

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

Modélisation de l'agitation des vagues dans le port d'Alger

(Application du model Telemac)

Présenté par :

- ❖ Nait idir Yasmine
- ❖ May Ibtissem

Soutenu le 18/ 07 /2023 devant le jury :

Mr DAHMANI	Président	ENSSMAL
Mr MEZOUAR K.	Promoteur (Professeur)	ENSSMAL
Mr SAF B.	Co-promoteur (Ingénieur)	ENSSMAL
Mme ABDDAIM	Examinatrice	ENSSMAL
Mme FELLAH	Examinatrice	ENSSMAL

Remerciement

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 **M. MEZOUAR KHOUDIR** Maitre de conférences chargé de cours, à 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 à **SAF IBRAHIM** qui a bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et nous guider à chaque étape de sa réalisation et qui nous a toujours réservé le meilleur accueil.*

On voudrait aussi adresser toute nos reconnaissances aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre projet de fin d'étude, président Mr DAHMANI des membres de jury, et aux examinateurs Meme ABDDAIM et Meme FELLAH.

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

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Dédicace de Nait idir Yasmine

Je dédie ce travail

*A mes très chers **Parents**, source de vie, d'amour et d'affection qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

Qu'ils trouvent le témoignage de ma profonde reconnaissance.

*A ma grande sœur **Assia** et mon grand frère **Ziad** à l'étranger qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche malgré de loin.*

*A mes petits chers **Adnane e Assma** , source de joie et de bonheur .*

*A toute ma **Famille**, source d'espoir et de motivation.*

*A tous mes **amis (e)** de proche ou de loin, pour leur soutien inestimable.*

A vous chers lecteurs.

Dédicace de May Ibtissem

A mes parents qui m'ont aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui,

A mes chers frères et sœurs,

A toute ma famille, A tous mes amis,

A tous ceux qui me connaissent.

Table des matières

Remerciement.....	I
Table des matières	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
Liste des abréviations	V
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités	
1. Généralités sur les ouvrages portuaires	3
1.1. Définition d'un port	3
1.2. Présentation et description de différents types d'ouvrage portuaire.....	4
1.2.1. ouvrages extérieurs.....	4
1.2.2. Ouvrages intérieurs	6
2. Etude de génération et la propagation de la houle	7
2.1. La houle	7
2.2. Les vagues.....	7
3. Etude de l'agitation portuaire	8
3.1. Définition d'agitation portuaire.....	8
4. Phénomènes hydrodynamiques à l'intérieur du port.....	9
4.1. Le phénomène de résonance	9
4.2. Les Seiches.....	9
Chapitre II: Présentation de la zone d'étude	
1. La baie d'Alger	10
1.1. Situation géographique de la baie d'Alger.....	10
2. Port d'Alger	11
2.1. Situation géographique du port d'Alger	11
2.2. Histoire du Port d'Alger.....	12
3. Morphologie de la baie d'Alger	12
3.1. Géomorphologie.....	12
3.2. Géologie de la baie d'Alger	12
4. Réseau hydrographique	13
5. Conditions météorologiques et océanographiques	14
5.1. Base de données WAVECLIMATE	14
5.2. Données environnementales.....	21

Chapitre III : Analyse des événements extrêmes

1.	Introduction	25
2.	Présentation des hauteurs significatives maximales au large de la baie d'Alger ..	25
3.	Théorie des valeurs extrêmes	27
3.1.	Méthode des Blocs Maximas	27
3.1.1.	Les résultats de la méthode Bloc Maxima	29
3.1.2.	Résultats GEV avec la distribution de Gumbel.....	29
3.1.3.	Résultats GEV avec la distribution de Weibull.....	30
3.2.	Loi des excès, approche POT	34
3.2.1.	Les résultats de la méthode POT	35

Chapitre IV: Modélisation numérique

1.	Introduction	39
2.	Présentation de la modélisation.....	39
2.1.	Présentation du modèle mike 21	39
3.	Etude bathymétrique	40
4.	Résultats de la bathymétrie dans la baie d'Alger	43
4.1.	Résultats de la bathymétrie de port d'Alger.....	44
5.	Principe de simulation du MIKE 21-DH.....	45
5.1.	Les conditions de projet à simuler.....	45
6.	Les résultats des simulations SW	47
6.1.	Interprétation des résultats de module SW.....	56
6.2.	Interprétation des résultats de module HD.....	57
7.	Etude d'agitation dans le port d'Alger	58
7.1.	Principe du calcul d'agitation portuaire	58
7.2.	Modèle d'agitation des vagues.....	58
7.3.	Présentation du BlueKenue	59
7.3.1.	Les avantages de BleuKenue	59
7.3.2.	Mesh.....	60
7.4.	Présentation de logiciel TELEMAC	61
7.4.1.	Présentation d'ARTEMIS.....	62
7.4.1.1	Résultats et Interprétation de la simulation d'agitation sur ARTEMIS	64

Chapitre V: Solution

1.	Dragage	68
2.	L'intérêt de dragage	68
3.	Les équipements de dragage	68
3.1.	Les dragues mécaniques.....	68
3.2.	Le dragage hydraulique.....	69

3.3. Le dragage pneumatique	70
4. Shéma résume les types de dragage des zones portuaires.....	71
5. Calcul de la profondeur	72
6. Les étapes suivis pour le dragage	73
Conclusion générale	76

Listes des figures

Figure 1: Schéma de principe d'un port maritime [www.forum-btp.blogspot.com].....	3
Figure 2: Image réel de port d'Alger avec deux Jetées (Google Earth 2023)	4
Figure 3: Schéma d'une digue à talus (Scherrer, 2010).....	5
Figure 4: Schéma d'une digue verticale (Scherrer, 2010)	5
Figure 5: Schéma d'une digue mixte (Zamoum, 2015)	6
Figure 6: Représentation des paramètres caractéristiques des vagues (Grasso, 2009 in NADIR, 2016)	7
Figure 7: L'organigramme de déroulement d'une étude d'agitation Portuaire (CEREMA, 2018).....	8
Figure 8: Situation géographique de la baie d'Alger Source : (Fond utilisé ; Image satellitaire Sentinel 2 [www.copernicus.eu/fr] 2021 (Arc GIS)) du la Baie d'Alger.....	10
Figure 9: Situation territoriale du port d'Alger. Source : (Fond utilisé ; Image satellitaire Sentinel 2 [www.copernicus.eu/fr] 2021 (Arc GIS)).....	11
Figure 10: Localisation du port d'Alger en 1830	12
Figure 11: Schéma du Plan de masse de port d'Alger en 1868(site du centre de documentation-historique-sur-l'Algérie-CDHA-port-d'Alger).	13
Figure 12: Le port d'Alger de 2007 à 2023, un port quasi inchangé en 16 ans	13
Figure 13: Carte de localisation de l'Oued el Harrach et Oued el Hamiz. (Google Earth Pro 2023).....	14
Figure 14: Les roses des vents saisonnières enregistrées de la période entre 1992 et 2021	17
Figure 15: Les roses des vents saisonnières enregistrées de la période entre 1992 et 2021....	17
Figure 16: Les roses des houles annuelles et saisonnières enregistrées de la période entre 1992 et 2021	19
Figure 17: Les roses des houles mensuelles enregistrées de la période entre 1992 et 2021....	20
Figure 18: La distribution des amplitudes de houle en fonction du temps entre (1992-2021) au large de la baie d'Alger.....	25
Figure 19: La distribution des périodes de pics de houle en fonction du temps (1992-2021) large de la baie d'Alger.....	26
Figure 20: La distribution des directions de vent en fonction du temps (1992-2021) large de la baie d'Alger.....	26
Figure 21: Schéma représentatif des méthodes Blocs Maxima.....	27
Figure 22: Les trois types des distributions des valeurs extrêmes : Weibull, Gumbel et Fréchet (Abdeli, J . 2018)	28

Figure 23: Représentation des queues des 3 lois extrêmes (Kh.Tilbi, 2018)	28
Figure 24: Représentation de la méthode des Blocs Maximas sur les hauteurs significatives de Houle entre 1992-2021 au large de la baie d'Alger.....	29
Figure 25: Estimation des événements extrêmes via la distribution de Gumbel pour l'omnidirectionnel	29
Figure 26: Estimation des événements extrêmes via la distribution de Weibull pour l'omnidirectionnel	30
Figure 27: Estimation des événements extrêmes via la méthode Gumbel pour chaque direction.....	31
Figure 28: Estimation des événements extrêmes via la méthode Weibull pour chaque direction.....	32
Figure 29: Méthode des excès :u réel suffisamment élevé appelé seuil, Y: excès de X au-delà de u. (RAGGAD.B, 2009)	34
Figure 30: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement.....	35
Figure 31 : Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992-2021 au large de la baie d'Alger	35
Figure 32: Estimation des événements extrêmes (hauteurs significatives extrêmes) via la méthode POT pour omnidirectionnel dans la région de la baie d'Alger.	36
Figure 33: Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction.	37
Figure 34: La Bathymétrie et élément Mesh de la baie d'Alger.	42
Figure 35: La Bathymétrie et élément Mesh du port d'Alger.	42
Figure 36: Carte bathymétrique de la baie d'Alger.	43
Figure 37: Bathymétrie du modèle zoom sur le port d'Alger.	44
Figure 38: Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21	45
Figure 39: Champs des houles dans la Baie d'Alger de direction NNE (paramètres de houle pour une période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans).....	49
Figure 40: Champs des courants dans le port d'Alger de direction NNE (paramètres de houle pour une période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans).....	51
Figure 41: Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction NE (pour une période de retour de 2 ans).....	52
Figure 42: Champs des houles et des courants dans la baie et du port d'Alger de direction NNE (pour une période de retour de 2 ans).....	53

Figure 43: Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction N (pour une période de retour de 2 ans).....	54
Figure 44: Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction NNW (pour une période de retour de 2 ans)	55
Figure 45: Interface de BlueKenue	59
Figure 46: Maillage de port d'Alger sur BleuKenue.....	60
Figure 47: Zoom sur le maillage de port d'Alger.....	60
Figure 48: Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord.....	65
Figure 49: Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord.....	65
Figure 50: Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord-Est.	66
Figure 51: Résultat de l'agitation pour la période de retour 50ans -Scénario initial- Nord-Est.	66
Figure 52: Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord-Nord-Est	67
Figure 53: Dragage à pelle	69
Figure 54: Dragage a benne	69
Figure 55: Dragage à benne preneuse (Gardner, 2010).....	69
Figure 56: Dragage aspiratrice en marche (IADC, 2014).....	70
Figure 57: Représente le rectangle de navigation	72
Figure 58: La bathymétrie du port d'Alger sur ArcGis après dragage.....	73
Figure 59: Résultat de l'agitation pour la période de retour 25 ans -Scénario aménagé- NNE	75
Figure 60: Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- NNE	75
Figure 61 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- NNE.....	75

Liste des Tableaux

Tableau 1: Débits des principaux Oueds (ANRH 1990).	13
Tableau 2: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenus par la méthode GEV selon la distribution de Gumbel	30
Tableau 3: Estimation des événements extrêmes via la méthode Weibull pour chaque direction	33
Tableau 4: Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT. ...	38
Tableau 5: Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions dans la baie d'Alger résumant du chapitre 2	46
Tableau 6: Sortants du modèle SW.	46
Tableau 7: Les données sortantes du model HD	47
Tableau 8: Valeurs du SW pour chaque direction de propagation	47
Tableau 9: Volumes a dragué en fonction de profondeur	72

Liste des abréviations

BM : Bloc Maxima

DHI : Danish Hydraulic Institute

GEV : Généralisée des Valeurs Extrêmes

GPD : Distribution de Pareto Généralisé

Hs : Hauteur Significative

NGA : Niveau General Algérien

NM : Niveau Marin

POT: Peaks Over Threshold

TVE: Théorie des Valeurs Extrêmes

VIS : Visual Traffic System

Introduction générale

1. Introduction

Avec la mondialisation et la nécessité d'échanges internationaux de plus en plus récurrents entre les pays, il est essentiel de piloter les économies des régions côtières par le transport maritime, qui fournit beaucoup d'échanges internationaux. Parallèlement à la spécialisation des navires, à l'élargissement des marines et à la modernisation des ports, la croissance du transport maritime de marchandises a été très importante.

Par ailleurs, les ports algériens devraient donc être des escales logiques de ces routes. L'atout ne peut pas être un objectif. Par contre il faut être le point de départ pour atteindre des objectifs. Le dynamisme d'un port repose sur une bonne localisation géographique et sur la compétitivité des activités portuaires qu'il offre. L'Algérie peut tirer pleinement parti de cette opportunité de situation « pays maritime par excellence » (**Bouזורine . S et Souak. N, 2016**).

Le port est aussi un trait d'union entre le monde maritime et terrestre, selon l'interprétation de VIGARIE André (**Vigarie, 1979**), qui élabore dans sa thèse une schématisation de trois éléments indissociables appelée « le triptyque portuaire » comprenant l'espace portuaire lui-même, l'arrière-pays portuaire et l'avant-pays portuaire. Le port s'inscrit, à cet effet, dans une logique sociétale intégrant les différentes dimensions économiques, culturelles et politiques. Il devient, de plus en plus, un centre de communication intégré et une plate-forme logistique attrayante (**Kacha. I et Khris. H, 2017**).

Le port d'Alger est donc un centre vital pour le commerce maritime et les échanges en Algérie, jouant un rôle clé dans l'économie du pays. Il offre des infrastructures modernes, une connectivité internationale et une importance stratégique en tant que point d'accès majeur sur la côte méditerranéenne.

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 de navires à l'intérieur de port (**Rabehi. W et Rahal. F, 2011**).

Le but de notre travail est de déterminer l'impact de l'agitation au sein de port d'Alger à cause de l'action de la houle et sa réflexion très nuisibles aux activités portuaires.

Pour répondre à cette problématique nous adoptons une démarche méthodologique reposant, en plus des recherches bibliographiques et documentaires ; nous avons exploité des données WAVECLIMATE pour effectuer le présent travail.

Nous allons structurer notre mémoire en trois chapitres que nous assignons ci-dessous :

Le premier chapitre : présentera les généralités sur les ouvrages portuaires et on a décrit les aspects généraux de la zone d'étude ; situation géographique, historique, morphologie et nature de fond ainsi que la géologie de la zone étudiée, l'étude de la propagation de la houle et l'étude de l'agitation portuaire. Mais aussi des généralités sur les phénomènes hydrodynamiques à l'intérieur du port.

Le deuxième chapitre : concerne un traitement des données et faire une estimation des événements extrêmes via la théorie des valeurs extrêmes.

Enfin, le troisième chapitre : sera consacré sur la modélisation numérique qui se compose de la détermination et la description de logiciel utilisé (MIKE 21) et la méthodologie générale de travail, ainsi que la réalisation de la bathymétrie et des conditions de projet à simuler.

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

Chapitre I : Généralités

1. Généralités sur les ouvrages portuaires

1.1. Définition d'un port

Un port est une infrastructure située sur le littoral maritime, sur les berges d'un lac ou sur un cours d'eau et destiné à accueillir des bateaux et navires. Un port peut remplir plusieurs fonctions, mais doit avant tout permettre d'abriter les navires, en particulier pendant les opérations de chargement et de déchargement. Il facilite aussi les opérations de ravitaillement et de réparations (Alioua, 2013).

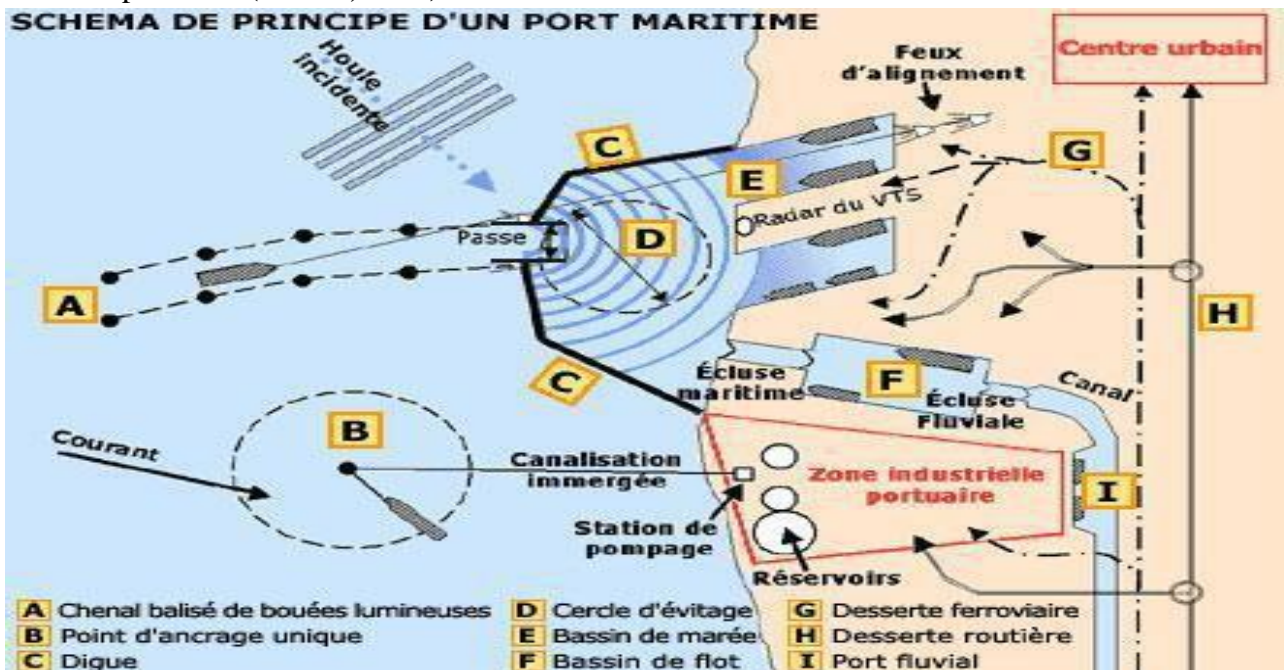


Figure 1: Schéma de principe d'un port maritime [www.forum-btp.blogspot.com].

Nous trouvons dans chaque port maritime un plan principal qui est fait pour le bon fonctionnement et circulation des navires suivant un chenal d'accès et d'issue du port, appelé un chenal balisé (A), dont ils sont dirigés par le radar du VIS (Visual Traffic System) et les feux d'alignement.

Les digues (C) servent à protéger et à maintenir la stabilité de l'avant-port (D) qui représente le plan d'eau du port. Les navires peuvent effectuer des manœuvres d'évitage, de façon à pouvoir être amarré à son poste d'opérations cap vers la sortie.

Les postes d'accostage conçus sous forme de quais, appontement ou de ducs d'albe sont établis en bordure de bassins de marée (E) qui sont en contact direct avec l'avant-port et des bassins à flot (F) reliés à l'avant-port par une écluse maritime

Les postes sont desservis par des voies de transport intérieures routes, rails et voies navigables successivement (G, H, I) et équipés de terre-pleins permettant le stockage des cargaisons. Dans, le beau-temps, les navires transportant des cargaisons liquides ou en vrac peuvent être reçus à des postes non protégés (B), Ils transportent leur cargaison par des tuyaux flexibles reliés à un point d'ancrage (B) constitué d'une bouée ancrée sur le fond par des chaînes. La liaison de canalisation fixe est posée sur le fond marin (OUNIS. F. S et ABER. K, 2020).

1.2. Présentation et description de différents types d'ouvrage portuaire

Les Ouvrages qui constituent l'armature d'un port sont regroupés en deux catégories :

1.2.1. Ouvrages extérieurs

- **Le chenal d'accès :**

Le chenal d'accès à un tracé rectiligne ou est constitué par une succession de parties droites faisant entre elles un angle n'excédant pas une trentaine de degrés.

Sa largeur est de l'ordre de grandeur de la longueur du plus grand navire (ou de 6 à 9 fois la largeur maximale du navire) qui doit être reçu au port, cette valeur étant impérative si le tracé du chenal est traversier par rapport au vent ou au courant.

Le chenal est matérialisé par des couples de bouées ou des amers fixes portant des marques et des feux caractéristiques ; son axe peut être signalé par un alignement constitué par deux amers placés à terre et munis de feux (Chaibai M. S et Hanani A. Z, 2022).

- **L'avant-port :**

Il doit permettre au navire de s'arrêter en attendant l'assistance de remorqueurs pour gagner son poste d'opération : pour que le navire puisse s'arrêter et manœuvrer – et notamment « éviter » (c'est à dire tourner sur lui-même éventuellement de 180°), le cercle d'évitage qui doit pouvoir être inscrit dans l'avant-port, a un diamètre égal à 2 à 4 fois la longueur du plus grand navire, selon la possibilité d'intervention des remorqueurs. Il peut exceptionnellement être réduit en deçà si les conditions de manœuvre sont excellentes et si le navire dispose de propulseurs d'étrave. L'agitation dans l'avant-port ne doit pas excéder 1,20 m, et de préférence, être limitée à moins de 1 m (Zamoum, 2015).

- **Les jetées (digues) :**

Elles protègent l'avant-port contre l'agitation due à la houle et sont conçues pour résister à l'assaut des vagues.



Figure 2 : Image réel de port d'Alger avec deux Jetées (Google Earth, 2023).

Trois types d'ouvrages sont utilisés :

✓ **La digue à talus**

Les grandes digues modernes sont, en général, du type "à talus", constituées par des couches d'encrochements de poids croissant depuis l'intérieur vers les faces externes, elles comportent une carapace contre laquelle vient se briser la houle et sont surmontées par un couronnement massif en béton de ciment. La hauteur de cette carapace doit être suffisante pour éviter le franchissement de l'ouvrage par les vagues déferlantes, ce qui réduirait l'efficacité de la protection des plans d'eau intérieurs (Nehaoua, A, 2017).

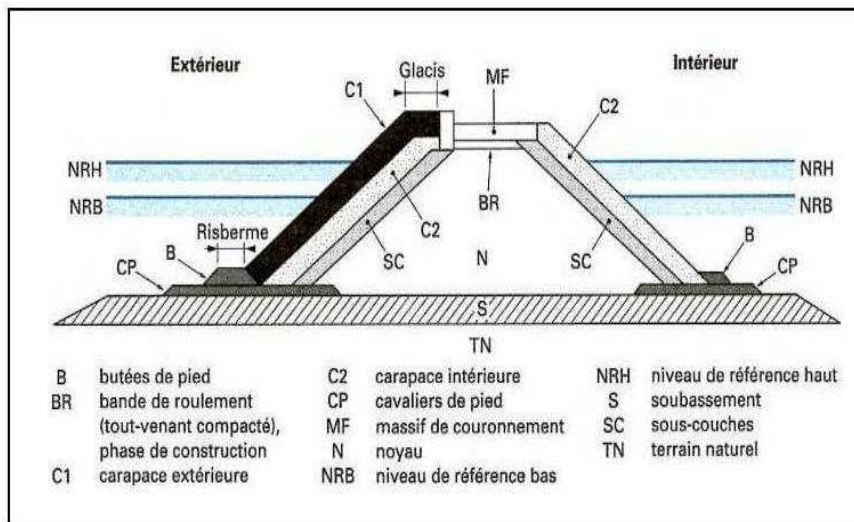


Figure 3: Schéma d'une digue à talus (Bonnefille, 1992).

✓ **La digue verticale**

Une digue verticale est essentiellement composée d'un mur vertical monolithique ou constituée d'éléments assemblés entre eux destinés à renvoyer l'énergie de la houle par réflexion quasi totale. Ces digues sont conseillées en eau profonde (>15m), vu la demande importante en matériaux rocheux dans le cas de digue à talus. La largeur de la digue est fixée par le calcul de stabilité (H est la hauteur) (Haddam, A et Tadlaoui, A, 2015).

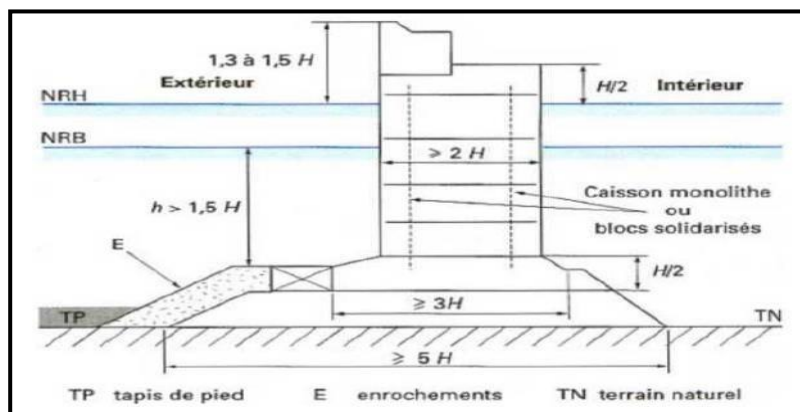


Figure 4: Schéma d'une digue verticale (Scherrer, 2010).

✓ Les digues mixtes

Procèdent de l'un et l'autre des types précédents, la muraille et le talus du soubassement devant être déterminés pour résister aux efforts des houles déferlantes. Dès que l'amplitude des houles auxquelles elles sont exposées est forte (plus de 4 m) et que la profondeur est importante (supérieure à 20 m), les digues sont des ouvrages très onéreux : leur coût varie sensiblement comme le carré de leur hauteur (Zamoum, 2015).

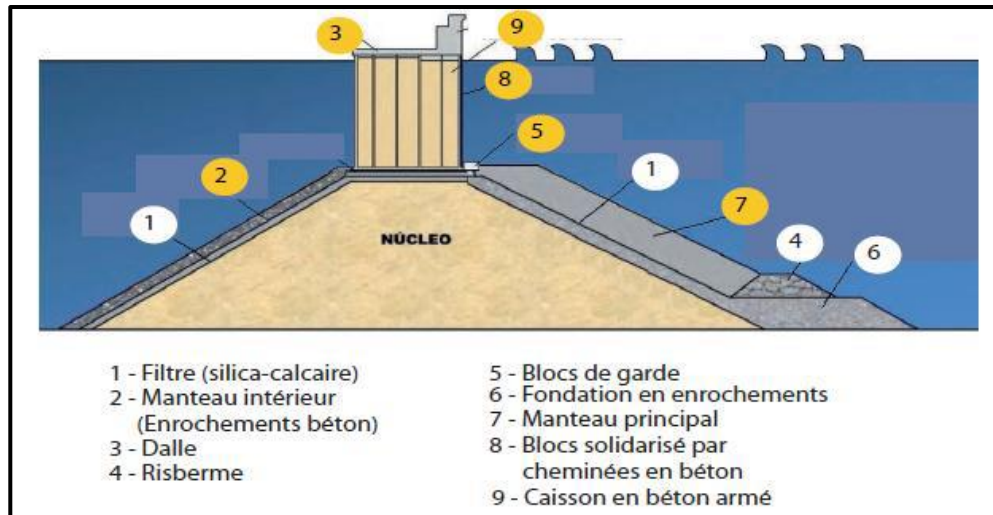


Figure 5 : Schéma d'une digue mixte (Zamoum, 2015).

1.2.2. Ouvrages intérieurs

• Bassins :

Depuis l'avant-port, le navire gagne son poste d'opération qui est établi dans un bassin où le plan d'eau ne doit pas avoir une agitation supérieure à 50 cm, une valeur de 80 cm étant un maximum admissible pour les grands navires de l'ordre de 50 cm (pour les unités fluviales).

Lorsqu'il est en communication directe avec l'avant-port, le bassin est dit "de marée". La profondeur du bassin et celle du poste d'opération sont égales à la somme :

- Du tirant d'eau maximal admissible,
- Du marnage maximum (incluant l'effet des marées et des surpressions atmosphériques),
- D'une sur profondeur, fonction de l'importance des dépôts solides qui peuvent se former dans le port (en générale 1 m), de l'imprécision des sondages (Zamoum, 2015).

• Ouvrages d'accostage et d'amarrage :

Les ouvrages d'accostage constituent des points pour le stationnement et éventuellement l'amarrage des navires afin de leur assurer une liaison avec la terre ce qui permettra :

- Le transit des passagers et des marchandises, moyennant des équipements et des engins de manutention.

- Au navire la possibilité d'avitaillement, d'armements, de remisage, de réparation ou pour attendre la libération d'un poste d'opération. On distingue généralement trois types d'ouvrages d'accostage : Les quais, les appontements, les ducs d'Albe. (Alioua. S et Hadj-guesmi. A, 2020).

2. Etude de génération et la propagation de la houle

2.2. Les vagues

Les vagues sont des ondes de gravité qui se propagent généralement au niveau de la surface de la terre, la figure 6 permet de représenter les différents paramètres d'une vague (Khaldi, N, 2015).

Les principaux paramètres des vagues sont :

- La période T ,
- L'amplitude a ou encore la longueur d'onde λ
- La hauteur H
- Nombre d'onde K ($k = 2\pi/L$).

La longueur d'onde est directement liée à la vitesse de phase C et à la période de la houle par la relation $L = C.T$ (Shore protection manual, 1984).

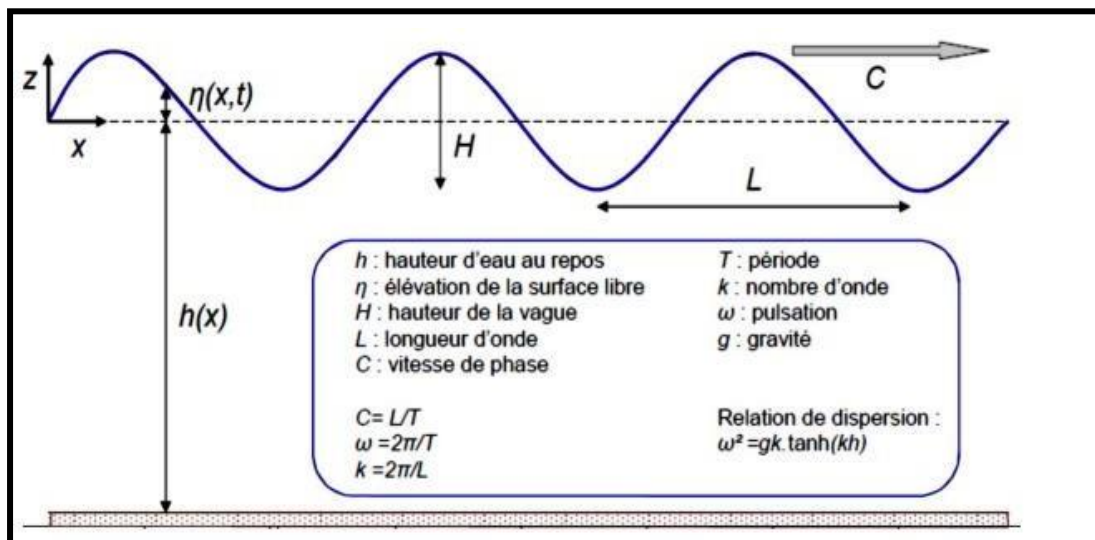


Figure 6: Représentation des paramètres caractéristiques des vagues (Grasso, 2009 in Nadir, 2016).

3. Etude de l'agitation portuaire

3.1. Définition d'agitation portuaire

Tous les ports consistent à faire l'étude de l'agitation portuaire pour butte connaitre plusieurs objectifs tel que, les conditions d'exploitation associées à un nouvel aménagement de port (CEREMA, 2018).

L'étude d'agitation qui permet de modéliser la propagation des vagues et l'agitation résiduelle dans les zones portuaires en prenant en compte la réfraction, la réflexion et la diffraction. Cette modélisation permet de définir les conditions nécessaires pour que les vagues de faible hauteur ne s'amplifient pas dans les bassins d'un port.

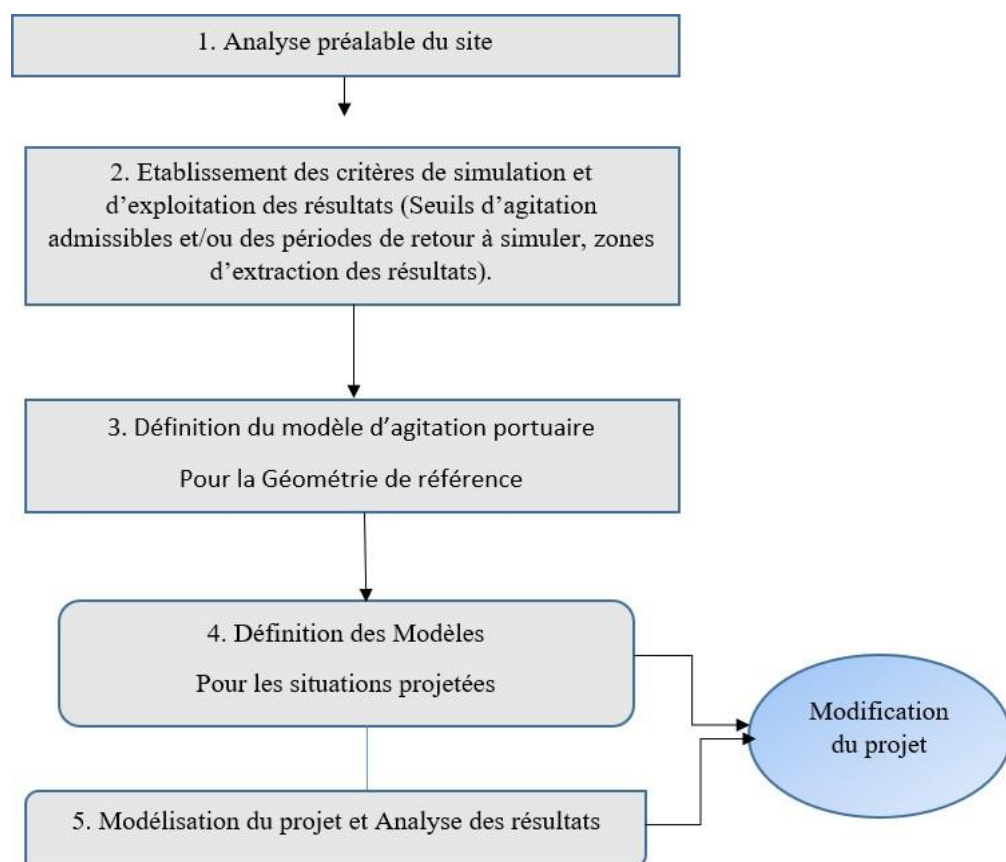


Figure 7: L'organigramme de déroulement d'une étude d'agitation Portuaire (CEREMA, 2018).

4. Phénomènes hydrodynamiques à l'intérieur du port

4.1. Le phénomène de résonance

Le phénomène de résonance donne lieu à des oscillations de plus ou moins grande amplitude qui excèdent rarement le mètre. Les plus gros dysfonctionnements sont dus aux courants puissants et alternatifs générés par l'onde stationnaire, qui soumettent les embarcations à un mouvement de va-et-vient provoquant l'usure rapide voire la cassure des amarres. L'observation sur le long terme permet d'évaluer les causes et les risques potentiels de ces phénomènes de résonance (Rey, V, 2022).

Pour une baie semi-fermée circulaire, de bathymétrie paraboloidale, de distance L entre le fond et l'entrée de la baie et de profondeur h à l'entrée, la période T du mode fondamental est donnée par

$$\text{L'équation 1 :} \quad T \text{ (s)} = 2.220 \frac{2L}{\sqrt{gh}}$$

Lorsque le bassin est ouvert, la condition de résonance impose un nœud d'oscillation en entrée. Pour des géométries simples, des formules sont proposées pour les périodes propres (Rabinovich, A, 2009)

4.2. Les Seiches

Les études des seiches dans les ports sont encore plus récentes. En effet, c'est seulement en 1864 que **Thomas Stevenson** fait une étude sur la rupture des amarres causée par les seiches. On peut également citer les études approfondies faites par le grand spécialiste des seiches **WILSON**, sur le port de Table Bay et l'examen du mouvement d'un navire amarré soumis à une seiche (Mellahi, B, 2018).

Les seiches et les ondes de seiches sont des mouvements oscillatoires des étendues d'eau rentrant dans la catégorie générale, des ondes de gravité et dont la période est comprise entre celle des vagues de tempête les plus longues et celle des marées semi-diurnes. Les ondes de seiches sont la forme progressive de ces oscillations, et les seiches la forme stationnaire se produisant dans des étendues d'eau plus ou moins fermées.

Chapitre II :
Présentation de la zone
d'étude

1. La baie d'Alger

1.1. Situation géographique de la baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle a une ouverture de 15 kilomètres environ. Caractérisée avec sa forme semi-circulaire et d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km². Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. Elle est délimitée par deux caps, la Pointe-Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El- Bahri) à l'Est. Ainsi que par la mer Méditerranée au Nord. Elle comprend 11 communes côtières.

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

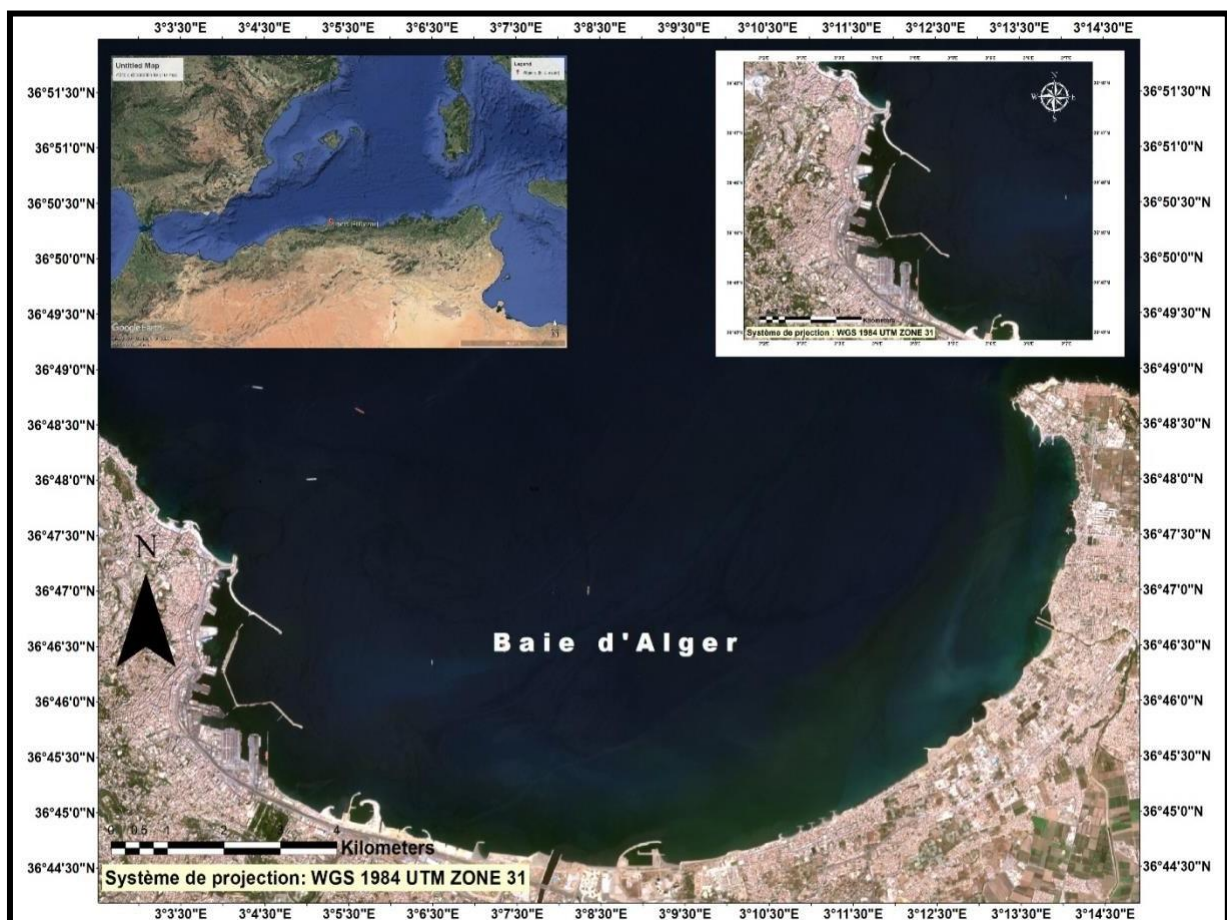


Figure 8: Situation géographique de la baie d'Alger Source : (Fond utilisé ; Image satellitaire Sentinel 2 [www.copernicus.eu/fr] 2021 (Arc GIS)) du la Baie d'Alger.

2. Port d'Alger

2.1. Situation géographique du port d'Alger

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

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

Le port, tout artificiel, a 90 hectares. Il est formé :

- Une jetée de 200 mètres de longueur (jetée Khérédine) qui réunit à la terre ferme l'îlot sur lequel les Espagnols avaient construit le Fort du Pegnon.
- une seconde jetée, dite du Nord, qui s'enracine sur cet îlot et court dans la direction du nord-ouest au sud-est, sur une longueur de 900 mètres.
- La jetée, dite du Sud, qui s'enracine à la terre ferme sous un ancien fort turc (fort Bab Azoun). Cette jetée, composée de deux branches se réunissant à angle droit, est terminée par un musoir qui laisse, entre son extrémité et la jetée du Nord, une passe de 250 mètres.



Figure 9: Situation territoriale du port d'Alger. Source : (Fond utilisé ; Image satellitaire Sentinel 2 [www.copernicus.eu/fr] Arc GIS, 2021).

2.2. Histoire du Port d'Alger

Selon le site officiel du port d'Alger et le site du centre de documentation-historique-sur-l'Algérie-CDHA-port-d'Alger :

Le grand Alger en continuel développement abrite plus de trois millions d'habitants. Capitale économique, politique et intellectuelle, Alger est aussi un important centre industriel avec le premier port commercial du pays.

