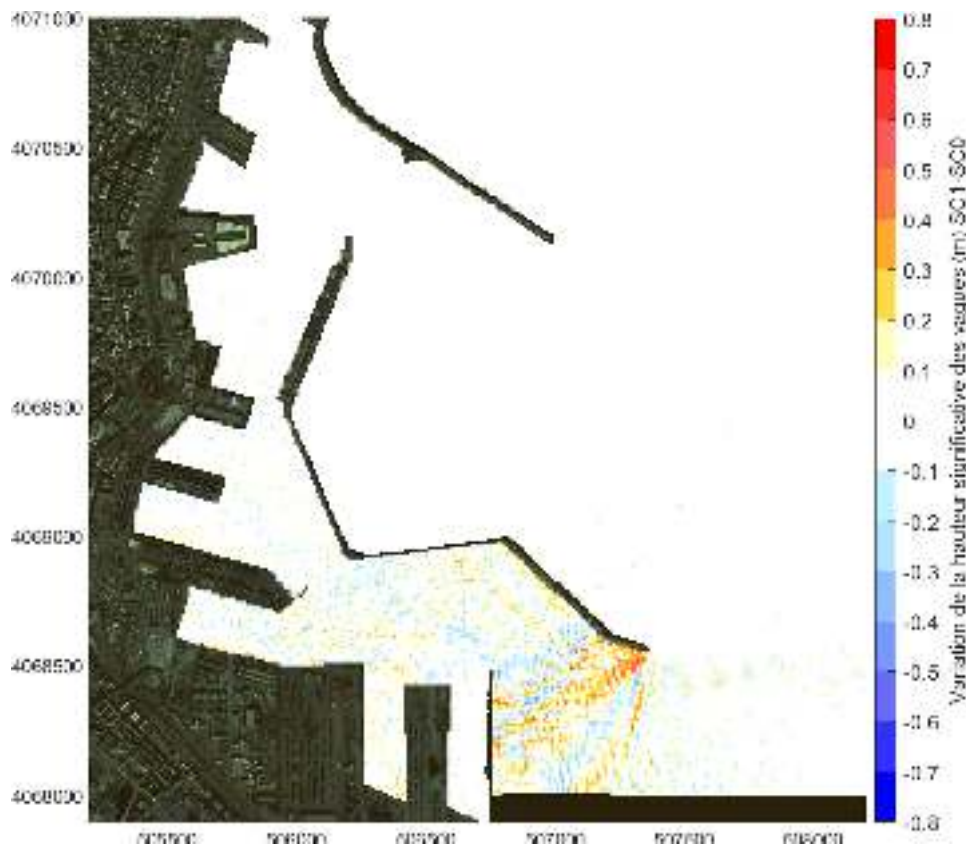


**Figure 55 :** Résultat de l'agitation pour la période de retour 1 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

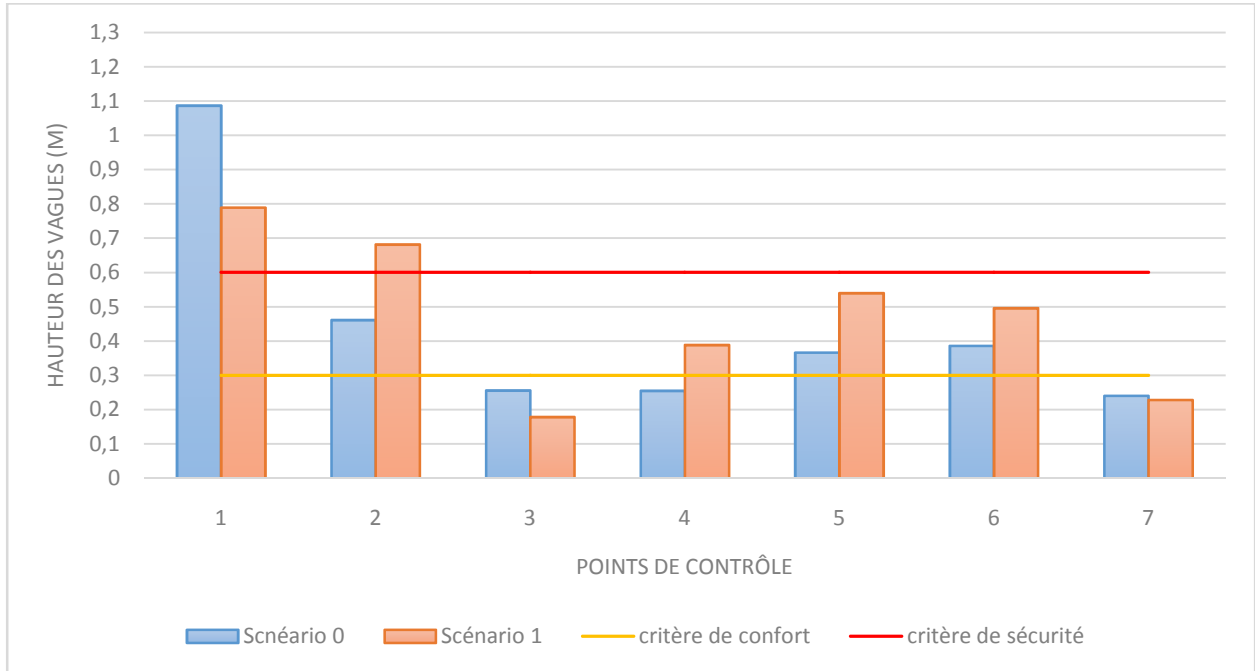


**Figure 56 :** Résultat de l'agitation pour la période de retour 1 ans – scénario aménagé – Secteur Nord-Est

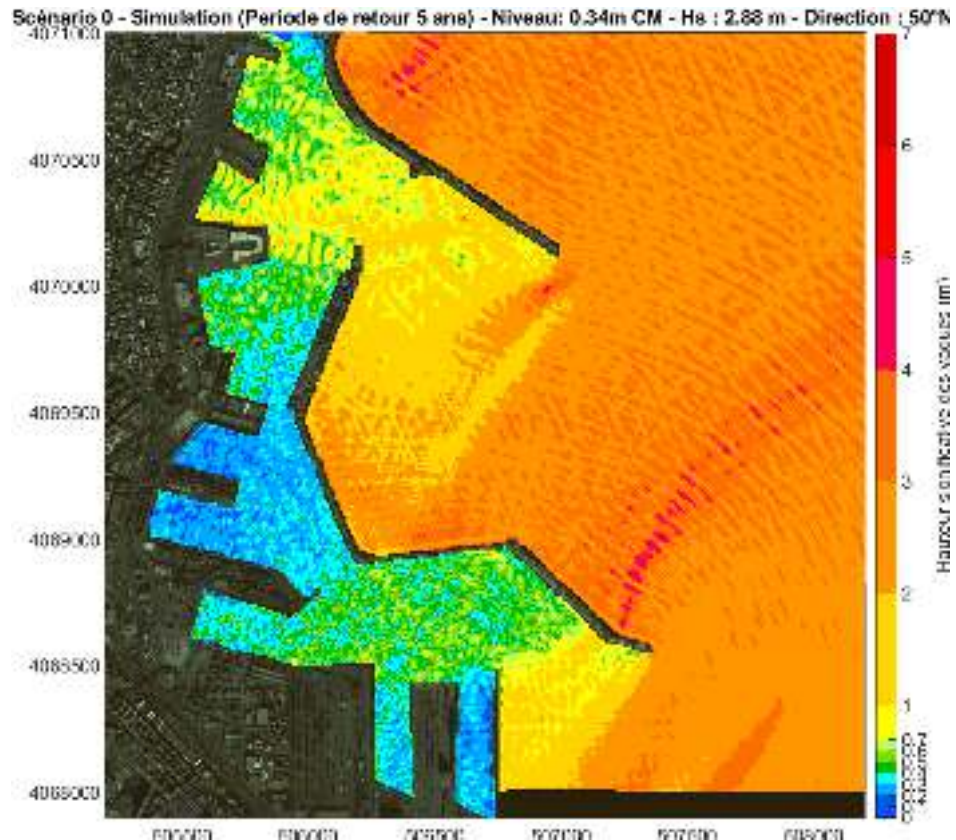


## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

**Figure 57 :** Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 1 ans – Secteur Nord-Est

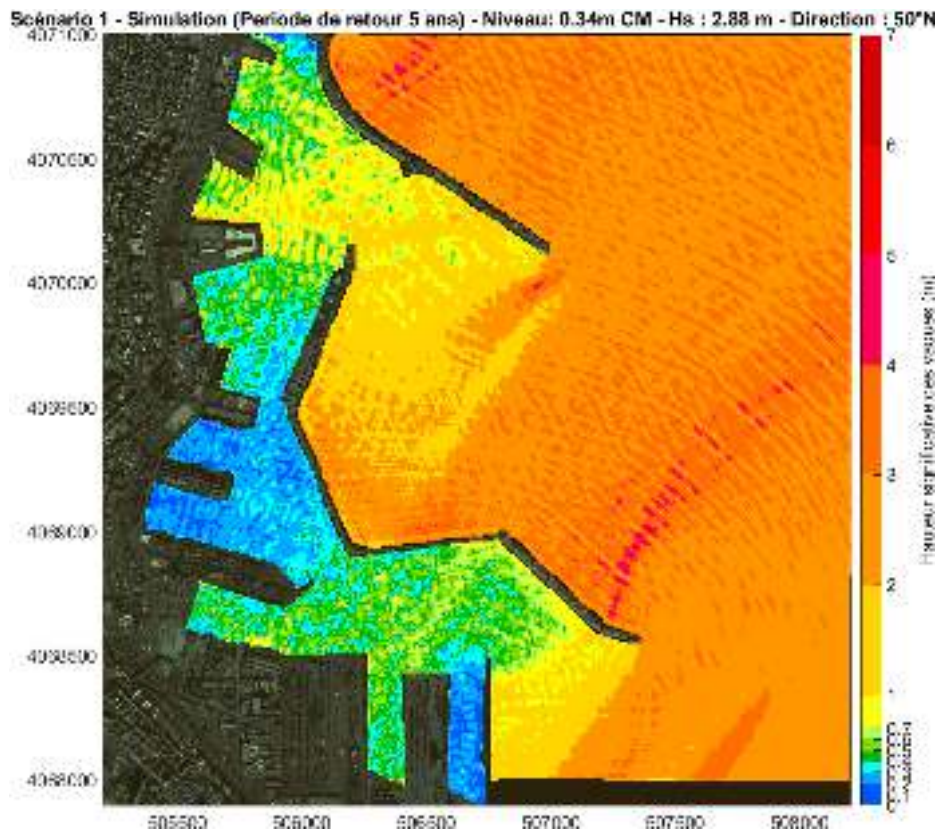


**Figure 58 :** Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 5 ans



## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

**Figure 59** : Résultat de l'agitation pour la période de retour 5 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est



**Figure 60** : Résultat de l'agitation pour la période de retour 5 ans – scénario aménagé – Secteur Nord-Est

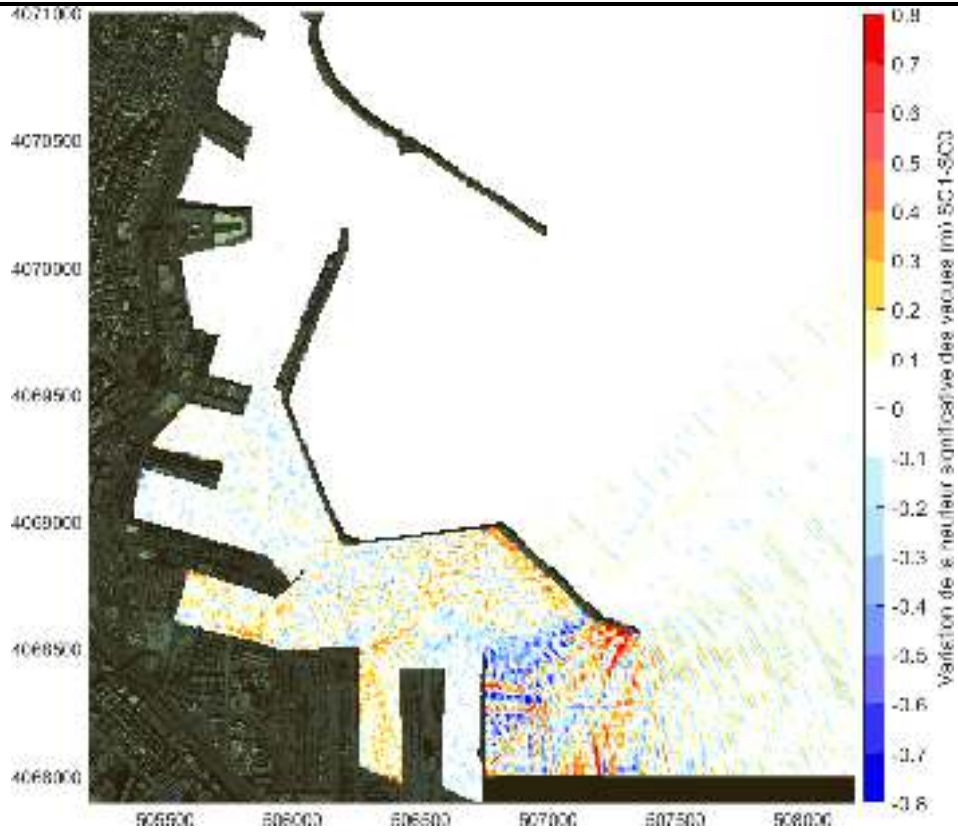


Figure 61 : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 5 ans – Secteur Nord-Est

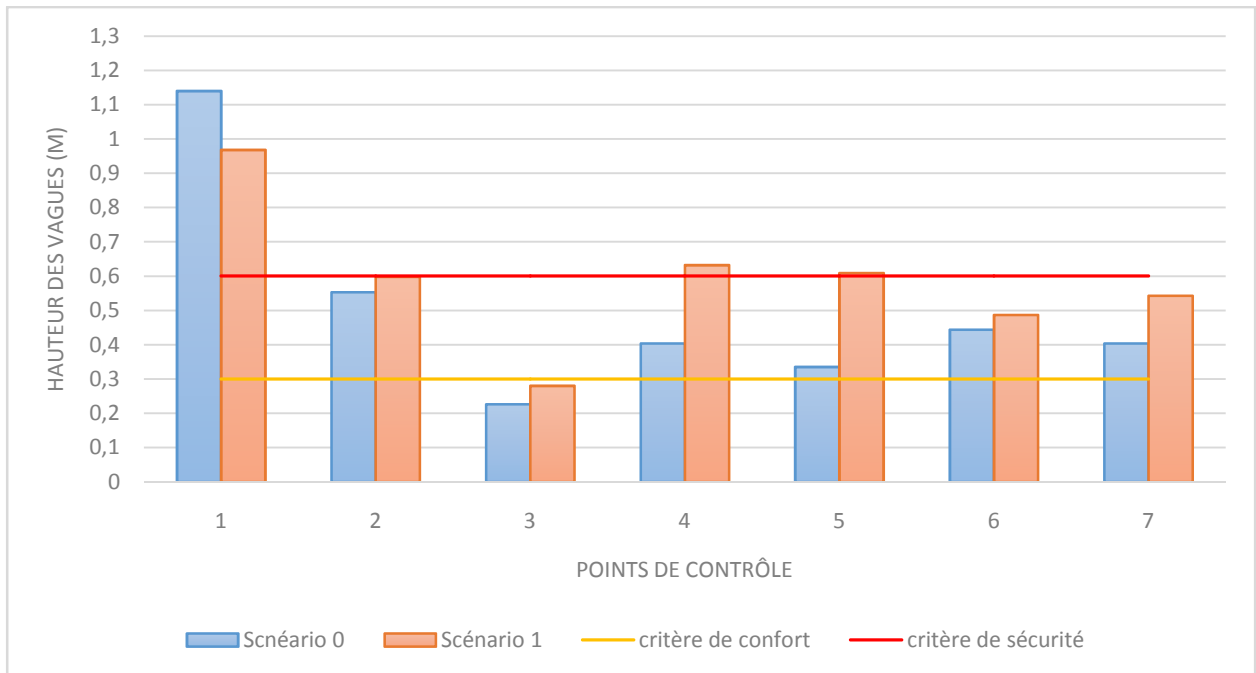
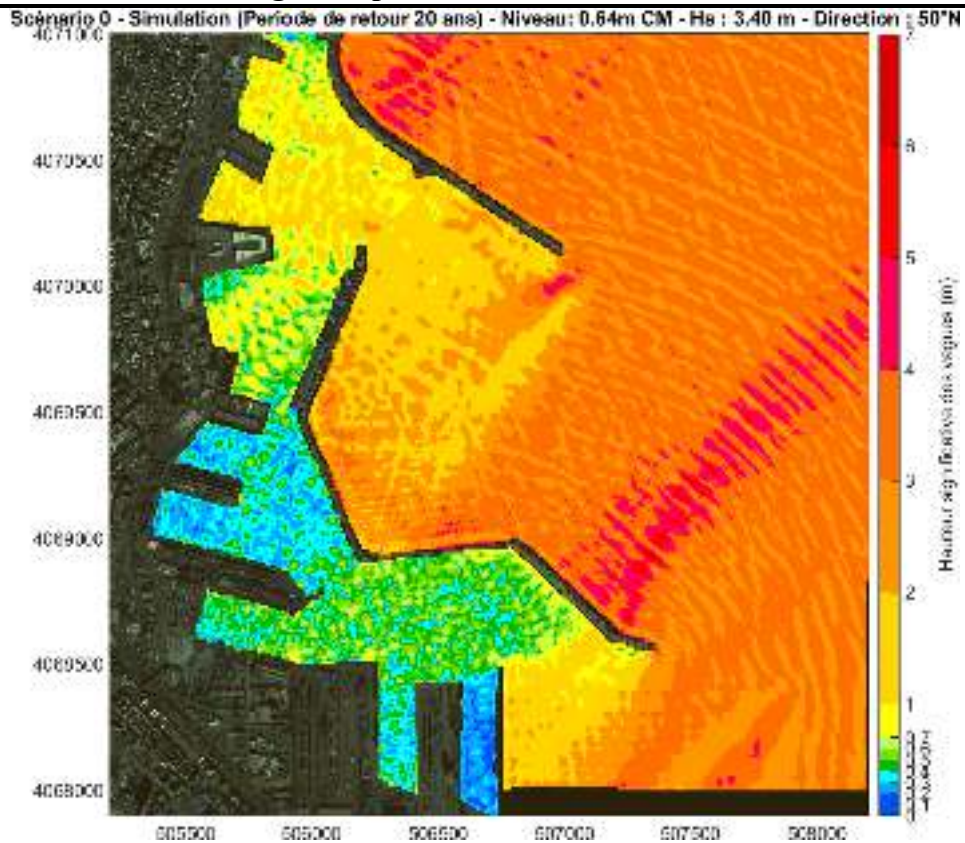