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

➤ **En 1830** : Au moment de l'invasion coloniale française, le port offrait une superficie de 3 hectares 50 ares avec une passe de 130 mètres de large au Sud. Le début de la construction du bassin du vieux port remonte à 1830. Le bassin achevé, 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 furent achevées en 1865. La construction du bassin de l'Agha a été achevée en 1914.

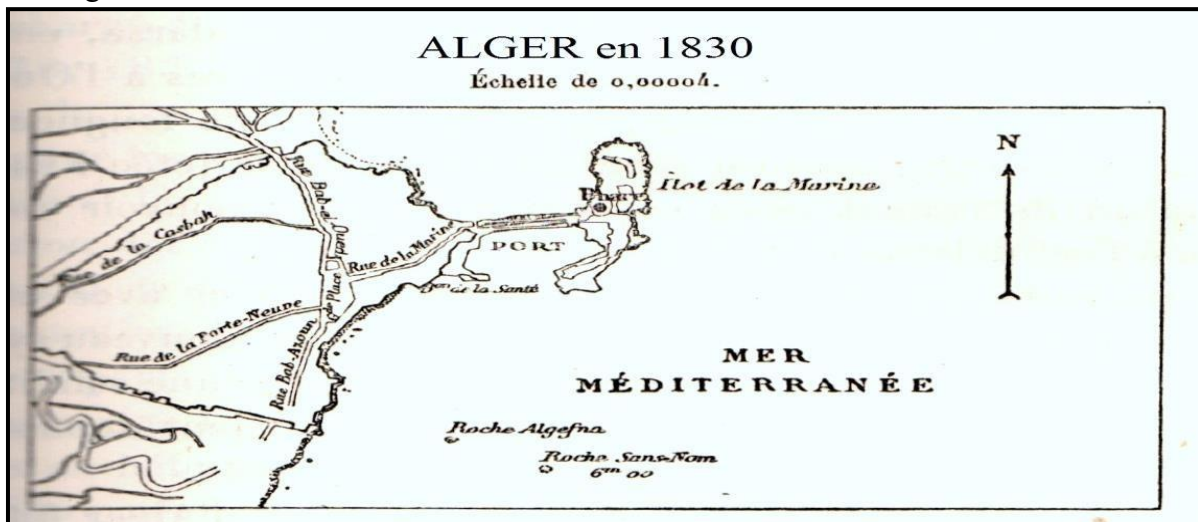


Figure 10: Localisation du port d'Alger en 1830.

- **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.
Travaux projetés en 1950 : Prolongement de la jetée de Mustapha au-delà du P.M. 1.200m et construction sur le môle Louis Billard (non réalisée).
- **De 1961 à 1963** : Construction du môle Skikda.
- **En 1962** : Une nouvelle ère commence : riche de son histoire plusieurs fois millénaire, l'Algérie, s'ouvre de nouveau vers le Monde. Alger est redevenue capitale, de la nouvelle Algérie.
- **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.

➤ De 2000 à 2010

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

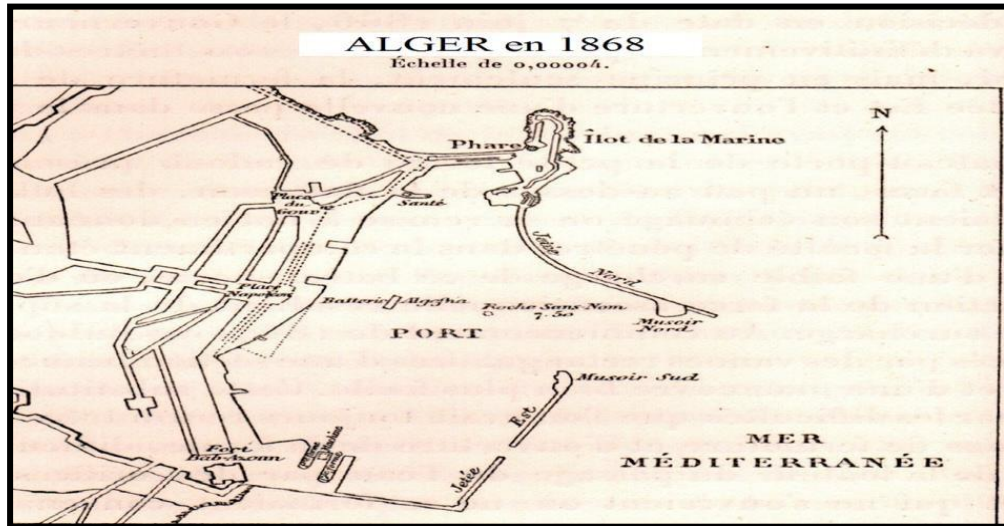


Figure 11: Schéma du Plan de masse de port d'Alger en 1868(site du centre de documentation-historique-sur-l'Algérie-CDHA-port-d'Alger).



Figure 12: Le port d'Alger de 2007 à 2023, un port quasi inchangé en 16 ans.

3. Morphologie de la baie d'Alger

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 (**Geundouzi.Y, 2011**).

Trois principaux faciès sédimentaires sont observés de la côte vers le large (**Maouche, 1987**).

- Faciès sableux (à sablo-vaseux) limité à la bordure littorale entre 10 m et 35 m de profondeur. au droit des émissaires et au prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus importantes en direction du centre de la baie.
- Faciès carbonatés réduits aux bordures rocheuses littorales et aux hauts fonds rocheux de la baie.
- Faciès pélitiques (vaso-sableux à vaseux) occupant la partie centrale de la baie dès 25 m de profondeur.

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

3.1. Géomorphologie

Le plateau continental de la baie d'Alger est large d'environ 9 km. Cependant, aux deux points extrêmes de la baie, on constate qu'il se réduit à une largeur maximale de 1 km. Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celle des 100 m (**PAC, 2004**).

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

3.2. Géologie de la baie d'Alger

L'étude de la zone qui nous intéresse se situe au sud du bassin méditerranéen et concerne une portion de la marge algérienne c'est à dire la baie d'Alger et les deux oueds qui débouchent en mer. Le plateau continental, entre la marge étroite du massif d'Alger et de Cap Matifou, se développe pour former la baie d'Alger

La formation d'El Harrach était auparavant, sous le nom de mare de Maison carrée » Villa Franchise (**Adel et al, 1992**).

Le bassin versant de l'Oued El Harrach est constitué d'unités géologiques d'âges différents.

Les grands ensembles morphologiques qui constituent cette région sont :

- Le massif de Bouzereah (Alger)
- La plaine littorale orientale.
- Le cordon littoral dunaire.
- La plaine de la Mitidja
- L'Atlas Blidéen.

Le piémont Sud du Sahel, formé de dépôt argilo caillouteux, donne des pentes résistantes au phénomène d'érosion.

Cette ride Sahélienne d'altitude 200 à 300 m, sépare la plaine de Mitidja de la mer.

Le cordon littoral dunaire se caractérise par une petite barrière sablo gréseuse. Cette dernière est allongée parallèlement au rivage, séparant la rive maritime des zones basses septentrionales de la Mitidja (**Berrehal et al, 2004**).

Le massif Blidéen est presque entièrement constitué de schistes du crétacé inférieur. Les roches cristallines disparaissent définitivement (**Halimi, 1980**).

4. Réseau hydrographique

Deux oueds se jettent dans la baie d'Alger, l'oued El Hamiz et l'oued El Harrach.

Les oueds El Harrach et celui d'El Hamiz sont les oueds qui débouchent en mer, ils drainent à la fois la partie centrale et orientale de la Mitidja.

Tableau 1: Débits des principaux Oueds (ANRH 1990).

Oueds	Superficie du bassin versant	Débit moyen annuel m^3/s	Apport annuel m^3	Crue moyenne m^3/s
El Harrach	970 Km^2	5,41	148.10 ⁶	335
El Hamiz	160 Km^2	1,84	58. 10 ⁶	/

➤ L'oued El Harrach

Selon notre terrain d'étude, l'oued El Harrach reste l'oued le plus important étant donné qu'il est la source principale des différentes pollutions et en apports des sédiments. Son débit en période de pluie est de 1000 m^3/s , il est le réceptacle des effluents d'origine urbaine chargés en matière organique et en microbiens agents ; ceux d'origine industrielle contiennent divers polluants chimiques. En traversant les terres agricoles, s'ajoutent les pesticides, les engrais et les produits phytosanitaires. Ces rejets sont souvent déversés en mer sans aucune sorte d'épuration. Ainsi ils seront responsables d'une multiforme pollution qui altèrera la qualité des eaux et des fonds de la baie d'Alger (**Atroune. F, 2012**).

Son débit est de 1 m^3/s en été et de 10 m^3/s en hiver, avec un débit moyen de 6 m^3/s et une charge journalière de 259 000 m^3 (**PNUE-PAM-PAC, 2002**).

➤ L'oued El Hamiz

Est un cours d'eau qui prend naissance dans le Tell près de Deux Bassins, après une vingtaine de kilomètres est régulé via le barrage du Hamiz et se jette dans la Méditerranée à Bordj El Bahri. En ce qui concerne l'Oued EL Hamiz, la présence d'un barrage portant le même nom a largement réduit les apports solides vers la mer actuellement, l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30ème) de mètre de large, (LEM, 1996).



Figure 13 : Carte de localisation de l'Oued el Harrach et Oued el Hamiz. (Google Earth Pro, 2023).

5. Conditions météorologiques et océanographiques

5.1. Base de données WAVECLIMATE

La base de données Wave-Climate.com fournit des informations détaillées et spécifiques au site sur le climat des vents et des vagues en mer partout dans les océans et les mers du monde.

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

Les séries temporelles résument les résultats réguliers des enregistrements chaque 3h le long de l'année, ainsi que autres paramètres de la houle sont présentés.

➤ Le vent

Pour une zone côtière, la connaissance du régime général des vents au large est d'une extrême importance dans le mouvement superficiel des eaux marines. En effet, ils sont des générateurs des houles au large et des courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (**Villeneuve 1980**).

Selon l'analyse des résultats des données climatologiques de base (WAVECLIMATE) et du régime de vents dans la Baie d'Alger durant la période (1992 à 2021) qui sont rapportées sous forme des « **Roses des Vents** » annuel et pour chaque trimestre avec le logiciel **Mike 21** représentés sur les Figures (**14, 15**). On remarque les répartitions suivantes :

a) Rose de vent annuelle

La rose de vent annuelle montre que les directions des vents les plus fréquents et les plus violents sont :

- Les vents d'Ouest
- Les Vents de Nord-Ouest
- Les Vents de Nord –Est

Ils peuvent atteindre jusqu'à 20 m/s en hiver voire (Figure **14**)

Nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent de secteurs Ouest- Sud-Ouest avec une fréquence d'apparition de 21% et d'Est-Nord-Est avec une fréquence d'apparition de 14%. Aussi d'Est et ouest avec des vitesses qui atteignent 20 m/s.

b) Roses des vents saisonnières

D'après l'analyse des roses des vents saisonnières (Figure **14**) on constate que :

- **Période printanière et automnale** : Une prédominance des vents de secteur compris entre Ouest à Sud-Ouest avec une fréquence d'apparition de 19 % et Est à Nord-Est pour la Baie d'Alger, avec une fréquence 24 % d'apparition et des vitesses supérieures à 17 m/s.
- **Période hivernale** : Les vents qui proviennent de secteur ouest et Sud-Ouest avec une fréquence d'apparition 30% et les autres directions sont moins fréquentes avec des fréquences relativement faibles.
- **Période estivale** : Les vents les plus dominants sont ceux de la direction Nord-Est avec une Fréquence d'apparition très marquante d'une fréquence d'apparition de 25%.

➤ **L'étude des houles**

C'est un paramètre hydrodynamique défini comme étant une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau, il dépend directement des vents et joue un rôle important dans la zone de déferlement. La propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est supérieure à la longueur d'onde de la houle (**Bonnefile, 1992**).

La connaissance des caractéristiques de la houle : direction, amplitude, réfraction, etc.

Ces caractéristiques conditionnent le dimensionnement de l'ouvrage de protection de la côte ainsi que son implantation. (**Viguié, 1992**).

Selon l'analyse des Roses des houles faites par le Mike 21 représentés voir les figures (**16, 17**) nous concluons que pour :

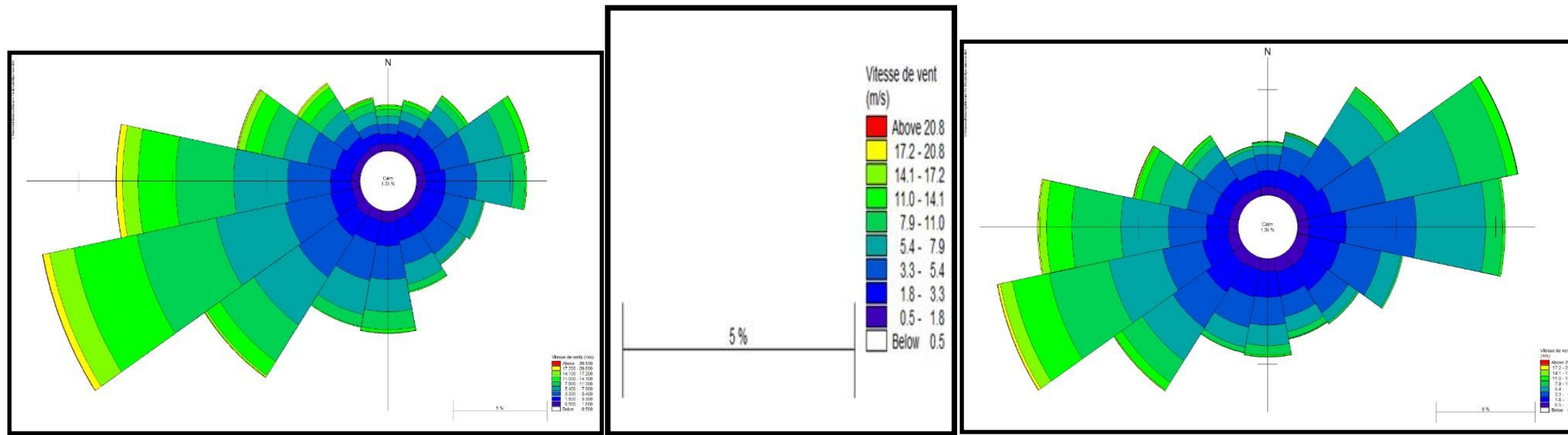
a) Rose de Houle annuelle :

La prédominance des houles issues des Secteurs Ouest avec une fréquence d'apparition de 19.5 % et Nord-Est avec un pourcentage de fréquence de 39 %.

b) Roses des Houles saisonnières :

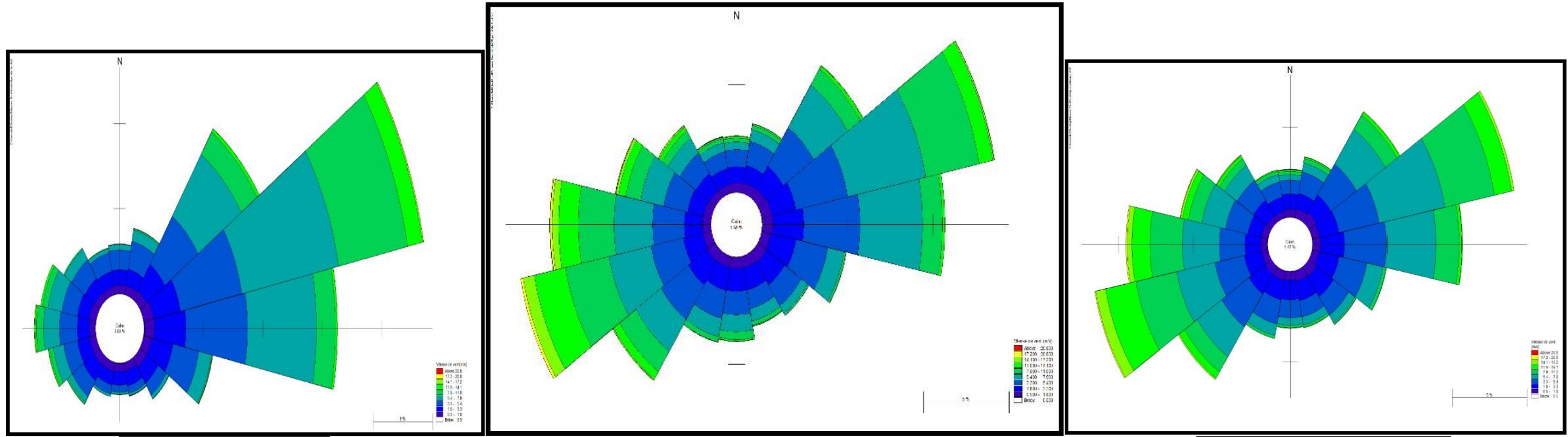
D'après l'analyse des roses des houles saisonnières (Figure 16) on constate que :

- **Période printanière et automnale** : nous observons que les houles qui proviennent de secteurs Nord-Est avec une fréquence d'apparition de 41 % et Ouest qui prédominent cependant c'est les houles d'Ouest qui sont les plus importantes 22%.
- **Période hivernale** : La dominance des houles qui viennent de secteur Ouest avec une fréquence d'apparition de 24%.
- **Période estivale** : Les houles du Nord-Est prédominent avec une fréquence d'apparition de 58 %.



Rose de vent hivernale

Rose de vent printanière



Rose de vent estivale

Rose de vent annuelle

Rose de vent automnale

Figure 14 : Les roses des vents saisonnières enregistrées de la période entre 1992 et 2021

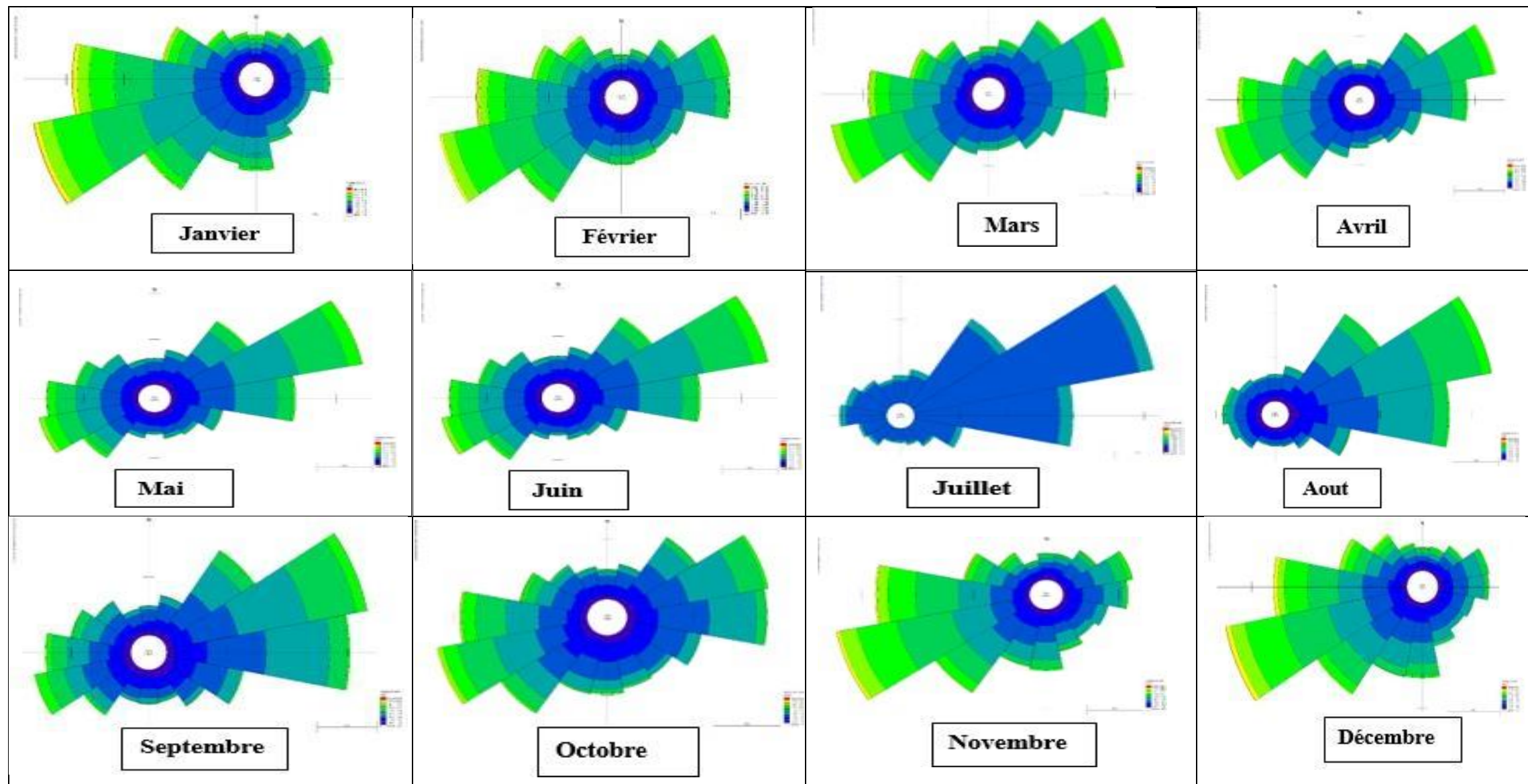


Figure 15 : Les roses des vents mensuelles enregistrées de la période entre 1992 et 2021

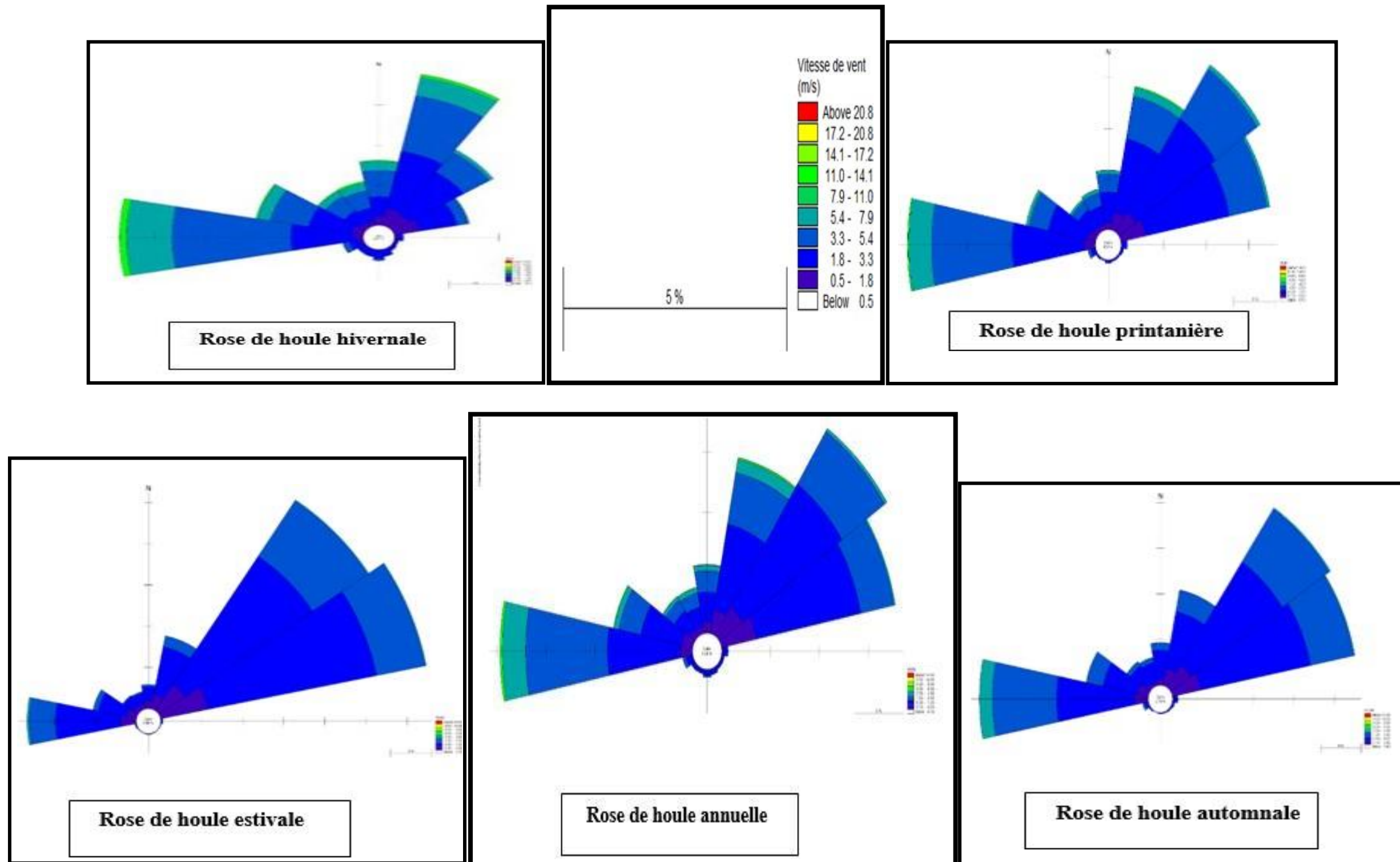


Figure 16 : Les roses des houles annuelles et saisonnières enregistrées de la période entre 1992 et 2021

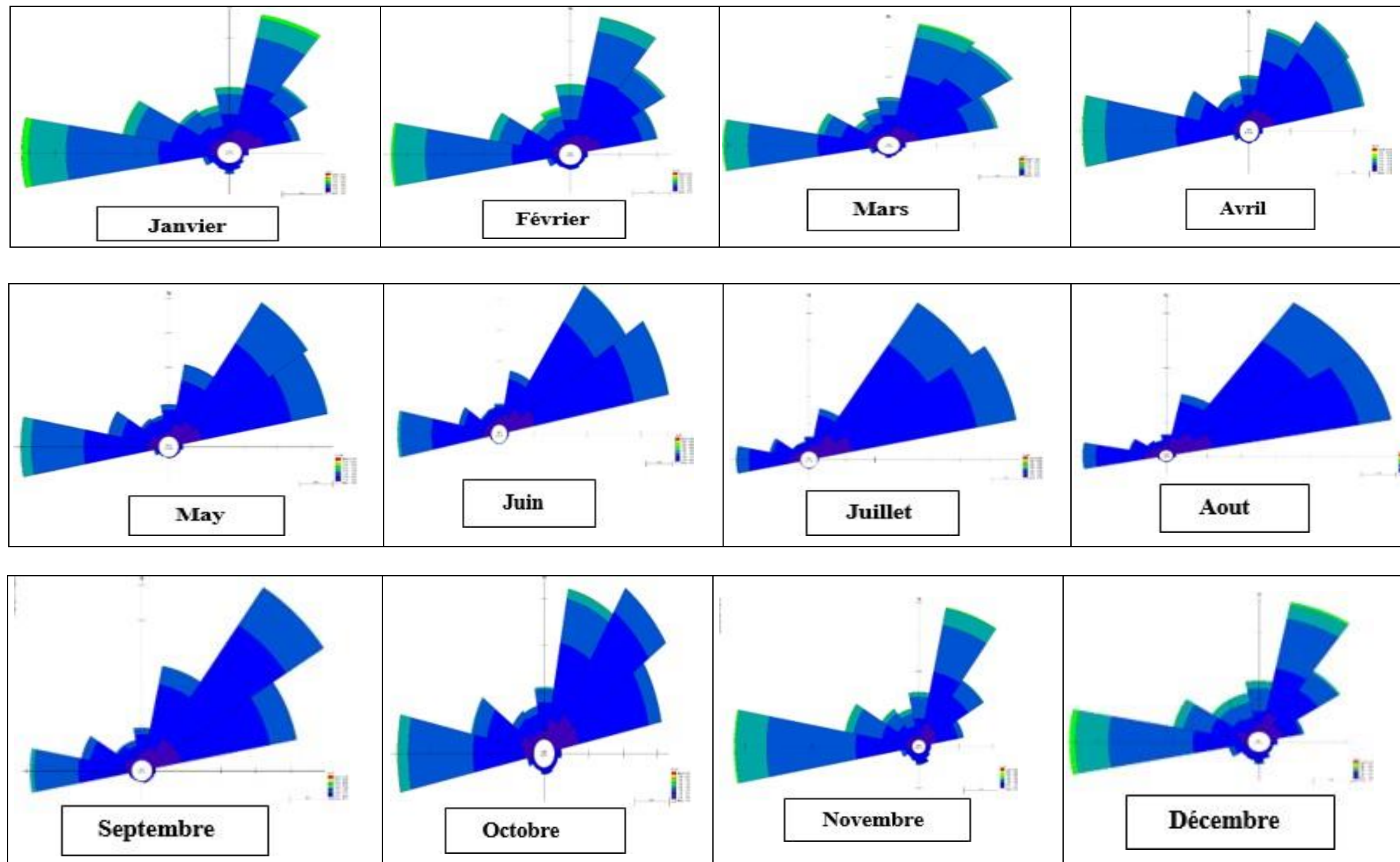


Figure 17 : Les roses des houles mensuelles enregistrées de la période entre 1992 et 2021

5.2. Données environnementales

➤ Les courants marins

Parmi leurs effets, les courants ont la capacité de réfracter les vagues. Ainsi, les variations de courant modifient la vitesse de phase des vagues et induisent une réfraction. La direction de propagation est alors modifiée et n'est plus perpendiculaire aux crêtes mais s'oriente parallèlement au courant. La forme des vagues est aussi modifiée. Les courants peuvent aussi bloquer les vagues lorsque leur direction de propagation est opposée à la direction des courants, et quand l'intensité du courant est supérieure à leur vitesse de groupe. Les vagues sont alors stoppées (**NADIR, 2016**).

Le courant marin de la zone maritime algérienne provient en général de l'atlantique allant vers l'Est en passant par le détroit de Gibraltar. Sa vitesse est de l'ordre de 0.5 à 1m/s au large. Il existe des contres courants latéraux allant vers l'ouest qui sont en général faibles au port d'Alger.

➤ Niveau d'eau

La marée est un phénomène dû à l'interaction de trois phénomènes : la Lune, le Soleil et la rotation de la Terre. La Lune attire l'eau des océans, ce qui provoque un petit bourrelet qu'on appelle les marées statiques : des marées qui n'ont pas un grand coefficient (**Bougis, 2003**).

Dans les cotes algériennes est d'une façon générale, l'amplitude de la marée n'est pas importante. Le marnage est de l'ordre de 20 à 40 cm en pleine lune (**Amrouche, 2015**).

- La différence générale entre marée basse et marée haute pour l'ensemble de la zone maritime Algérienne est d'environ 0,30 m d'après (**Méditerranéen Pilot 78**).
- La marée est pratiquement négligeable au port d'Alger (marée astronomique max : 08 cm) Elle a une période de 24h et 12 h.
- Le niveau de la mer varie avec la direction des vents et la différence des niveaux atteint 75 à 80 cm.
- Le rapport entre NGA et ZH dans les ports algériens est de
- $NGA = + 0,34 Z$ et $ZH = 0$ (**Méditerranéen Pilot 78**).

Chapitre III : Analyse des évènements extrêmes

1. Introduction

Les événements extrêmes marins sont des phénomènes météorologiques rares avec une occurrence faible, néanmoins, leur rareté ne signifie pas nécessairement qu'ils sont extrêmes ; ils peuvent causer des dommages importants sur la nature et menacent ainsi les vies humaines et les infrastructures côtières, tels que les vents intenses, les vagues de tempête, les inondations côtières, les marées de tempête.

Les événements extrêmes tels que les catastrophes naturelles est de première importance pour les assureurs (McNeil et al, 1997, Rootzen et Tajvidi, 1997) vu les grands dégâts causés par ces derniers.

La théorie des valeurs extrêmes (TVE) a reçu beaucoup d'attention et un intérêt croissant pour ses applications et la modélisation des événements extrêmes, grâce à l'importance de leurs impacts économiques et sociaux étudiés en occurrence. Cette théorie utilise des méthodes statistiques pour modéliser la distribution de probabilités des événements extrêmes, cela permet d'optimiser les valeurs extrêmes des données observées et pourra ainsi aider à mieux prévoir et à gérer les risques associés (Coles, 2001).

2. Présentation des hauteurs significatives maximales au large de la baie d'Alger

La distribution des hauteurs significatives au large de la zone d'étude sont extraites à partir de la base de données Waveclimate. La série de données à traiter dans cette étude est composé de 87664 enregistrements pour chacune des variables précédemment citées ; avec un pas de 3 heures allant du 1er janvier 1992 jusqu'au 31 Décembre 2021. La distribution des hauteurs, des périodes des directions des houles par rapport au temps et sont représentées sous forme des spectres (figures 18, 19, 20)

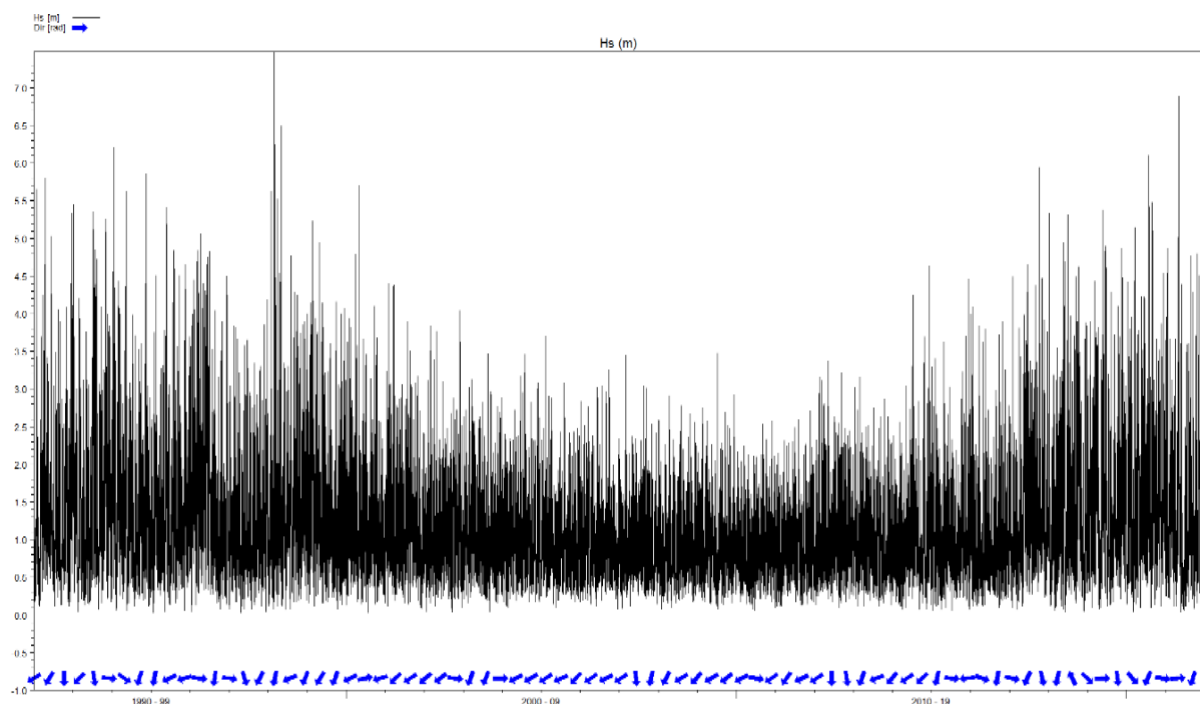


Figure 18 : La distribution des amplitudes de houle en fonction du temps entre (1992-2021) au large de la baie d'Alger.

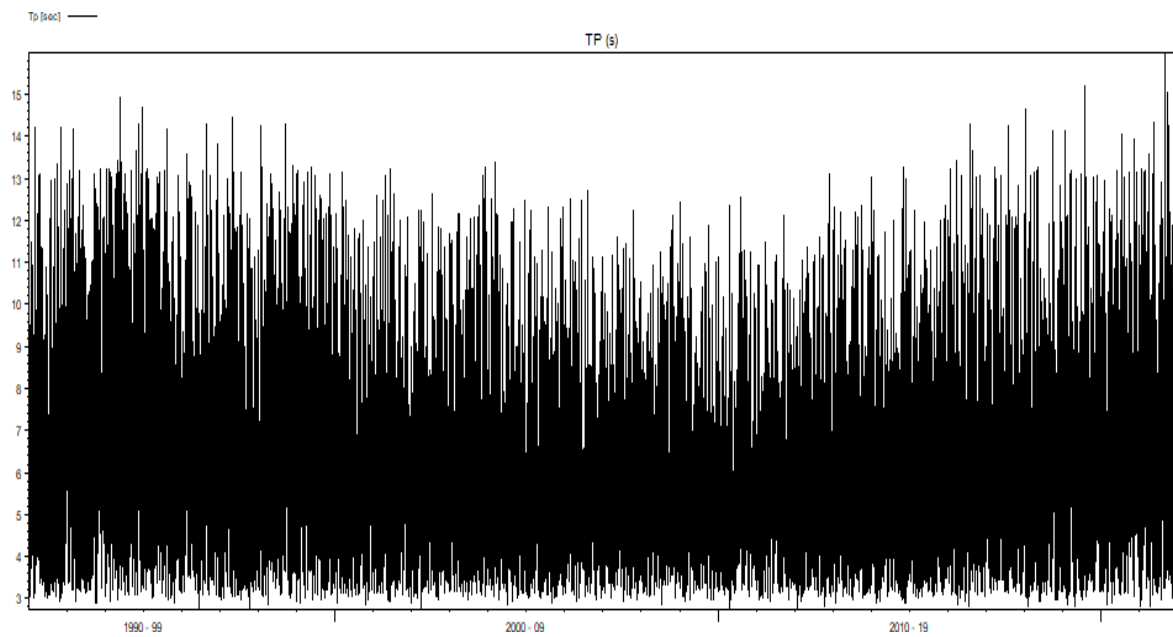


Figure 19 : La distribution des périodes de pics de houle en fonction du temps (1992-2021) large de la baie d'Alger.

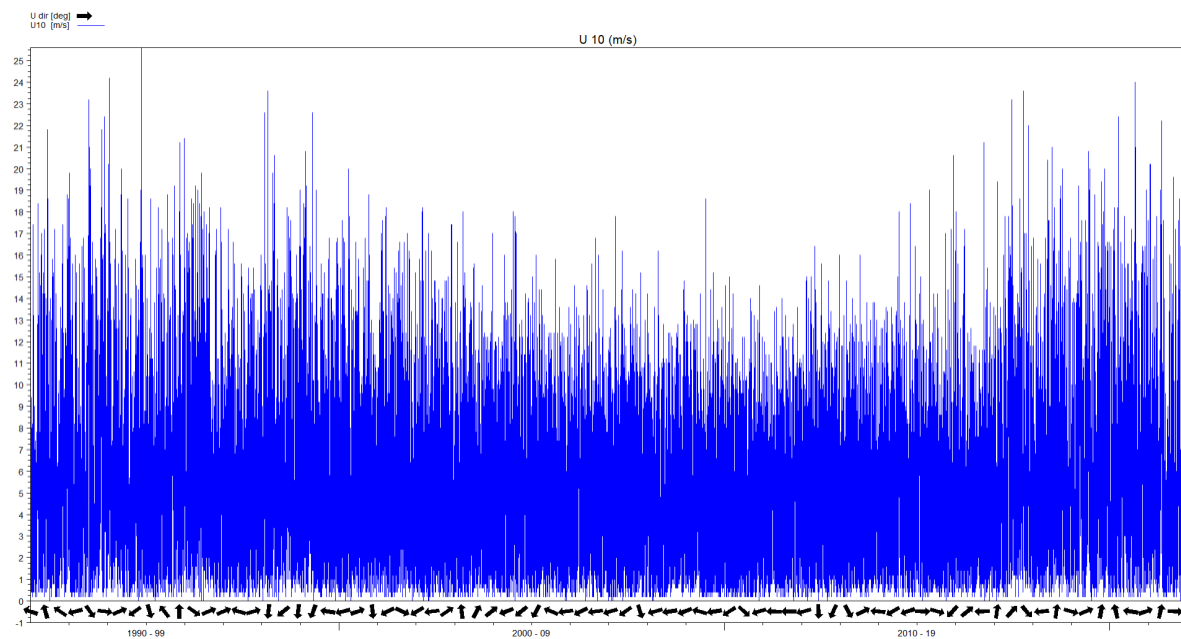


Figure 20 : La distribution des directions de vent en fonction du temps (1992-2021) large de la baie d'Alger.

3. Théorie des valeurs extrêmes

La théorie des valeurs extrêmes est une méthode utilisée dans d'estimation de la probabilité des événements extrêmes (Coles. S, 2001).

Une valeur extrême est une observation qui semble dévier notablement des autres éléments de l'échantillon auquel elle appartient (Grubbs, 1969).

Plusieurs méthodes d'estimation d'un quantile extrême ont été proposées dans la littérature, principalement la méthode des blocs (**Bloc maxima** noté **BM**), qui modélise la distribution des extrêmes par la loi des extrêmes généralisées (GEV) et la deuxième méthode est basée sur les dépassements d'un seuil choisi (u), appelée la méthode Peaks Over Threshold (**POT**) qui modélise la distribution des excès au-dessus d'un seuil élevé par la distribution de Pareto généralisée (GPD), méthode du régression et méthode du Q.Q-plot,...(Cornel Stander, 2015).

3.1. Méthode des Blocs Maximas

La modélisation des queues de distribution par la méthode des maxima par blocs s'appuie sur le théorème de Fisher-Tippett et nous supposons que l'échantillon de maxima suit exactement une loi GEV (Généralisée des Valeurs Extrêmes) de la forme (Coles. S, 2001).

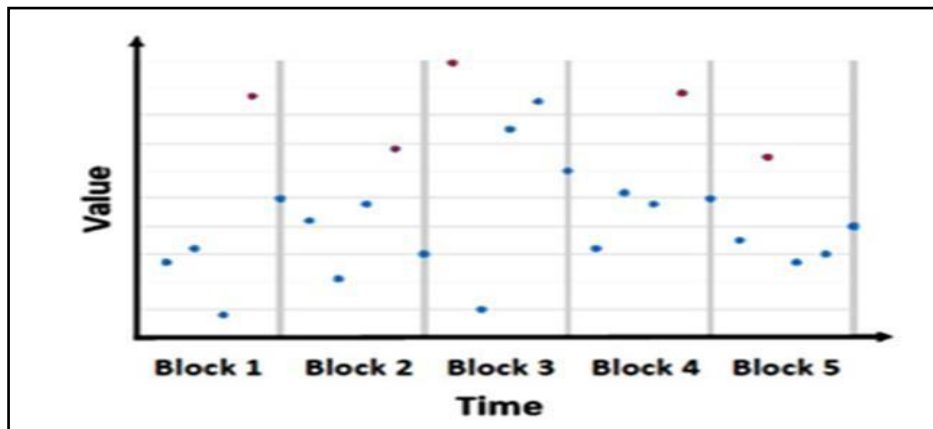


Figure 21 : Schéma représentatif des méthodes Blocs Maxima.

- **La loi GEV**

La loi d'extrémum généralisée est une famille de lois de probabilité continues qui servent à représenter des phénomènes de valeurs extrêmes (minimum ou maximum). Elle comprend la loi de Gumbel, la loi de Fréchet et la loi de Weibull. Nous pouvons caractériser les trois types de distribution précédente par une distribution unique **VonMises (1954)** et **Jenkinson (1955)** ont proposé la distribution GEV qui a pour fonction de répartition :

$$G_{\epsilon, \mu, \sigma}(x) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left[1 + \epsilon \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\epsilon} \right\} & \text{si } 1 + \epsilon \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0, \epsilon \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right] \right\} & \text{si } \epsilon = 0 \end{cases} \quad \text{Equation 1}$$

La fonction de GEV comprend trois paramètres.

- **μ . Un paramètre de localisation** il est directement lié à la valeur la plus probable de la loi, il indique donc approximativement où se trouve le cœur de la distribution
- **σ . Un paramètre d'échelle** s'assimilant en quelque sorte à l'écart type (standard déviation) pour une loi normale centrée réduite.
- **ξ . Un paramètre de forme**, dispersion, il indique l'étalement des extrêmes.

La GEV rassemble trois distributions :

$\xi > 0$, c'est la distribution de Fréchet.

$\xi < 0$, c'est la distribution de Weibull.

$\xi = 0$, c'est la distribution de **Gumbel (Labeni. F et Souyad. H, 2019)**.

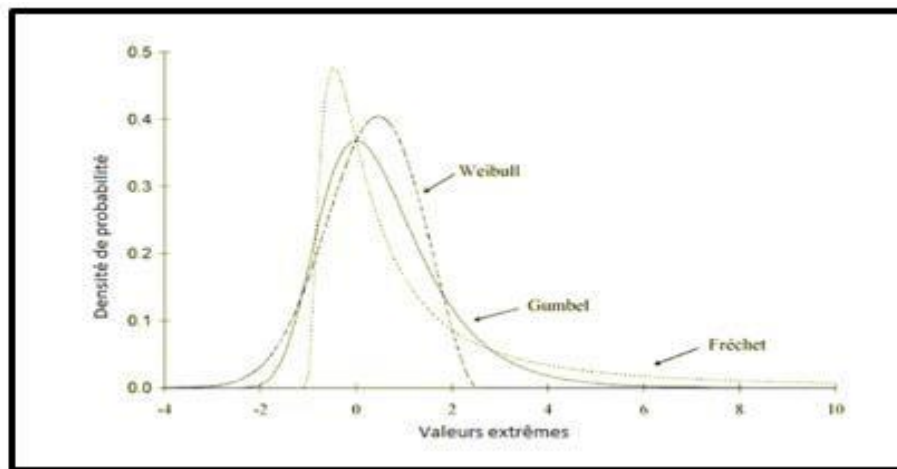


Figure 22 : Les trois types des distributions des valeurs extrêmes : Weibull, Gumbel et Fréchet (Abdeli. J , 2018).

• Critiques de la GEV

L'approche basée sur la GEV a été critiquée dans la mesure où l'utilisation d'un seul maxima qui conduit à une perte d'information contenue dans les autres grandes valeurs de l'échantillon. Pour pallier ce problème, la méthode POT ou méthode des excès au-delà d'un seuil élevé a été introduite par (Pickands, 1975)

• Forme de queue des trois types

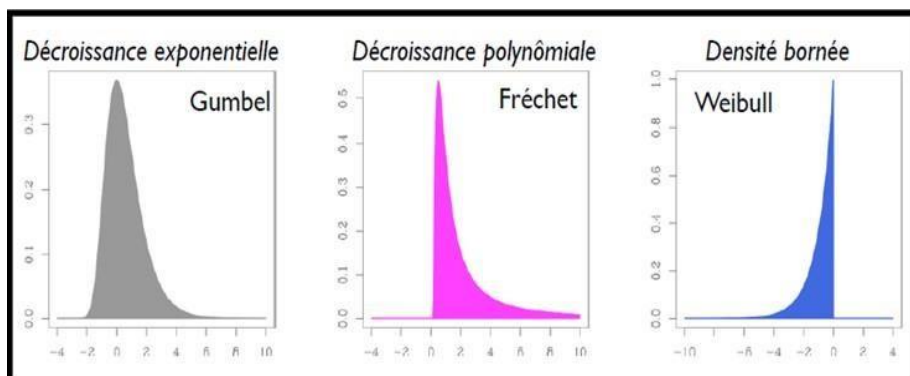


Figure 23 : Représentation des queues des 3 lois extrêmes (Kh.Tilbi, 2018).

3.1.1. Les résultats de la méthode Bloc Maxima

L'analyse des données a été effectuée sur le langage **Python** via la bibliothèque **Pyextreme**, les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphes et de tableaux.

Au début le bloc de données a été divisé selon une période annuelle (représentés avec les lignes en points) pour permettre de prendre le maximum de chaque année séparément (voir la figure 24)

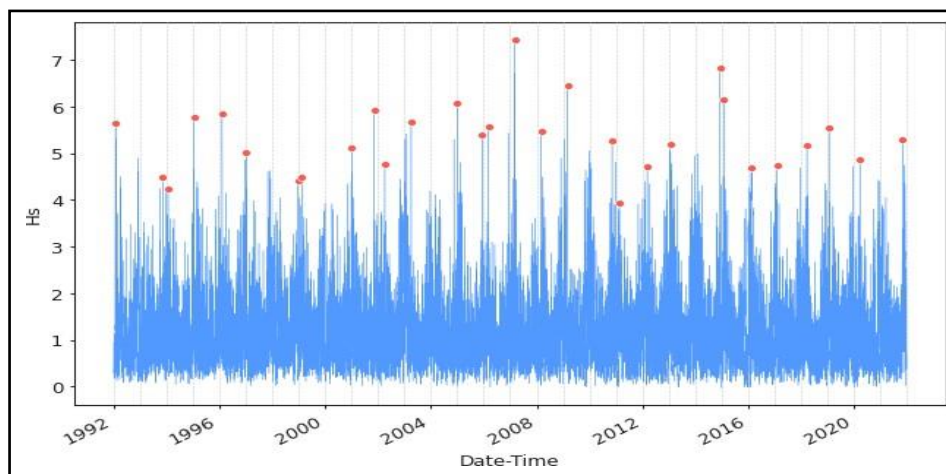


Figure 24 : Représentation de la méthode des Blocs Maximas sur les hauteurs significatives de Houle entre 1992-2021 au large de la baie d'Alger.

Après l'application de la méthode Bloc Maximas et l'obtention des maximums sélectionnés pour chaque année, on passe directement au calcul des hauteurs de houles correspondant à chaque période de retour.

3.1.2. Résultats GEV avec la distribution de Gumbel

Les résultats obtenus avec sa méthode (Figure 25) sont expliqués par des lignes vertes qui indiquent les marges d'erreur acceptables pour les résultats avec une précision de 15 %. Les croix rouges indiquent les hauteurs des houles pour des périodes de retour de 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 1000 ans.

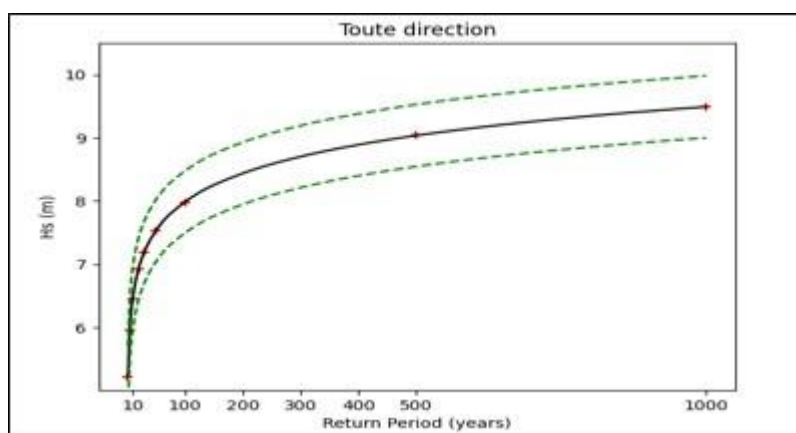


Figure 25 : Estimation des événements extrêmes via la distribution de Gumbel pour l'omnidirectionnel.

Tableau 2 : Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenus par la méthode GEV selon la distribution de Gumbel.

GEV distribution de Gumbel										
Période de retour (année)	Hauteurs de vagues par direction (mètres)									
	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	Omni
2	4.57	3.72	3.27	3.85	4.18	4.04	3.27	2.53	1.26	5.21
5	5.16	4.41	3.87	4.53	5.12	4.87	3.87	3.00	1.58	5.96
10	5.47	4.88	4.27	4.98	5.75	5.41	4.27	3.31	1.80	6.45
25	5.80	5.46	4.77	5.55	6.54	6.10	4.77	3.70	2.07	7.07
50	6.00	5.89	5.52	5.97	7.13	6.61	5.15	4.00	2.26	7.53
100	6.18	6.33	6.00	6.39	7.71	7.12	5.52	4.28	2.46	7.98
250	6.37	6.89	6.00	6.94	8.48	7.79	6.00	4.66	2.46	8.58
500	6.50	7.31	6.37	7.36	9.06	8.30	6.37	4.95	2.92	9.04
1000	6.60	7.74	6.74	7.78	9.64	8.80	6.74	5.24	3.12	9.49

Les résultats des hauteurs prédites des houles par la distribution de Gumbel sont présentés dans le Tableau 2. Il est à noter que la direction Est est la moins susceptible de produire une houle extrême. Par contre, la direction la plus susceptible d'engendrer la plus grande houle est le Nord par rapport aux directions Nord Nord Est devant le Nord Nord Ouest et Ouest Nord-Ouest et Ouest, Est Nord Est avec des houles extrêmes anticipées depuis la direction Est sont plus susceptibles de produire des hauteurs de houles plus élevées. Cependant, l'analyse des hauteurs omnidirectionnelles donne les meilleurs résultats car le modèle simule les hauteurs les plus élevées possibles susceptibles de se produire dans l'ensemble de données.

3.1.3. Résultats GEV avec la distribution de Weibull

Les résultats figurants dans le graphe (Figure 29) expliqués par des traits verts qui désignent les limites de l'erreur acceptée pour les résultats de 15% près. Les croix rouges indiquent les valeurs de hauteurs de houles pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et 1000 ans.

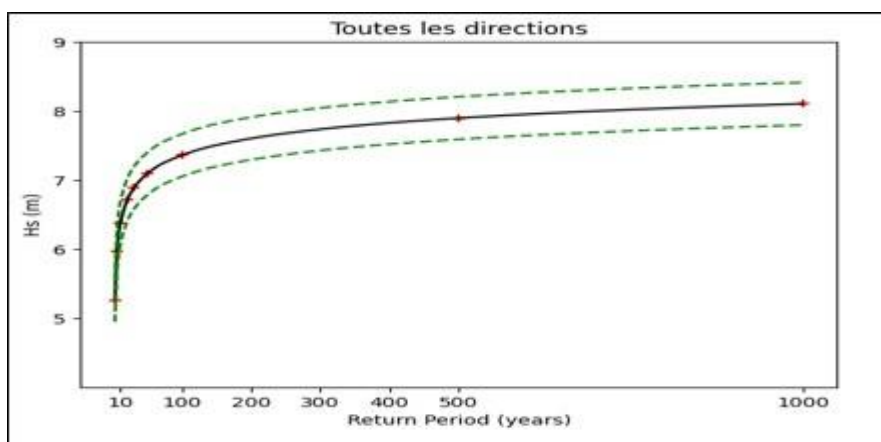


Figure 26 : Estimation des événements extrêmes via la distribution de Weibull pour l'omnidirectionnel

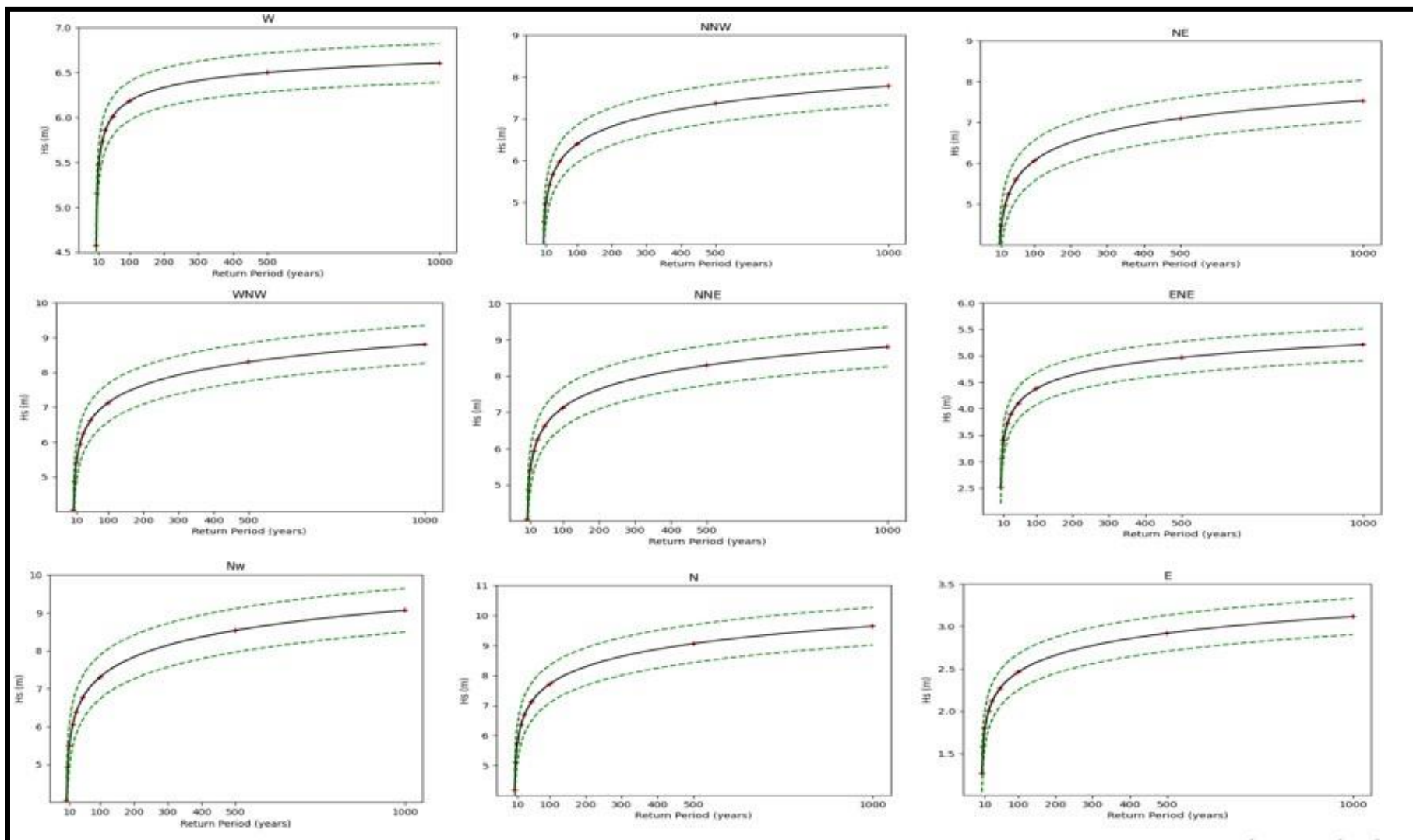


Figure 27 : Estimation des évènements extrêmes via la méthode Gumbel pour chaque direction.

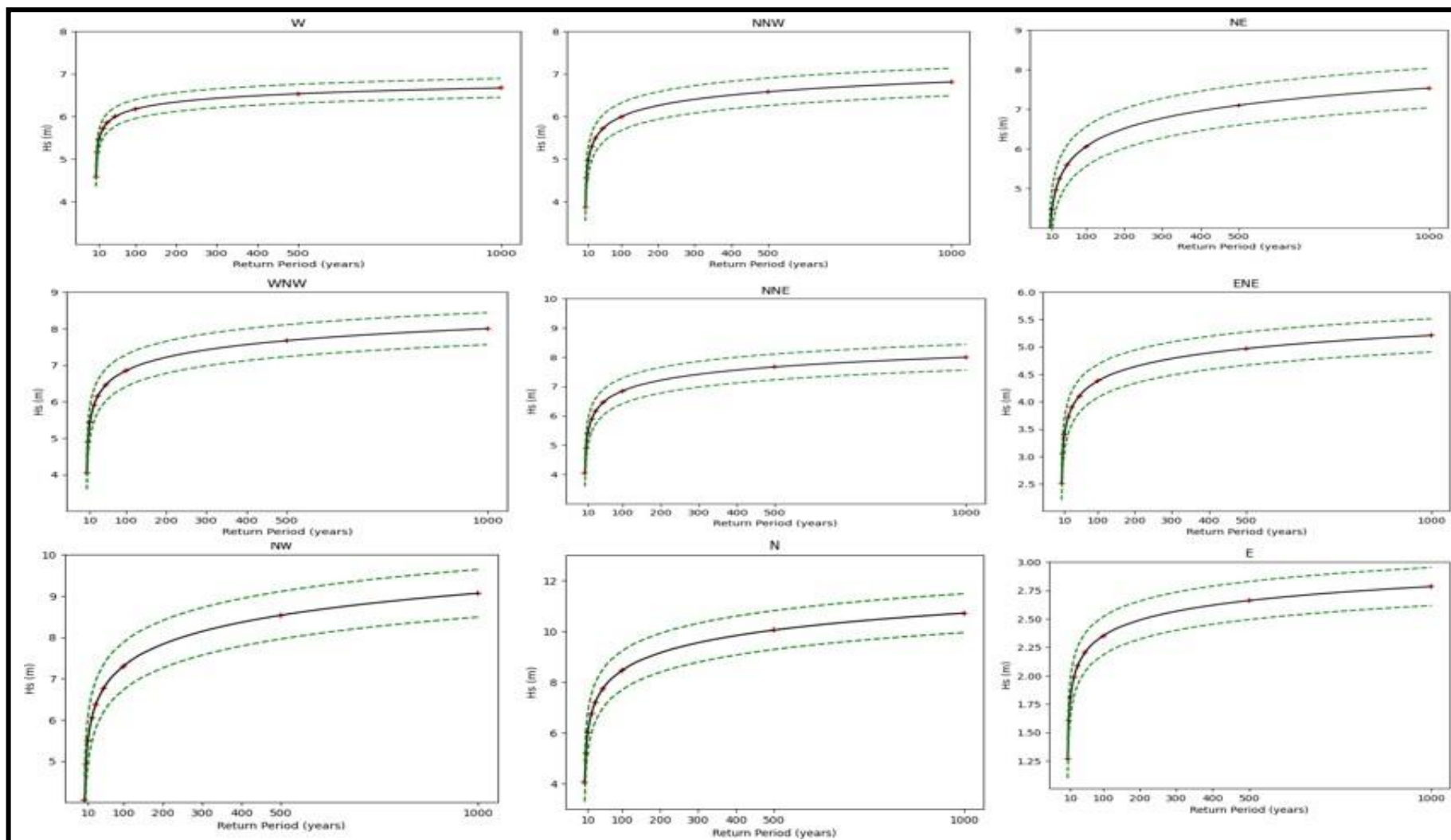


Figure 28 : Estimation des évènements extrêmes via la méthode Weibull pour chaque direction.

Le tableau 3 résume les hauteurs extrêmes totales obtenues en fonction des périodes de retour de ces événements futurs extrêmes afin de mieux comprendre les résultats obtenus en utilisant la distribution de Weibull.

Tableau 3 : Estimation des événements extrêmes via la méthode Weibull pour chaque direction.

GEV distribution de Weibull										
	Hauteurs de vagues par direction (Mètres)									
Période de retour (année)	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	Omni
2	4.62	3.01	4.14	3.93	3.91	4.09	3.14	2.57	1.30	5.30
5	5.22	4.46	4.97	4.61	5.16	4.95	4.09	3.10	1.64	6.02
10	5.52	4.82	5.44	5.00	6.15	5.46	4.86	3.42	1.84	6.42
20	5.77	5.13	5.84	5.33	7.15	5.91	5.66	3.72	2.02	6.77
30	5.90	5.29	6.05	5.51	7.74	6.16	6.14	3.88	2.12	6.95
50	6.05	5.48	6.30	5.73	8.50	6.45	6.75	4.07	2.24	7.15
100	6.23	5.71	6.61	6.00	9.53	6.82	7.61	4.31	2.39	7.42
1000	6.73	6.38	7.51	6.77	13.03	7.92	10.55	5.04	2.84	8.18

D'après l'analyse du Tableau 4, on constate qu'il y'a une grande similitude des résultats entre les 2 méthodes puisque le rapport des sommes diachroniques est très proche de 1.

La Somme des hauteurs de vagues par périodes de retour par direction (**ExpW**) :

GEV distribution de Gumbel / GEV distribution de Weibull/ ≈ 1

La Somme de toutes les hauteurs de vagues par direction (**exp biennal**) :

GEV distribution de Gumbel / GEV distribution de Weibull/ ≈ 1

Ce pourrait traduire une soit probable fiabilité des résultats soit une grande similitude des deux formules.

Les hauteurs de houles prédites par la distribution de Weibull, on remarque la direction la moins susceptible d'engendré une houle extrême est l'Est, autre part, la direction la plus susceptible d'engendrer la plus grande houle est le Nord devant le Nord Est, Nord-Nord-Est, Nord-Ouest, Ouest et Ouest, Nord-Ouest et Est-Nord-Est.

L'analyse des hauteurs omnidirectionnelles donne les résultats les plus grands car le modèle a travaillé avec les hauteurs maximales qui peuvent exister dans la série de données, sauf pour la période de retour de 1000 ans.

Aussi, nous remarquons certaines anomalies par rapport à la période de retour de 1000 ans ou la hauteur estimée de la direction Nord dépasse celle estimée dans le cas omnidirectionnel, qui crée un doute sur l'application de cette distribution sur les données utilisées.

3.2. Loi des excès, approche POT

La méthode des excès au-delà d'un seuil (ou **Peak Over Threshold, POT**) repose sur le comportement des valeurs observées au-delà d'un seuil donné. En d'autres termes, elle consiste à observer non pas le maximum ou les plus grandes valeurs mais toutes les valeurs des réalisations qui excèdent un certain seuil élevé. L'idée de base de cette approche consiste à choisir un seuil suffisamment élevé et à étudier les excès au-delà de ce seuil. Cette méthode initialement développée par **Pickands (1975)** et abondamment étudiée par divers auteurs tels que de **Smith (1987)**, **Davison et Smith (1990)**, ou **Reiss et Thomas (2001)**, pour de plus amples références.

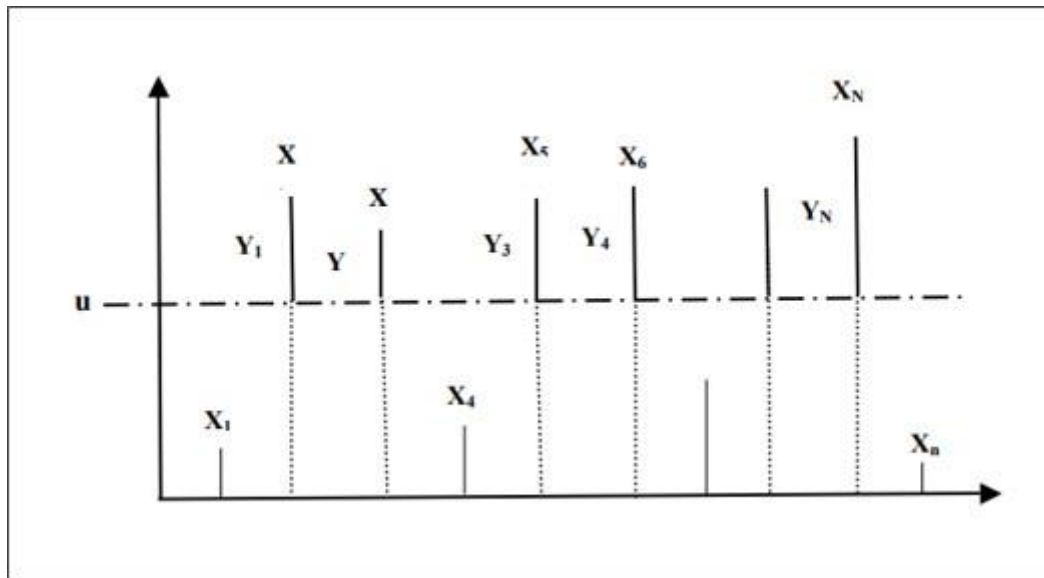


Figure 29 : Méthode des excès : u réel suffisamment élevé appelé seuil, Y : excès de X au-delà de u . (Raggad. B, 2009).

D'après (Tilbi. K. et al., 2018), cette méthode est basée sur l'approximation de la distribution des excès pour la loi de Pareto généralisée. De plus elle présente un avantage par rapport à la méthode des blocs, en ce sens qu'il est plus facile d'avoir un échantillon d'excès que de max. Dans la pratique, on remplace u par $X_{(n-k+1, n)}$ qui représente la k plus grande observation de l'échantillon. Pour réaliser cette méthode, on va suivre les étapes suivantes :

1. Soit X_1, \dots, X_n un échantillon, à partir d'un certain seuil u , on note N_u le nombre d'observation qui dépassent ce seuil.
2. Soit Y_1, \dots, Y_{N_u} un échantillon des excès au-dessus du seuil u de distribution conditionnelle.

$$F_u(x) = \Pr(X - u \leq x | X > u) = \frac{F(x+u) - F(u)}{1 - F(u)} \quad \text{Equation 2}$$

3.2.1. Les résultats de la méthode POT

Avant de fixer le seuil, nous avons procédé au calcul de la moyenne résiduelle avec le langage python via la bibliothèque **Pyextremes** pour pouvoir choisir le meilleur seuil possible. Le seuil doit être sur la ligne droite avant les variations de la moyenne résiduelle.

Le choix du seuil, est porté sur la valeur **3,5 m**.

On a obtenu les graphes et les tableaux suivants :

L'ensemble des points retenus pour le calcul sont observés dans la figure ci-dessous

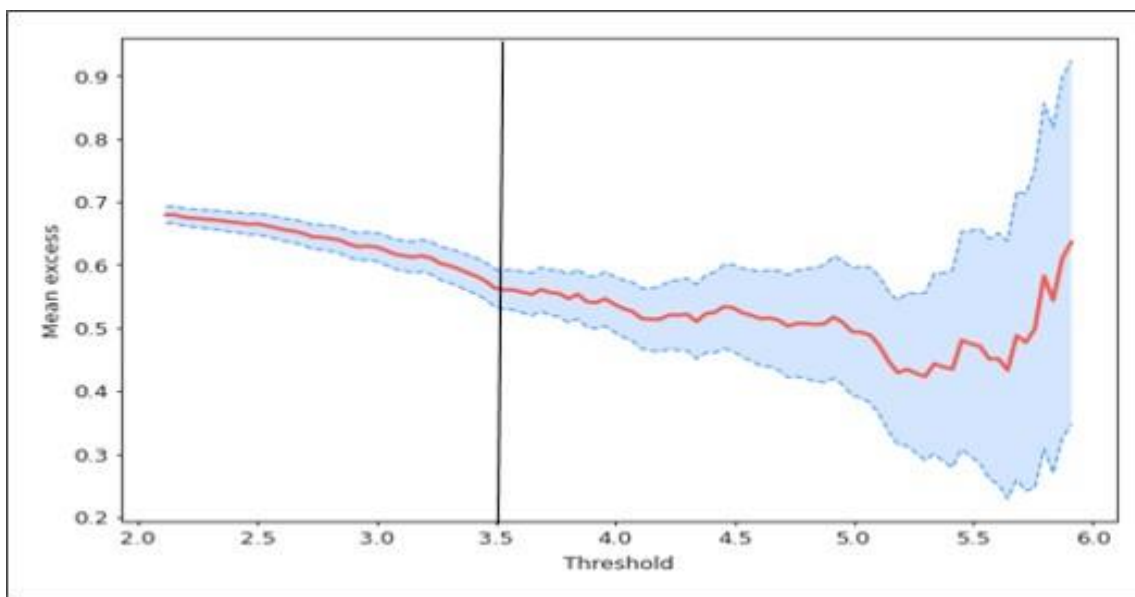


Figure 30 : Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement.

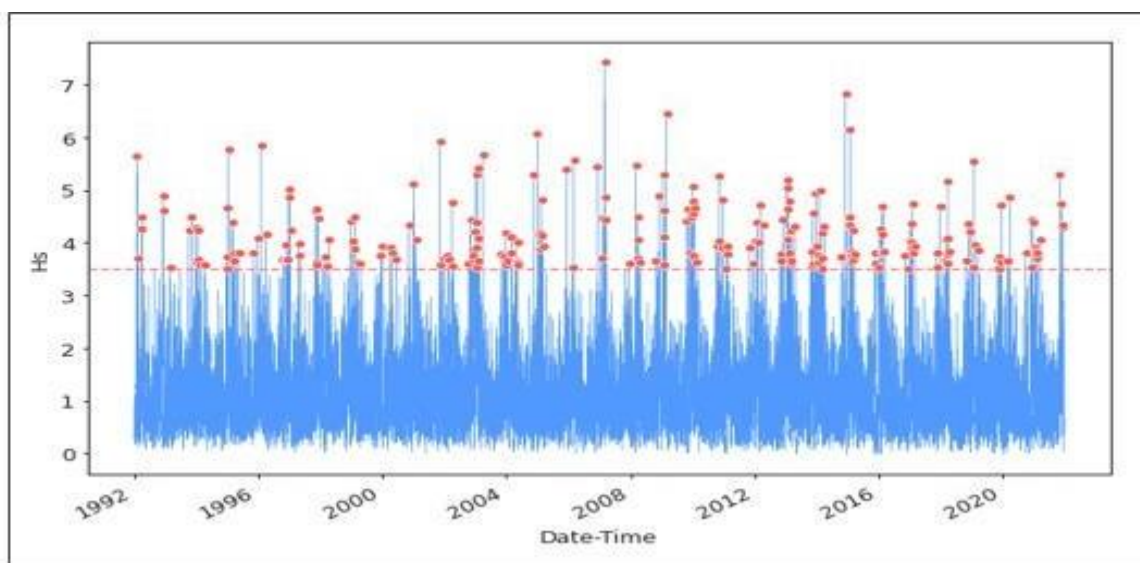


Figure 31 : Représentation de méthode POT sur les hauteurs de houle de 1992-2021 au large de la baie d'Alger.

○ Interprétation des résultats

La figure 32 présente le spectre des houles pour toutes les directions et durant la période de (1992 à 2021).

- Les hauteurs significatives oscillantes entre des valeurs supérieures à 0 m et inférieures ou égales à 7,7 m. Le seuil défini pour ce spectre est de **3.5m**. Au-delà ce sont des valeurs extrêmes des houles.
- Pour le secteur Omnidirectionnel la hauteur significative varie entre 3.5m et 7.7m.
- Pour chaque direction la courbe semi-logarithmique, présente des valeurs de l'amplitude de la houle en fonction de chaque période de récurrence. Ces valeurs varient selon le comportement des houles enregistrées sur la période de 1992 jusqu'à 2021.
- Le résultat de ce traitement des données va nous donner les conditions de projet à simuler selon la direction la plus pénalisante.

L'étape de la sélection des pics terminée, on passe au calcul de hauteurs houle avec leurs périodes de retour via la même bibliothèque **Pyextreme** sur le langage **Python**.

On obtient les résultats suivants :

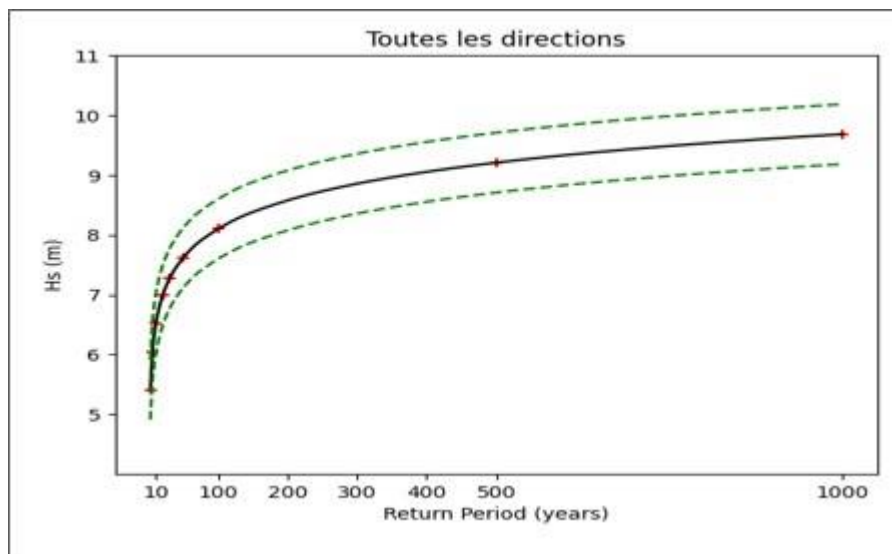


Figure 32 : Estimation des événements extrêmes (hauteurs significatives extrêmes) via la méthode POT pour omnidirectionnel dans la région de la baie d'Alger.

Les résultats figurants dans le graphe (Figure 33) expliqués par des traits rouges qui désignent les limites de l'erreur acceptée pour les résultats de 15% près. Les croix bleues indiquent les valeurs de hauteurs de houles pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et 1000 ans. La même méthodologie sera appliquée pour l'ensemble des neuf autres directions.

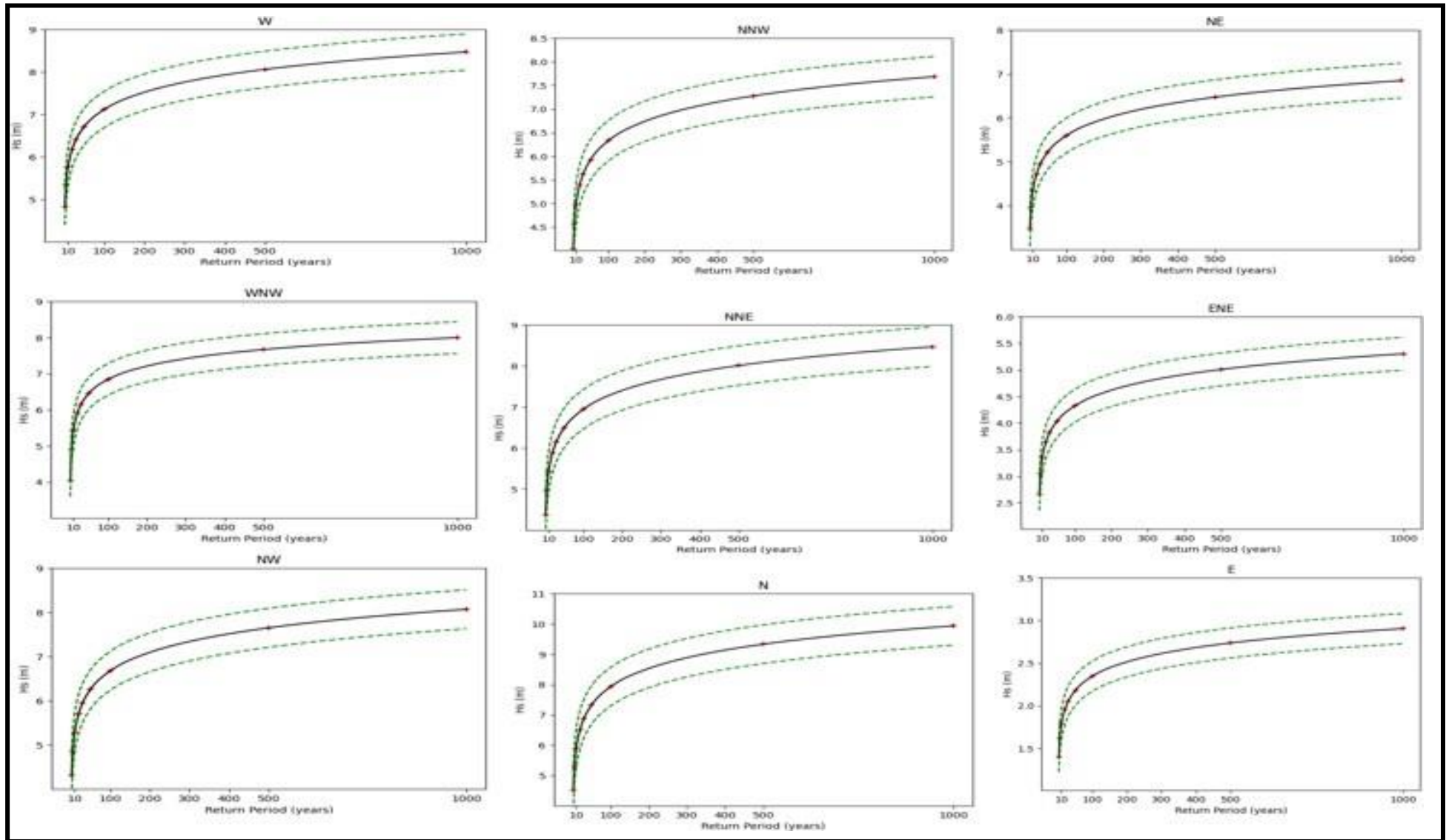


Figure 33 : Estimation des évènements extrêmes via la méthode POT pour chaque direction.

Le tableau 4 représente les hauteurs de houles prédites par la méthode POT. On remarque la direction la moins susceptible d'engendrer une houle extrême est l'Est, autre part, la direction la plus susceptible d'engendrer la plus grande houle est le Nord, Ouest, Nord Nord-Ouest et le Nord-Ouest et Nord-Nord-Est.

L'analyse des hauteurs omnidirectionnelles donne les résultats les plus grands car le modèle a travaillé avec les hauteurs maximales qui puissent exister dans la série de donnée.

Les valeurs cumulées de toutes les directions (exp biennales) sont légèrement supérieures aux autres 2 méthodes, traduisant une légère différence.

Tableau 4 : Tableau résumant l'ensemble des résultats obtenu par la méthode POT.

POT										
	Hauteur de vague par direction (mètre)									
Période de retour (année)	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	Omni
Seuil(m)	3.7	3	3.8	3.9	3.4	3.6	2.55	2.24	1.18	3.5
2	4.82	4.01	3.89	4.04	4.52	4.37	3.47	2.67	1.40	5.41
5	5.36	4.45	4.31	4.58	5.32	4.93	3.97	3.06	1.62	6.04
10	5.77	4.73	4.87	4.98	5.92	5.43	4.35	3.35	1.79	6.51
25	6.31	5.04	5.29	5.52	6.72	6.03	4.85	3.74	2.01	7.12
50	6.71	5.24	6.26	5.93	7.33	6.49	5.22	4.03	2.18	7.62
100	7.12	5.40	6.69	6.33	7.93	6.95	5.60	4.33	2.35	8.11
250	7.66	5.59	7.23	6.87	8.73	7.55	6.10	4.72	2.60	8.73
500	8.06	5.71	7.65	7.28	9.33	8.01	6.47	5.01	2.74	9.21
1000	8.47	5.80	8.07	7.69	9.94	8.47	6.85	5.30	2.90	9.68

Conclusion

Pour arriver à des résultats concluants on a fait le choix de travailler avec la théorie des valeurs extrêmes, il est utilisé pour déterminer des distributions limites en estimant des modèles statistiques qui optimisent les valeurs extrêmes des données observées. On a utilisé cette méthode pour l'estimation de la probabilité des événements plus extrêmes.

Ce traitement de données nous a permis la protection contre l'inondation et les phénomènes en mer les plus violents, ainsi que nous l'appelons la défense côtière et portuaire.

Pour la suite de notre travail, nous continuerons à utiliser les résultats de la méthode POT, elle considère beaucoup plus de points par rapport à la méthode GEV qui se limite à un seul point par bloc (année).