Figure 62 : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 20 ans

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire



**Figure 63** : Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est

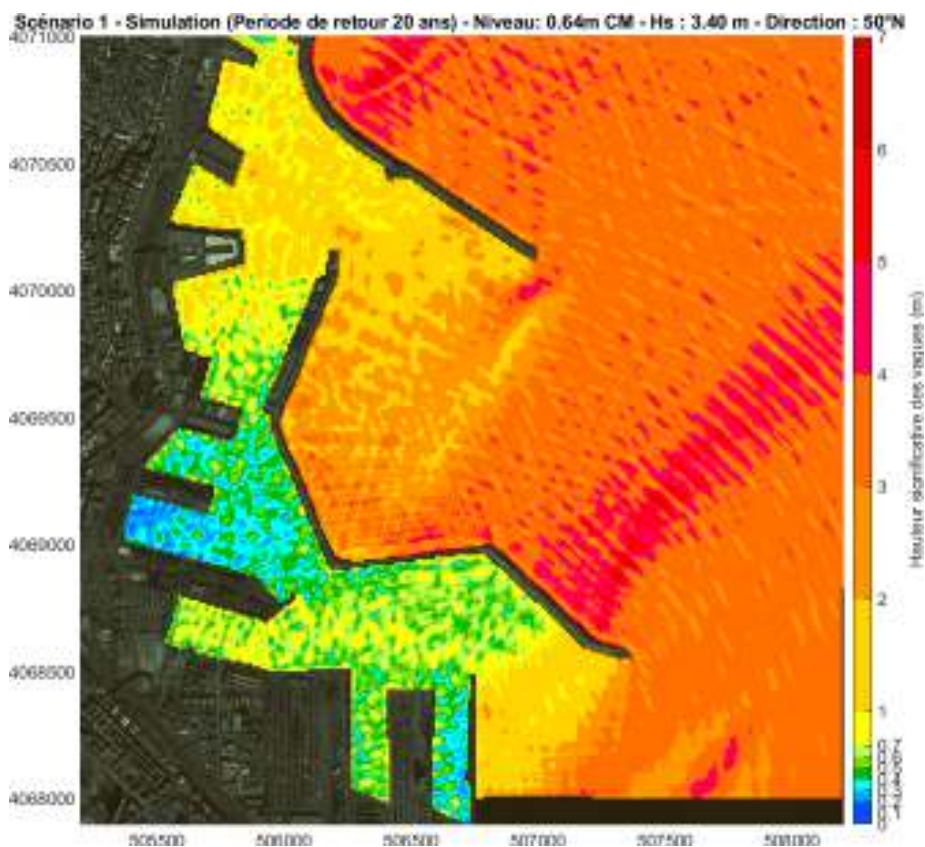


Figure 64 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est

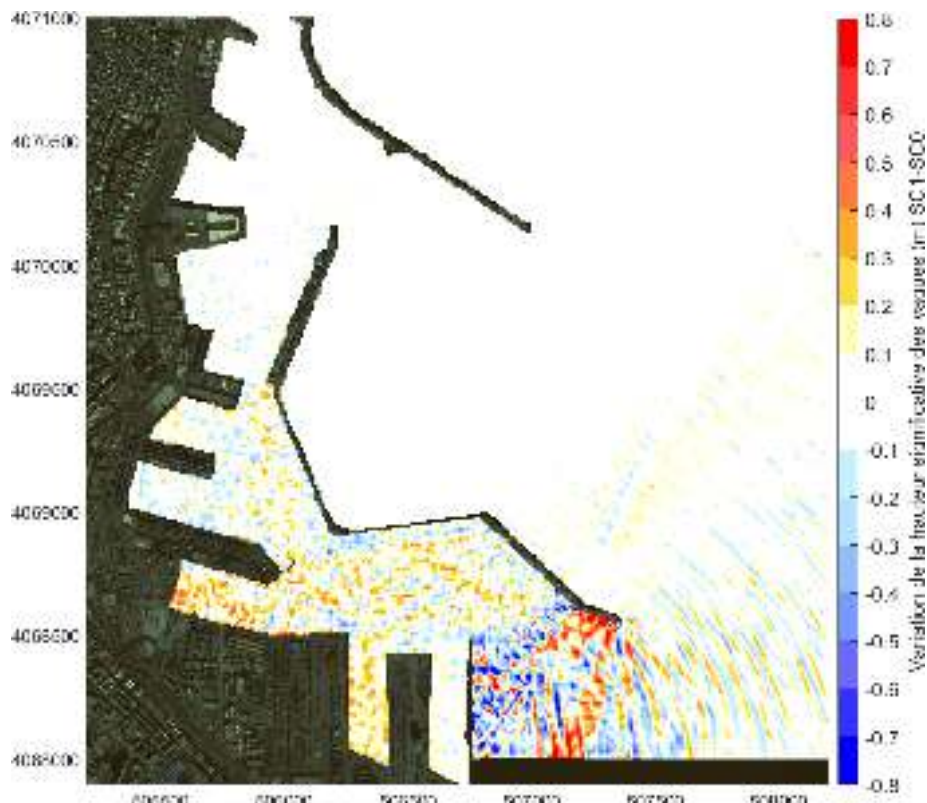


Figure 65 : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 20 ans – Secteur Nord-Est

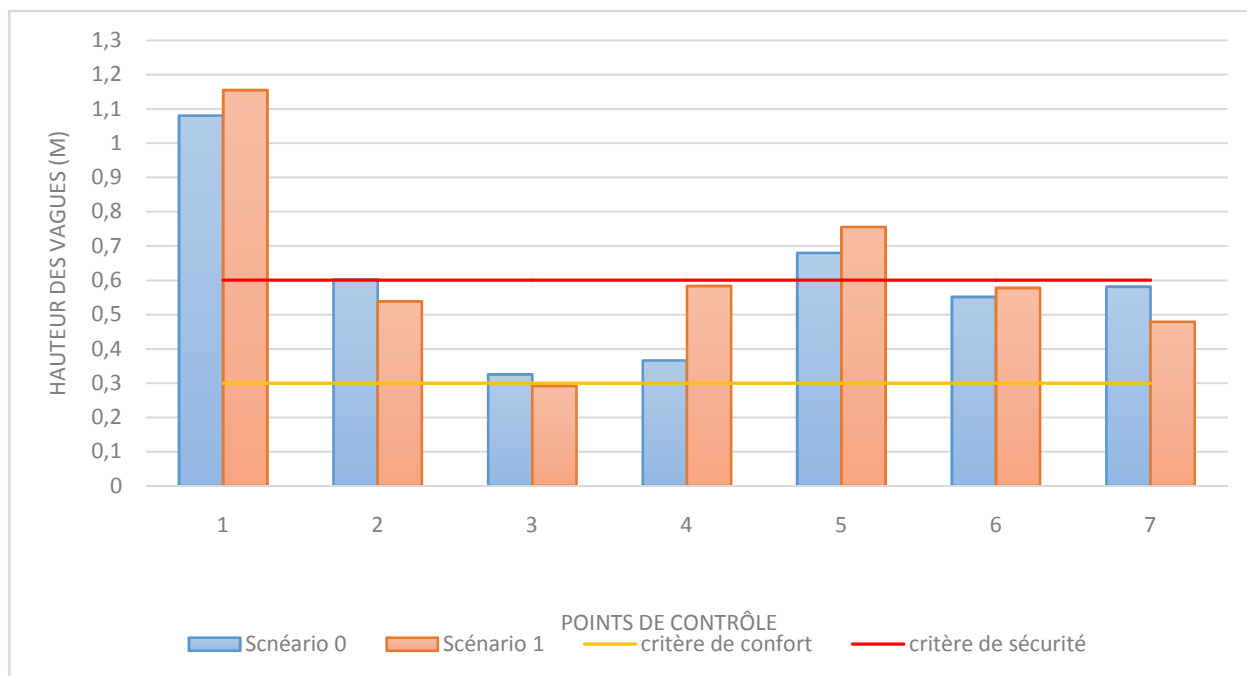


Figure 66 : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Est – Période de retour 100 ans

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

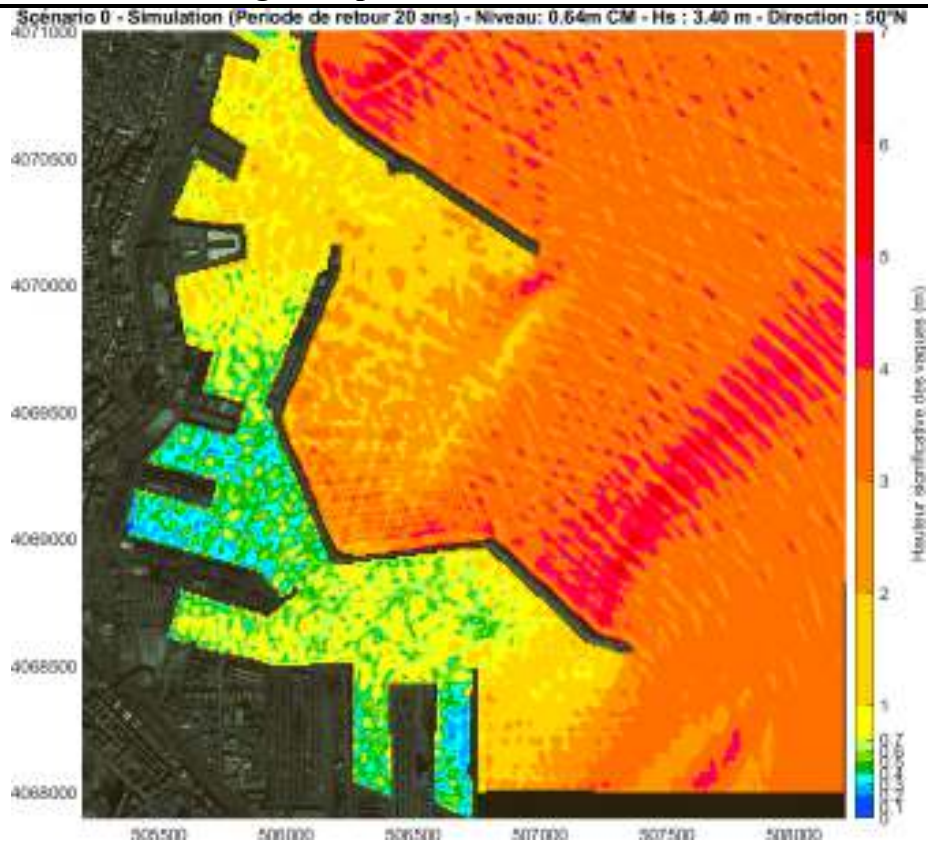


Figure 67 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est

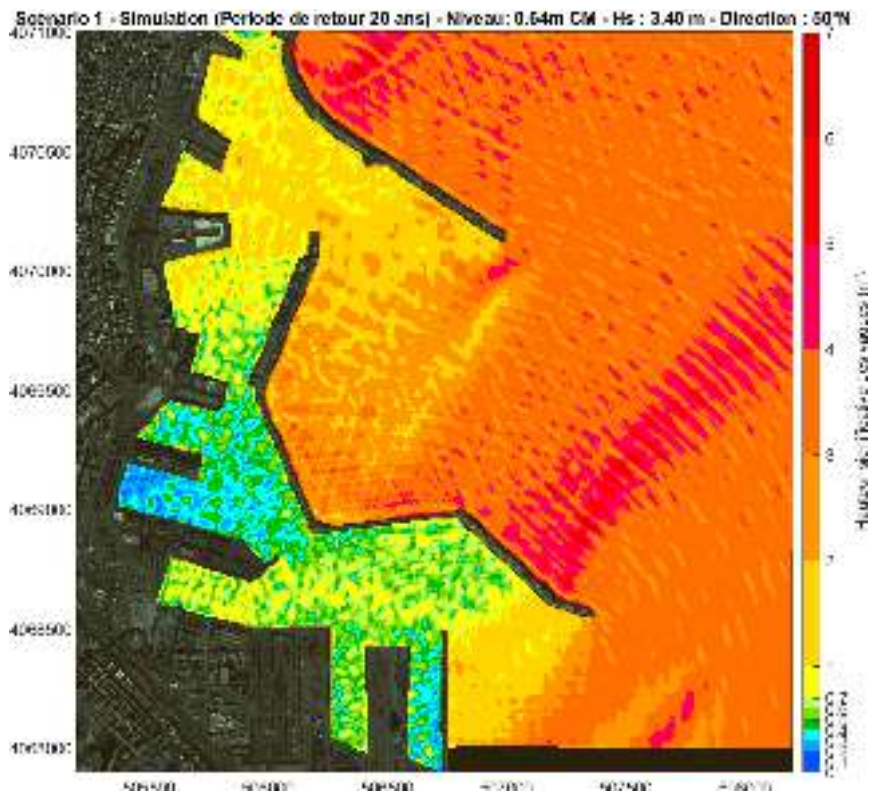


Figure 68 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Est

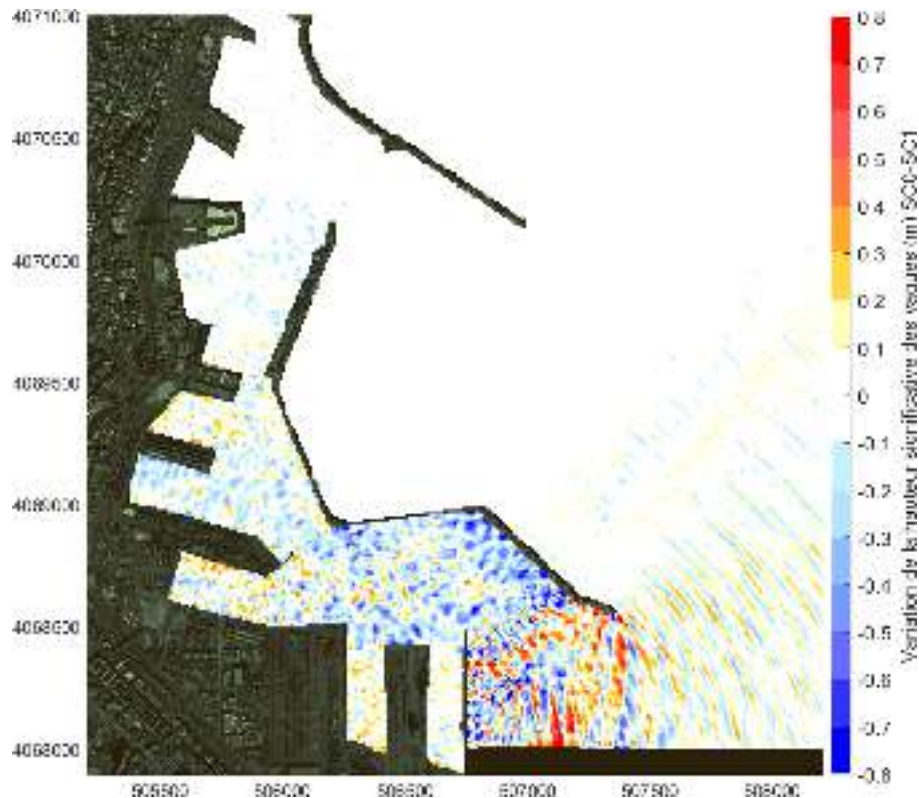


Figure 69 : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 100 ans – Secteur Nord-Est