Chapitre IV :

Modélisation numérique

1. Introduction

La connaissance des conditions de la houle à la cote est nécessaire pour quantifier leur contribution aux niveaux marins, en effet, la houle tend à augmenter le niveau de la mer dans les zones de déferlement. De plus, la houle, conjuguée à des niveaux marins élevés peut entraîner des phénomènes de franchissement par paquets de mer et en conséquence des franchissements en arrière des jetées.

La suite du logiciel MIKE 21, développée par DHI, permet de modéliser numériquement l'hydrodynamique intégrant l'ensemble des paramètres entrant en jeu dans cette problématique en prenant en compte un couplage dynamique entre la propagation de la houle et la courantologie.

Afin de comprendre le fonctionnement hydrodynamique du littoral Algérois, une modélisation véritablement bidimensionnelle de la propagation de la houle et de la courantologie est mise en œuvre.

2. Présentation de la modélisation

Le principe général et les étapes de la modélisation mises en œuvre pour l'étude d'agitation des vagues au niveau de du port d'Alger :

- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Baie
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle du port
- Détermination de conditions climatologiques représentatives
- Modélisation couplée propagation de houle / courantologie à l'échelle locale basée sur les conditions représentatives définies au préalable.

En absence de mesure, la caractérisation des vagues au droit des sites d'étude n'est pas immédiate. C'est pourquoi, pour connaître les conditions de houle aux abords des jetées, 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.

2.1. Présentation du modèle mike 21

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 (Houle et Courant), 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.

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle et de la courantologie est mise en œuvre ; celle-ci est effectuée avec les modules HD et SW, respectivement, de la suite du logiciel MIKE 21. Une courte description de ces modules est donnée ci-après.

- **Mesh Generator**

Le Mesh Generator de Mike 21 est un outil conçu pour créer des maillages numériques flexibles et fixes pour les modèles MIKE Zéro avec une possibilité d'ajustement de la résolution de la maille. Elle permet la modélisation de phénomènes complexes à l'aide d'équations numériques.

- **MIKE 21 SW**

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents et des houles au large et dans les zones côtières. Il inclut deux types de formulations :

MIKE 21 SW prend en compte la génération de la houle par action du vent, les interactions non linéaires vague-vague ; la Dissipation due au frottement sur le fond ; la Dissipation due au déferlement ; la Réfraction et le Shaoling due à la variation de la profondeur les Interactions vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur (DHI, 2014).

- **MIKE 21 HD**

MIKE 21 HD constitue le noyau de la suite logicielle MIKE 21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large. Le modèle hydrodynamique de MIKE 21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. MIKE 21 HD prend également en compte les phénomènes d'immersion et émergence des côtes. (DHI, 2014)

- **MIKE21/3 FM**

Le modèle couplé MIKE21/3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc. Nous pouvons les choisir dans la simulation. Le modèle comprend également un couplage dynamique entre les modules HD et SW.

3. Etude bathymétrique

- **Génération de la Mesh**

Avant d'entamer la simulation il est important de créer un Mesh file, pour la création des Meshs, on a utilisé l'outil (**Mesh Generator**) de logiciel Mike zéro.

Afin d'effectuer une analyse approfondie et réduire les erreurs susceptibles d'affecter les résultats des simulations, nous avons inclus le Port d'Alger dans notre zone d'étude. Cette zone s'étend sur une échelle régionale d'environ 15,27 km, allant de Cap Caxine à l'Ouest jusqu'à Cap Matifou à l'Est, en passant par la baie d'Alger. Cette échelle nous permet de considérer les caractéristiques côtières et les différentes structures présentes dans le Port d'Alger, qui pourraient potentiellement influencer les mouvements de l'eau.

En prenant en compte les effets hydrodynamiques des vagues dans le port d'Alger, nous pourrions obtenir une compréhension plus complète de leur impact sur le port.

○ **Données bathymétriques d'entrée pour la génération de la Mesh**

Nous avons utilisé une base de données bathymétrique composée de couches de données de la baie d'Alger à l'aide de données bathymétriques de NAVIONICS SonarChart™ digitalisée avec **Arc Gis 10.4**, édition 2021 intitulée à l'échelle de 1/250000 », avec une résolution qui varie entre 100 et 0,5m de large vers la côte (**Alem. A et Saf. B, 2021**).

○ **Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE 21**

Après la création du Mesh file, on passe à la réalisation du SETUP qui contient les données de base de la simulation :

- En premier lieu, on fait rentrer notre domaine d'étude (Mesh file), puis on précise la durée de simulation qui est de 24h avec un intervalle d'une heure, c'est-à-dire que chaque heure on aura un résultat (output),
- Puis on effectue la prédiction des séries temporelles des hauteurs de marée (ou niveaux d'eau) en utilisant l'outil du MIKE 21-Toolbox, cette prédiction est basée sur les constituants dérivés d'un modèle global de la marée, le fichier du résultat obtenu est utilisé comme données d'entrée pour le modèle hydrodynamique (**MIKE 21-HD**).
- Enfin on termine la préparation des données de simulation en rentrant la hauteur, la direction et la période des différentes houles au niveau du modèle numérique spectral wave (MIKE 21- SW) (**Belaidi. S et Hamdous. Y, 2016**).

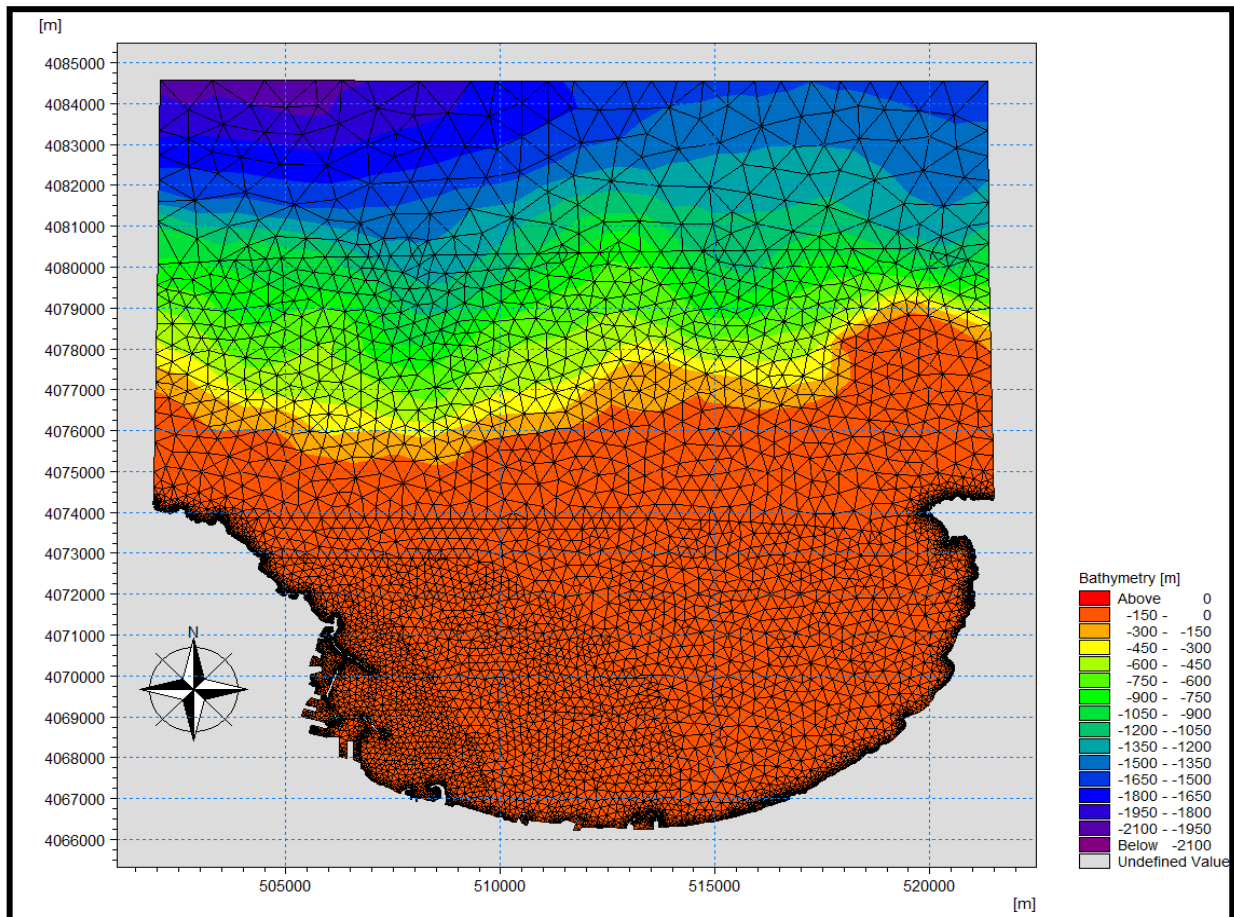


Figure 34 : La Bathymétrie et élément Mesh de la baie d'Alger.

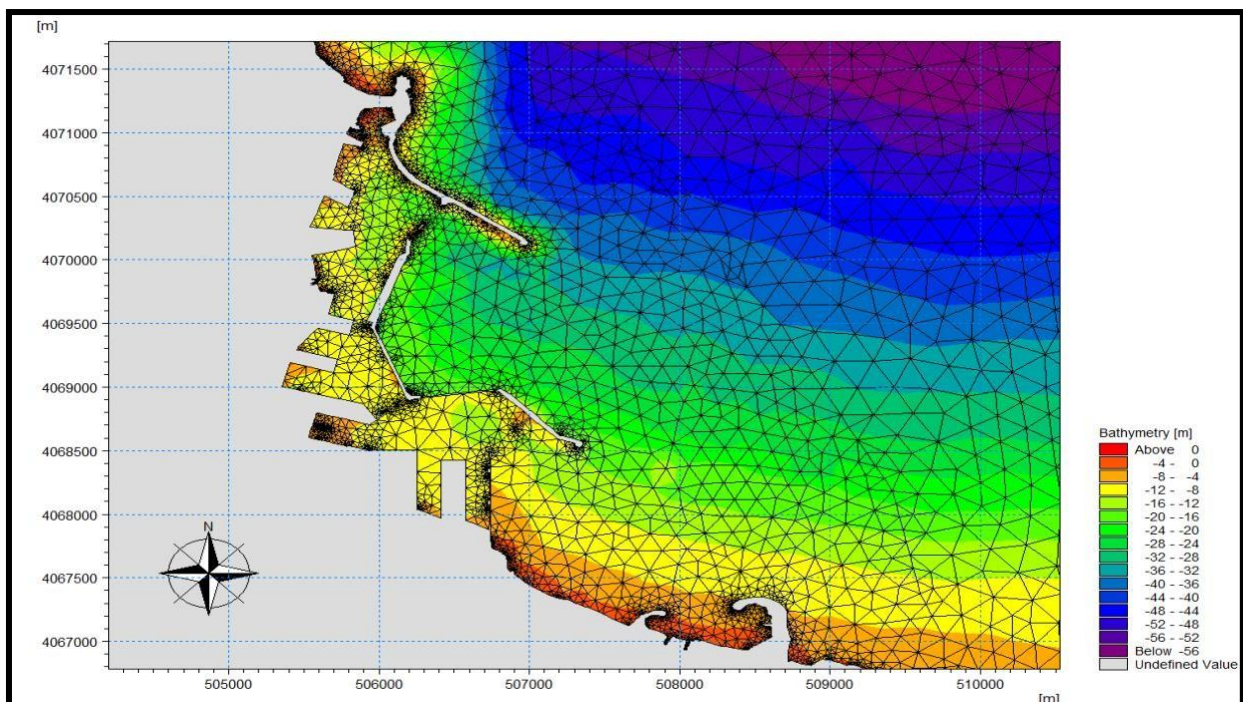


Figure 35 : La Bathymétrie et élément Mesh du port d'Alger.

4. Résultats de la bathymétrie dans la baie d'Alger

La cartographie de la baie de notre zone d'étude est une phase très importante, elle permet de visualiser l'état d'évolution de la morphologie des fonds marins.

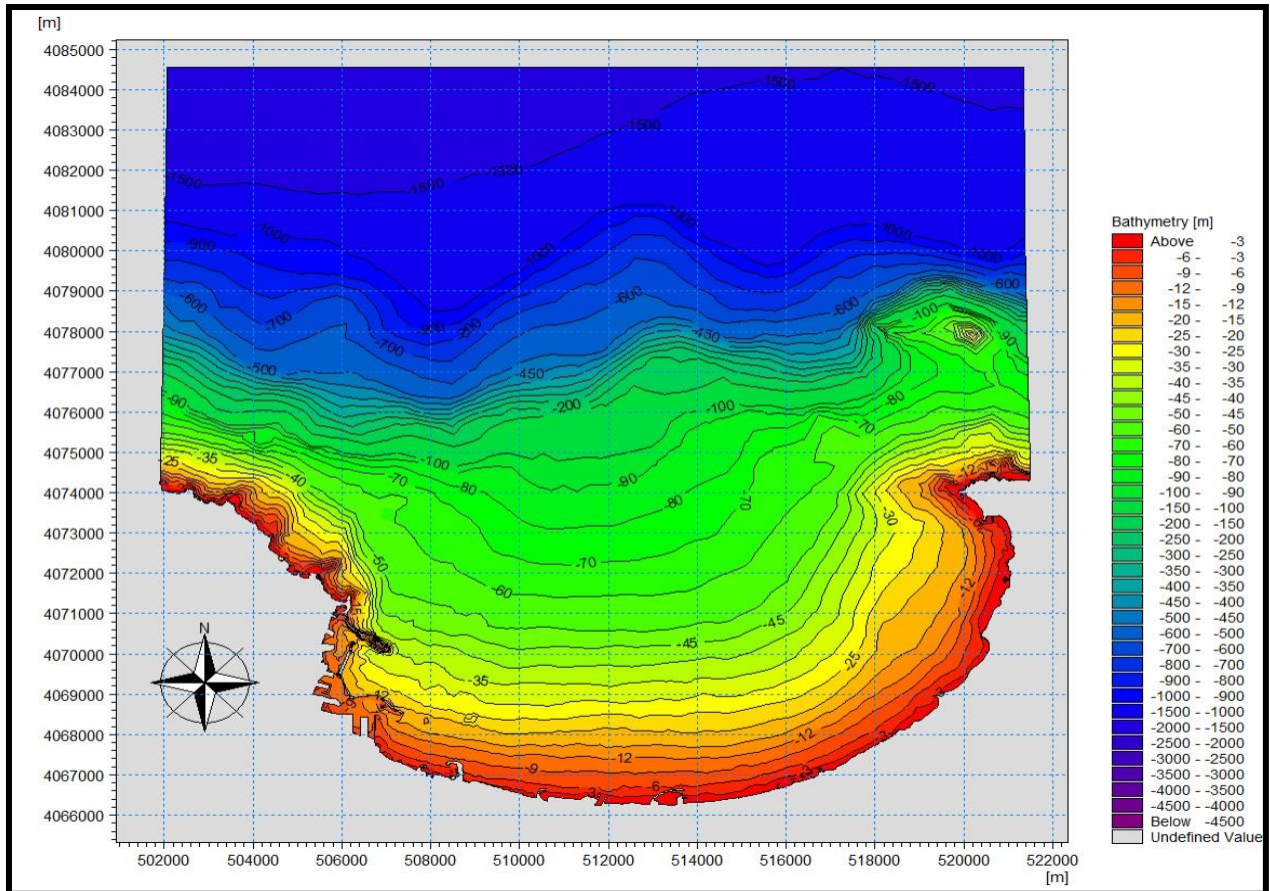


Figure 36 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger.

D'après l'analyse de la carte bathymétrique obtenue regroupant l'ensemble des pressions que connaît le site d'étude, on observe qu'elle montre trois parties distinctes, qui subissent des actions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires différentes. Pour cela notre zone d'étude comporte 3 zones distinctes :

- **Au niveau des caps**

Présente des isobathes bien serrées au près des caps (Est « Cap Matifou » et Ouest « pointe Hamidou ») de la baie qui varie entre 0 et -12met parallèles au rivage, ce qui signifie l'existence d'une pente abrupte et des fonds prononcés, ceci pourrait faciliter l'activité de l'énergie des vagues dans ces deux secteurs. Il faut noter que ces deux caps représentent des pointements rocheux à lithologie plus dure et résistant.

- **La partie centrale**

Les isobathes du centre de la baie sont pratiquement espacés parallèles à la côte, avec une faible pente et une faible bathymétrie, la réfraction des houles se fait plus sentir qu'au niveau

des caps ceci se traduit par des effets hydrodynamiques qui sont moins énergétiques dans cette zone.

- **La partie au large**

C'est la limite supérieure du plateau continental. La baie d'Alger est caractérisée par des isobathes qui sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier et une pente douce en réalité.

4.1. Résultats de la bathymétrie de port d'Alger

D'après la figure 40 la bathymétrie varie de -20m à -3 m, la profondeur aux prés des quais varie entre -15 m à -3 m, avec une variation abrupte au niveau de la jetée Khair-Eddine (-15 m à -3 m) et la jetée Mustapha ou la profondeur (-15 m à -6m). Le port d'Alger est devisé en trois bassins, leur bathymétrie variée du bassin à l'autre.

- **Le bassin Agha**

Les profondeurs de ce bassin varient progressivement de -3 m à -15, les valeurs diminuent en allant vers les darses et la jetée agha.

- **Le bassin vieux port et le chenal d'accès de la passe Nord**

Les profondeurs de ce bassin varient de -3 m à -24m. Des isobathes très serrées autour de la jetée nord qui varie de 12 m à 30 au près du musoir, plus on va vers le chenal d'accès plus les profondeurs augmentent avec une pente relativement douce en allant jusqu'au 31m de profondeur.

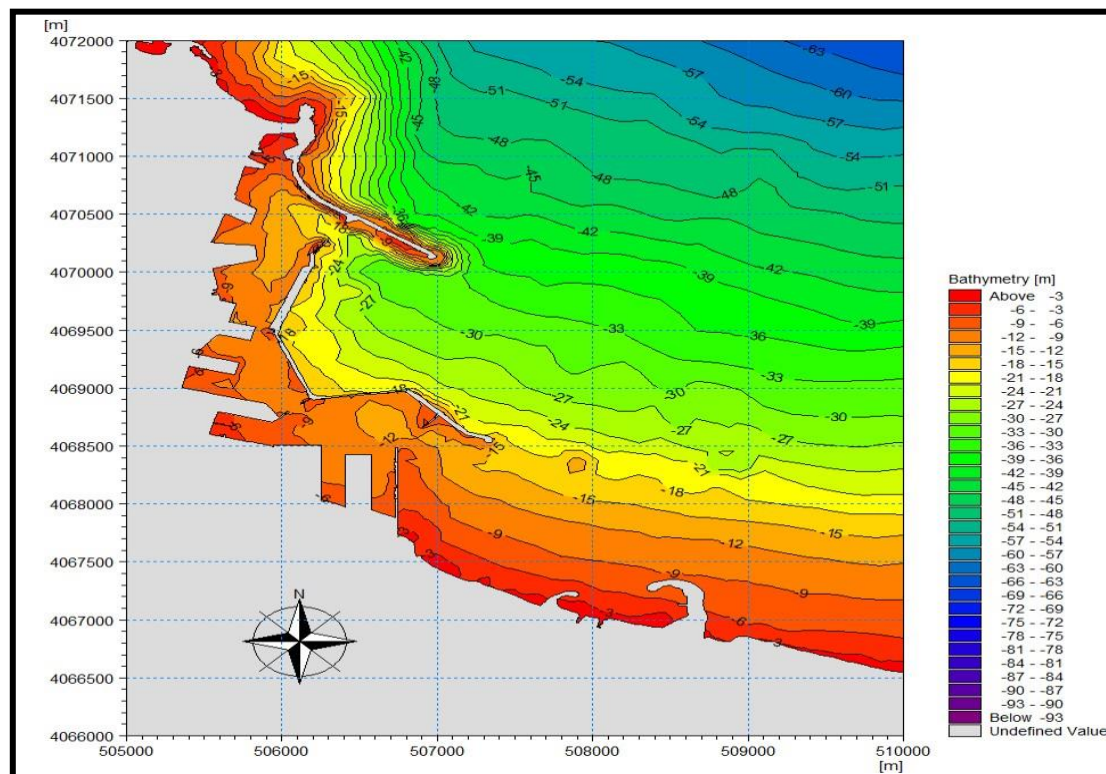


Figure 37 : Bathymétrie du modèle zoom sur le port d'Alger.

- **Le bassin Mustapha et le chenal d'accès Sud**

Les profondeurs de ce bassin varient entre -21 m à -12 m, on observe une irrégularité des profondeurs au niveau de la darse N° 06 Avec profondeurs varient entre -15 m et -9 m.

Les isobathes sont serrées (-21 m à -15 m) le long de la jetée Mustapha. Quant à l'intérieur du bassin, les profondeurs varient entre -18 m à -22 m. Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de - 25 m à -13 m, à partir du brise lame Est jusqu'à la passe Sud.

5. Principe de simulation du MIKE 21-DH

Le principe général de la simulation par les codes de calcul MIKE est résumé dans le schéma suivant :

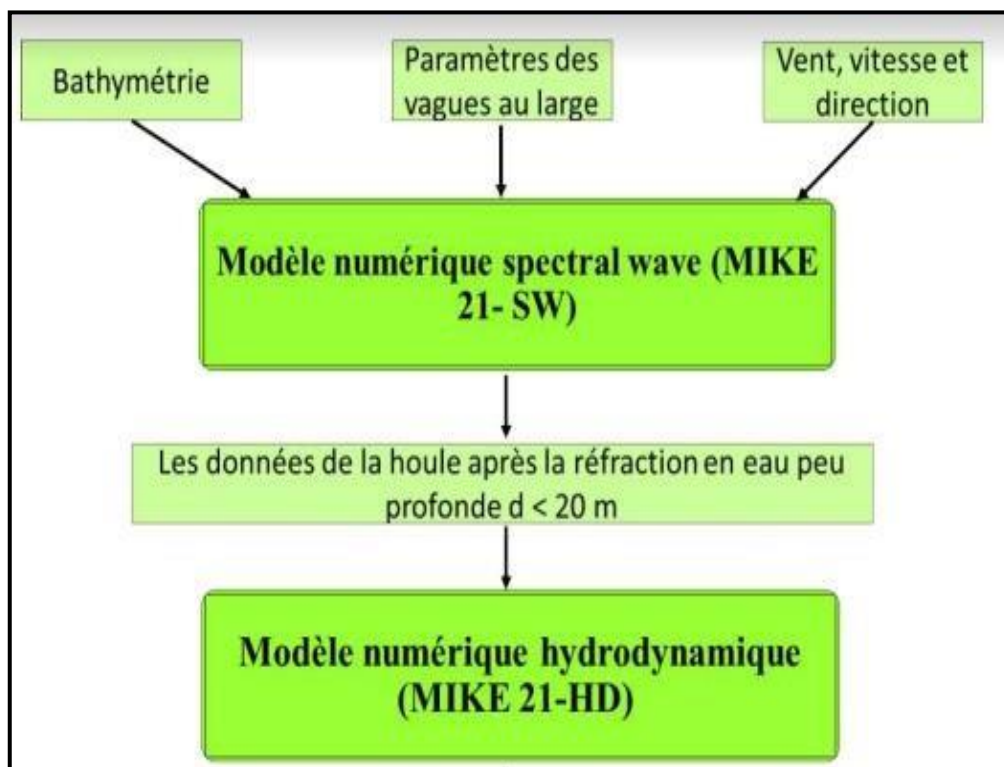


Figure 38 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21

5.1. Les conditions de projet à simuler

Dans la génération des simulations, nous avons pris les trois directions de la houle les plus dominantes et les plus fréquentes dans la Baie d'Alger (**Nord-est, Nord, Nord Nord-est, Nord-Ouest**). Le traitement de ces données a déjà été présenté dans le Chapitre II de l'Analyse des événements extrêmes. Il est essentiel de préciser que dans le présent travail, nous avons choisis les 3 paramètres de la houle (Hauteur significative (H_s), la Direction de la houle (H_{sd}), la période de la houle (T_p)).

Pour le niveau de la marée et l'élévation du niveau de la mer :

- **Période de retour (1 an et 5 ans et 10 ans) :** Il s'agit du niveau moyen de la marée haute (0.34 m).
- **Période de retour (25 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)
- **Période 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**).

Tableau 5 : Caractéristiques de la houle imposée à frontière ouverte suivant les conditions dans la baie d'Alger résumant du chapitre 2

Période de retour (ans)	Paramètres de houles et de vents	Directions pénalisantes			
		NE	NNE	N	NNW
2	Hs (m)	3.47	4.37	4.52	4.04
	Tp (s)	12.49	13.71	14.06	12.88
	U10 (m/s)	16.15	14.13	14.91	4
5	Hs (m)	3.97	4.93	5.32	4.58
	Tp (s)	12.96	14.13	14.46	13.65
	U10 (m/s)	17.58	15.34	17.06	4.45
10	Hs (m)	4.35	5.43	5.92	4.98
	Tp (s)	13.24	14.36	14.67	14.12
	U10 (m/s)	18.66	15.99	18.69	4.73
25	Hs (m)	4.85	6.03	6.72	5.52
	Tp (s)	13.54	14.58	14.87	14.62
	U10 (m/s)	20.08	16.62	20.84	5.04
50	Hs (m)	5.22	6.49	7.33	5.93
	Tp (s)	13.71	14.70	14.98	14.93
	U10 (m/s)	21.16	16.95	22.47	5.23

- Les données sortantes du model SW

Tableau 2 : Sortants du modèle SW.

Nom	Symbole	Unité
U Velocity	Vu	m/s
V Velocity	Vv	m/s
Vitesse du courant	V	m/s
Direction du courant	-	Degrés

- **Les données sortantes du model HD**

Les données sortantes du modèle sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 3: Les données sortantes du model HD.

Nom	Symbole	Unité
Hauteur significative	Hm0	Mètre
Période pic	Tp	Seconde
Contraintes de radiations	S _{xx} , S _{xy} , S _{yx}	Degré
Direction moyenne	MWD	Degré
Ecart-type	DSD	m ³ /s ²

6. Les résultats des simulations SW

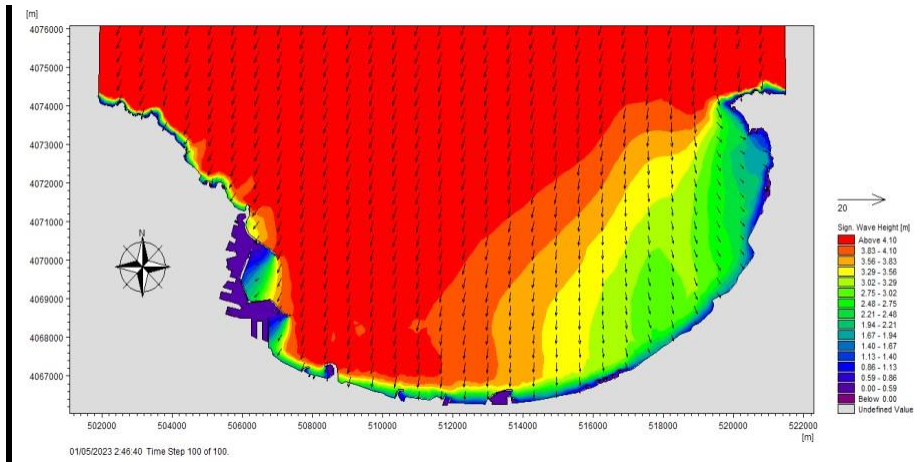
Après les simulations, les résultats sont représentés sous forme de cartes légendées (Figure 47) associés les périodes de retours 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans et 50 ans et pour les différentes directions. Les paramètres de sortie sont les suivants :

- La Hauteur significative de la houle « Significatif wave Height » Hs (m) à 40 m du pied de la jetée principale Khair-Eddine du Port d'Alger.
- La période pic des houles « Peak wave Period ».
- La direction Moyenne de la houle « Mean wave Period ».
- L'Énergie de la houle « Wave Power ».

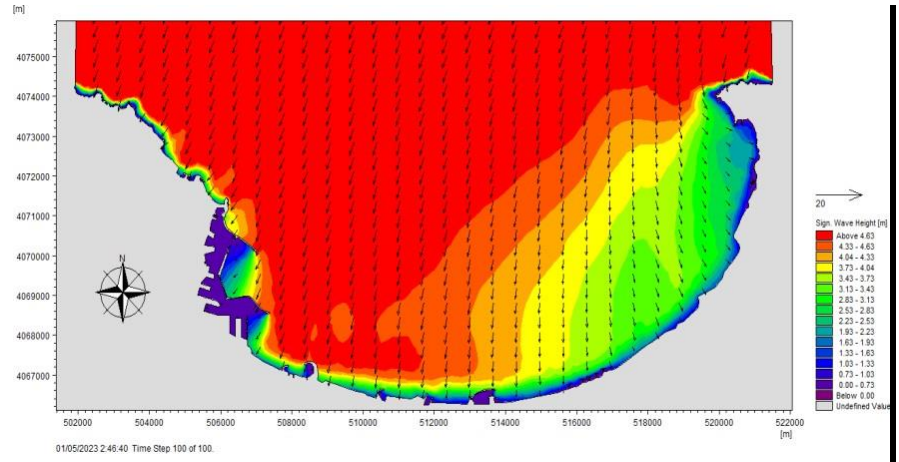
Tableau 8 : Valeurs du SW pour chaque direction de propagation.

Avec coefficient de réfraction $K_r = H_{s\text{local}} / (H_{s0} \cdot K_s)$

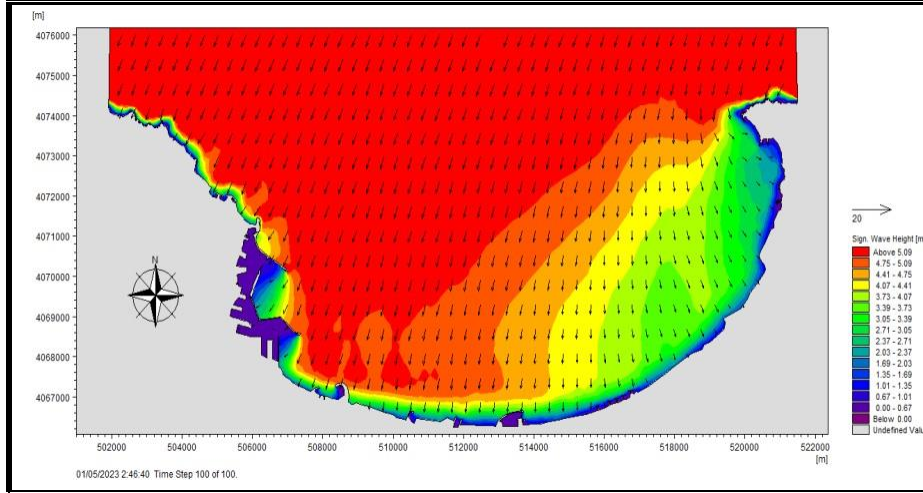
Direction	SW- Spectral Wave
NE	Valeur au large Hs0= 5.22 m Valeur au près du port Hs=5.64 m Kr=0.92
NNE	Valeur au large Hs0= 6.49 m Valeur au près du port Hs=5.98 m Kr=1.08
N	Valeur au large Hs0= 7.33 m Valeur au près du port Hs=6.21 m Kr=1.18
NNW	Valeur au large Hs0= 5.93 m Valeur au près du port Hs= 3.61 m Kr=1.64



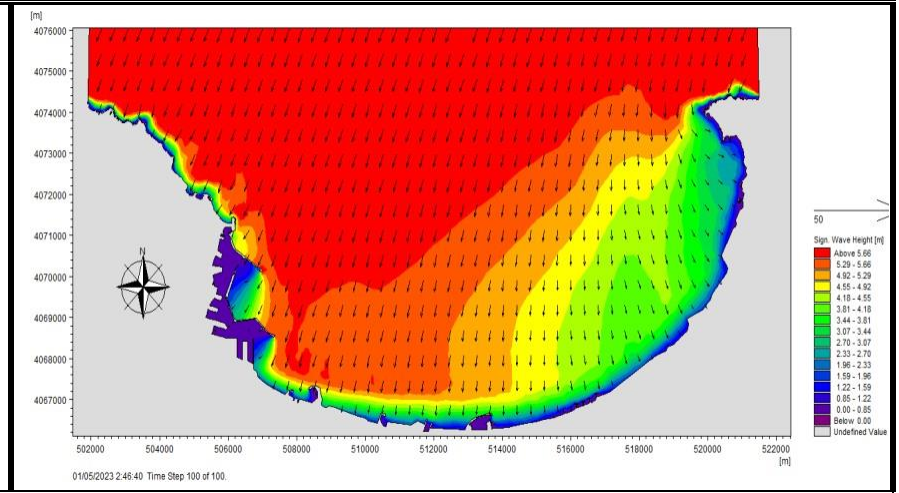
Champs des houles dans la Baie d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 2ans)
 (Hs = 4.37m, Tp=13.71s, U10= 14.13 m/s).



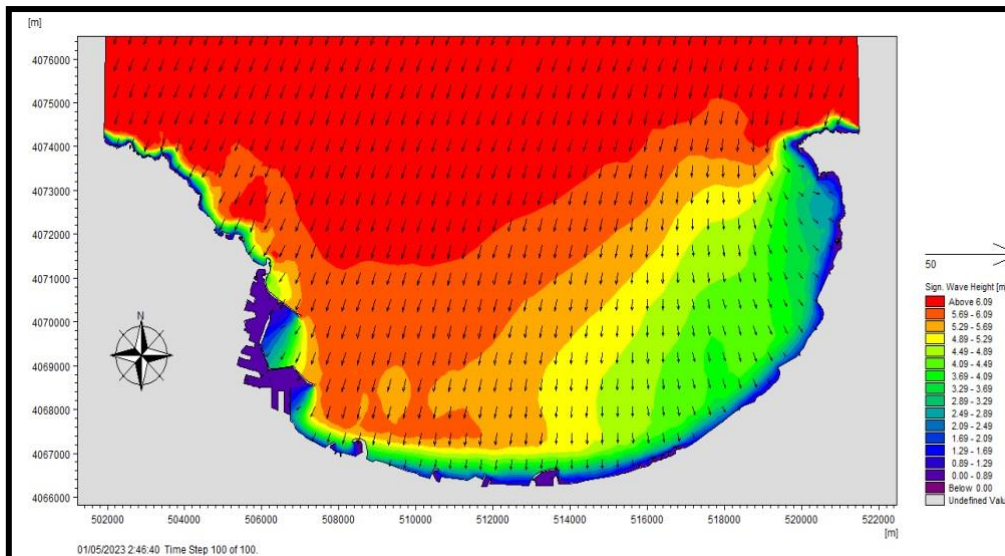
Champs des houles dans la Baie d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 5ans)
 (Hs =4.93m, Tp= 14.13 s, U10= 15.34 m/s)



Champs des houles dans la Baie d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 25 ans)
 (Hs =6.03 m, Tp =14.58 s, U10=16.62m/s)

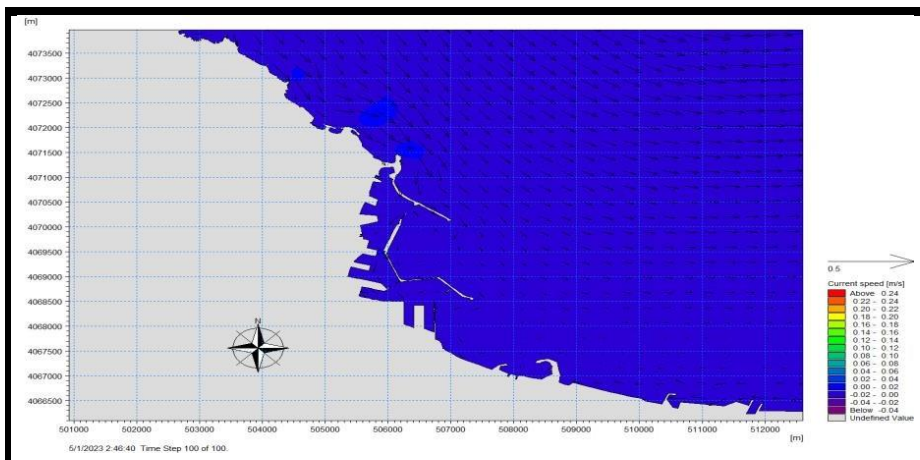


Champs des houles dans la Baie d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 10 ans)
 (Hs = 5.43 m, Tp =14.36 s, U10= 15.99 m/s)

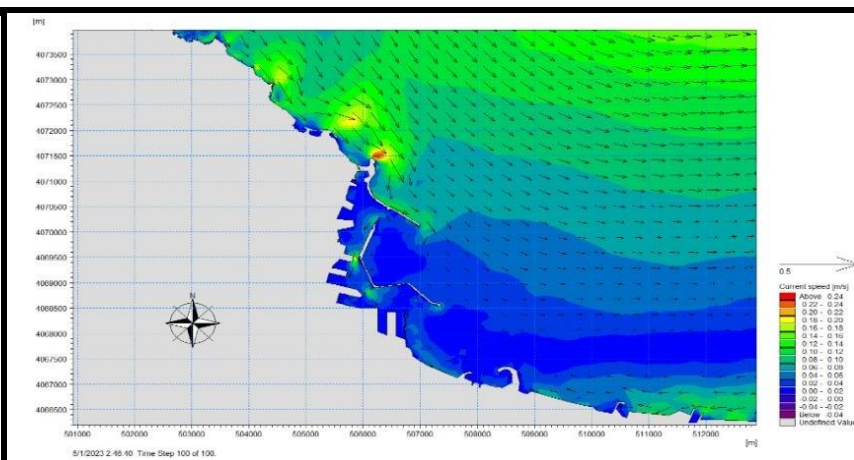


Champs des houles dans la Baie d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 50 ans)
 ($H_s = 5.43$ m, $T_p = 14.36$ s, $U_{10} = 15.99$ m/s).

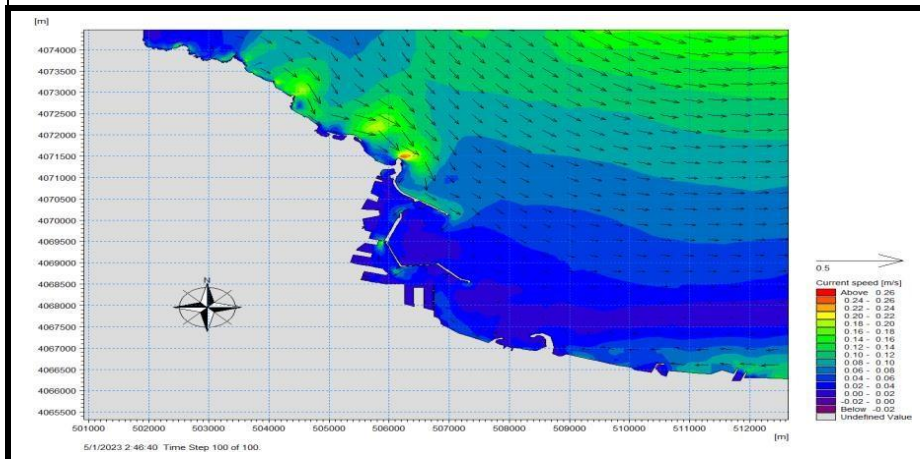
Figure 39 : Champs des houles dans la Baie d'Alger de direction NNE (paramètres de houle pour une période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans).



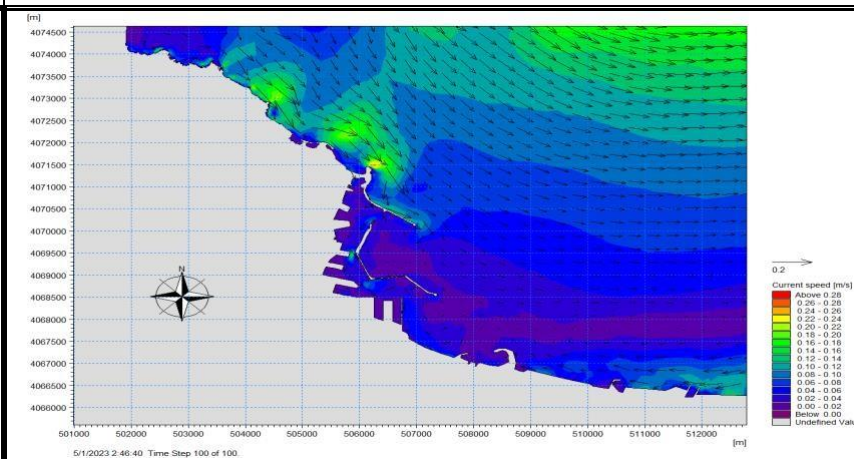
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 2ans)
 ($H_s = 4.37\text{m}$, $T_p = 13.71\text{s}$, $U_{10} = 14.13\text{ m/s}$).



Champs au voisinage de port d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 5ans)
 ($H_s = 4.93\text{m}$, $T_p = 14.13\text{ s}$, $U_{10} = 15.34\text{ m/s}$)



Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 25 ans)
 ($H_s = 6.03\text{ m}$, $T_p = 14.58\text{ s}$, $U_{10} = 16.62\text{m/s}$)



Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 Direction NNE (Période de retour 10 ans)
 ($H_s = 5.43\text{ m}$, $T_p = 14.36\text{ s}$, $U_{10} = 15.99\text{ m/s}$)

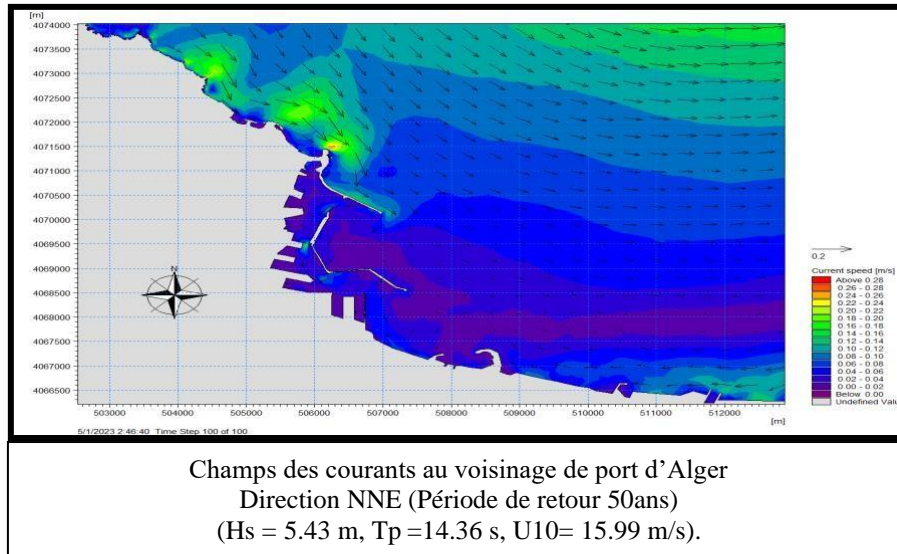


Figure 40 : Champs des courants dans le port d'Alger de direction NNE (paramètres de houle pour une période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans)

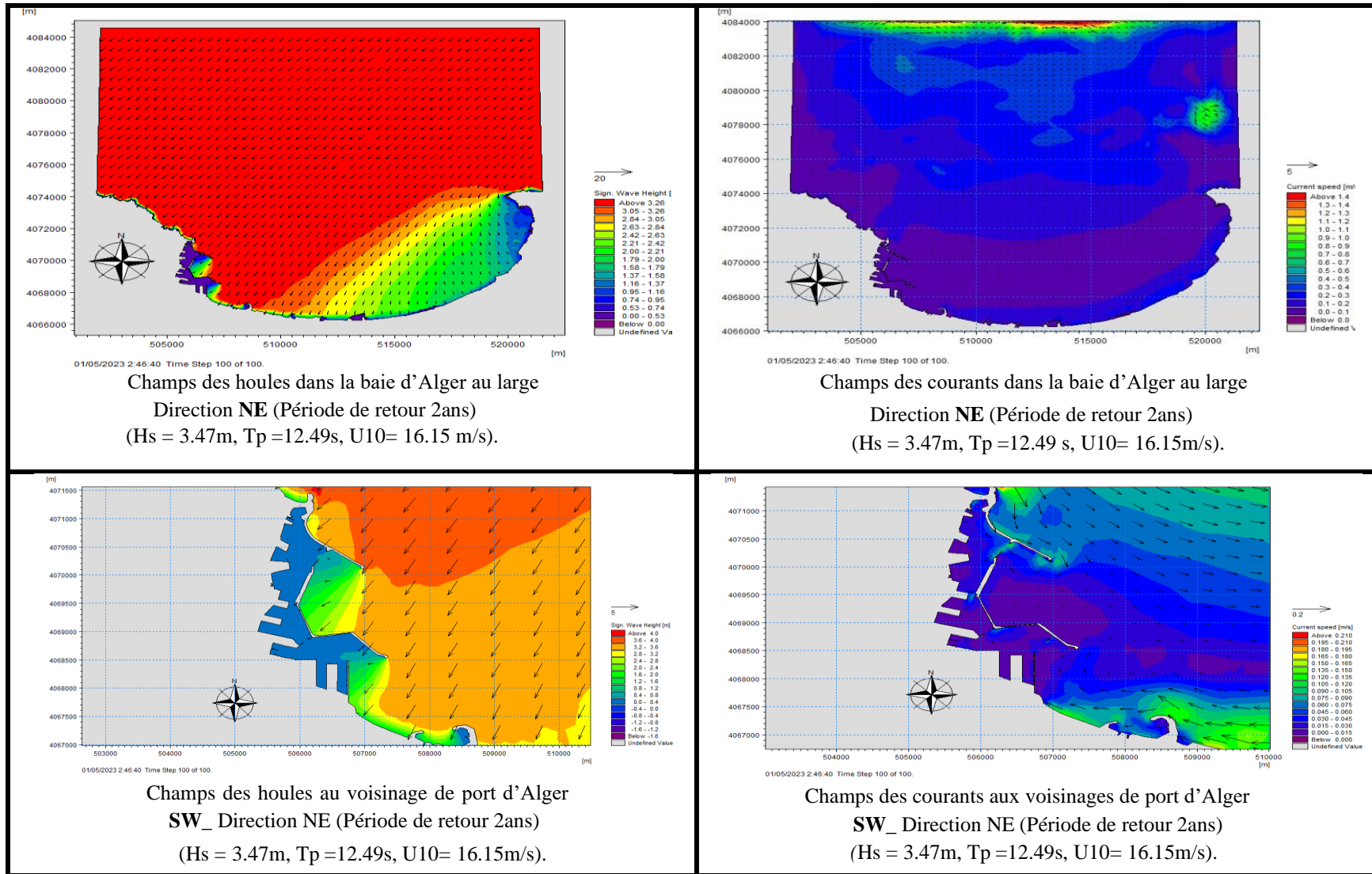
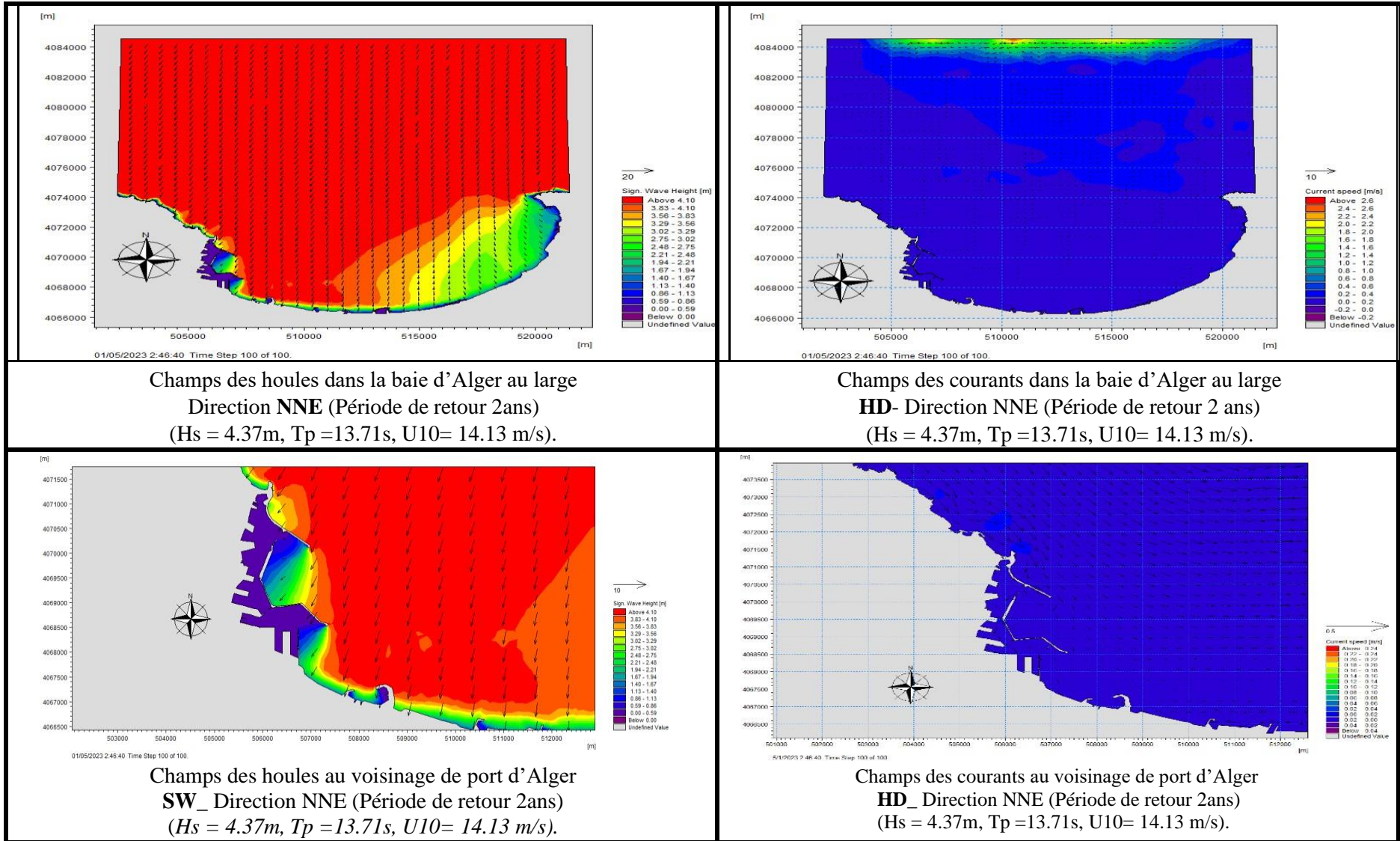


Figure 41 : Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction NE (pour une période de retour de 2 ans).



Champs des houles dans la baie d'Alger au large
 Direction NNE (Période de retour 2ans)
 ($H_s = 4.37m$, $T_p = 13.71s$, $U_{10} = 14.13 m/s$).

Champs des courants dans la baie d'Alger au large
 HD- Direction NNE (Période de retour 2 ans)
 ($H_s = 4.37m$, $T_p = 13.71s$, $U_{10} = 14.13 m/s$).

Champs des houles au voisinage de port d'Alger
 SW_ Direction NNE (Période de retour 2ans)
 ($H_s = 4.37m$, $T_p = 13.71s$, $U_{10} = 14.13 m/s$).

Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 HD_ Direction NNE (Période de retour 2ans)
 ($H_s = 4.37m$, $T_p = 13.71s$, $U_{10} = 14.13 m/s$).

Figure42 : Champs des houles et des courants dans la baie et du port d'Alger de direction NNE (pour une période de retour de 2 ans).

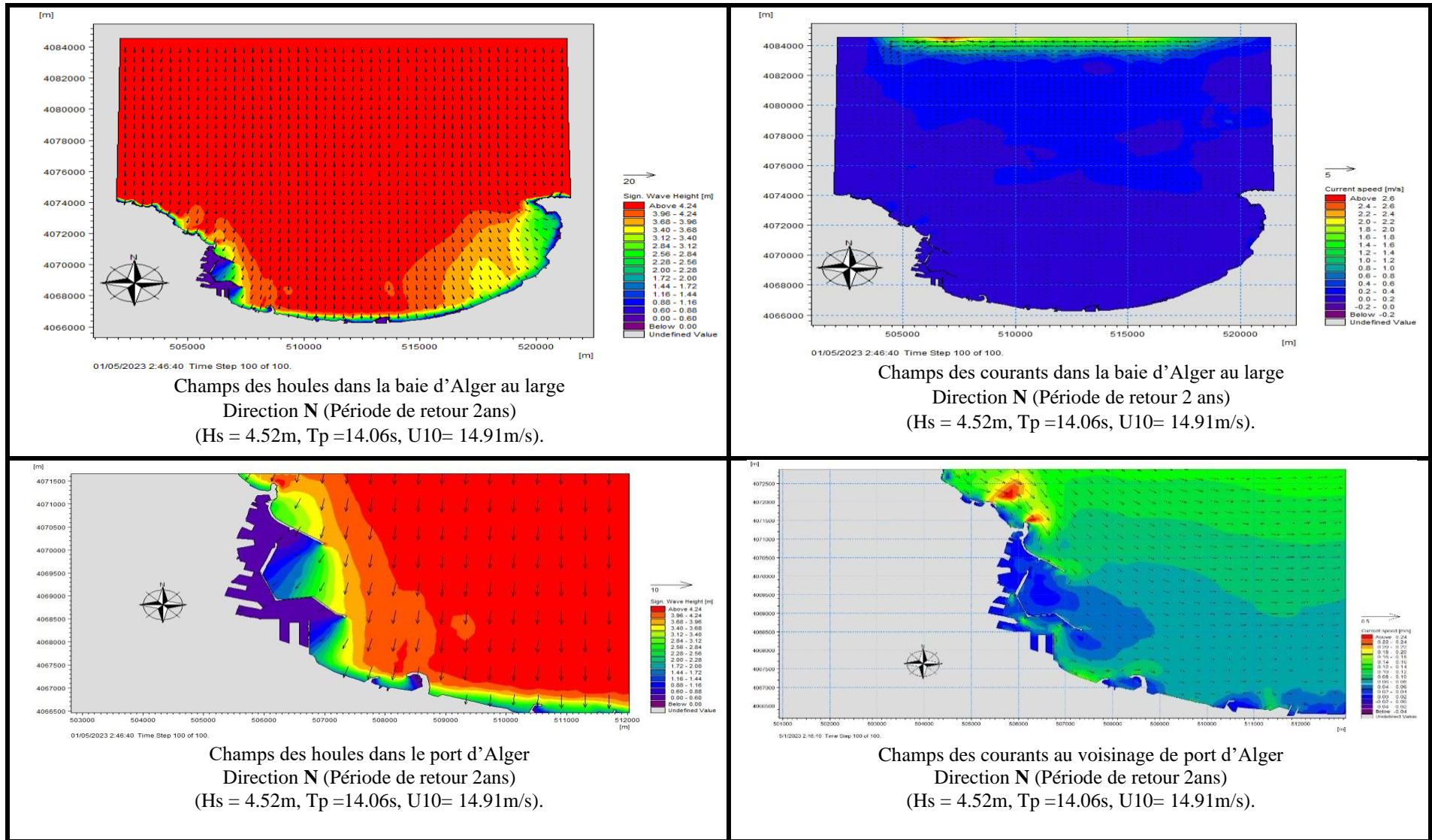


Figure 43 : Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction N (pour une période de retour de 2 ans).

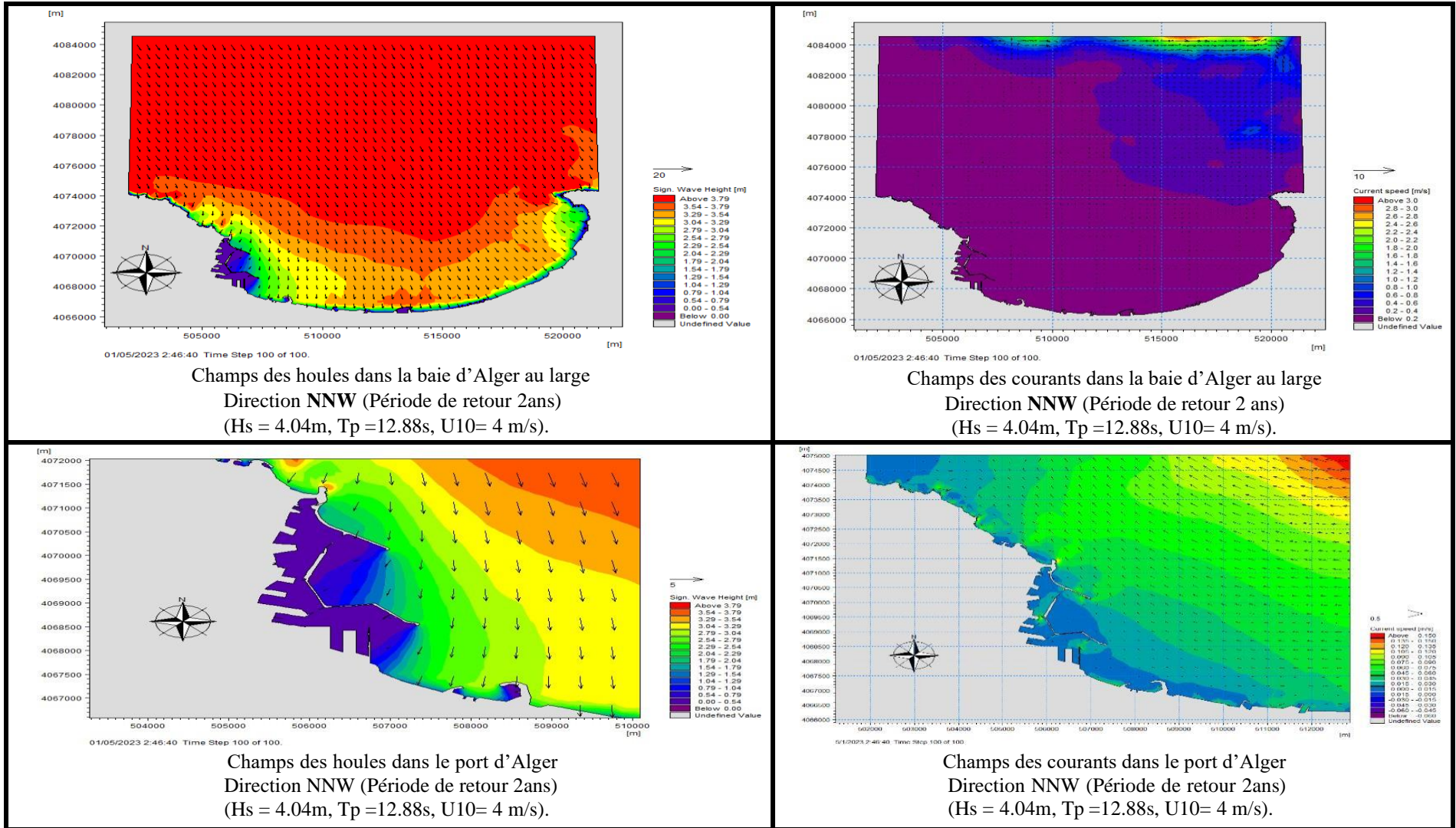


Figure 44 : Champs des houles et des courants dans la Baie et du port d'Alger de direction NNW (pour une période de retour de 2 ans).

6.1. Interprétation des résultats de module SW

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Est

La propagation de la houle (**Figure 41**) pour cette direction montre des modifications de ses caractéristiques, à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence du généralement aux effets de la profondeur (phénomène de réfraction).

Pour une période de retours de 2 ans, les houles du large de la direction Nord-Est (45°), ne subissent pas des modifications, ($H_{s0}=3.47$ m) jusqu'à une profondeur d'environ 4m, mais dès que la profondeur devient plus petite, la hauteur de la houle diminue pour atteindre les valeurs comprises entre 2.4 et 2.8m à proximité de la jetée principale, ceci traduit par la conservation des énergies de houle de cette direction et affectent directement atteignant les ouvrages portuaires.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Nord Est

Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle de la direction Nord-Nord Est pour une période de retour de 2ans (**Figure 42**) ne subissent que des légères modifications et gardent les caractéristiques du large ($H_{s0}=4.37$ m). Les valeurs des hauteurs sont comprises entre 4.0 et 4.4 m au près des jetées. A l'abri des jetées les hauteurs varient entre 0.4 et 0.8m. C'est surtout la passe Sud du port qui semble la plus touchée par l'agitation des houles.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord

La figure ci-après (**Figure 43**) montre le plan de propagation de la houle à des profondeurs jusqu'au rivage, venant de la direction Nord pour la période de retour de 2 ans avec une hauteur significative de 4.52 m.

Nous remarquons que la houle de direction Nord est frontale sur toute la côte. D'une part, cela serait dû au fait que ces houles se réfractent de la même façon sur des profondeurs identiques et parallèles à la Côte, sauf à l'est où se trouve le Cap Matifou, et à l'ouest le port d'Alger. D'autre part, cela tient à la configuration du rivage, qui est en fait perpendiculaire à la direction des vagues.

La simulation a permis d'identifier que dans la partie de port les valeurs des hauteurs sont entre 3.6 à 4 m. C'est surtout la passe Nord qui pourrait subir les impacts de cette houle. La passe Sud semble subir une diffraction de la houle.

En amont de port, la hauteur est de 3.5m au voisinage de la jetée principale cela est provoqué par des variations bathymétriques qui causeraient la déformation des houles.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Nord-Ouest

D'après la carte représentée dans la (**Figure 44**) au large, ces houles de direction Nord-Nord-Ouest pour une période de retour de 2 ans ne subissent aucune modification ($H_{s0} = 4.04$ m).

Sous l'effet du fond, elles subissent de légères modifications tout au long de sa propagation où les caractéristiques changent et elles atteignent les côtes. En effet, les houles subissent une diffraction par les jetées du Port d'Alger dans les valeurs des hauteurs sont comprises entre 2.25 à 2.5m. Cette direction de houle touche plus la passe Nord du port que celle du Sud.

On remarque que le port et ses deux passes d'entrée nord et sud sont orientés de manière à protéger l'arrière-port des houles venant de cette direction. Les lignes orthogonales des houles tournent autour de la jetée nord, la houle perd près de la moitié de son énergie vers l'intérieur du bassin portuaire.

6.2. Interprétation des résultats de module HD

Selon le modèle Mike 21, la distribution spatiale de la vitesse et la direction des courants pour l'ensemble de la zone étudiée ont illustrés dans les figures précédentes :

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Est

Les courants induits par les houles Nord-Est (**Figure 41**) pour une période de retour de 2 ans orientés d'Est en Ouest ont des vitesses comprises entre 0.1 et 0.2 m/s. Cela induit un courant de dérive littorale parallèle à la côte, et d'Ouest vers l'Est dans la partie orientale de la Baie d'Alger. La morphologie de la zone (en forme Baie) favorise le déplacement des sédiments de deux oueds (l'Oued el Harrach et Oued el Hamiz).

Dans la partie Ouest au voisinage du port d'Alger, la vitesse du courant est importante et varie de 0.3m/s à 0.4 m/s, cela est dû à la concentration des énergies de la houle au voisinage des jetées du port qui sont perpendiculaires à cette direction.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Nord Est

La houle de Nord- -Nord Est montre des courants de dérives littorales (**Figure 42**) pour une période de 2 ans, au large la direction des courants sont déviées en se rapprochant du rivage l'intensité de ces courants diminuent formant ainsi des courant parallèle près des côtes (courant de dérive littorale).

Il est à noter qu'au niveau des jetées du port, les courants arrivent avec des vitesses qui sont en moyenne d'ordre 0.02 à 0.04 m/s.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord

Nous pouvons constater, à partir des résultats de la simulation (**Figure 43**) par le modèle Hydrodynamique (HD), pour une période de 2ans que la houle de secteur Nord engendre un courant. A l'approche de la côte la vitesse du courant est faible le long de la Baie (environ 0,2 et 0.4 m/s) sauf dans la zone portuaire où on observe des champs de courant avec une vitesse allant jusqu'à 0.16 m/s.

✓ Propagation des houles dans la direction Nord-Nord-Ouest

L'étude courantologie concernant la houle de Nord-Nord-Ouest (**Figure 44**) pour une période de 2ans, produira une dérive littorale parallèlement à la cote avec une vitesse variant entre 0,2 m/s.

Sur la zone du Port d'Alger dont l'intensité avec des valeurs qui varie entre 0,9 à 1.05 m/s.

On déduit que les courants nés derrière les jetés de ports sont dus généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages. Cette direction impacte la passe Nord et faiblement la passe Sud par diffraction.

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

7.1. Principe du calcul d'agitation portuaire

Le principe du calcul de l'agitation portuaire est d'évaluer, à tous points, l'agitation résiduelle aux limites à l'entrée du port c'est-à-dire la connaissance des conditions naturelles auprès du site. Par la présente étude, nous déterminons les conditions d'entrée à partir d'une étude statistique des mesures enregistrées au large. Il s'agit ensuite de rapporter les conditions de houle jusqu'au pied du port, et ce, à travers un modèle de propagation, ce qui permettra par la suite de connaître l'agitation à l'intérieur du port (**Oukadr. M et Mouhid. M, 2017**).

7.2. Modèle d'agitation des vagues

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

$N(\omega, \theta)$ plutôt l'énergie de la vague :

$$N(\omega, \theta, x, y, t) = \frac{E(x, \omega, \theta, x, y, t)}{\sigma} \text{ Equation 1}$$

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

$$\nabla \cdot (C_g \nabla \phi) + \frac{C_g}{c} \omega^2 \phi = 0 \text{ Equation 2}$$

Avec : $\omega^2 = gk \tanh(kd)$, relation de dispersion

L'équation (2) peut être résolue directement, par la méthode des éléments finis (**Marcier et al., 1994**).

Ce type de modèle est notamment destiné à étudier les problèmes d'agitation portuaire où les effets de diffraction et réflexion de la houle peuvent être importants.

7.3. Présentation du BlueKenue

BlueKenue est l'un des pré- et post-processeurs associés au système TELEMAC. En tant que pré-processeur, un maillage d'éléments finis peut être généré par BlueKenue avec deux des fichiers d'entrée à Telemac : le fichier de géométrie avec la géométrie de la grille et les élévations des nœuds, et le fichier de conditions aux limites avec les types de condition le long des limites.

BlueKenue est également utilisé par de nombreux utilisateurs comme post-processeur pour visualiser et analyser les résultats (Maron. P, 2012).

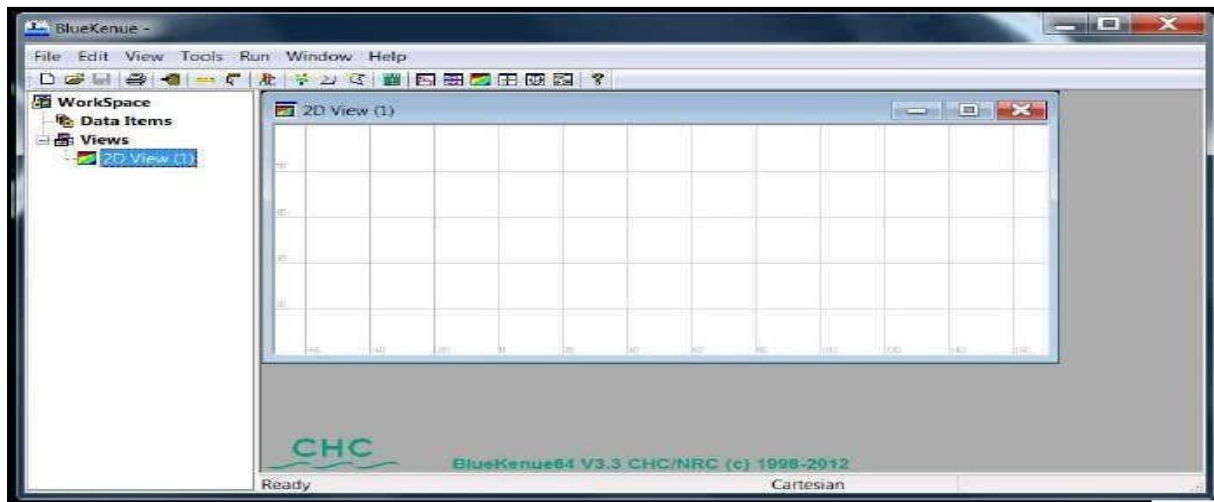


Figure 45 : Interface de BlueKenue

7.3.1. Les avantages de BleuKenue

- Blue Kenue™ est un outil perfectionné permettant aux modélisateurs hydrauliques de préparer, analyser et visualiser leurs données. Il s'agit d'une interface graphique de pointe intégrant des bases de données environnementales et des données géo-référencées aux données de modèle (entrées et sorties).

- Blue Kenue permet de lire directement les résultats des modèles TELEMAC, ADCIRC et HydroSim. La visualisation de résultats dans Blue Kenue™ se fait par le biais de vues dynamiques 1D, polaires, 2D, 3D ou sphériques que l'utilisateur peut enregistrer sous forme de films ou sauver sous forme d'images pour ses rapports et présentations. Toutes les vues et les données sont entièrement géo-référencées.

Blue Kenue permet de plus la conversion entre systèmes de coordonnées (projections courantes) (Maron. P, 2012).

7.3.2. Mesh

Blue Kenue permet de générer des maillages rectangulaires et triangulaires à partir de points, de lignes, ou même à partir d'autres maillages réguliers ou triangulaires. L'utilisateur a la possibilité d'inclure des « nœuds durs » ou des « lignes de rupture » avec le générateur de grille triangulaire. Ces points et lignes seront préservés lors de la création des nœuds/éléments. La densité de nœuds est calculée à partir de cartes de densité définies par l'utilisateur (grilles rectangulaires, maillages triangulaires ou polygones). Les cartes de friction hydrodynamique sont quant à elles générées facilement par mappage de données sous forme de polygones ou autres grilles (Maron. P, 2012).

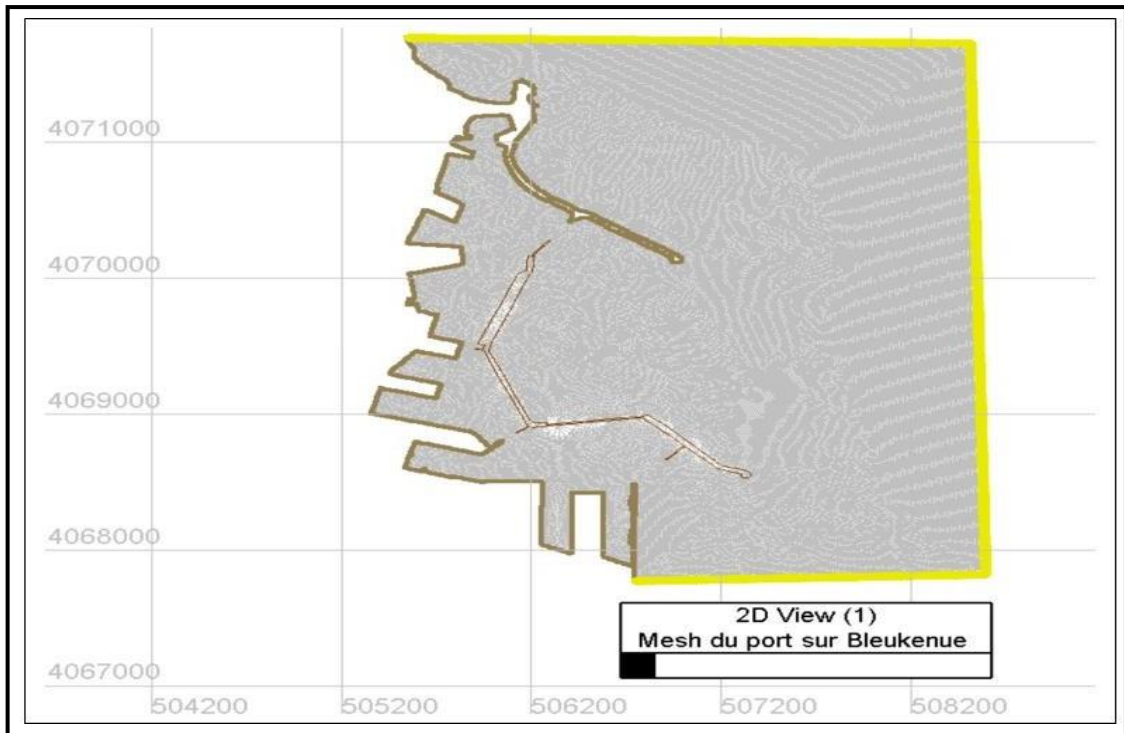


Figure 46 : Maillage de port d’Alger sur BleuKenue

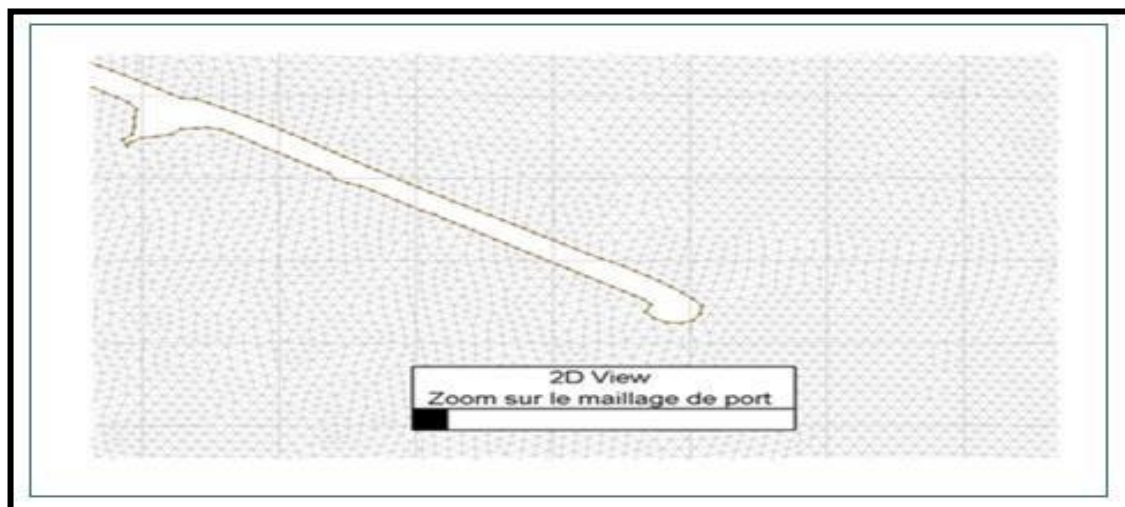


Figure 47 : Zoom sur le maillage de port d’Alger

7.4. Présentation de logiciel TELEMAC

Le système TELEMAC a été développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) d'EDF. Il repose intégralement sur un maillage non structuré, de type éléments finis. Dans ce domaine, il fait figure de pionnier, puisque dès l'origine (années 1980), cette technique particulièrement efficace de discrétisation spatiale a été adoptée.

Les domaines d'application du logiciel sont nombreux. Dans le domaine maritime, on peut citer en particulier le dimensionnement d'ouvrages portuaires, l'étude de l'effet de la construction de digues submersibles ou de dragages, l'impact du rejet d'un émissaire côtier, l'étude des panaches thermiques. Dans le domaine fluvial, on peut également citer : l'étude de l'impact de la construction d'ouvrages (ponts, seuils, épis), les ruptures de barrages, les études d'inondation, le transport de traceurs conservatifs ou non. TELEMAC-2D a également été utilisé pour un certain nombre de cas spéciaux d'application, tels que la rupture de réservoirs industriels, la chute d'avalanche dans un réservoir, etc.

TELEMAC-2D trouve ses applications en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale, et est capable de prendre en compte les phénomènes physiques suivants :

- Propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires,
- Frottement sur le fond,
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,
- Turbulence,
- Ecoulements torrentiels et fluviaux,
- Influence de gradients horizontaux de température ou de salinité sur la densité,
- Coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- Zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrant et plaines inondables,
- Entraînement par le courant et diffusion d'un ou plusieurs traceurs, avec des termes de création ou de disparition,
- Suivi de flotteurs et dérives lagrangiennes,
- Traitement de singularités : seuils, digues, buses.
- Prise en compte des forces de traînée des structures verticales.
- Prise en compte des phénomènes de porosité.
- Prise en compte des courants de houle (par couplage avec les modules ARTEMIS et TOMAWAC).
- Couplage avec le transport sédimentaire (Lang, P, 2010) .

7.4.1. Présentation d'ARTEMIS

L'étude d'agitation pour l'aménagement du port de Port La Nouvelle est réalisée avec le logiciel ARTEMIS qui permet de modéliser la propagation des vagues et l'agitation résiduelle dans la zone portuaire. Ce logiciel fait partie de la plate-forme TELEMAC. Le logiciel ARTEMIS est basé sur la résolution complète des équations de houle (équation elliptique : Berkhoff), il n'est pas limité sur le nombre de réflexions ou de diffractions sur les ouvrages côtiers et portuaires. Il est utilisé pour calculer les champs de vagues en combinant les effets de réfraction, diffraction, réflexion sur de petits domaines semi-fermés (baie, avant-port, etc.). Il peut aussi être utilisé pour calculer les agitations, les résonances et les seiches (mise en résonance) dans les ports.

Les principaux avantages d'ARTEMIS sont :

- La possibilité de travailler en houle monochromatique monodirectionnelle ou au contraire en houle aléatoire multidirectionnelle,
- L'utilisation d'un maillage en éléments finis qui permet de modéliser les détails des zones d'intérêt et les zones où il y a une rapide variation des fonds,
- La prise en compte de la réfraction, du shoaling, de la diffraction, de la réflexion, du frottement sur les fonds et du déferlement,
- La souplesse d'utilisation, en particulier le maillage de calcul est indépendant des directions des houles : un seul maillage suffit pour l'ensemble de l'étude (Mar, 2005).

ARTEMIS est capable de modéliser notamment les processus suivants :

- Réfraction
- Diffraction par des obstacles
- Déferlement induit par le fond
- Frottement de fond
- Réflexions totales ou partielles contre les murs, brise-lames, digues, etc.

ARTEMIS a été validé par un ensemble de cas tests et a été utilisé avec succès pour de nombreuses études. Le logiciel a démontré sa capacité à fournir des résultats sur l'agitation fiables dans les zones côtières et les zones portuaires (Audit, 2018).

○ Les entrées et sorties

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

Les fichiers en entrée sont :

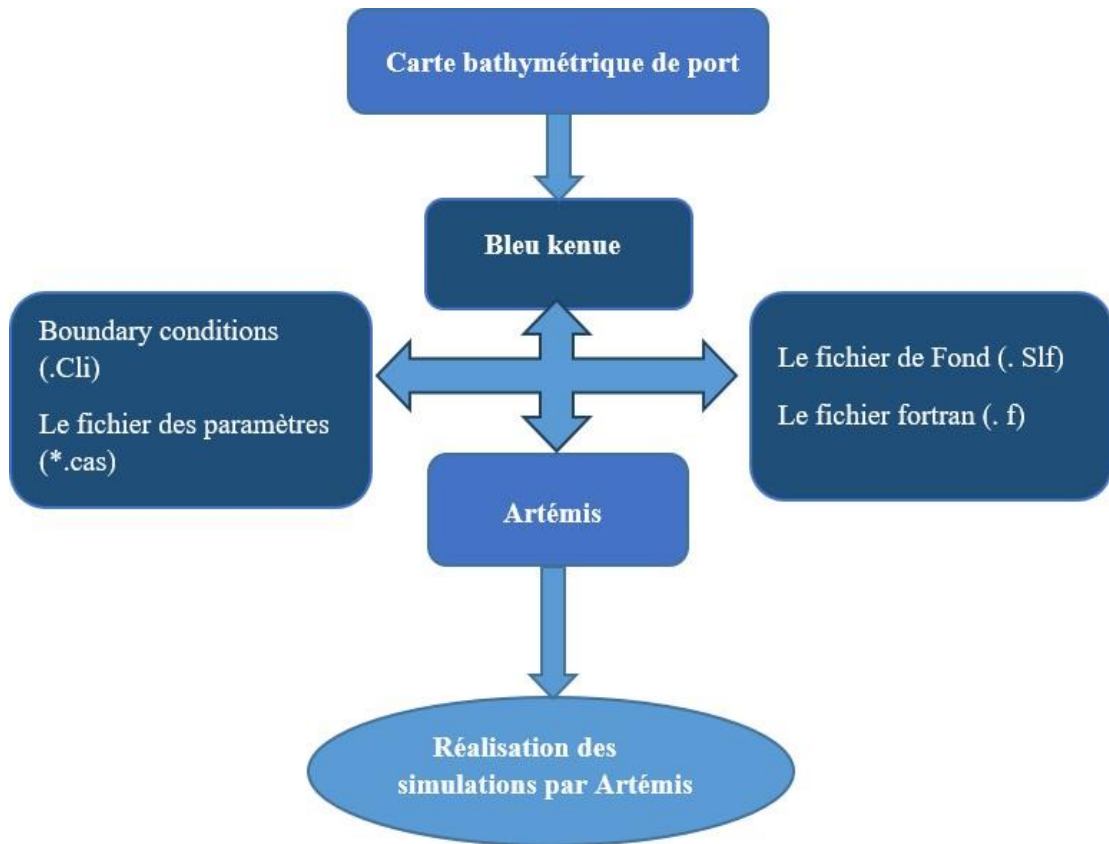
- Le fichier des paramètres (obligatoire)
- Le fichier de géométrie (obligatoire)
- Le fichier des conditions aux limites (obligatoire)
- Le fichier des fonds
- Le fichier Fortran

- Le fichier du calcul précédent
- Le fichier de référence
- Les fichiers binaires 1 et 2
- Les fichiers formatés

Les fichiers de sorties sont :

- Le fichier des résultats (*. slf)
- Le listing de sortie (**Logiciel TELEMAC-3D, 2007**).

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



7.4.1.1. Résultats et Interprétation de la simulation d'agitation sur ARTEMIS

➤ Scénario initial

Après avoir examiné le modèle Artémis sur trois directions (Nord, Nord-Nord-Est, Nord-Est) nous avons constaté que les houles comprises entre le secteur NNE et le secteur NE sont les plus pénalisantes. En effet la passe d'entrée du port sud favorise la pénétration de la propagation de la houle.

- **Secteur Nord-Nord-Est**

Pour les houles de périodes de retour 25 ans ($H_s=6.03$ m, $T_p=14.58$ s) et les houles de périodes 50 ans ($H_s=6.49$ m, $T_p=14.70$ s), on a observé presque les mêmes tendances.

On remarque qu'il y'a une pénétration de la houle par la passe d'entrée Sud et Nord puis une réflexion des ondes sur les ouvrages ce qui engendre une augmentation de l'agitation au sein du bassin portuaire. Alors, l'agitation est de l'ordre 0.6 m dans la passe d'entrée Sud, et environs 1.2 m dans le bassin Mustapha, l'agitation augmente considérablement pour des valeurs de 1.8 m dans certaines zones.