#### 4.2 Secteur Nord-Nord-Est

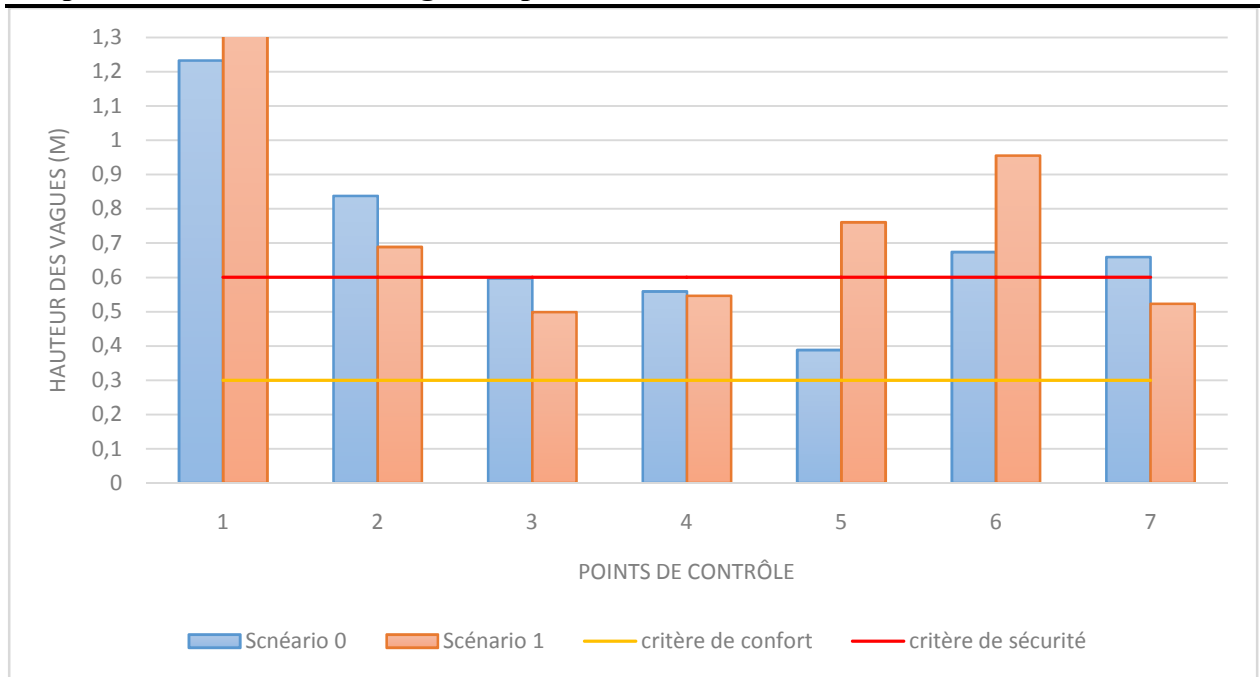
Un seul cas a été simulé pour le secteur Nord-Nord-Est, il s'agit en effet de la période de retour centennale.

L'agitation dans le bassin pour les deux scénarii (initial et aménagé), atteint une hauteur significative de 2 m. la houle, la partie sud est moins impacté mais l'agitation à l'intérieur de l'enceinte portuaire reste très élevé. Il s'agit du scénario le plus pénalisant pour le port.

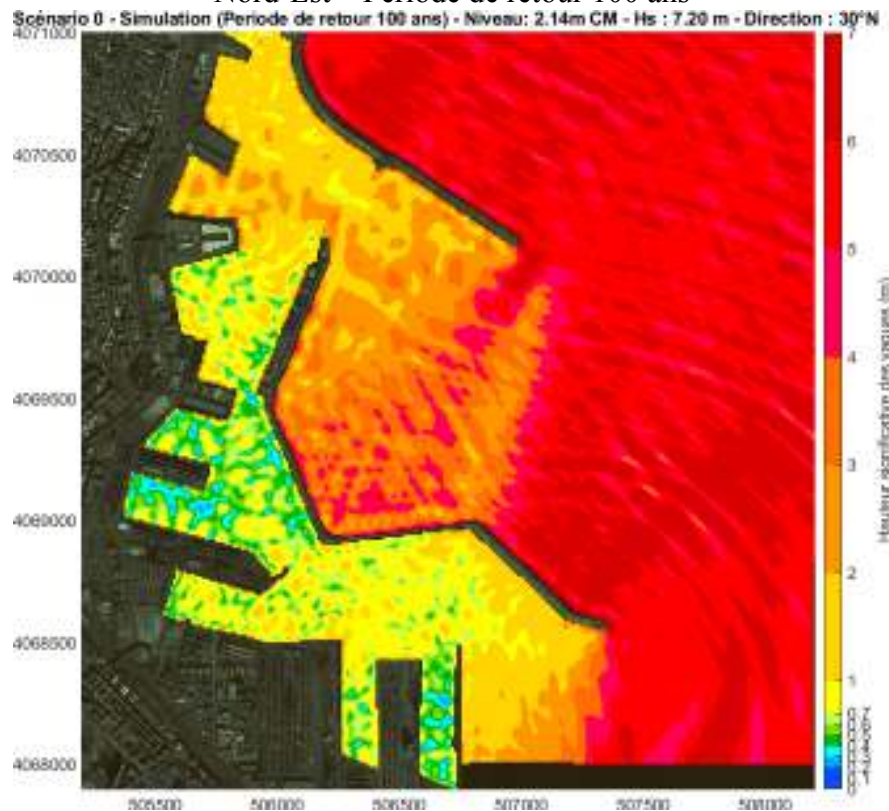
Le différentiel montre une diminution d'agitation dans la partie aménagée et précisément dans les deux bassins Mustapha et Agha. Néanmoins les terminaux de conteneur et la passe d'entrée enregistre une élévation d'agitation estimé de 40 cm.

La diminution d'agitation peut être due aux réflexions d'onde à l'entrée du port, qui peut créer une contre agitation orientée en opposée à l'agitation pénétrante. Seule une étude approfondie pourra éclaircir cette observation.

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire



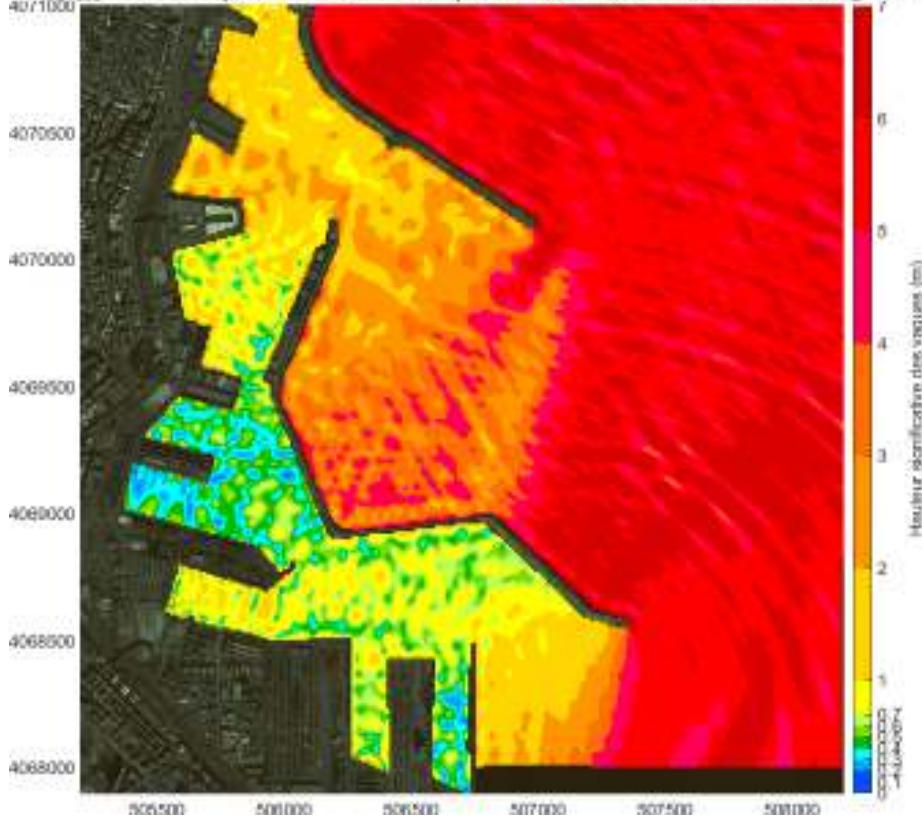
**Figure 70** : Histogramme de synthèse d'agitation en différents points du port – Secteur Nord-Nord-Est – Période de retour 100 ans



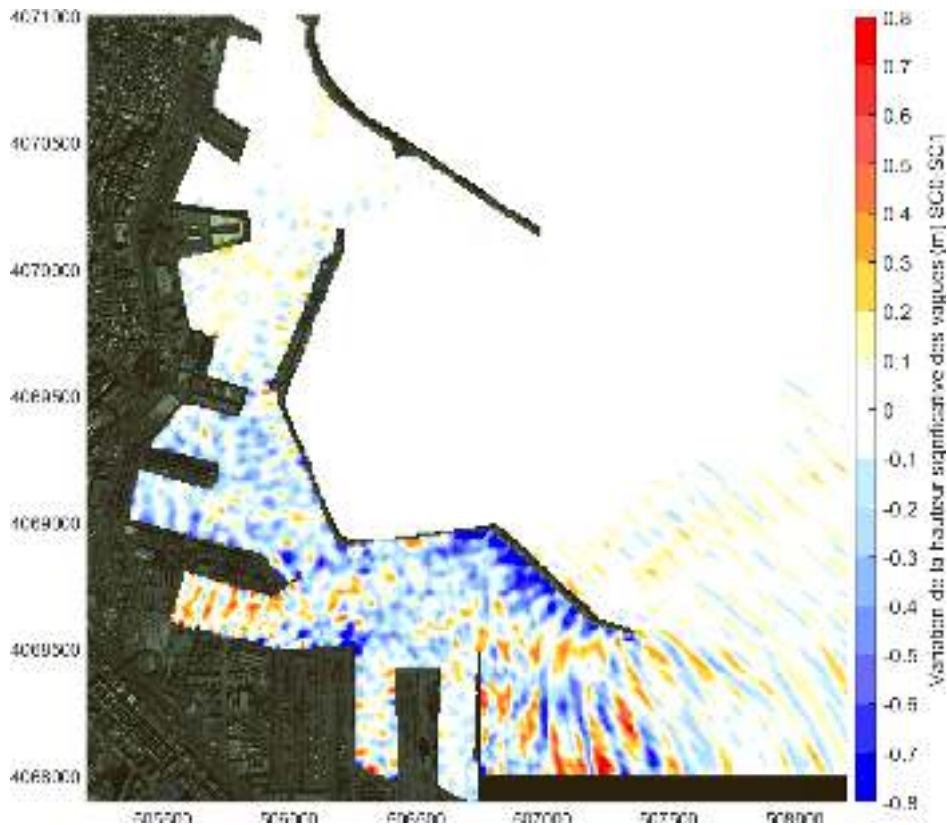
**Figure 71** : Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial – Secteur Nord-Nord-Est

## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

Scénario 1 - Simulation (Période de retour 100 ans) - Niveau: 2.14m CM - Hs : 7.20 m - Direction : 30°N



**Figure 72 :** Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario aménagé – Secteur Nord-Nord-Est





## Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire

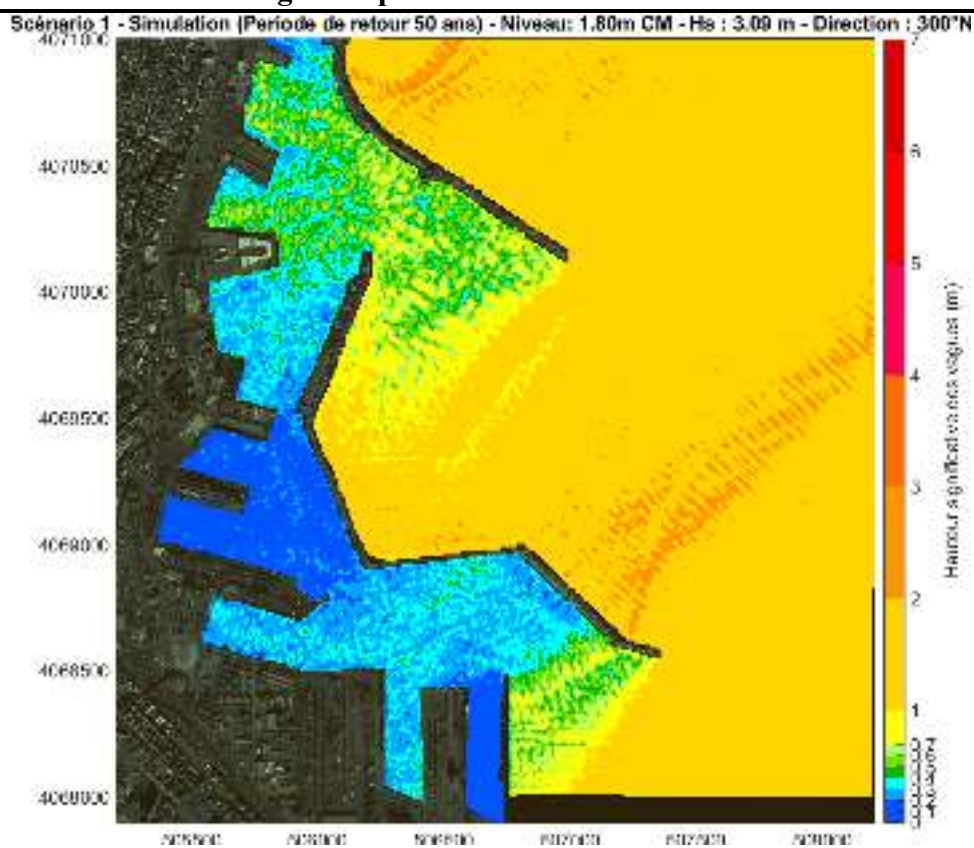


Figure 75 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans – scénario aménagé – Ouest

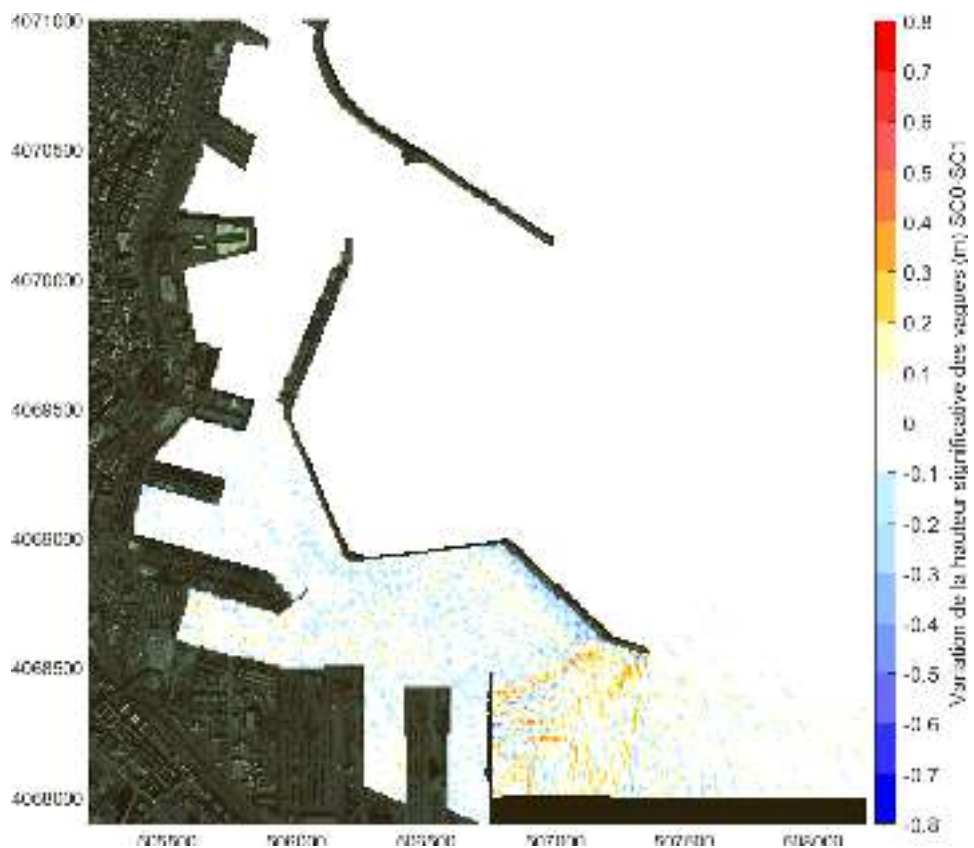


Figure 76 : Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 50 ans – Secteur Ouest

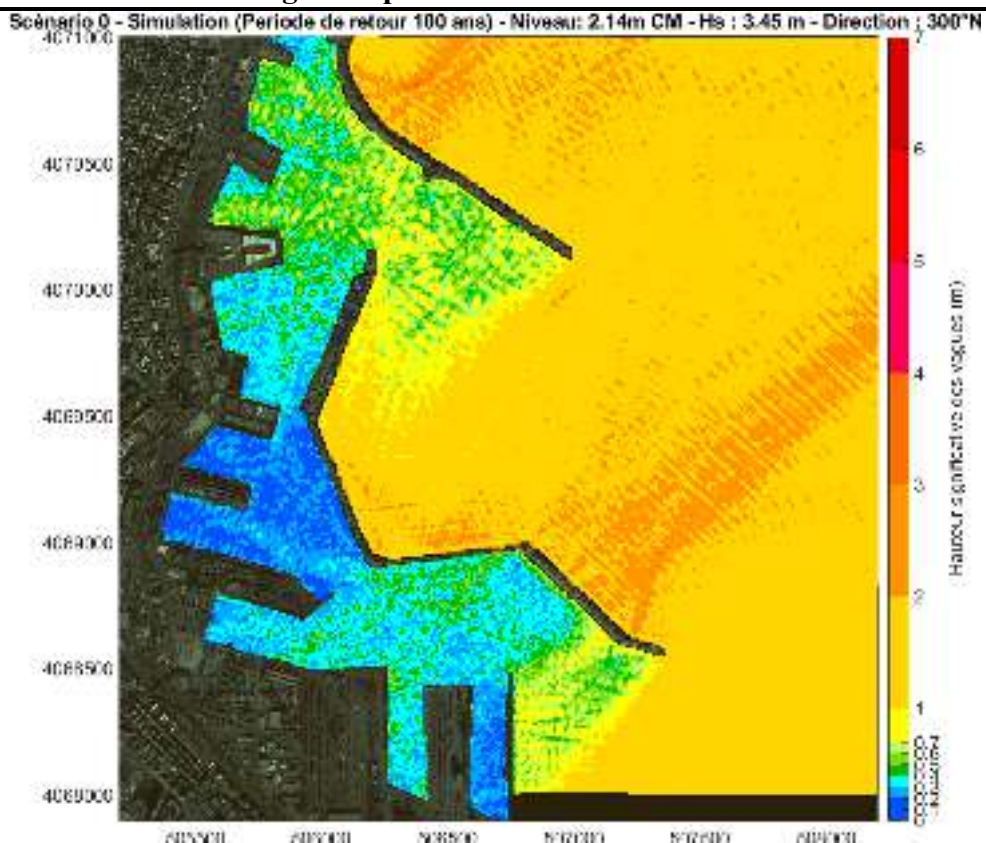


Figure 77 :Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario initial– Ouest