En raison de la différence de longueur entre les jetées Nord et Sud, la houle NNE se propage plus efficacement. La propagation de la houle dans l'avant-port et le chenal est facilitée par la jetée nord plus courte.

- **Secteur Nord-Est**

Par rapport à la houle NE de période de retour 25 ans ($H_s=4.85$ m, $T_p=13.54$ s) et les houles de périodes 50 ans ($H_s=5.22$ m, $T_p=13.71$ s), Des hauteurs de houles à l'ordre de 0.4 m est enregistré dans la partie sud de port et atteint 1.02 m dans la partie Nord.

Remarque

Sur l'ensemble du port, la houle d'incidence de direction NNE effectue une agitation légèrement plus importante que la houle d'incidence NE, et la direction N est moins importante qui affecte moins les différentes zones du port d'Alger.

Scénario initial N 25ans :

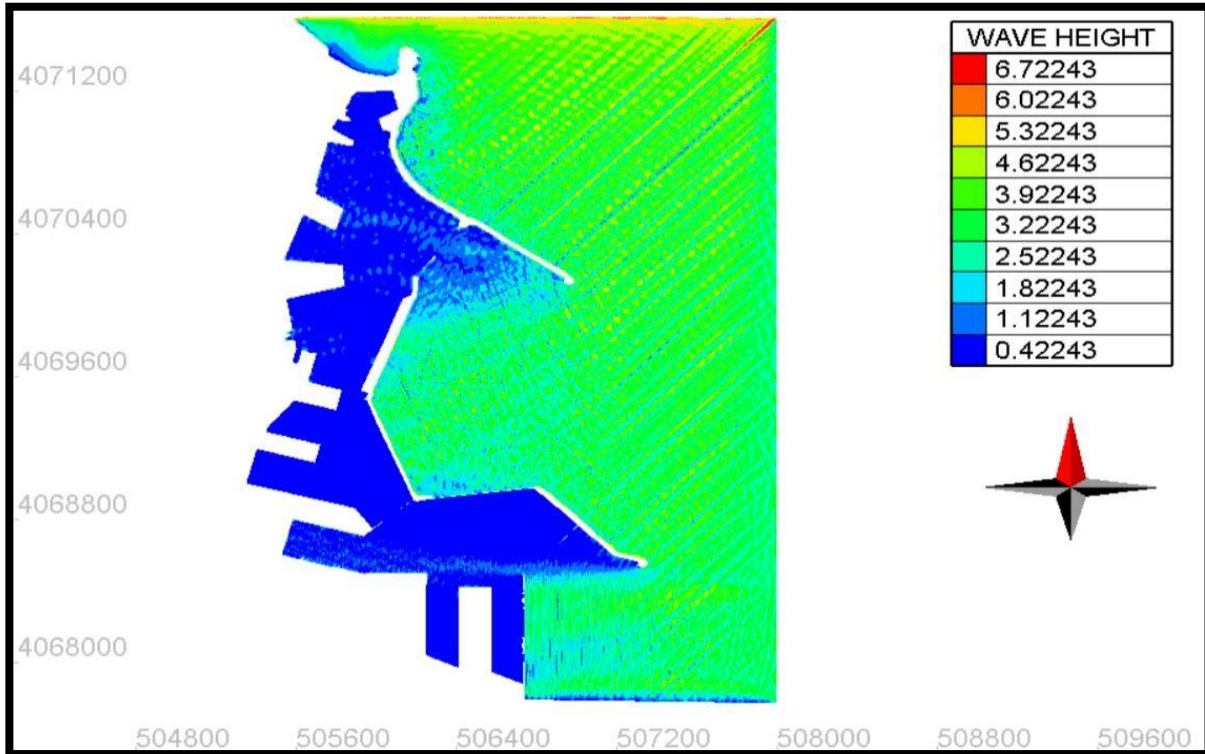


Figure 48 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord

Scénario initial N 50ans :

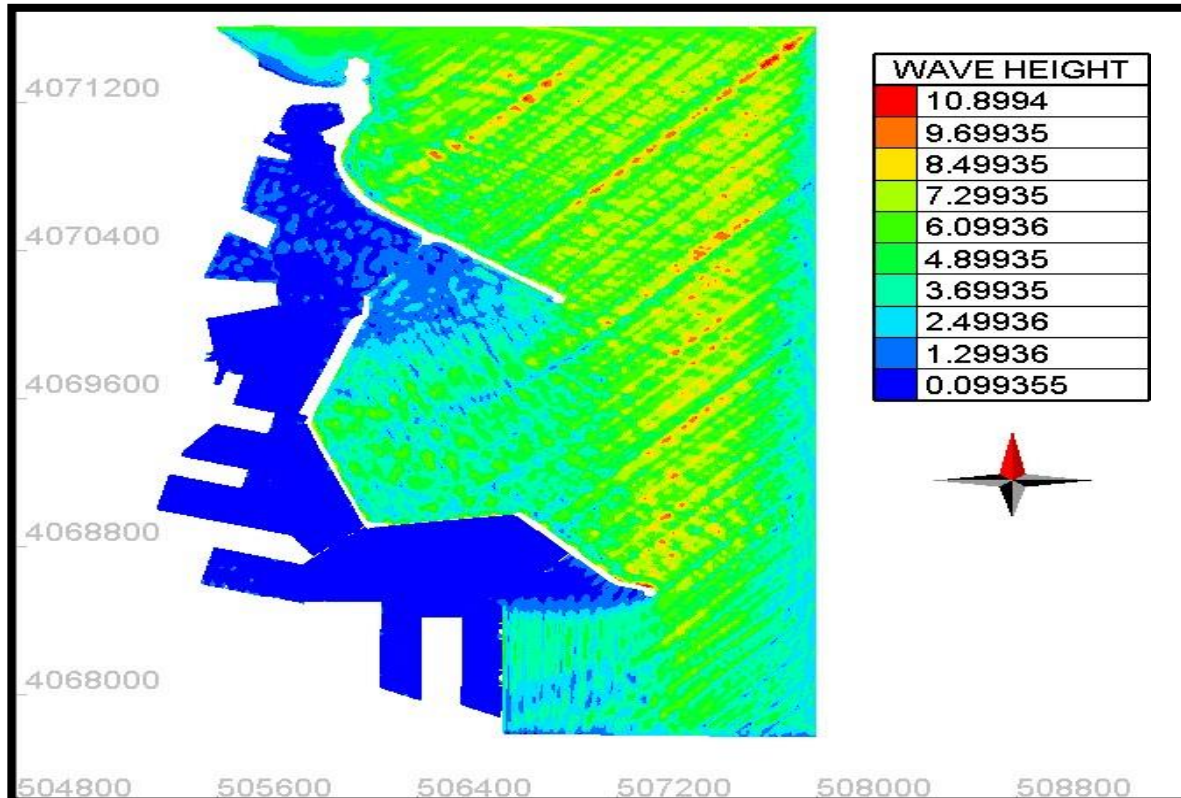


Figure 49 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial

Scénario initial NE 25ans :

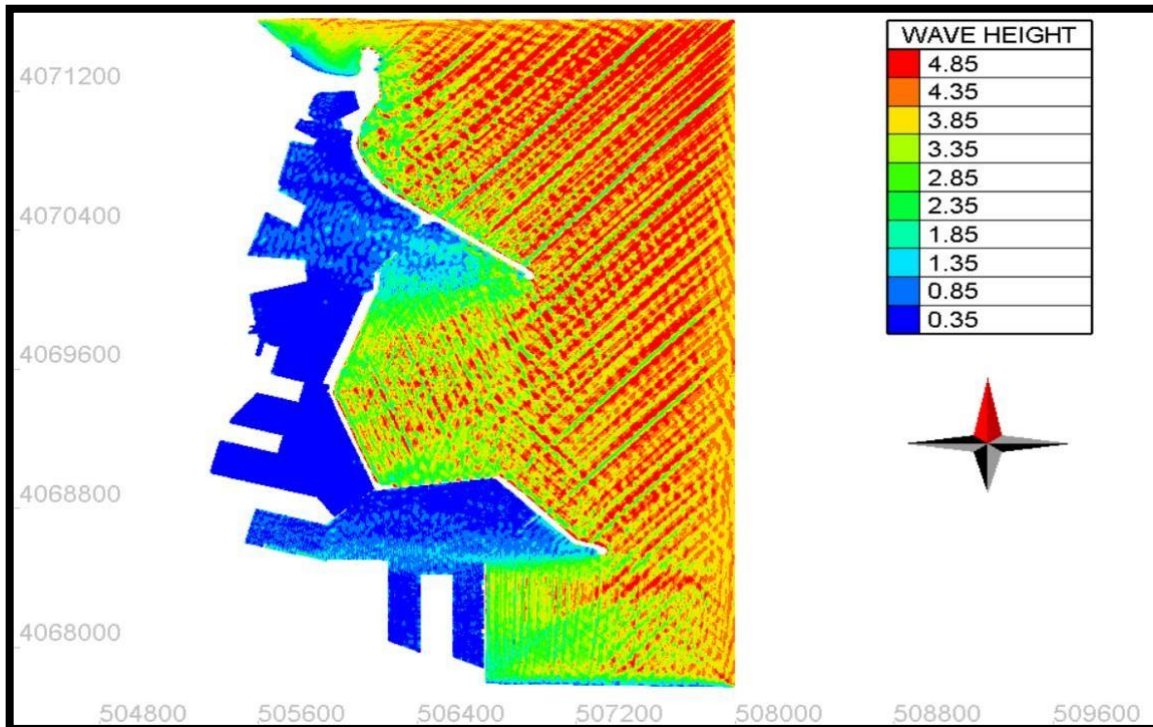


Figure 50 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord-Est.

Scénario initial NE 50ans :

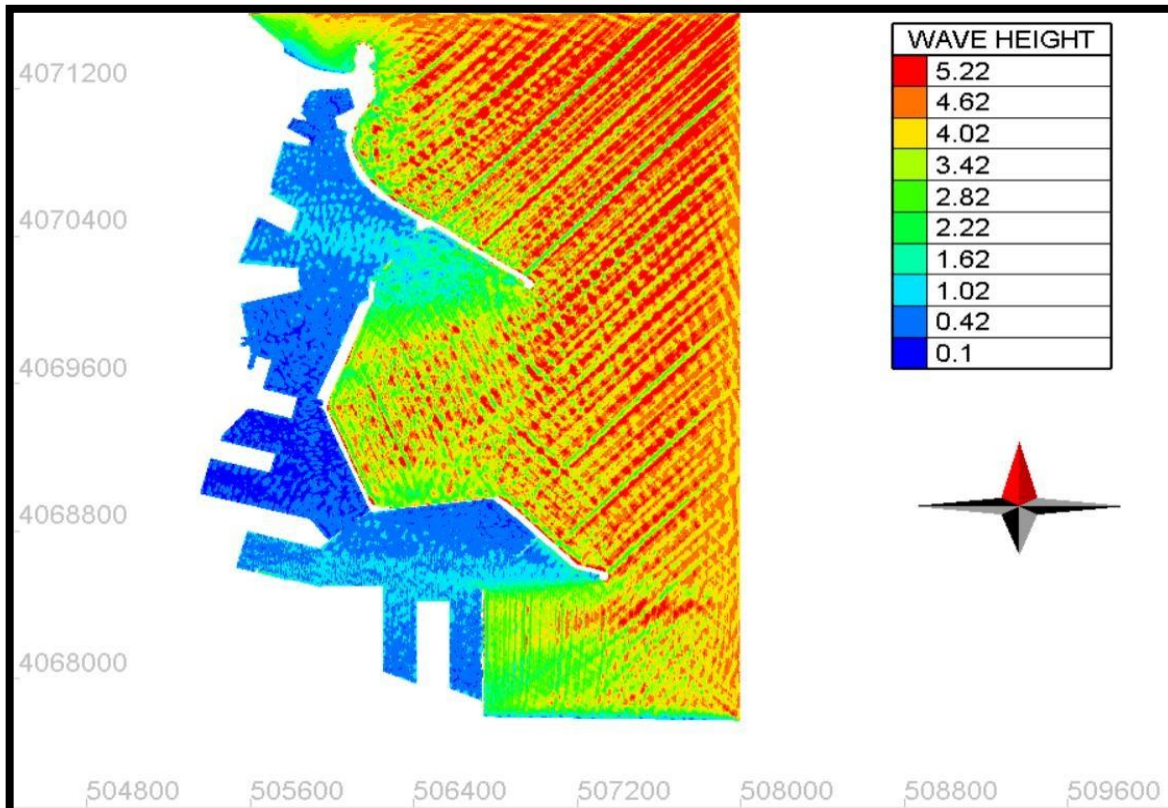


Figure 51 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50ans -Scénario initial- Nord-Est.

Scénario initial NNE 25ans :

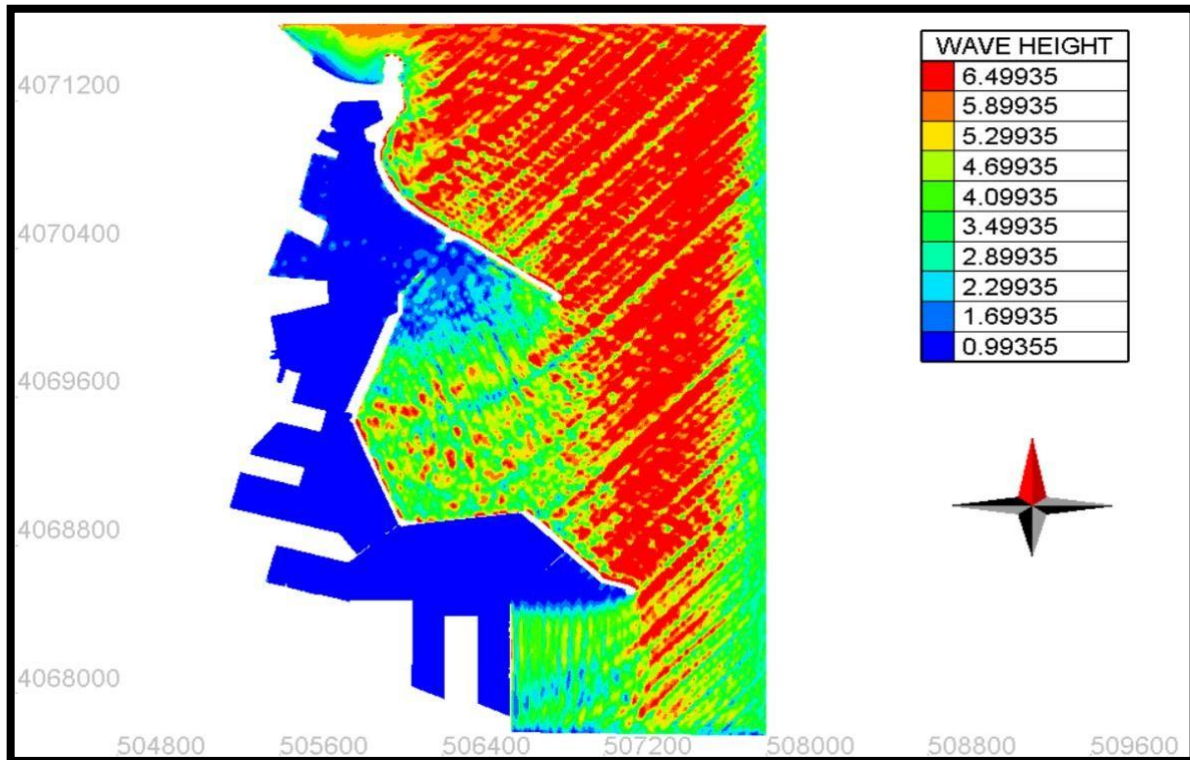


Figure 52 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 25ans -Scénario initial- Nord-Nord-Est.

Scénario initial NNE 50ans :

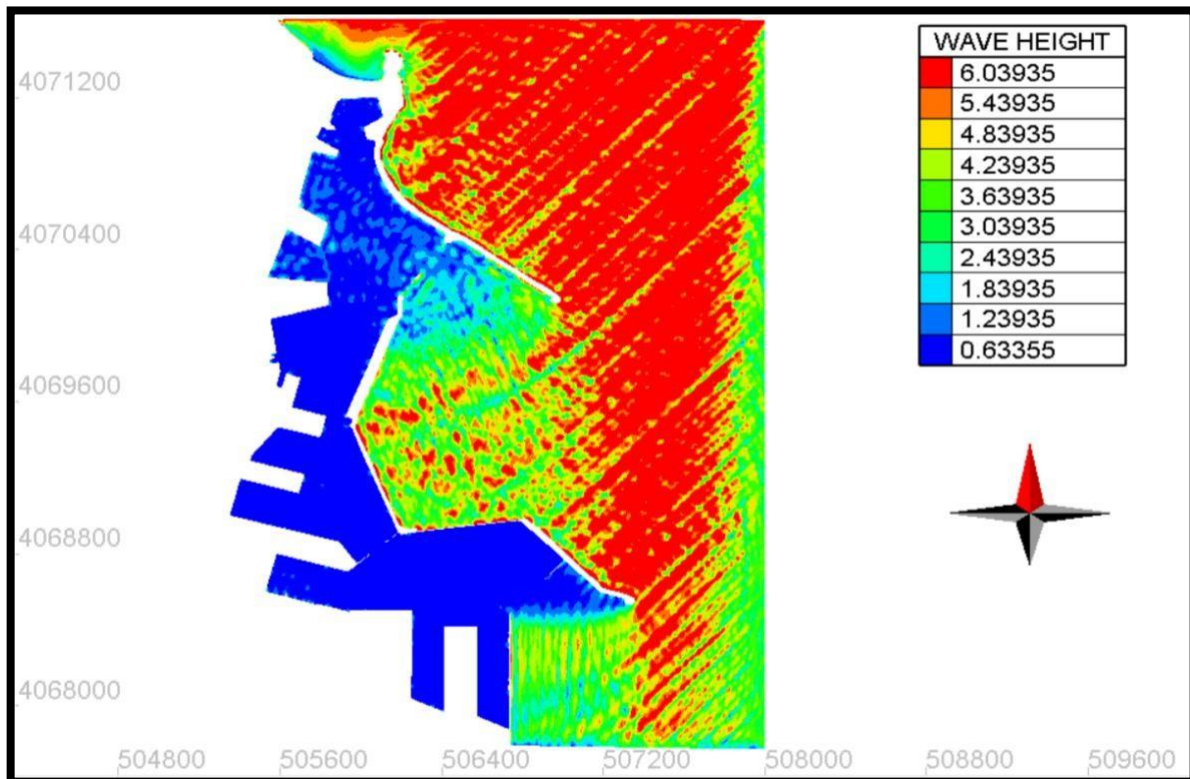


Figure 53 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50ans -Scénario initial-Nord-Nord-Est.

Conclusion

La modélisation numérique nous a permis de définir les directions pénalisantes de la houle qui sont le Nord, Nord-Nord-Est, et le Nord-Nord-Est en utilisant les logiciels Mike Telemac (Artémis, Bleuknue), qui nous a permis d'atteindre ces résultats.

En ce qui concerne les vitesses d'écoulement locales, les conditions d'écoulement semblent être à l'abri des événements extrêmes et semblent être les mêmes pour différentes configurations du climat simulé. D'autre part, la direction d'arrivée des vagues a un effet très important, mais en ce qui concerne l'aérodynamique, nous observons de multiples flux directionnels et des couloirs générés, notamment des houles générées depuis la direction du Nord, Nord-Est.

On enregistre des vitesses du courant variant sur la zone du Port d'Alger dont l'intensité avec des valeurs qui varient entre 0,9 à 1.05 m/s.

Chapitre V : Solution

De nombreuses activités, parmi lesquelles la navigation joue un rôle important, se déroulent dans les zones côtières. La plupart du temps, les installations portuaires et les industries qui les soutiennent sont situées dans certaines zones, où la profondeur de l'eau est assez faible, comme dans les chenaux d'accès et les passes d'entrées, où il est alors nécessaire d'effectuer des dragages afin de permettre aux bateaux à accéder au quai.

Le port est un sujet à des risques naturels majeurs, alors chaque année des millions de mètres cube des sédiments sont dragués du fonds des plan d'eau dans différent port du monde.

Dans notre cas d'étude, des sédiments et débris s'accumulent sur les plans d'eau par le processus naturel de sédimentation et peuvent atteindre des hauteurs gênantes pour les bateaux et navires donc on a pris comme proposition un dragage comme solution efficace à notre problématique c'est-à-dire d'enlever les sédiments accumulés dans les chenaux et les bassins portuaires.

1. Dragage

Le dragage est une activité d'excavation et une opération habituellement effectuée au moins en partie sous l'eau, dans les mers peu profondes ou des zones d'eau douce, dans le but de ramasser des sédiments du fond pour les jeter dans un endroit différent. Cette technique est souvent utilisée pour garder les voies navigables en ôtant une couche du lit de la rivière.(AquaPortail, 2020)

2. L'intérêt de dragage

Pour éviter l'envasement du port, le dragage est une solution adaptée pour remédie à ce problème. Dans cette optique, Le dragage a pour objectif principal d'extraire et évacuer les matériaux de dragage, considère les sédiments, pour assurer le bon fonctionnement des ports et le maintien des activités portuaires.

3. Equipements du dragage portuaire

Les méthodes d'excavation et d'exploitation sont utilisées pour catégoriser les équipements de dragage de sédiments portuaires.

La profondeur de la couche excavée, la distance du site de dépôt, la qualité des matériaux dragués, la hauteur d'eau dans les ports et la capacité de l'installation de traitement sont autant de facteurs qui influencent le choix des outils de dragage.

De manière générale, il existe trois grandes catégories essentielles de dragues :

3.1. Les dragues mécaniques

Le principe de fonctionnement de ce type de drague se fait soit par action mécanique d'un godet soit par une benne qui enlève les matériaux, elles sont employées en général pour l'extraction des sédiments graveleux.

Il en existe plusieurs types :

- Drague à pelle
- Drague à godet
- Drague rétrocaveuse ou ponton grue
- Drague excavatrice sur ponton à chargement frontal
- Drague à benne traînante ou dragline
- Drague à benne preneuse (**Bekari. M, 2010**).



Figure 54 : Drague à pelle



Figure 55 : Drague à benne



Figure 56 : Drague à benne preneuse (**Gardner, 2010**)

3.2. Le dragage hydraulique

Il est réalisé à l'aide d'un type de drague dit hydraulique qui aspire les sédiments au moyen d'une pompe centrifuge, à travers un tube à embout appelé élinde. Les sédiments aspirés sous forme de boue liquide, sont ensuite rejetés, selon les dragues, dans un puits ou un chaland, ou une zone de dépôt à terre via des conduites.

Cette technique présente l'avantage de faible remise en suspension des sédiments et un rendement élevé par rapport aux autres dragues. Parmi les types de dragues hydrauliques qui existent, **Planète TP (2007)** distingue :

- **La drague aspiratrice stationnaire** qui reste immobile sur le fond et rejette les sédiments dragués à terre à des zones aménagées ou sur des berges par le moyen de canalisations.

- **La drague aspiratrice en marche** qui aspire les sédiments et les stocke dans un puits à bord avant de les rejeter par une des deux méthodes plus répandues : le clapage (ouverture de volets dans le fond des cales du navire pour rejet en pleine mer) et le refoulement par conduite à la localisation souhaitée.
- **La drague aspiratrice à désagrégateur** qui est constituée d'un dispositif rotatif au bout de l'élinde qui permet de broyer les matériaux et faciliter ainsi leur aspiration (Abate Chrissy, M, 2020).

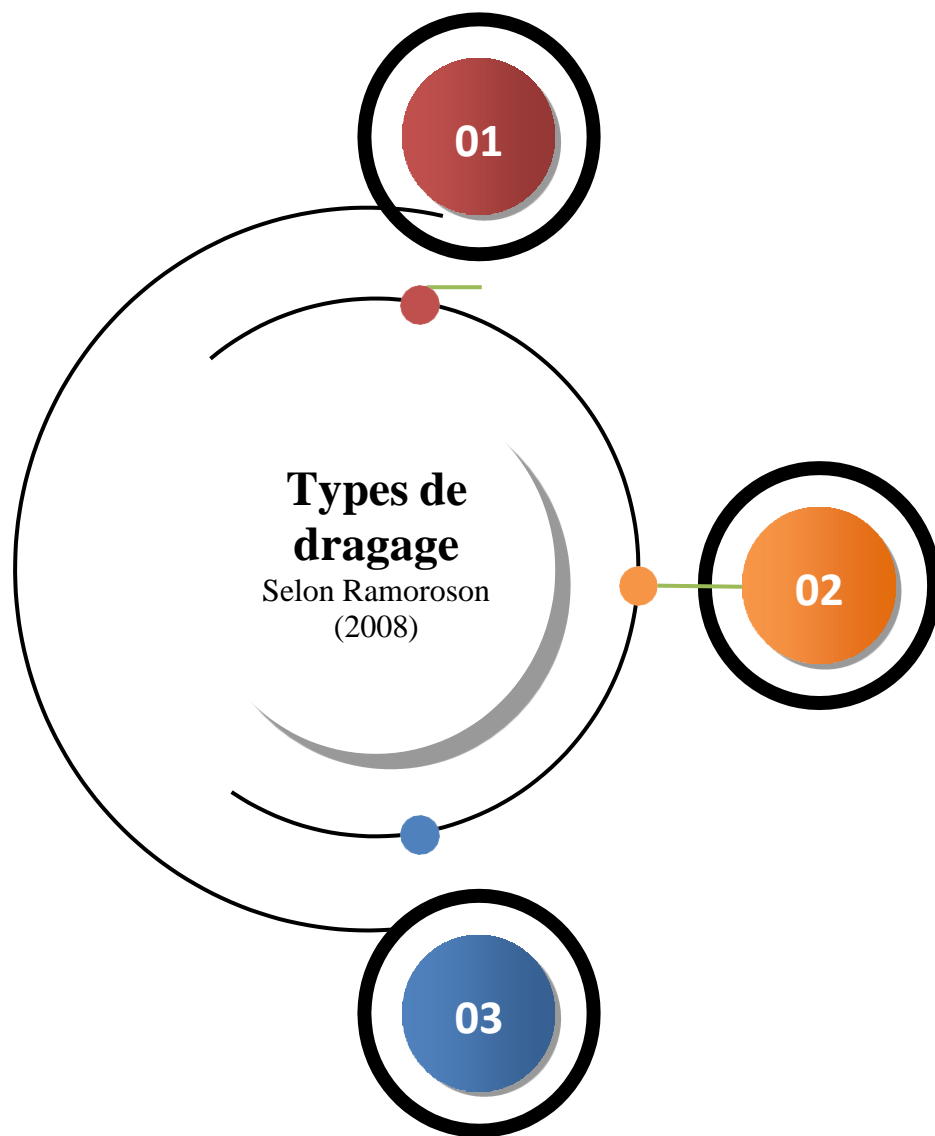


Figure 57 : Drague aspiratrice en marche (IADC, 2014)

3.3. Le dragage pneumatique

Les dragues pneumatiques fonctionnent par aspiration avec un système à air comprimé. Un vide d'air est créé dans un cylindre, provoquant une arrivée de sédiments. Une fois le cylindre plein, les valves sont inversées, l'air comprimé y pénètre alors et expulse les sédiments. Cette technique de dragage est généralement utilisée dans des chantiers de décontamination (Abate Chrissy, M, 2020).

4. Shéma résume les types de dragage des zones portuaires



● **Le dragage d'entretien**

Le dragage d'entretien est une opération régulière qui vise à extraire les sédiments qui gênent la navigation. Il est pratiqué de façon quasi permanente dans les ports d'estuaires compte tenu de leur faible profondeur, et de façon saisonnière dans les ports

● **Le dragage en vue de l'aménagement de nouveaux espaces portuaires**

Le dragage en vue de l'aménagement de nouvelles aires portuaires, quant à lui, est pratiqué pour agrandir les zones portuaires afin d'en améliorer les performances opérationnelles.

● **Le dragage d'approfondissement**

Le dragage d'approfondissement est entrepris lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation à la taille des navires. Il nécessite de déplacer d'importants volumes de sédiments et demande des moyens de dragages importants.

5. Calcul de la profondeur

Le « rectangle de navigation » est quant à lui le gabarit qui doit être garanti pour assurer la navigation en toute sécurité des bateaux présentant les dimensions maximales. Notons que le tirant d'eau et le tirant d'air sont toujours relatifs aux bateaux, alors que la hauteur libre et le mouillage sont toujours relatifs à l'infrastructure.

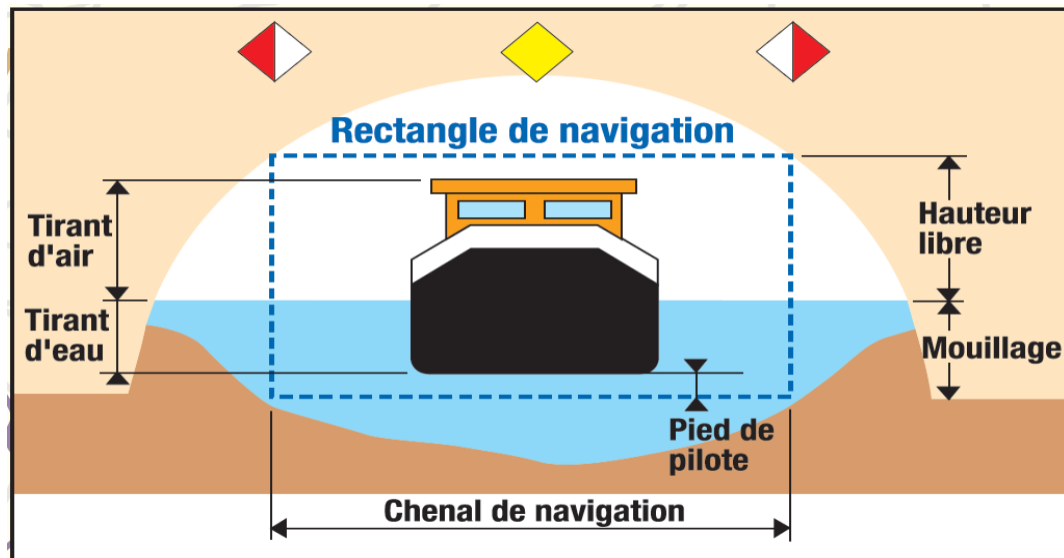


Figure 58 : Représente le rectangle de navigation

Afin de procéder au calcul de volume de sédiments à extraire au niveau de port d'Alger (Dragage de la zone sud de port d'Alger), on a commencé par le calcul de profondeur à dragué :

$$\text{Profondeur à dragué} = \text{TE} + \text{pied de pilote (0.32)} + \text{marée basse (0.3)} + 0.4 \text{ (marge de sécurité)}$$

Tableau 4: Volumes à dragué en fonction de profondeur

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

6. Les étapes suivis pour le dragage

➤ Présentation ArcGIS

Arc Gis est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. Le logiciel Arc GIS 10.4 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox (Asbai, 2013 in Nadir M., 2016).

Dans notre cas on a exploité la table attributaire voir la figure 61 :

- D'abord on a introduit le fichier de la bathymétrie sous forme shapfile
- Ouvrir la table attributaire de la partie de port d'Alger
- Ecrire la requête pour enlever la bathymétrie de 0 à 12 m de profondeur
- Ensuite la bathymétrie va être sélectionnée
- Clic sur supprimer dans la table attributaire
- La nouvelle Bathymétrie (XYZ)

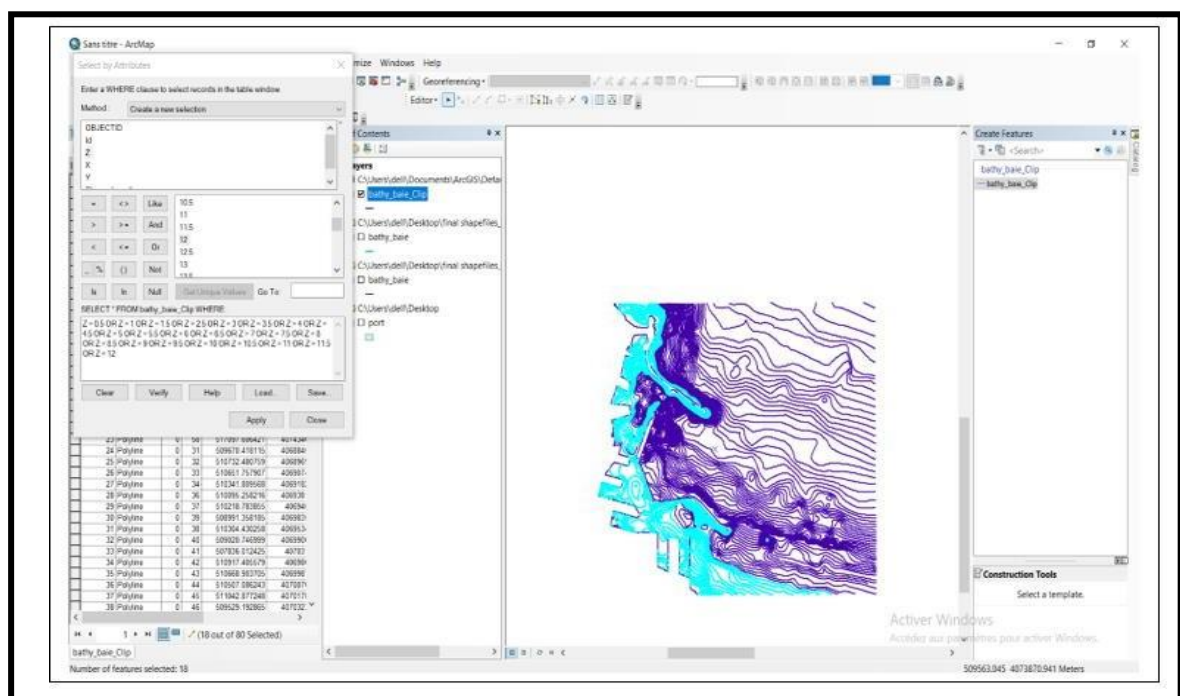


Figure 59 : La bathymétrie du port d'Alger sur ArcGis après dragage.

- **Interprétation des résultats des scénarios aménagés**

A partir des résultats obtenus précédemment on a déduit que la direction NNE qui avait plus d'effet négatif dans le port d'Alger.

En ce qui concerne la période de retour 25 ans et 50 ans des houles de la direction NNE qui est caractérisés par ($H_s=6.03$ m, $T_p=14.58$ s), ($H_s= 5.22$ m, $T_p=13.71$ s), une diminution de l'agitation sur certaines zones de port, plus précisément dans la partie sud dragué avec des valeurs qui atteint (1.1 à 1.2 m) dans la passe d'entrée sud et environs (0.4 à 1 m) dans le bassin Mustapha .

La comparaison des résultats des scénarios initiales et aménagés de la direction frontale NNE ont démontrés l'efficacité de dragage dans cette zone et permet d'améliorer le rendement et les opérations de déchargement des pondéreux et chargement et déchargement des liquides pour les grands navires.

Agitation admissible pour des pétrolier < 100 000 TPL sont :

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

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

Le dragage est une opération nécessaire d'aménagement portuaire pour maintenir l'activité et la sécurité navale dans les structures portuaires et améliorer le rendement de port d'Alger et de réduire dans le sens clair notre problématique de l'agitation portuaire.

Cette opération génère des quantités importantes de matériaux, d'où la nécessité d'une réflexion pointue pour la gestion de ces matériaux qui fait appel à des moyens humains et matériels considérables.

Dans une perspective de développement durable, des travaux de prolongement de la digue ou de la jetée au niveau de chenal d'accès ou encore la création d'un ouvrage de protection comme épis perpendiculaire à la côte et parallèle à la jetée existante dans la partie sud de port qui doit tenir compte des exigences environnementales, réglementaires, techniques et économiques.

Dans cette logique, l'aménagement avec ces ouvrages de protections s'avère une solution convenable, et peut répondre mieux au problème étudié dans ce présent mémoire.

7. Représentation des résultats de simulation des scénarios aménagés

- Scénario aménagé NNE 25 ans

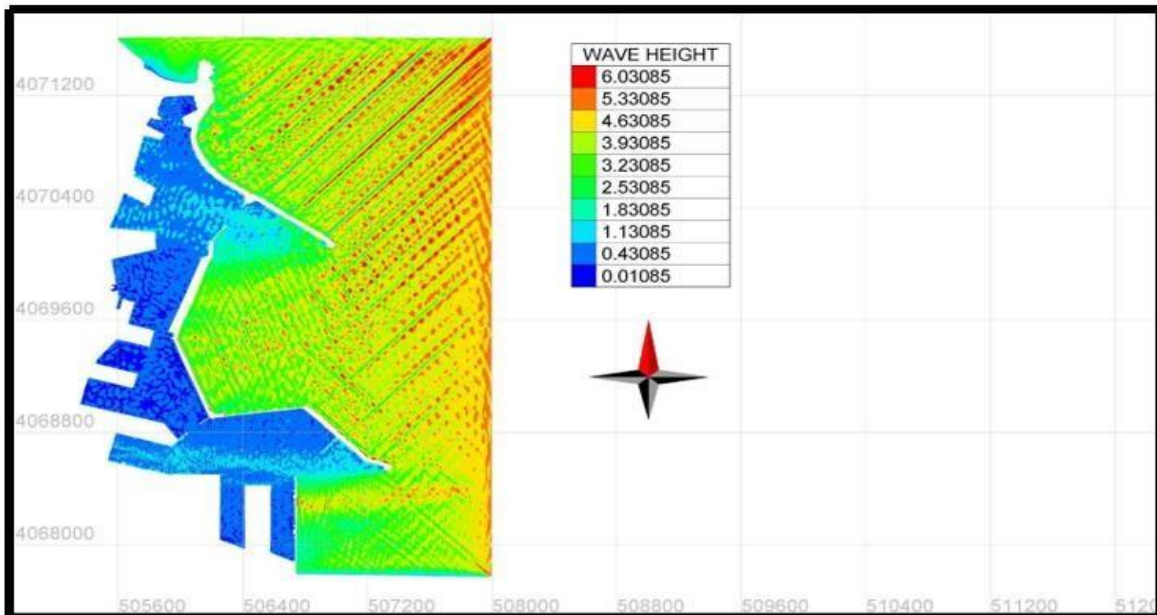


Figure 60 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 25 ans -Scénario aménagé- NNE

- Scénario aménagé NNE 50 ans

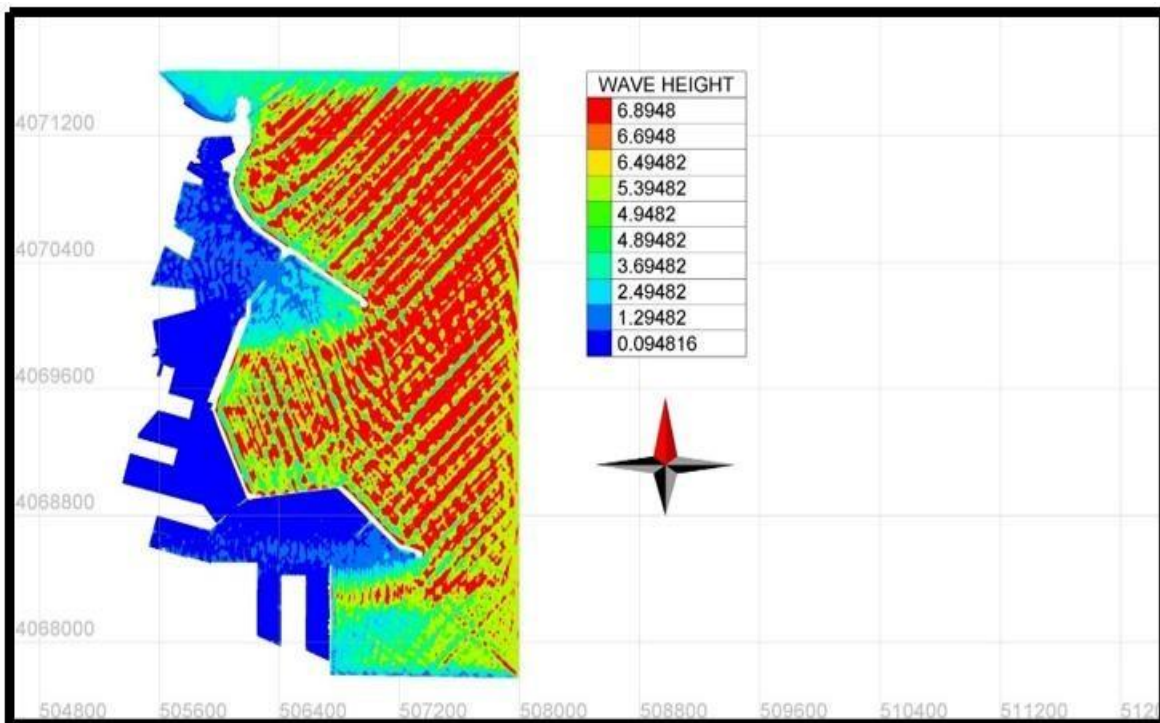


Figure 61 : Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans -Scénario aménagé- NNE

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire s'est concentré sur l'étude de l'agitation portuaire au niveau du port d'Alger dans la baie d'Alger en adoptant une méthodologie basée sur la modélisation numérique des processus hydrodynamiques, l'analyse statistique et probabiliste des données, et proposition des solutions d'adaptation pour réduire les phénomènes de résonance.

Ce travail est motivé initialement par l'objectif des observatoires locaux de mieux comprendre la tendance passée, l'état actuel et les prévisions futures d'hydrodynamique de la baie d'algie et l'agitation à l'intérieur du port et les impacts des tempêtes et les évènements extrêmes sur ce dernier afin de proposer des outils d'aide à la décision aux gestionnaires portuaire.

L'utilisation des données bathymétriques issues des cartes marines et du site navionics et des données terrain, l'exploitation de la base de données *INFOPLAZA* (1992-2022) et la mise en œuvre de deux modèles hydrodynamiques (Mike 21 et Telemac) ont permis de mettre en lumière les processus qui gouvernent le phénomène d'agitation portuaire.

En premier lieu, l'analyse statistique des données du climat de houle a mis en évidence que la baie d'Alger est soumise à un climat de houle modéré ayant un aspect très proche d'une mer du vent plutôt que celui d'une houle (puisque les valeurs de T_p varient principalement entre 4 et 9s) avec une moyenne annuelle totale de H_s de 1 m, avec une prédominance des houles de direction du Nord-Nord-Est qui sont considérées comme les houles pénalisantes.

En deuxième lieu, la détermination des périodes de retour de H_s à l'aide de la théorie des valeurs extrêmes en utilisant à la fois l'approche des maxima annuels et l'approche du pic au-dessus du seuil (*POT*) nous a montré que mis à part les estimations des valeurs des périodes de retour de 2ans, 5 ans, 10ans, 25ans,50 ans et de 100 ans,1000ans, la méthode *POT* donne des estimations plus raisonnables, ce qui nous a amené à tenir compte des résultats de cette méthode.

En troisième lieu, pour mieux comprendre l'hydrodynamisme dans notre zone d'étude on a modélisé les différents phénomènes à l'aide du logiciel Mike21 (Module SW, HD) a permis de définir les conditions hydrodynamiques à l'intérieur du port d'Alger. Les houles les plus pénalisantes pour le port d'Alger ont des directions Nord, le Nord-Nord-Est et le Nord-Est.

Alors, une étude d'agitation portuaire visant à calculer l'agitation résiduelle en tenant compte de toutes les conditions pénalisantes, avec un model numérique l'extension ARTEMIS de logiciel TELEMAC.

En quatrième lieu, une solution qui est indispensable (le dragage) a été proposé à l'intérieur du port d'Alger qui met la lumière sur la problématique complexe de l'agitation portuaire afin de maintenir un tirant d'eau élevé pour la circulation sécurisée des navires qui entrent et sortent du port. Les résultats montrent que pour le cas de la direction NNE une diminution de l'agitation à l'intérieure de port.

Conclusion générale

Afin de mieux valoriser ce travail vaut mieux avoir :

- Pour l'étude de l'agitation une série d'enregistrement de marégraphe du port d'Alger.
- Une évaluation des risques générés sur l'environnement, dans le cas d'un rejet de matériaux de dragage dans un site d'immersion au large.
- Des données sur la nature du fond du port d'Alger.
- Pour le dragage une perspective de développement durable, le traitement de ces sédiments doit tenir compte des exigences environnementales, réglementaires, techniques et économiques.
- Déterminer les caractéristiques des sédiments issus du dragage du chenal d'accès du port d'Alger en vue de l'étude des possibilités de leur valorisation.
- Une expertise hydro-sédimentaire, et de conditions courantologies, Les courants peuvent être modifiés et enclenche une déstabilisation au niveau des couches de sédiment. Il est important d'étudier l'impact du dragage sur la circulation des courants d'eau, et notamment sur le fond.

Références bibliographiques

Abate Chrissy, M, (2020). Caractérisation et étude des possibilités de valorisation des sédiments issus du dragage du chenal d'accès du port de Douala-Bonaberi. Mémoire de master.Engineering. (MEng) : University of Padova. P. 102

Abdeli, J, (2018). Sur la théorie des valeurs extrêmes, mesures des risques et applications, Thèse de doctorat sciences en mathématiques. Biskra: Université Mohammed khider. P. 90

Al-Eid, M, M., Shoukri, M, M.M., (2021). Inference Procedures on the Generalized Poisson Distribution from Multiple Samples: Comparisons with Nonparametric Models for Analysis of Covariance (ANCOVA) of Count Data. OJS 11. P.P. 420–436 <https://doi.org/10.4236/ojs.2021.113026>.

Alem. A., Saf. B., (2021). Etude hydrodynamique et d'agitation portuaire – Cas du port d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Gestion protection littorale. Dely brahime : ENSSMAL. P . 88

Alioua. S., Hadj-guesmi. A., (2020). Etude d'un port de plaisance à Sidi-Khelifa (Azeffoun - Tizi-Ouzou). Mémoire de master. Tizi-ouzou : Université Mouloud Mammeri.P.100

Alioua. S., (2013). Etude Numérique du comportement des sols de la zone portuaire de Bejaia soumis à la sollicitation sismique (FLAC2D). Mémoire de master 2. Tizi-ouzou : Université Mouloud Mammeri.P.143

AquaPortail., (2020). Dragage : définition illustrée et explications [WWW Document]. AquaPortail. URL <https://www.aquaportail.com/definition-6235-dragage.html>.

Atroune. F., (2012). Répartition des métaux lourds dans les sédiments superficiels, charriés par l'Oued El Harrach dans la baie d'Alger et son environnement immédiat.Thèse de doctorat. Sciences de la terre. Alger : usthb.P.134

Audit., (2018). Redéploiement des infrastructures portuaires et des espaces sur le domaine public maritime. Dossier d'autorisation – Port de Cavalaire-sur-Mer .P.9

Bekari. M., (2010). Outils d'aménagement des ports. Mémoire d'ingénieur. Gestion Globale Des sédiments marins. Douai : Ecole des mines. P. 56

Belaidi, S., Hamdous, Y., (2016). Etude hydro sédimentaire du rivage de khemisti. Mémoire d'ingénieur. Application La modélisation numérique. Dely brahime : ENSSMAL.P.120

- Benalou, I., (2020).** Evaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri. Mémoire d'ingénieur. Vulnérabilité et adaptation. Dely brahime : ENSSMAL.P.122
- Biesel. F., L.M., (1955).** Généralités Sur les Seiches et les Ondes de Seiches - Problème de leur origine. La Houille Blanche 41, 759–774. <https://doi.org/10.1051/lhb/1955059>.
- Bougis, J., (2003).** Les Etats de Mer Naturels. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var.
- Bouzeroura. A., Bendeyfallah. H., (2018).** Impacts des forçages météorologiques et anthropiques sur la dynamique morpho-sédimentaire du Littoral Ouest Algérois.mémoire d'ingénieur. Gestion protection du littorale. Dely brahime : ENSSMAL.P.93
- Bouzourine. S., Souak. N., (2016).** Interaction ville-port. Comment les entreprises apprécient les impacts du port sur la durabilité de la ville et sur leur activité. mémoire de master 2. Bejaia : Université Abderrahmane Mira de Bejaia.P.75
- Chaibai. M., Hanani. A., (2022).** Modélisation hydrodynamique et étude d'agitation (Cas de la Marina Bay D'Alger). Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littorale. Dely brahime : ENSSMAL.P.110
- Chalal.Y., Amara. L., (2022).** Machine learning pour l'étude de la performance hydraulique des ouvrages portuaire (cas marina d'Alger). Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littorale. Dely brahime : ENSSMAL.P.110
- CHAPON, S., (2015).** Fiction à substrat professionnel télévisuel comme voie d'accès à l'enseignement/apprentissage de l'anglais juridique. Thèse de doctorat. Littératures et sciences humaines (études anglophones). France : Université Grenoble Alpes.P.24
- Cornel Stander., (2015).** Analysis of Extreme Events in the Coastal Engineering Environment, P.147
- Coles, S., (2001).** An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. SpringerVerlag, Berlin, <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>.
- DHI., (2014).** MIKE 21/3 Couple Model FM.
- DHI., (2014).** MIKE 21 Spectral Wave Module.

- DHI., (2014).** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator.
- Genome., (2014).** The Artemis Manual.P.85
- Grubbs. F.E., (1969).** Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. Technometrics 11, 1–21.
<https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>.
- Guendouzi. Y., (2011).** Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à Posidonie dans la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur. EMC. Dely brahime : ENSSMAL.P.77
- Haddam. A., Tadlaoui. A., (2015).** Aménagement d'un port de pêche cas de Sidna Youchàa, mémoire de master 2. Géotechnique. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid.P.147
- Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, G., (1990).** CLIMATE CHANGE.P.414
- Kacha. I et Khris. H., (2017).** Le rôle des ports secs dans le désengorgement portuaire (Cas du port sec MTA Khemis El Khechna rattaché au port d'Alger). Mémoire de master 2. Sciences Commerciales. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri.P.87
- Lang, P., (2010).** Système de modélisation TELEMAC.
- Labeni. F., Souyad. H., (2019).** Estimation Bayésienne des Paramètres des Lois des Valeurs Extrêmes –Application Météorologique. Mémoire de master 2. Mathématiques. Jijel : Université Mohammed Seddik Ben Yahia.P.76
- LEM, (1996).** Laboratoire des études maritimes
- Logiciel TELEMAC-3D, 2007,** 250p.
- Mar., (2005).** Aménagement du port de port la Nouvelle. Service de navigation de Languedoc Roussillon.P.187
- Maron. P., (2012).** Tutorial Manual for the Mesher in BlueKenue.P.61
- Martin. S., Georges. C., (2009).** Etude de l'agitation liée aux vagues dans un bassin portuaire de forme circulaire. Edition 1, Hammamet, Tunisie (2009) Mediterranean Conférence.P.57
- Médéric. J., (2020).** Modélisation numérique (TELEMAC 2D) de l'impact des dunes

sur la migration des barres sédimentaires. Mémoire d'ingénieur. Modélisation numérique. France (Saint-Mathurin-sur-Loire) : Université de tours.P.30

Mellahi. B., (2018). Oscillations d'un liquide pesant engendrées dans un bassin Parallélépipédique. Mémoire de master. Dynamique des fluides et énergétique. Bejaia : Université de Béjaia.P.34

MIHOUBI. M., K., Dahmani. H., Kettab. A., et Khoudjet Kesba. O., (2011). Modélisation numérique de la houle côtière et du transport sédimentaire pour l'étude d'un port de pêche : cas du port de Khemisti. Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Dely brahime : ENSSMAL.P.228

NADIR. M., (2016). Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles. Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Dely brahime : ENSSMAL.P.149

NEHAOUA. A., (2017). Infrastructures Maritimes Chapitre 2 Ouvrages Portuaires Et Fluviaux, cours Infrastructures Maritimes 3ème année Licence Travaux Publics UFAS, P.20

Nicolas, H., (2014). Livre blanc sur la bathymétrie.P.14

Nicolas. J., (2009). Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. France : Université du Sud Toulon Var.P.338

Oukadr, M., Mouhid M., Chagdali M., (2017). Modélisation hydrodynamique dans un port. Université Hassan II Casablanca - Faculté des Sciences Ben M'Sik – LPPPC, Casablanca, Maroc. 13ème Congrès de Mécanique 11 - 14 Avril 2017 (Meknès, MAROC) P.3

Ounis. F. S., Aber. K., (2020). Etude D'aménagement D'une Marina au niveau de la ville d'Alger. (Exemple de la Marina Bay D'Alger) ». Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Dely brahime : ENSSMAL.P.181

Rabehi. W., Rahal. F., (2011). Aménagement du port d'El Djamila, avantages et inconvénients et comportements des structures. Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. Dely brahime : ENSSMAL.P.167

Rabinovich.A.B., (2009). Seiches and Harbor Oscillations. Chapter 9. In: Kim, Y.C., Ed., Handbook of Coastal and Ocean Engineering, World Scientific Publ., Singapoure.

http://dx.doi.org/10.1142/9789812819307_0009.

Raggad. B., 2009. Fondements de la théorie des valeurs extrêmes, ses principales applications et son apport à la gestion des risques du marché pétrolier. *Mathématiques Sci. Hum.* 29–63. <https://doi.org/10.4000/msh.11069>.

Refmar, (2013). Hausse du niveau de la mer liée au changement climatique .Rapport d'activité de la 12eme session .France : G.I.E.C

Sallaye. M., (2021). Processus mis en jeu dans l'évolution morpho-dynamique de la baie de Zemmouri : modélisation hydro-sédimentaire et cinématique du trait de côte. Thèse de doctorat. Environnement marin et littoral. Dely brahim :

ENSSMAL.P.223

Saad, M., (2014). Modélisation et simulation numérique. Rapport d'activité. France : E.C.N.L.M

Shore protection manual, 1984. Manual volume I, coastal Engineering Research Center.P.662

Touaibia, A., Labouize, A., (2017). Evaluation des risques d'inondations associées à la rupture du barrage à l'aide du modèle telemac_2d et système d'information géographique : cas du barrage cheffia EL TARF, Mémoire de master en sciences et technologies filière : hydraulique. Université BADJI Mokhtar- ANNABA.P.156

Woolley, T.W., (2013). An Investigation of the Effect of the Swamping Phenomenon on Several Block Procedures for Multiple Outliers in Univariate Samples. OJS 03, 229–304. <https://doi.org/10.4236/ojs.2013.35035>.

Zamoum, S, 2015. Modélisation du comportement d'un quai sur pieux. Mémoire de master. Application à un quai. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri.P.152

Annexes

Annexes A

La série temporelle des données météorologiques d'Alger

Service	www.waveclimate.com																			
Created	2/2/2023 7:38																			
Missing value	999																			
Latitude (deg)	37																			
Longitude (deg)	3																			
Begin	1/1/1992 0:00																			
End	12/31/2021 21:00																			
Timestep (hours)	3																			
Datasource	wavemodel																			
Code	Explanation																			
u10	One hour wind speed at 10m asl																			
u10d	Wind direction at 10m asl (nautical)																			
Hs	Significant wave height																			
Hsd	Mean wave direction (nautical)																			
Tz	Zero-crossing wave period																			
Tm	Mean wave period																			
Tp	Peak wave period																			
_sea	Suffix for wind-sea																			
_swl	Suffix for swell																			
Year	Month	Day	Hour	u10	u10d	Hs	Hsd	Tz	Tm	Tp	Hs_sea	Hsd_sea	Tz_sea	Tm_sea	Tp_sea	Hs_swl	Hsd_swl	Tz_swl	Tm_swl	Tp_swl
			[UTC]	[m/s]	[deg]	[m]	[deg]	[s]	[s]	[s]	[m]	[deg]	[s]	[s]	[s]	[m]	[deg]	[s]	[s]	[s]
1992	1	1	0	1.6	110	0.36	58	5.41	5.89	7.33	0.01	999	999	999	999	0.36	58	5.41	5.89	7.33
1992	1	1	3	2	108	0.33	58	5.45	5.87	6.73	0.01	999	999	999	999	0.33	58	5.45	5.87	6.73
1992	1	1	6	2.8	72	0.31	59	5.43	5.85	6.78	0.05	42	3.61	3.63	3.48	0.3	59	5.54	5.92	6.78
1992	1	1	9	1.8	92	0.28	57	5.36	5.77	6.83	0.01	999	999	999	999	0.28	57	5.36	5.77	6.83

Script de la méthode Blocs Maximas

```
[ ] model.get_extremes(method="BM", block_size="365.24250")
```

```
[ ] model.fit_model()
```

```
[ ] summary = model.get_summary(
    return_period=[1, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000],
    alpha=0.15,
    n_samples=1000,
)
```

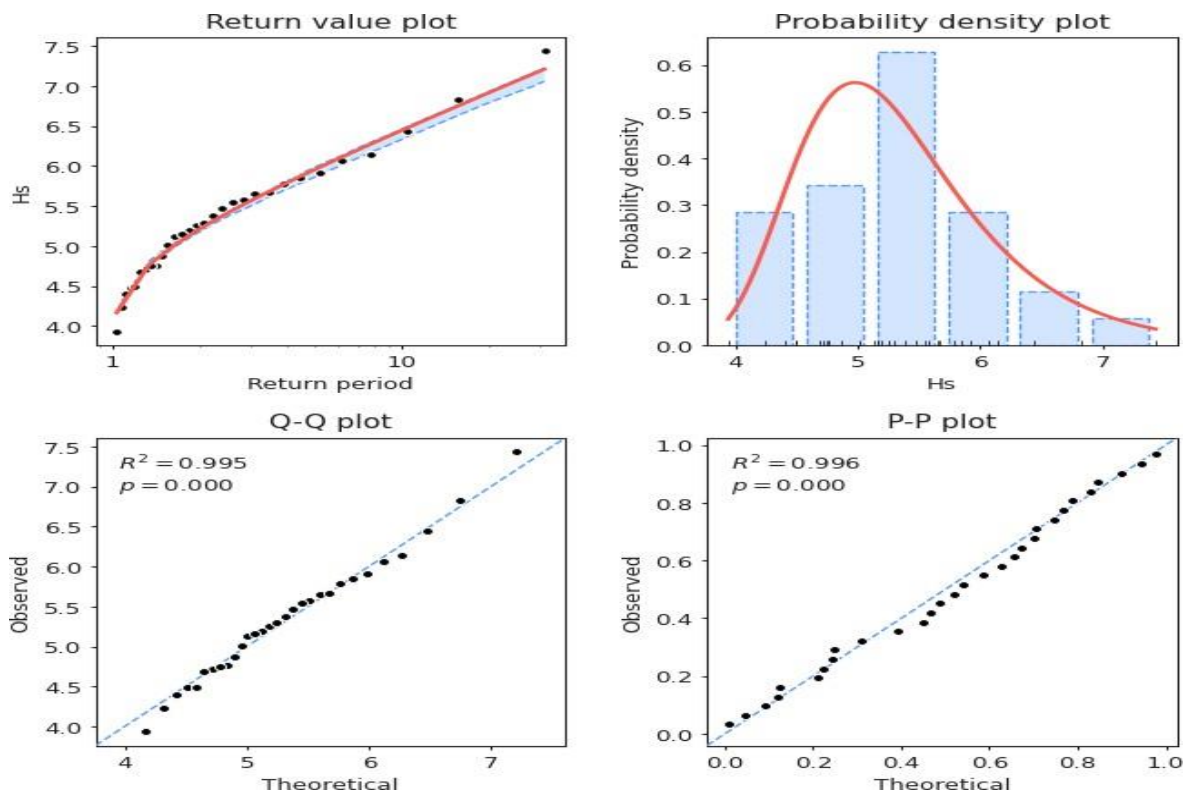
```
/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/numpy/lib/function_base.py:4486: RuntimeWarning: invalid value encountered in diff_b_a = subtract(b, a)
```

```
[ ] print(summary)
```

return period	return value	lower ci	upper ci
1.0	-inf	NaN	NaN
2.0	5.214322	5.191832	5.241462
5.0	5.955698	5.904882	5.975820
10.0	6.446554	6.370912	6.456248
25.0	7.066751	6.960279	7.069624
50.0	7.526849	7.401549	7.518918
100.0	7.983550	7.836922	7.973518
250.0	8.584871	8.394526	8.568974
500.0	9.038915	8.819271	9.024361
1000.0	9.492631	9.256524	9.473365

```
[ ] model.plot_diagnostic(alpha=0.15)
```

Model Plot BM



Script POT

```
[ ] pip install pyextremes
```

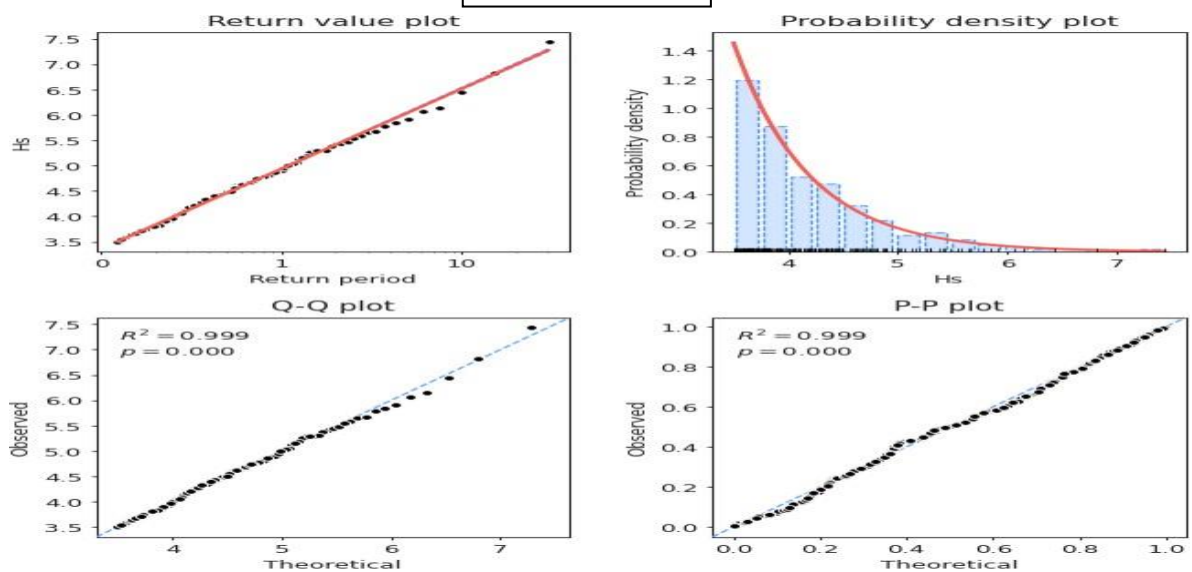
```
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://us-python.pkg.dev/colab-wheels/public/simple/
Collecting pyextremes
  Downloading pyextremes-2.3.0-py3-none-any.whl (57 kB)
-----
57.7/57.7 kB 2.8 MB/s eta 0:00:00
Collecting emcee<4.0.0,>=3.0.3 (from pyextremes)
  Downloading emcee-3.1.4-py2.py3-none-any.whl (46 kB)
-----
46.2/46.2 kB 2.2 MB/s eta 0:00:00
Requirement already satisfied: matplotlib<4.0.0,>=3.3.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pyextremes) (3.7.1)
Requirement already satisfied: numpy<2.0.0,>=1.19.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pyextremes) (1.22.4)
Requirement already satisfied: pandas<3.0.0,>=1.0.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pyextremes) (1.5.3)
Requirement already satisfied: scipy<2.0.0,>=1.5.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pyextremes) (1.10.1)
Requirement already satisfied: contourpy>=1.0.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (1.0.7)
Requirement already satisfied: cycler>=0.10 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (0.11.0)
Requirement already satisfied: fonttools>=4.22.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (4.39.3)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.0.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (1.4.4)
Requirement already satisfied: packaging>=20.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (23.1)
Requirement already satisfied: pillow>=6.2.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (8.4.0)
Requirement already satisfied: pyparsing>=2.3.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (3.0.9)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (2.8.2)
Requirement already satisfied: pytz>=2020.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pandas<3.0.0,>=1.0.0->pyextremes) (2022.7.1)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from python-dateutil>=2.7->matplotlib<4.0.0,>=3.3.0->pyextremes) (1.16.0)
Installing collected packages: emcee, pyextremes
Successfully installed emcee-3.1.4 pyextremes-2.3.0
```

```
[ ] from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

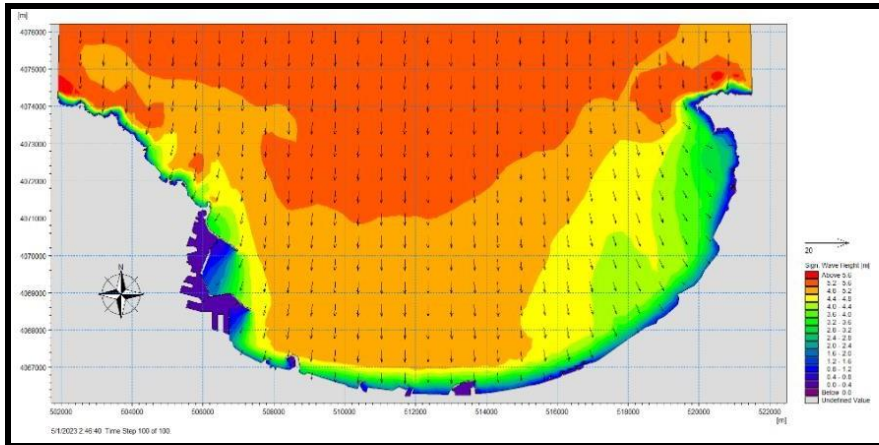
Mounted at /content/drive