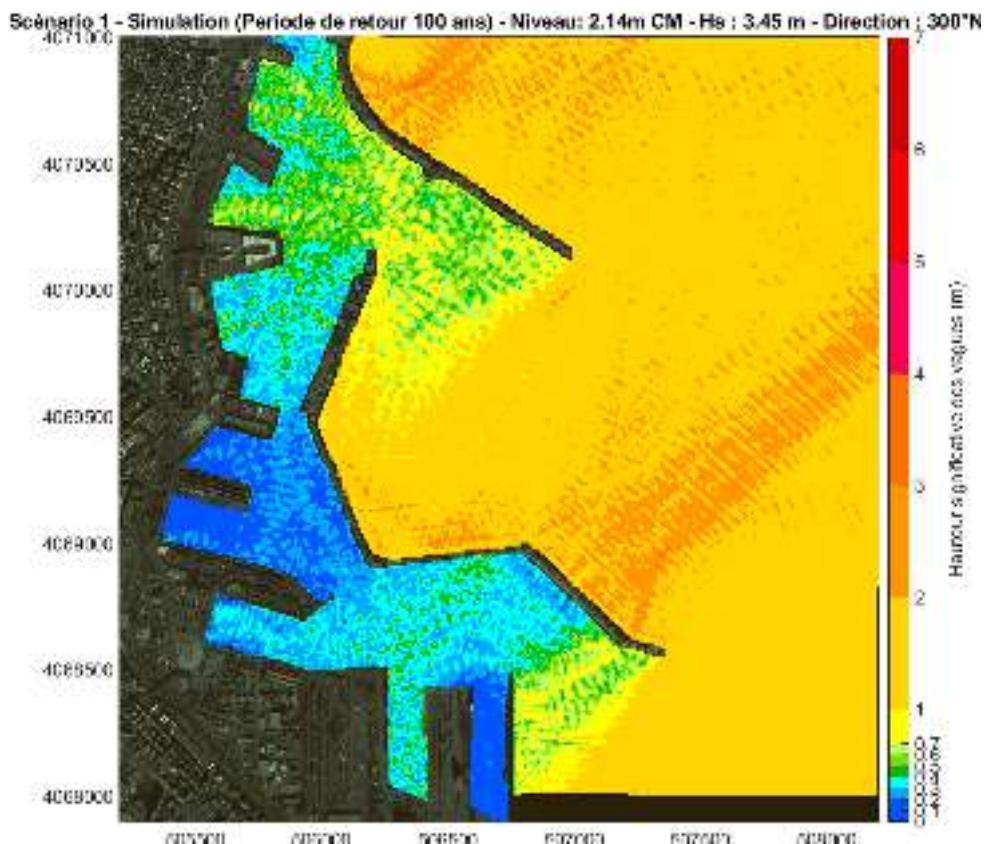
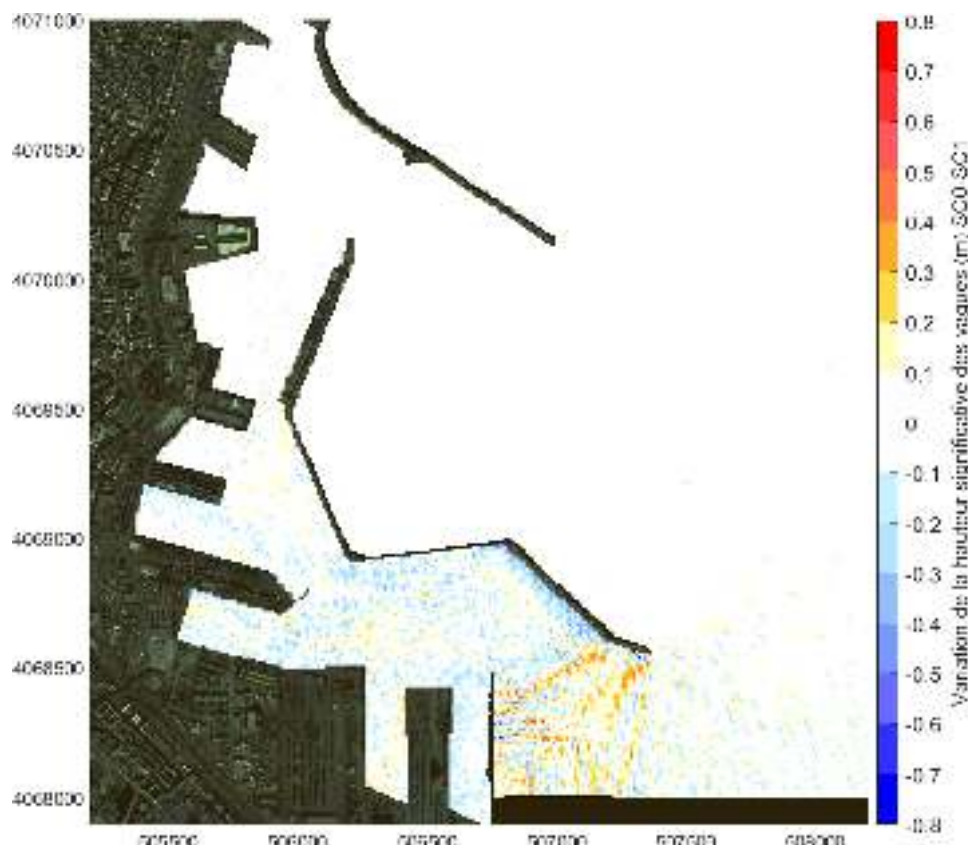


Figure 78 :Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans – scénario aménagé– Ouest



**Figure 79** :Différence entre état initial et aménagé – Période de retour 100 ans – Secteur Ouest

### Synthèse des résultats de l'agitation

#### Secteur Nord-Est

- Dans le cas de la houle annuelle et quinquennale l'approfondissement entrain une augmentation de l'agitation dans l'avant-port et le bassin Mustapha de l'ordre de 20 cm.
- En ce qui concerne la houle vingtennale l'aménagement du bassin engendre une augmentation de l'agitation spécialement dans la passe d'entrée Sud de l'ordre de 90 cm
- Pour la période de retour centennale, l'augmentation du tirant d'eau entrain une diminution de l'agitation aux niveaux du terminale des conteneurs et à l'entrée du bassin Agha d'une part et d'une autre part une augmentation de l'agitation aux niveaux de la passe d'entrée et à l'enceinte du bassin Mustapha de l'ordre 20 cm.

#### Secteur Nord-Nord-Est

- Pour la houle de secteur NNE L'aménagement entraine une modification sur l'agitation à l'intérieur et dans l'avant-port ;
  - Augmentation de l'agitation au niveau des terminaux de conteneur et la passe d'entrée de l'ordre de 40 cm.

## **Chapitre IV : Modélisation de l'agitation portuaire**

---

- Et une diminution de l'agitation au niveau des bassins Mustapha et Agha de l'ordre de 15 cm.

### **Secteur Ouest**

- L'augmentation du tirant d'eau n'a aucun impact à prendre en considération sur l'agitation du port pour les houles de Secteur Ouest.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

---

Les ports sont de véritables poumons du commerce extérieur, surtout pour les exportations qui sont nécessaires au développement de l'économie. Les ports les plus développés sont ceux qui ont une plate-forme logistique performante, et que l'Etat intègre dans son plan de développement, vu leurs grand impact sur l'ensemble de l'économie, donc l'état doit allouer une partie financière pour l'aménagement du port pour qu'il puisse garder sa valeur et sa durabilité.

Le cout de dragage est dépend de la nature et la quantité des sédiments dragués ainsi que le matériel, les engins utilisés et le placement de dépôt.

Pour notre cas, l'objectif est visé sur l'augmentation de tirant d'eau de -13 à -16m au niveau de la passe d'entrée Sud pour que les grands cargos puissent entrés dans le port d'Alger d et de reduire le phénomène d'agitation u plan d'eau .

En Algérie, nous utilisant le dragage mécanique. Le cout de 1m<sup>3</sup> est de 3000DA 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 453,5 10<sup>5</sup>m<sup>3</sup> avec un montant total d'environ en H.T (hors Taxe) est d'environ 13603961400DA, pour le taxe sur la valeur ajoutée (T.V.A, 14%) est d'environ 1900 millions de dinar(EPAL).

Cette étude a permis de réaliser :

- ✓ Un traitement statistique des paramètres Hs, Tp, Dp sur une longue période. Plusieurs bases de données météorologiques et océaniques ont été utilisées.
- ✓ Une définition des conditions de projet les plus pénalisantes, par l'étude des 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.
- ✓ Une étude de propagation des houles a permis de définir les conditions océano-météologiques aux abords du port.
- ✓ Une étude d'agitation portuaire visant à calculer l'agitation résiduelle en tenant compte de toutes les conditions pénalisantes.

Afin de mieux valoriser le travail il et primordiale de rajouter :

- ✓ Le traitement statistique n'a pas pris en compte l'analogie et la probabilité conjointe entre les différents forçages.
- ✓ Une expertise hydrosédimentaire, et de conditions courantologiques, en effet il est primordial d'étudier l'impact du dragage sur la circulation des courants dans la colonne d'eau, et notamment sur le fond. Les courants peuvent être modifiés et enclenche une déstabilisation au niveau des couches de sédiment.

## **Conclusion générale**

---

- ✓ Une étude sur la définition des 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.

# **Référence bibliographique**

## **Référence bibliographique**

---

**CHAPON, J. (1984).** Travaux maritimes : Le milieu marin, le navire, la navigation, les cotes, les ouvrages extérieurs des ports maritimes, Volume 1. Edition 5. France : Eyrolles. 365 p.

**CEREMA, (2018).** Etudes hydraulique maritime. France : CEREMA. 156 p.

**CAIRES, Safia., VAN GENT, Marcel.R.A. (2011).** Guide lines for métovean data analysis. theInternational Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE). Volume, 7, 297 p.

**DHI. (2014).** MIKE 21 Spectral Wave Module. Scientific Documentation. Disponible sur le Web : [www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW\\_Scientific\\_Doc.pdf](http://www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf).

**DHI. (2014).** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Scientific Documentation. Disponible sur le web: [www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration\\_ScientificDoc.pdf](http://www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf).

**DUCRUET, César., MOHAMED-CHERIF, Fatima Zohra. (2014).** L'insertion des villes portuaires maghrébines dans la circulation maritime mondiale. Presses des Mines.

**JARRY, N. (2009).** Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : Université du Sud Toulon Var, 304 p.

**KOMEN, et al. (1996).** Dynamics and modelling of ocean waves. UK: Cambridge university press. P.205-250.

**KACHA.IMEN, KHRIS.HANANE. (2017),** Le rôle des ports secs dans le désengorgement portuaire (cas du port sec MTA Khemis El Kechena rattaché au port d'Alger),109.

**LEM. (1996).** Expertise pour l'étude de protection de rivage du site est de la baie d'Alger Document non publié. Alger : Laboratoire des études maritimes.

**MAUCHE, S. (1987).** Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'Alger, approche sédimentologie, géochimie et traitements statistiques, Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle de l'université de Perpignon, France

**PAC. (2005).** Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. Rapport final intégré. MATE.

**REZGUI, W.,CHERIET, W. (2008).** Etude de l'envasement du port d'Alger au moyen du Cs-137. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : E, 42 p.

**RABEHI, W., RAHAL, F. (2011).** Aménagement du port d'El Djamilia, avantages et inconvénients et comportement des structures. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 73 p.

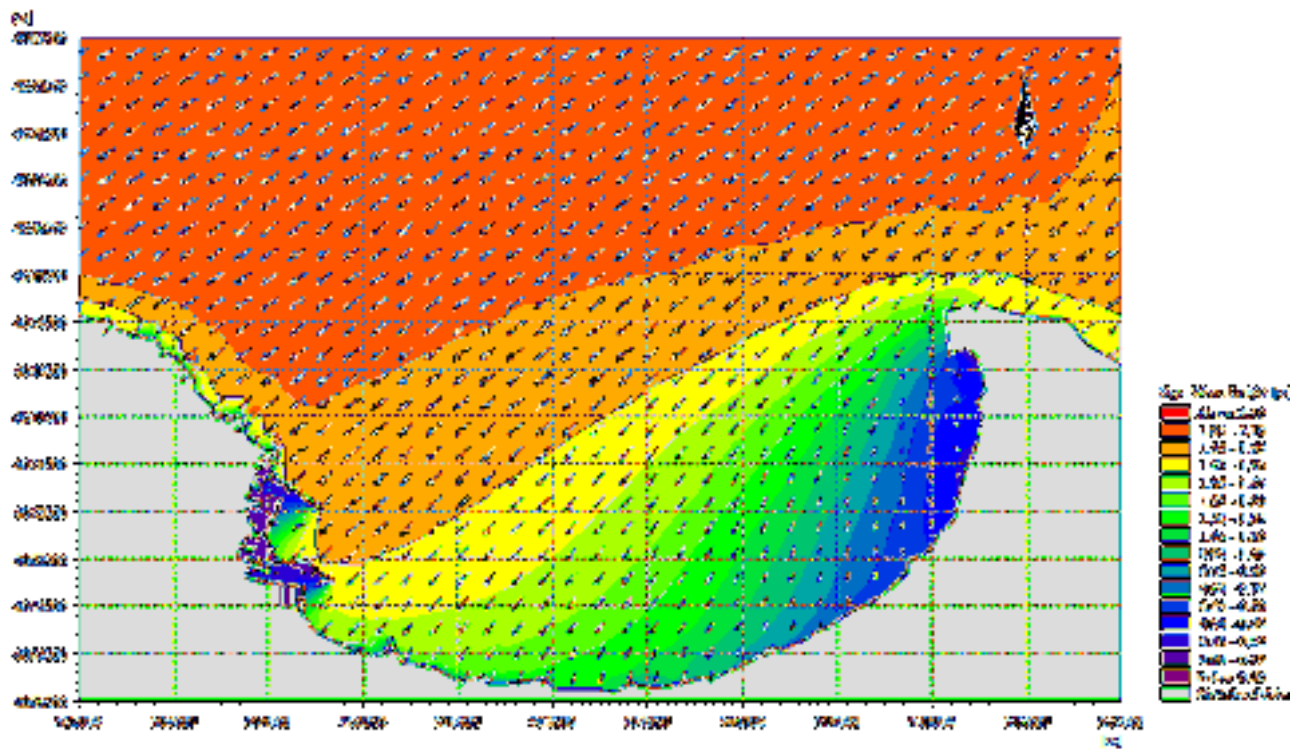
# **Annexes**



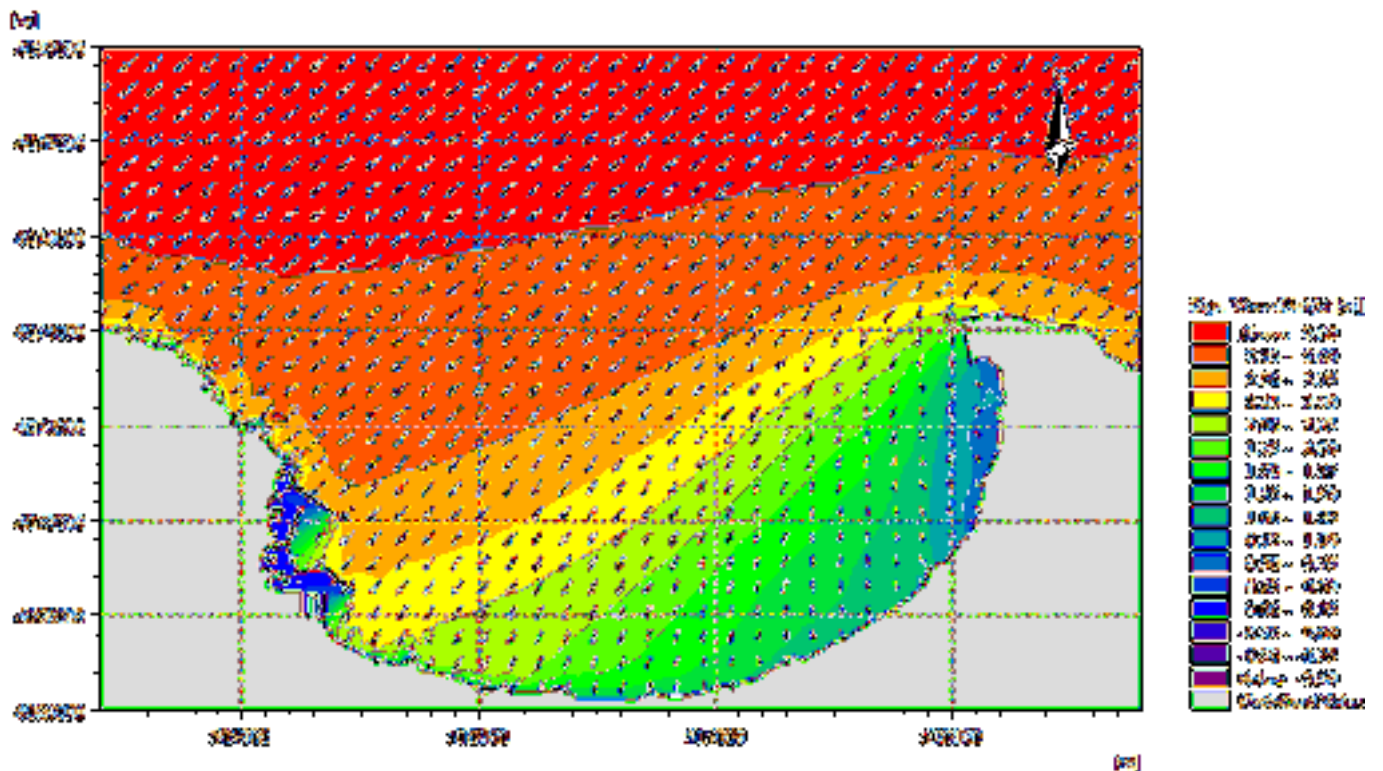


Annexe B

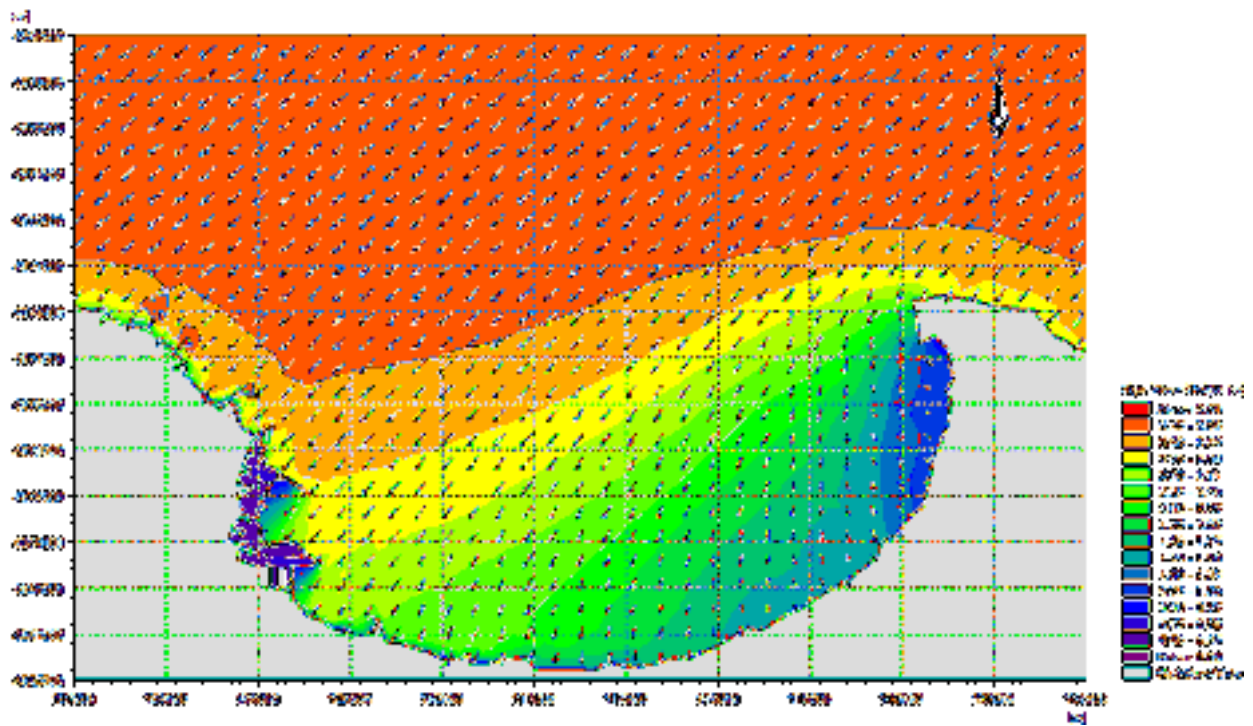
Annexe B.I : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 1 an



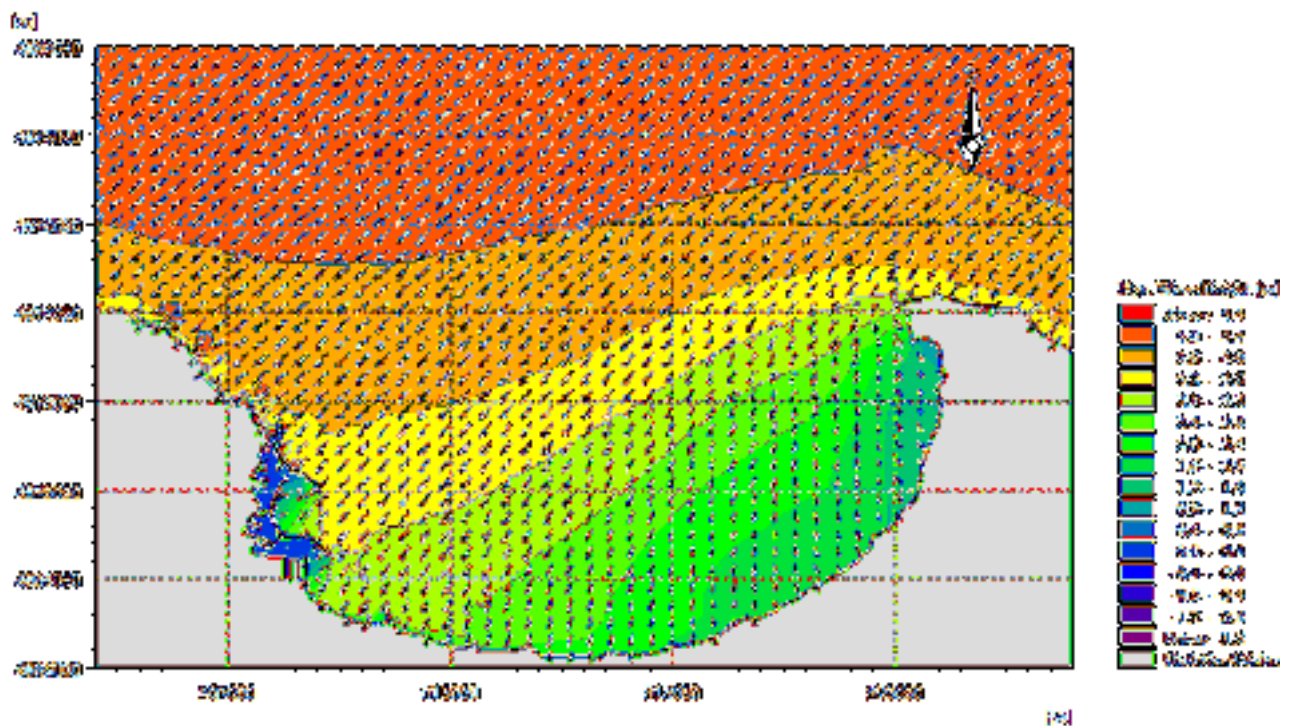
Annexe B.II : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 5 ans



**Annexe B.III** : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 20 ans

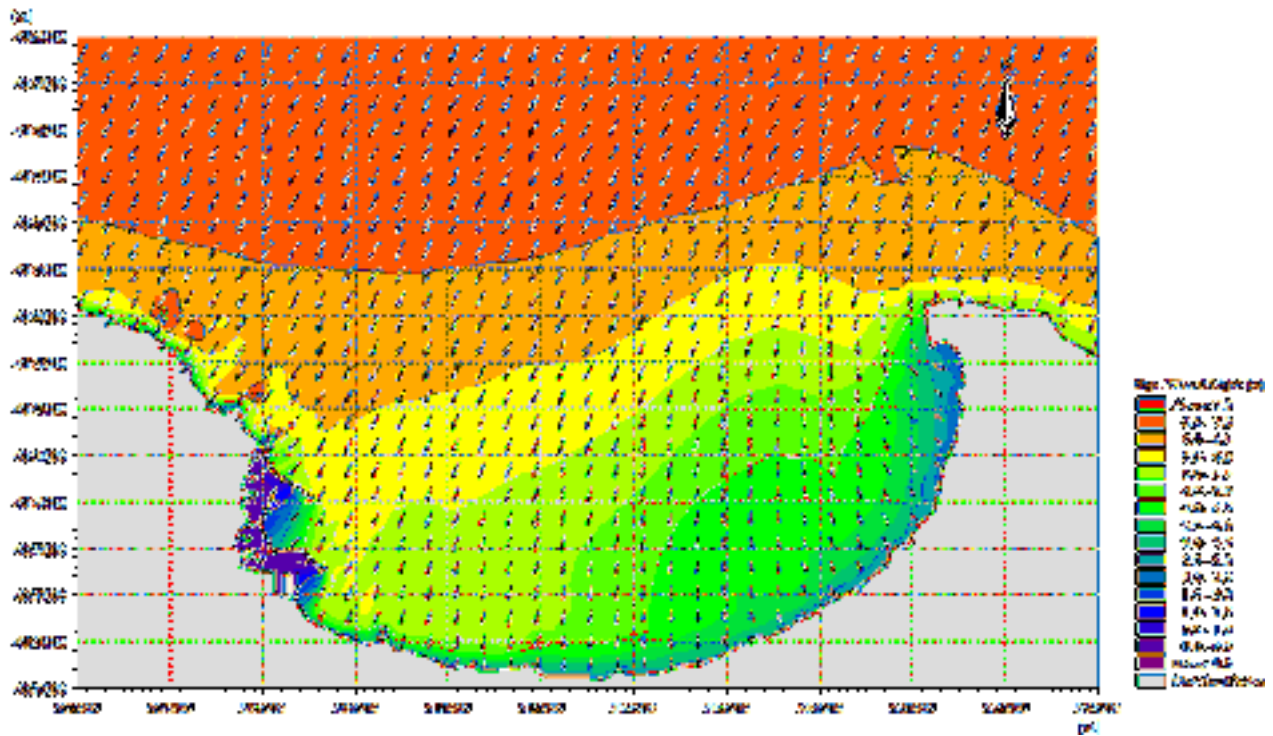


**Annexe B.IV** : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 50°N de période de retour 100 ans

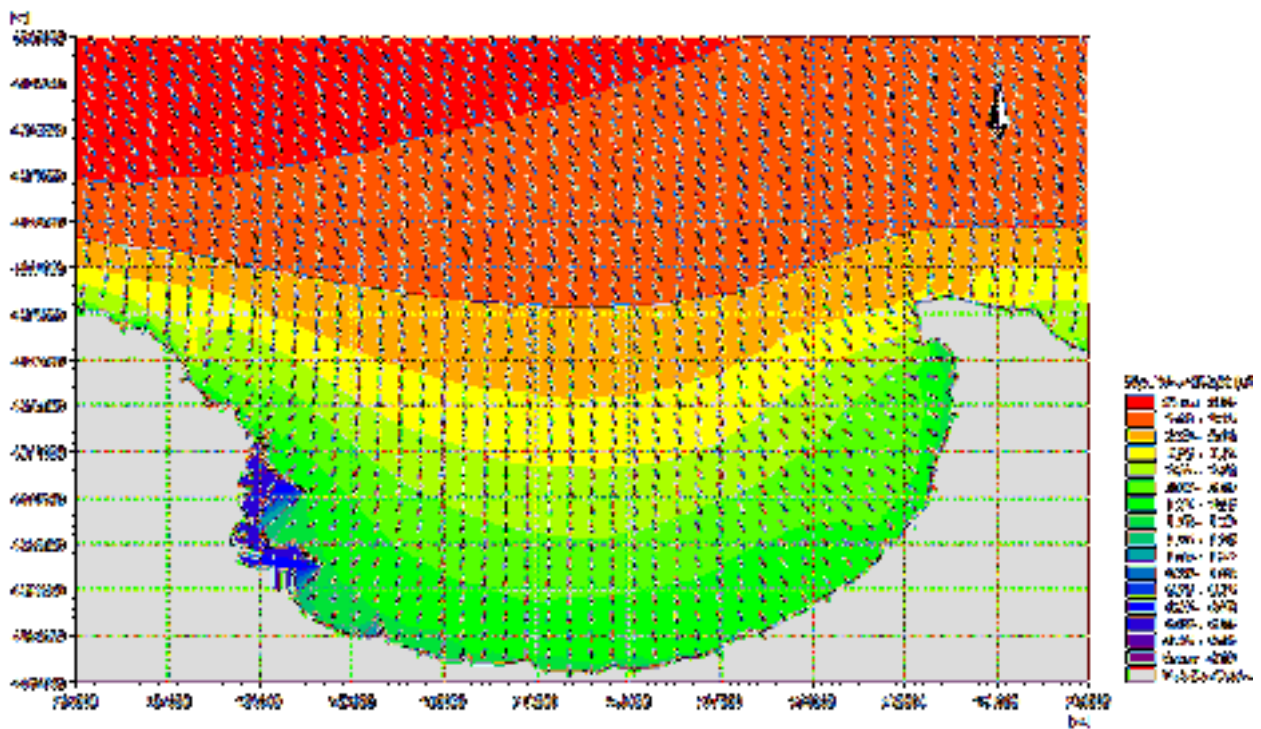


## Annexes

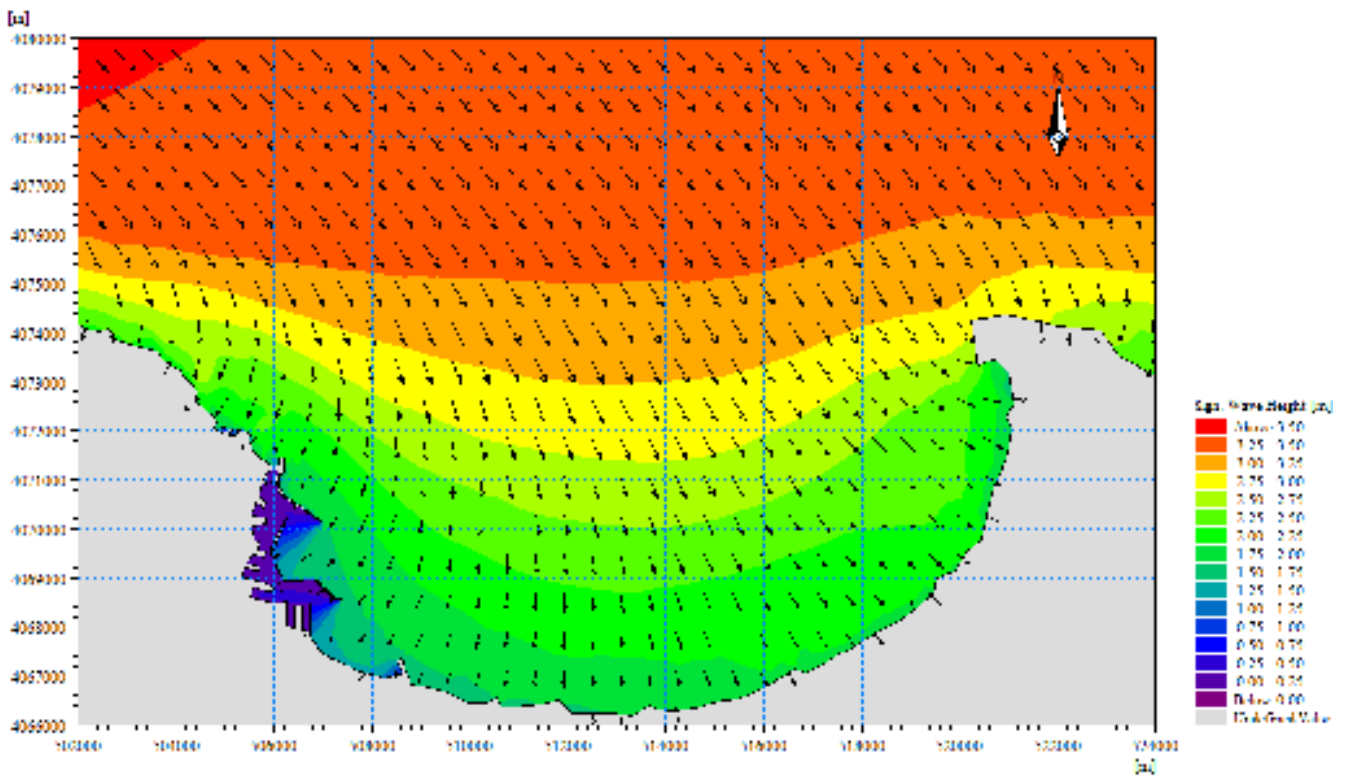
**Annexe B.V :** Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 30°N de période de retour 100 ans



**Annexe B.VI :** Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 300°N de période de retour 50 ans



**Annexe B.VII : Hauteur significative et direction moyenne des vagues pour une houle de secteur 300°N de période de retour 100 ans**



## Résumer

Le port d'Alger joue un rôle important dans l'économie du pays ; il est de véritables poumons du commerce extérieur, surtout pour les exportations qui sont nécessaires au développement de l'économie. Mais il ne peut pas recevoir un 1200 EVP (Équivalent Vingt Pieds) de première génération, par le linéaire de quai (276 mètres maximum) et le tirant d'eau qui ne dépasse pas 13 mètres. L'objectif est d'étudier l'impact de l'augmentation du tirant d'eau sur l'agitation portuaire. Donc nous avons effectué une modélisation d'agitation portuaire à l'aide du logiciel ARTEMIS dans l'avant-port. Les résultats obtenus montre qu'on ne peut pas faire l'aménagement parce-ce que le port d'Alger a déjà le problème d'agitation.

## ملخص

للميناء الجزائر دور هام في اقتصاد البلاد، انه الرئة الحقيقية للتجارة الخارجية، وخاصة بالنسبة للصادرات الضرورية لتنمية الاقتصاد. لكن لا يمكنه استقبال ما يعادل عشرين قدما من الجيل الأول، بطول الرصيف (276 مترا كحد اقصى) والغاطس الذي لا يتجاوز 13 مترا. الهدف هو تأثير زيادة الغاطس في الميناء الخارجي على اضطراب الميناء. لذلك قمنا بنمذجة لاضطراب الميناء باستخدام برنامج ارتيميس. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بانه لا يمكن ان تتم تهيئة الميناء لأنه يعاني بالأصل من مشكل الاضطراب.

## Summarize

The seaport of Algiers plays an important role in the economy of the country; it is the real lungs of foreign trade, especially for exports which are necessary for the development of the economy. But it cannot receive a 1200 TEU (Twenty-foot Equivalent Units) of first generation, by the quay line (276 meters maximum) and the draught which does not exceed 13 meters. The objective is to study the impact of the increase in draught on port agitation. So we carried out a modeling of port agitation using ARTEMIS software in the outer-harbor. The results obtained show that the development cannot be carried out because the seaport of Algiers already has the problem of agitation.