```
[ ] import pandas as pd
data = pd.read_csv(
    "/content/drive/MyDrive/PFE/alger ysmin.csv",
```

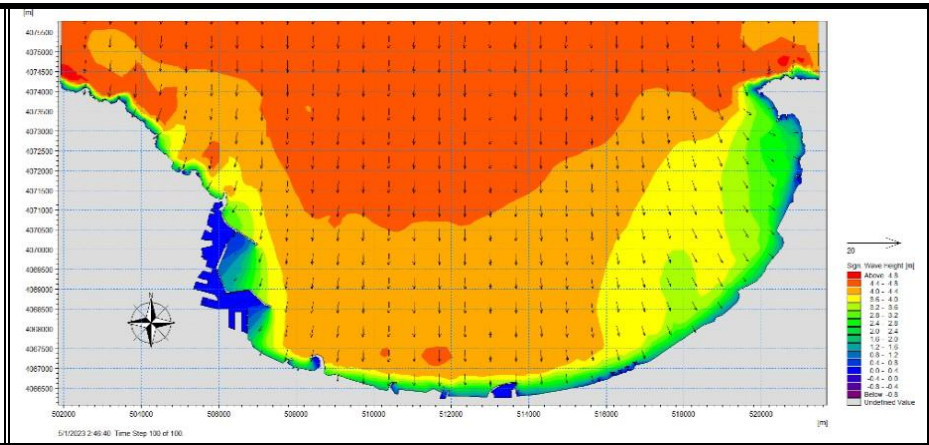
Model Plot



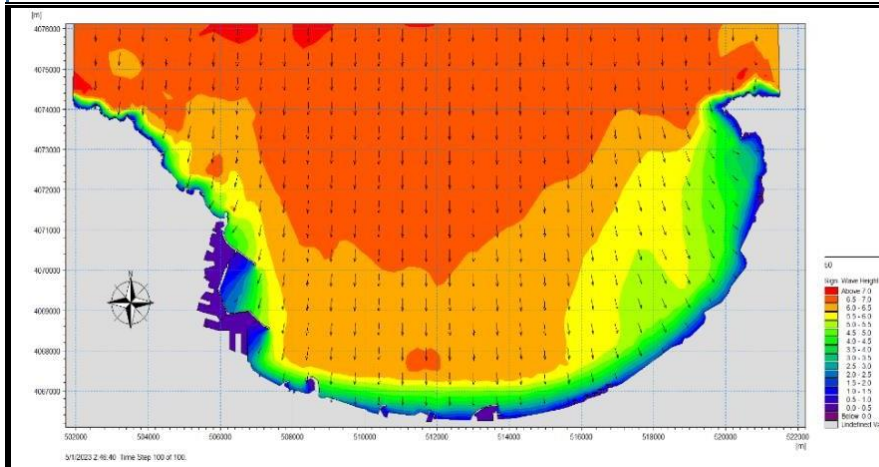
Annexes B



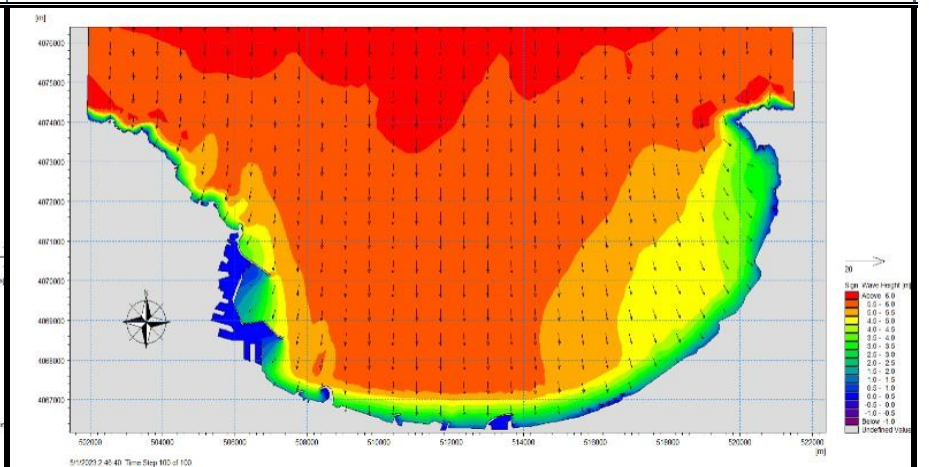
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW - Direction Nord (période de retour 2ans)
(Hs=4.52 m , Tp=14.06 s , U10=14.91m/s)



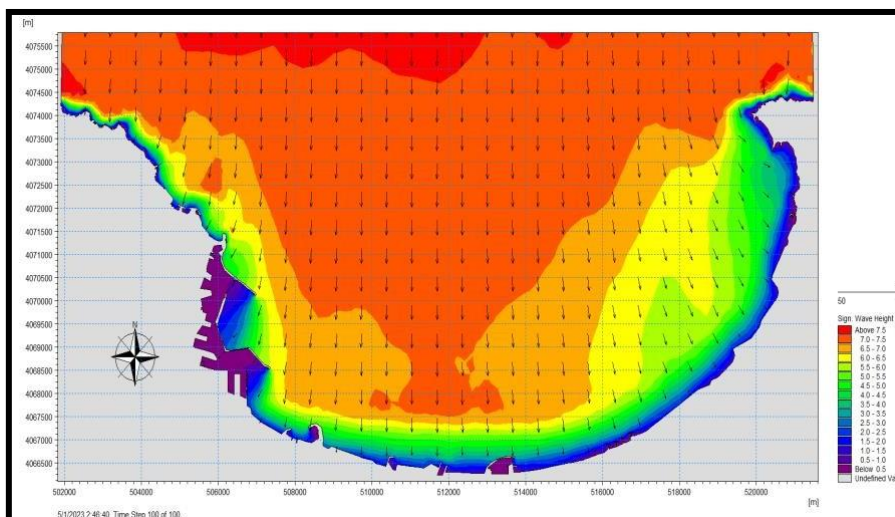
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW-Direction Nord (période de retour 5 ans)
(Hs=5.32, Tp=14.46 s , U10=17.06 m/s)



Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction Nord (période de retour 10 ans)
(Hs= 5.92 m, Tp=14.67, U10=18.69m/s)

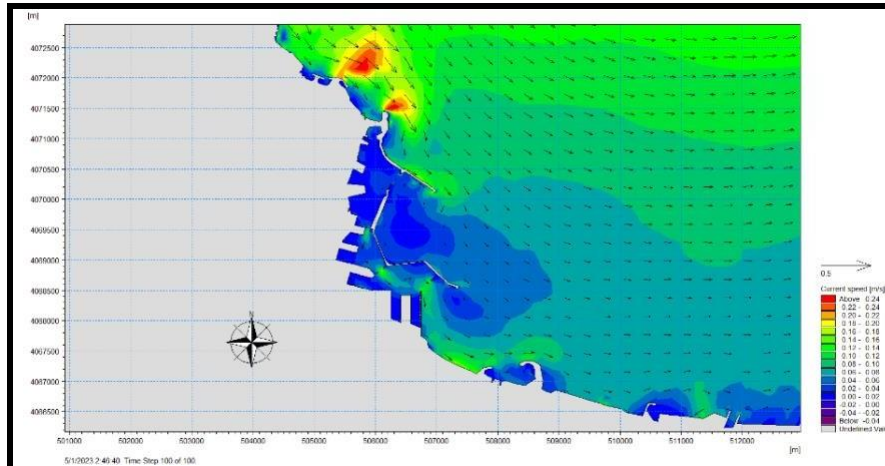


Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction Nord (période de retour 25ans)
(Hs=6.72 m , Tp=14.87 s, U10=20.84 m/s).

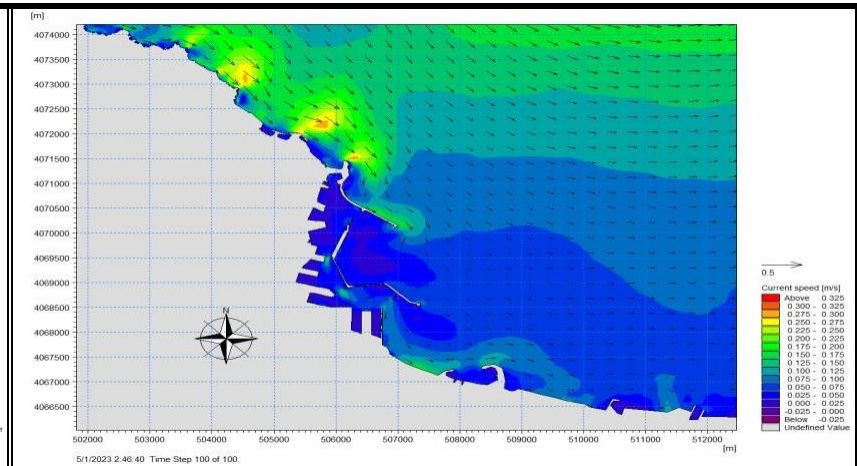


Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction Nord (période de retour 50 ans)
(Hs=7.33m, Tp=14.98 s, U10 =22.47 m/s)

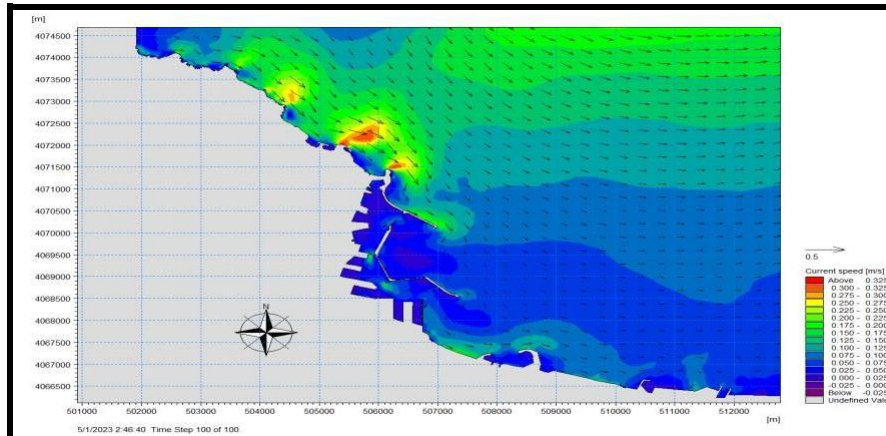
Annexes B



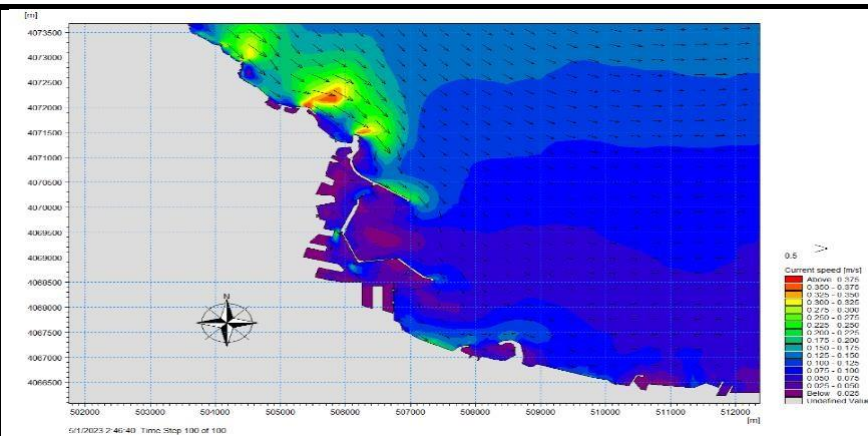
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW – Direction Nord (période de retour 2 ans)
 (Hs=4.52m, Tp= 14.06 s, U10=14.91m/s)



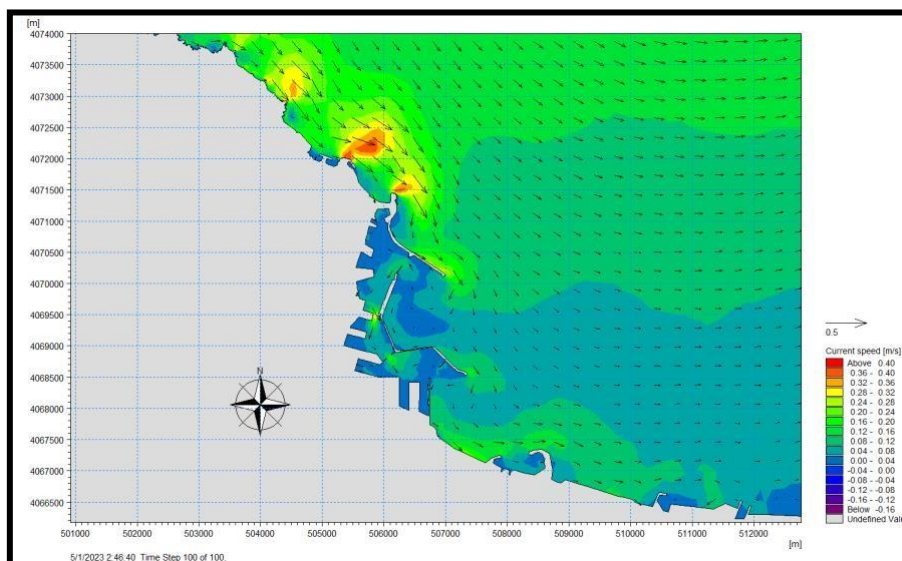
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW – Direction Nord (période de retour 5 ans)
 (Hs=5.32m, Tp= 14.46s , U10=17.06 m/s)



Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW – Direction Nord (période de retour 10 ans)
 (Hs=5.92m, Tp=14.67 s, U10=18.69 m/s)

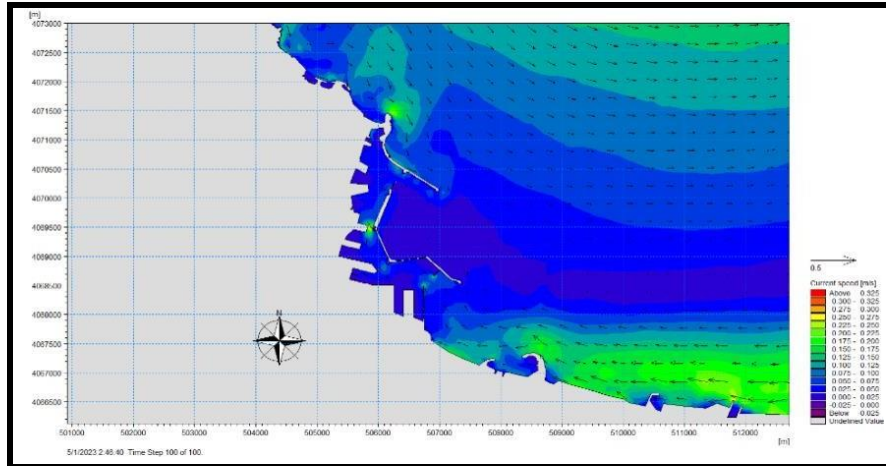


Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW – Direction Nord (période de retour 25 ans)
 (Hs=6.72 m, Tp=14.87 s , U10=20.84 m/s)

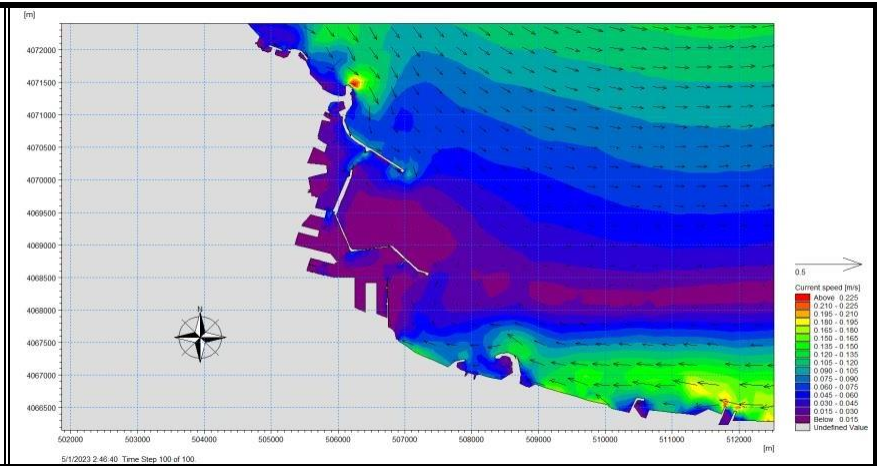


Champs des courants au voisinage de port d'Alger
SW – Direction Nord (période de retour 50 ans)
(Hs=7.33m, Tp=14.98 s, U10=22.47m/s)

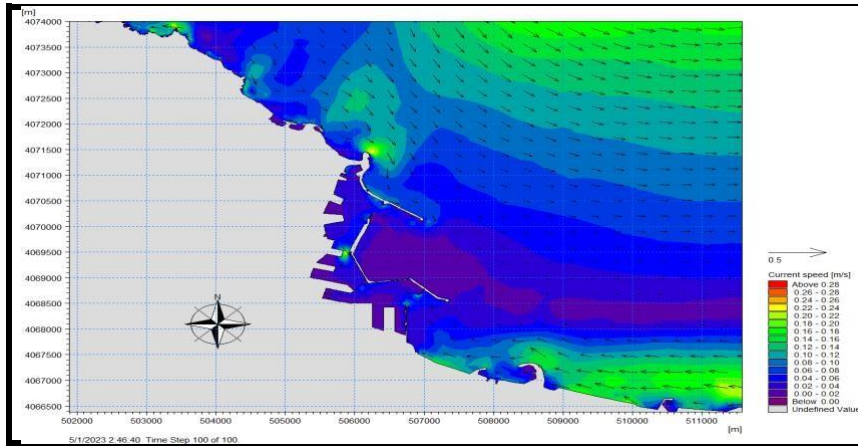
Annexes B



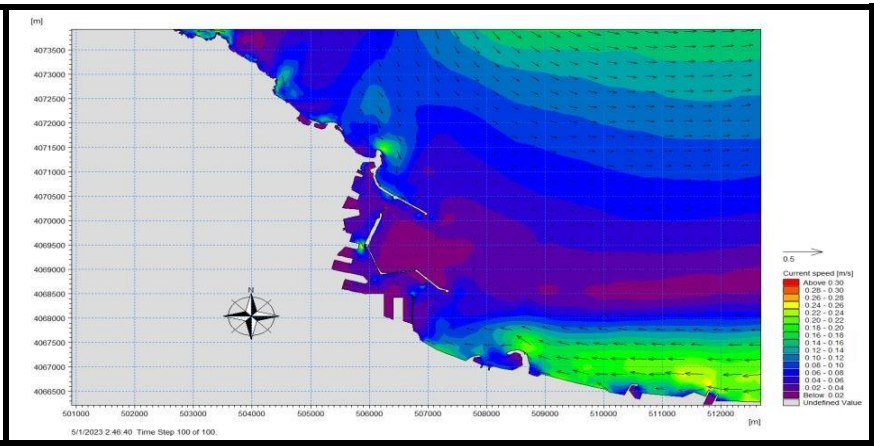
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 HD – Direction NE (période de retour 2 ans)
 ($H_s=3.47m$, $T_p=12.49 s$, $U_{10} = 16.15 m/s$).



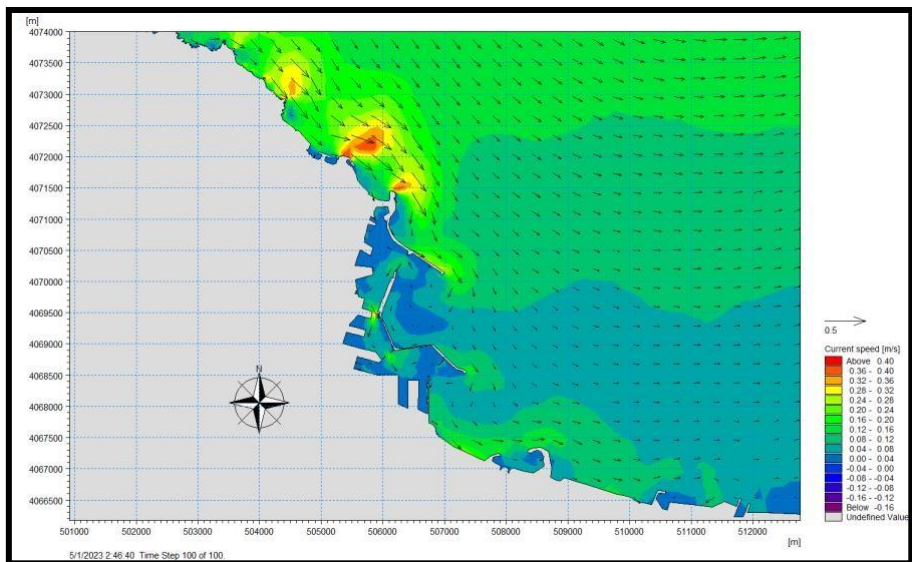
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW-Direction NE (période de retour 5 ans)
 ($H_s=3.97m$, $T_p=12.96s$, $U_{10}=17.58m/s$).



Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 SW - Direction NE (période de retour 10 ans)
 ($H_s=4.35m$, $T_p=13.24 s$, $U_{10}= 18.66 m/s$).

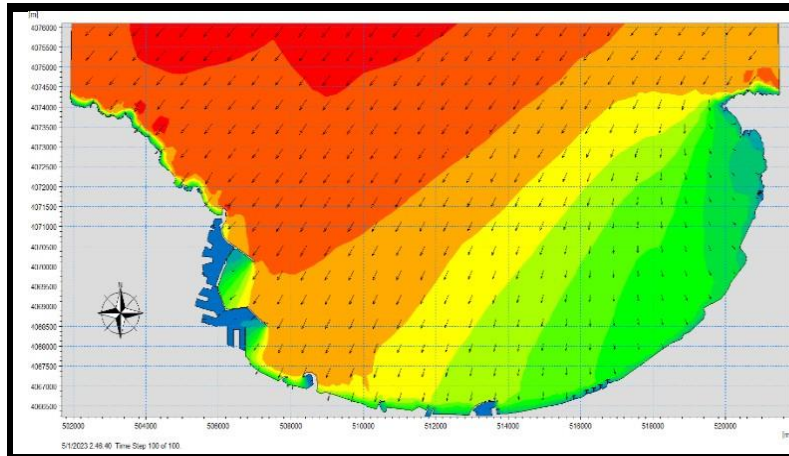


Champs de courants au voisinage de port d'Alger
 SW - Direction NE (période de retour 25 ans)
 ($H_s=4.85m$, $T_p=13.54 s$, $U_{10}=20.08 m/s$).

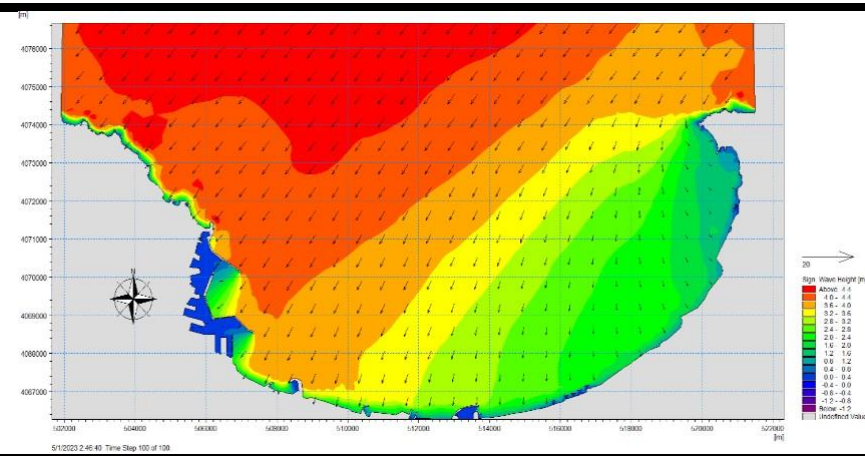


Champs des courants au voisinage de port d'Alger
SW – Direction Nord (période de retour 50 ans)
(Hs=7.33m, Tp=14.98 s, U10=22.47m/s)

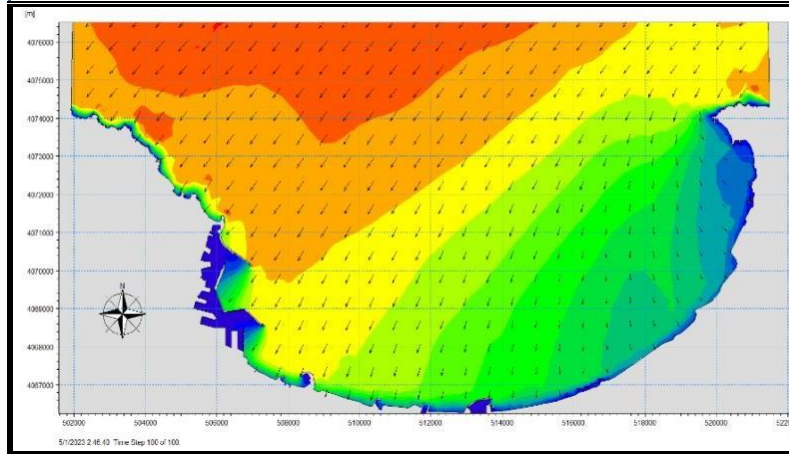
Annexes B



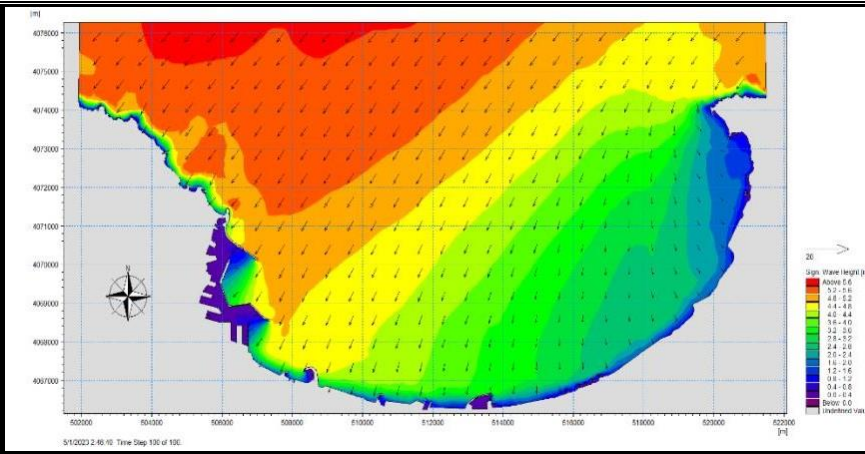
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NE (période de retour 2ans)
($H_s=3.47m$, $T_p=12.49 s$, $U10 = 16.15 m/s$).



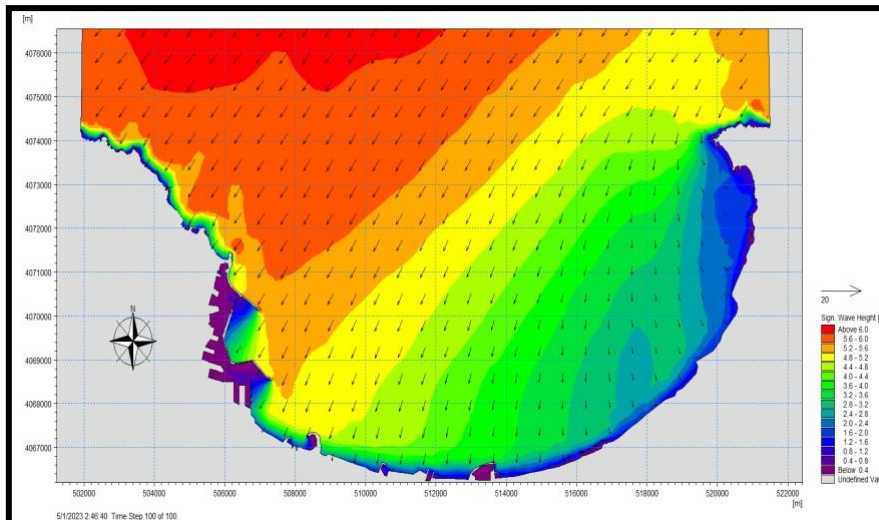
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW-Direction NNW (période de retour 5ans)
($H_s = 4.58m$, $T_p = 13.65s$, $U10= 4.45 m/s$).



Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW - Direction NE (période de retour 10 ans)
($H_s=4.35m$, $T_p=13.24 s$, $U10= 18.66 m/s$).

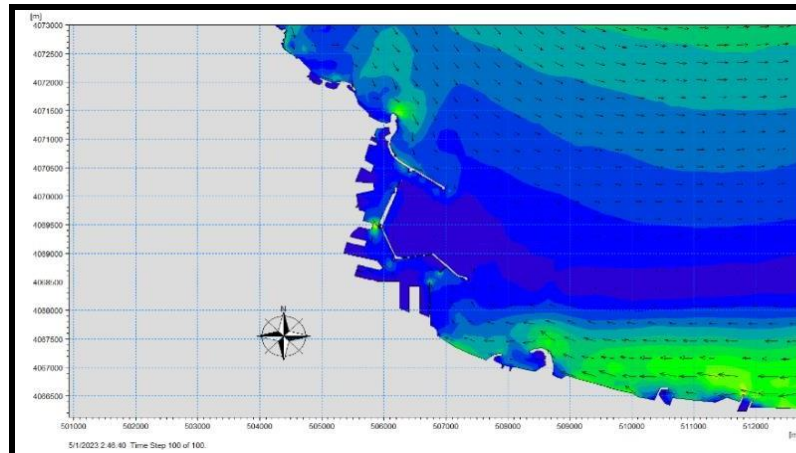


Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW - Direction NE (période de retour 25 ans)
($H_s=4.85m$, $T_p=13.54 s$, $U10=20.08 m/s$).

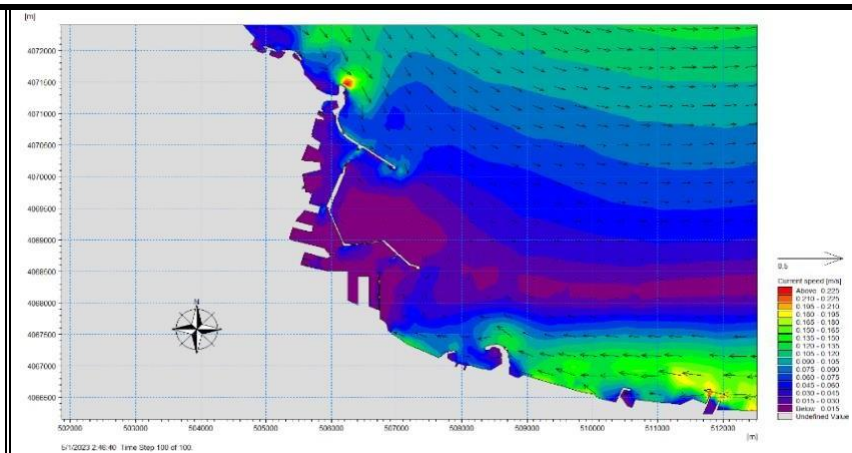


Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW - Direction NE (période de retour 50 ans)
($H_s=5.22\text{m}$, $T_p=13.71\text{ s}$, $U_{10}=21.16\text{ m/s}$)

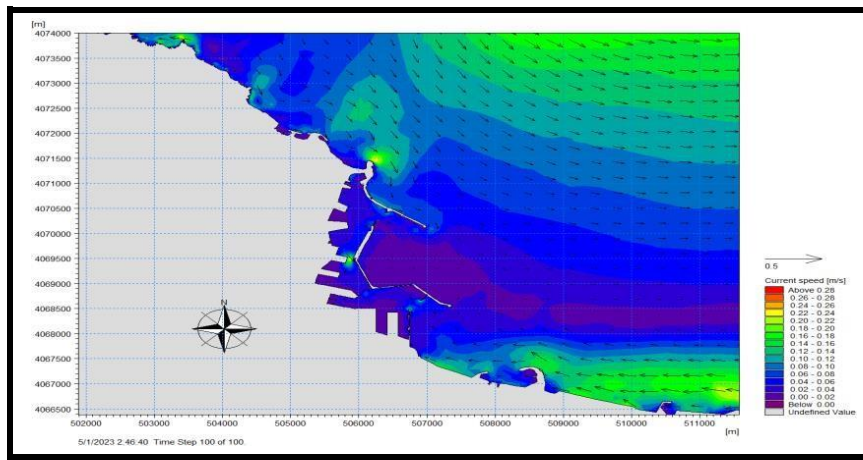
Annexes B



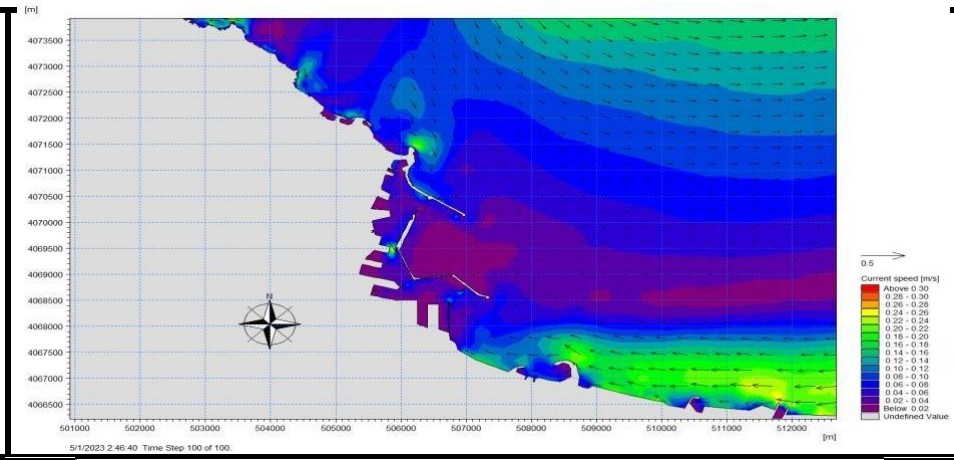
Champs des courants au voisinage de port d'Algier
HD – Direction NE (période de retour 2 ans)
($H_s=3.47\text{m}$, $T_p=12.49\text{ s}$, $U_{10} = 16.15\text{ m/s}$).



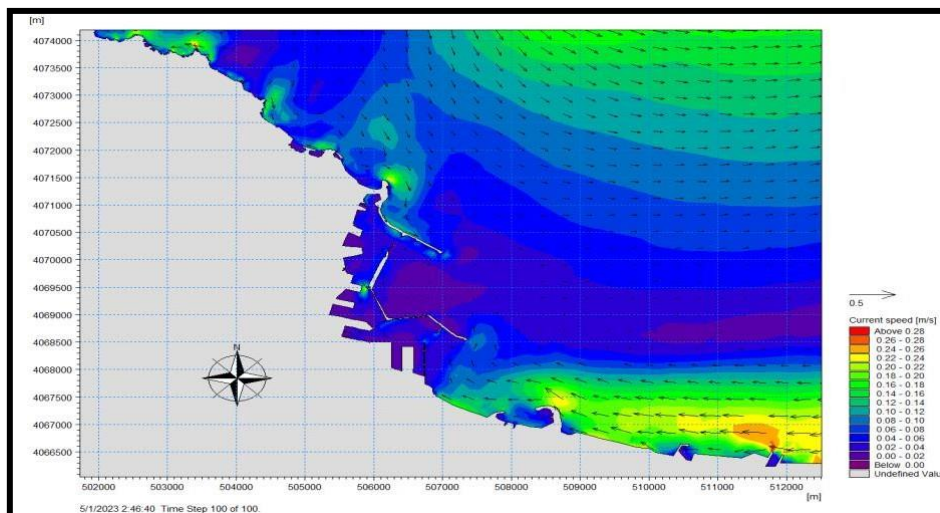
Champs des courants au voisinage de port d'Algier
SW-Direction NE (période de retour 5 ans)
($H_s=3.97\text{m}$, $T_p=12.96\text{ s}$, $U_{10}=17.58\text{ m/s}$).



Champs des courants au voisinage de port d'Algier
SW - Direction NE (période de retour 10 ans)
($H_s=4.35\text{m}$, $T_p=13.24\text{ s}$, $U_{10}= 18.66\text{ m/s}$).

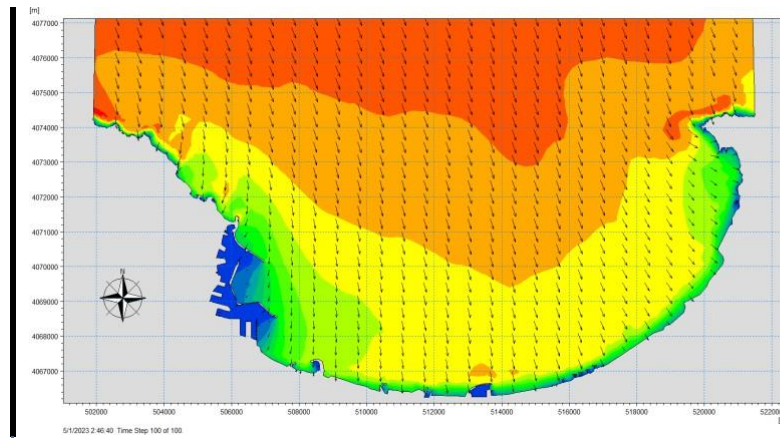


Champs de courants au voisinage de port d'Algier
SW - Direction NE (période de retour 25 ans)
($H_s=4.85\text{m}$, $T_p=13.54\text{ s}$, $U_{10}=20.08\text{ m/s}$).

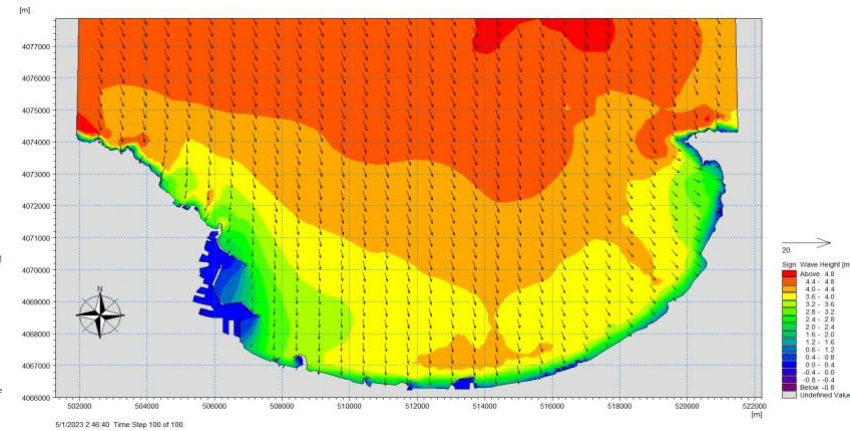


Champs des courants au voisinage de port d'Alger
SW - Direction NE (période de retour 50 ans)
(Hs=5.22m, Tp=13.71 s, U10=21.16 m/s)

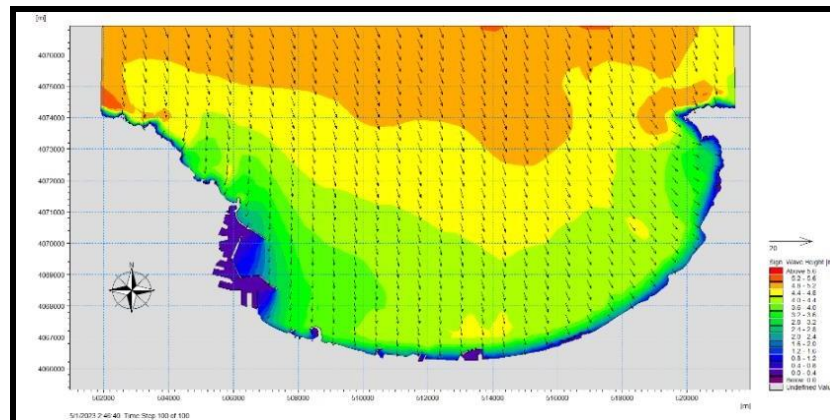
Annexes B



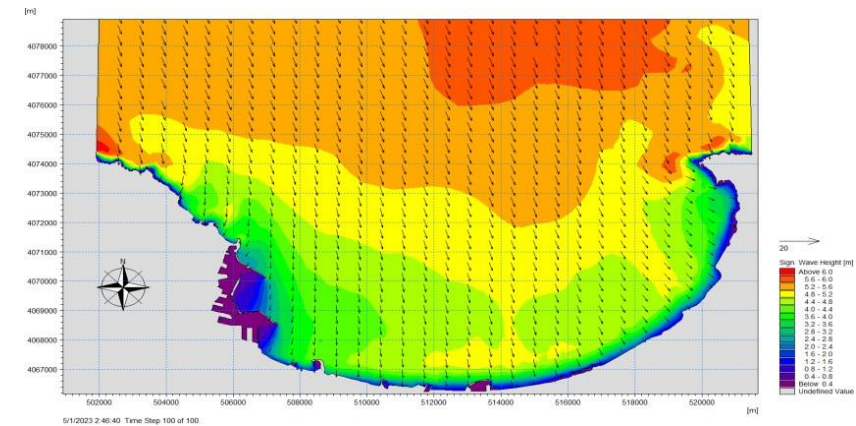
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NNW (période de retour 2ans)
($H_s = 4.04\text{m}$, $T_p = 12.88\text{ s}$, $U_{10} = 4\text{ m/s}$).



Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NNW (période de retour 5 ans)
($H_s = 4.04\text{m}$, $T_p = 12.88\text{ s}$, $U_{10} = 4\text{ m/s}$).

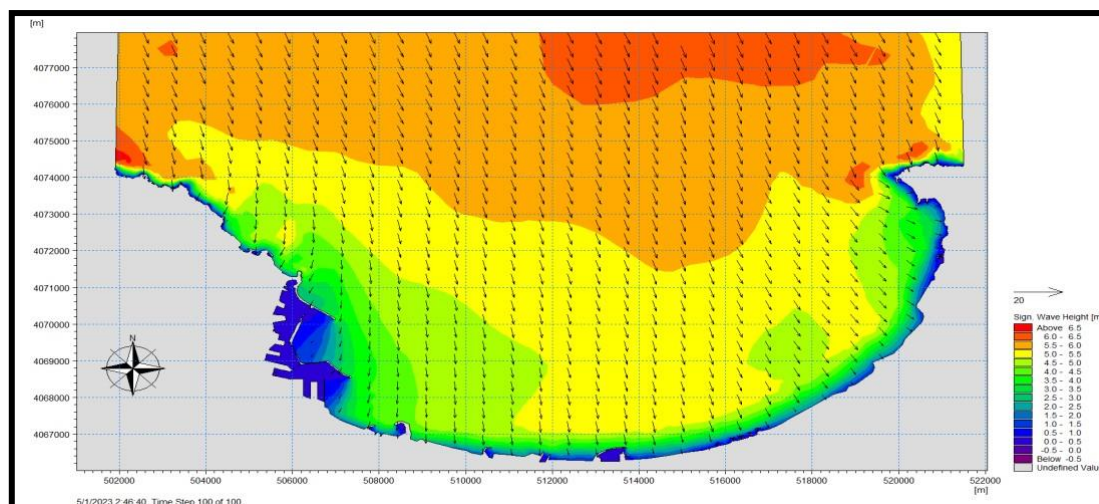


Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NNW (période de retour 10 ans)
($H_s = 4.98\text{m}$, $T_p = 14.12\text{ s}$, $U_{10} = 4.73\text{ m/s}$).



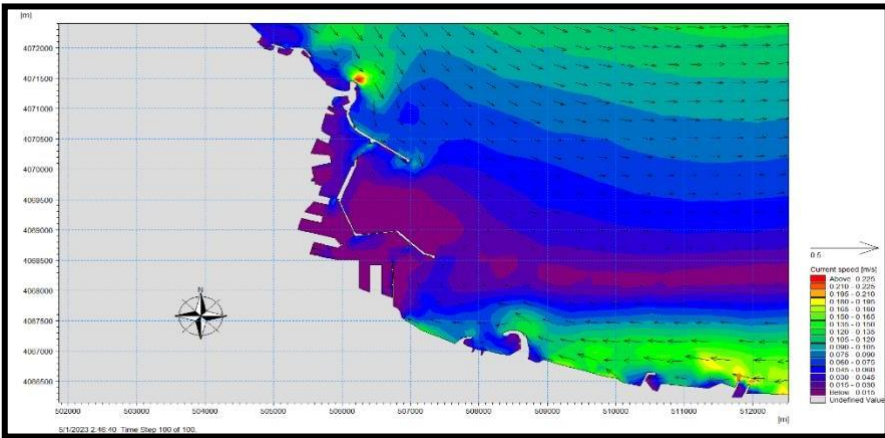
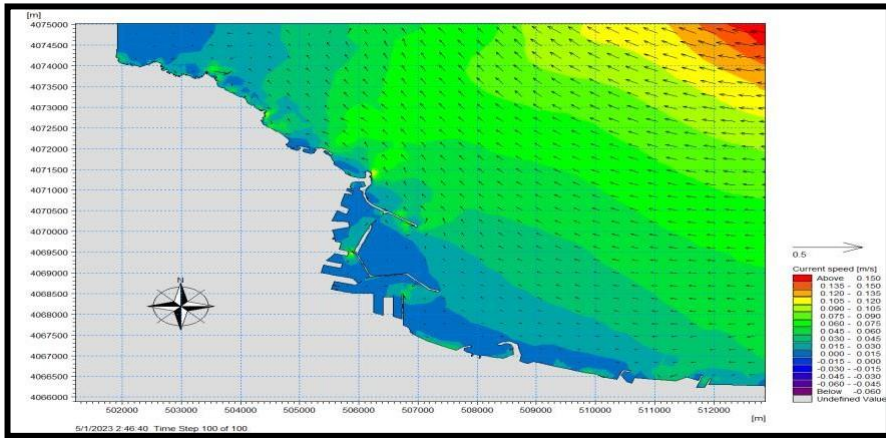
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NNW (période de retour 25 ans)
($H_s = 5.52\text{m}$, $T_p = 14.62\text{ s}$, $U_{10} = 5.04\text{ m/s}$).

Annexes B



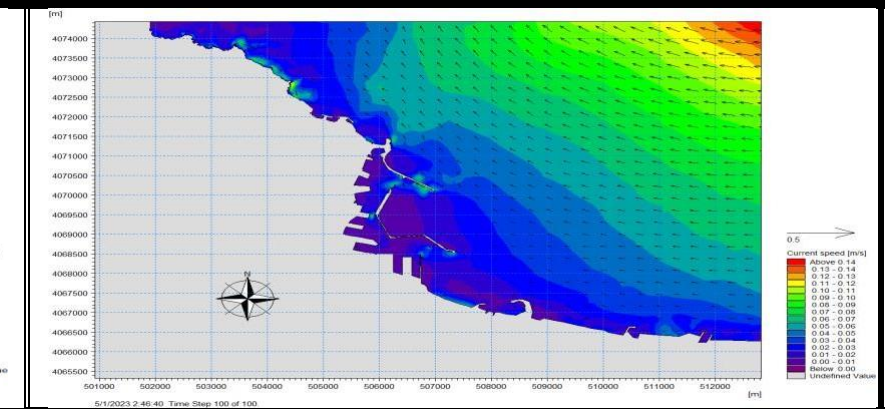
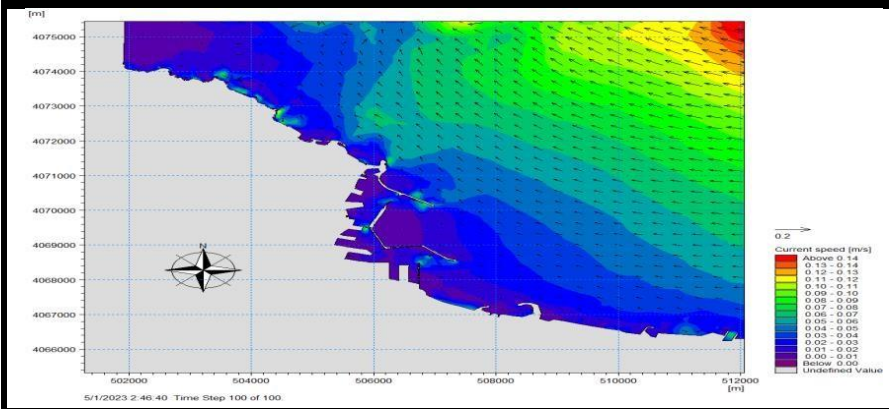
Champs des houles dans la Baie d'Alger
SW – Direction NNW (période de retour 50 ans)
($H_s = 5.93 \text{ m}$, $T_p = 14.93 \text{ s}$, $U_{10} = 5.23 \text{ m/s}$).

Annexes B



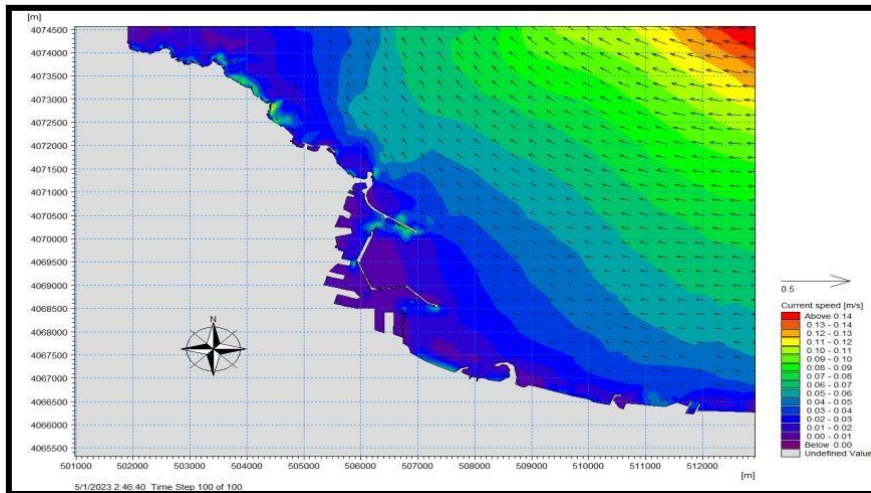
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 – Direction NNW (période de retour 2ans)
 (Hs = 4.04m, Tp=12.88 s, U10= 4 m/s).

Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 – Direction NNW (période de retour 5 ans)
 (Hs = 4.04m, Tp=12.88 s, U10= 4 m/s).



Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 – Direction NNW (période de retour 10 ans)
 (Hs = 4.98m, Tp =14.12 s, U10= 4.73 m/s).

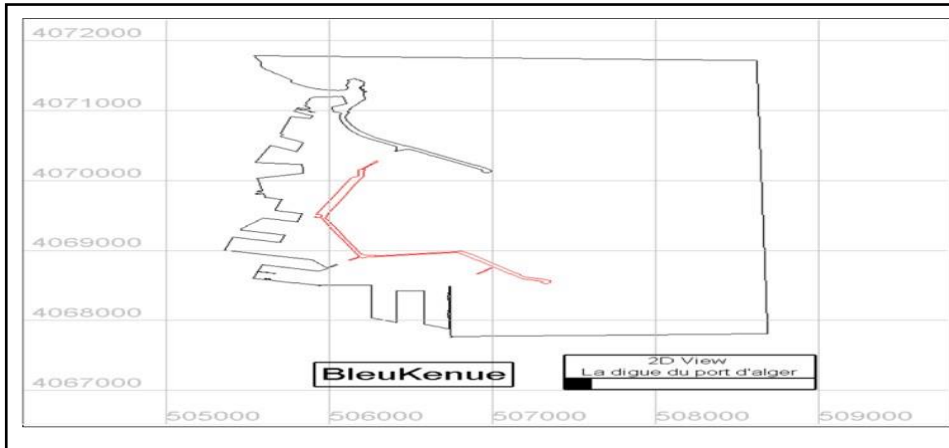
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
 – Direction NNW (période de retour 25 ans)
 (Hs = 5.52m, Tp =14.62 s, U10= 5.04 m/s).



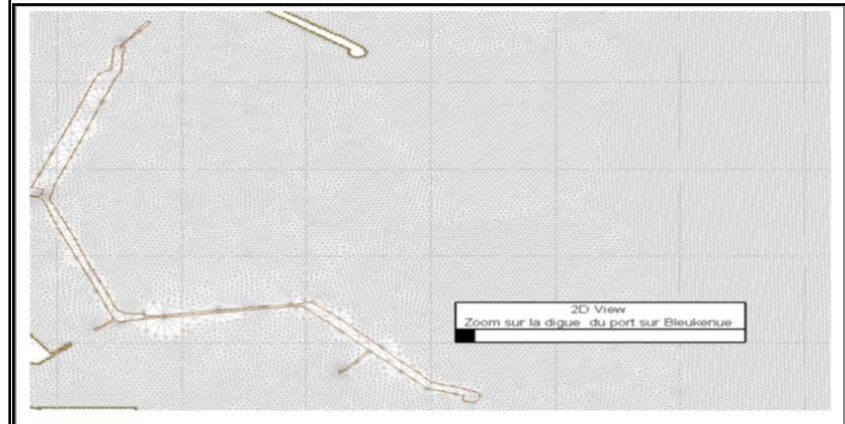
Champs des courants au voisinage de port d'Alger
– Direction NNW (période de retour 50 ans)
($H_s = 5.93\text{ m}$, $T_p = 14.93\text{ s}$, $U_{10} = 5.23\text{ m/s}$).

Annexes B

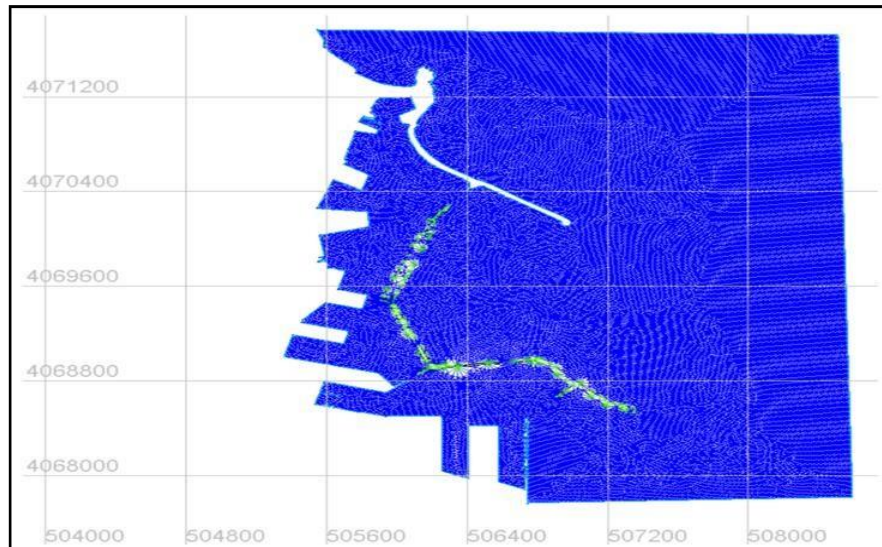
La Digue du port d'Alger sur Bleukenue



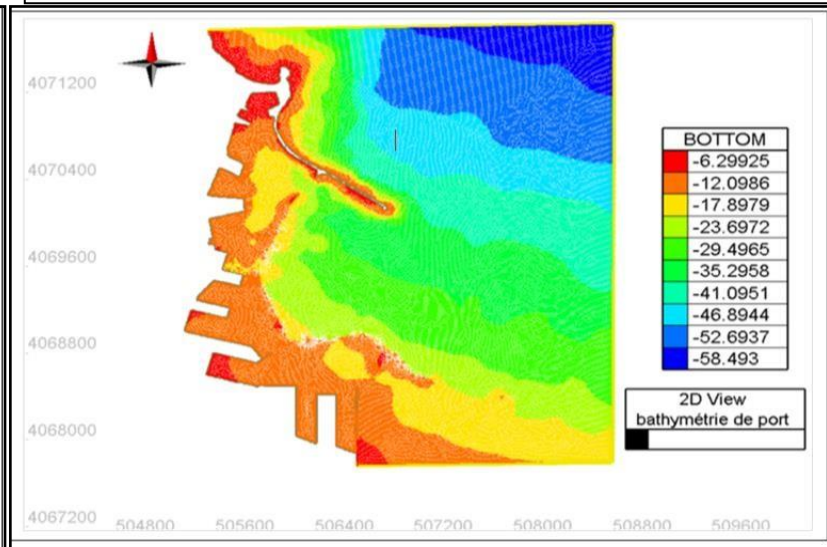
Zoom sur la Digue du port d'Alger sur Bleukenue



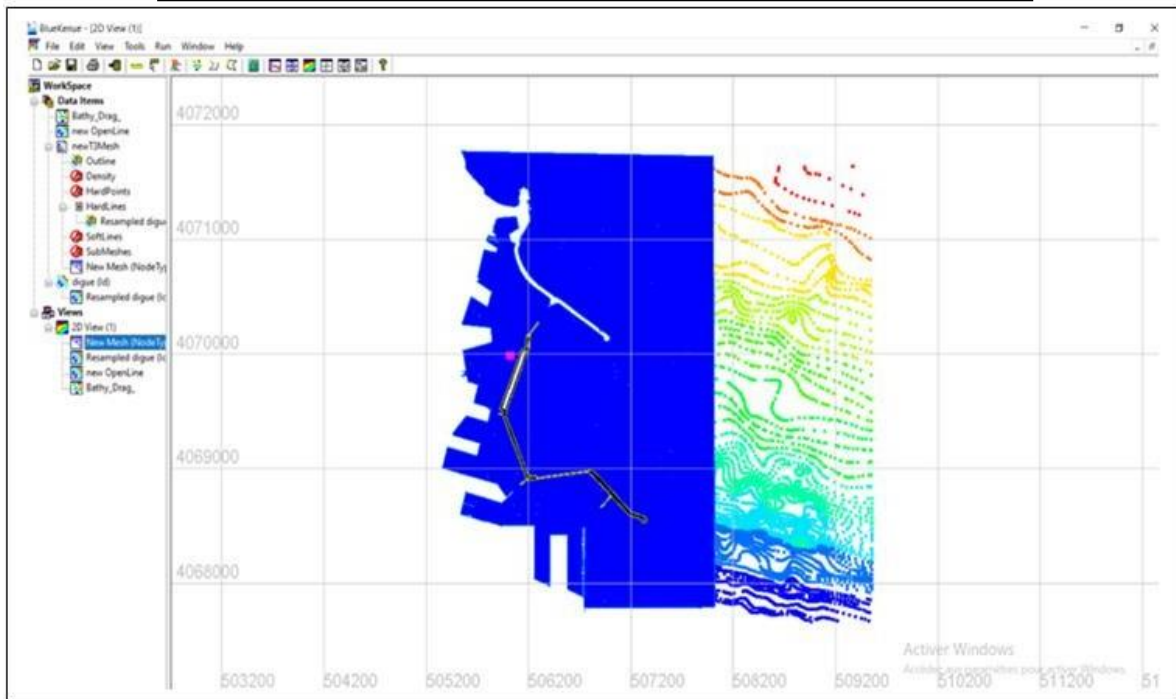
La Mesh du port d'Alger sur Bleukenue



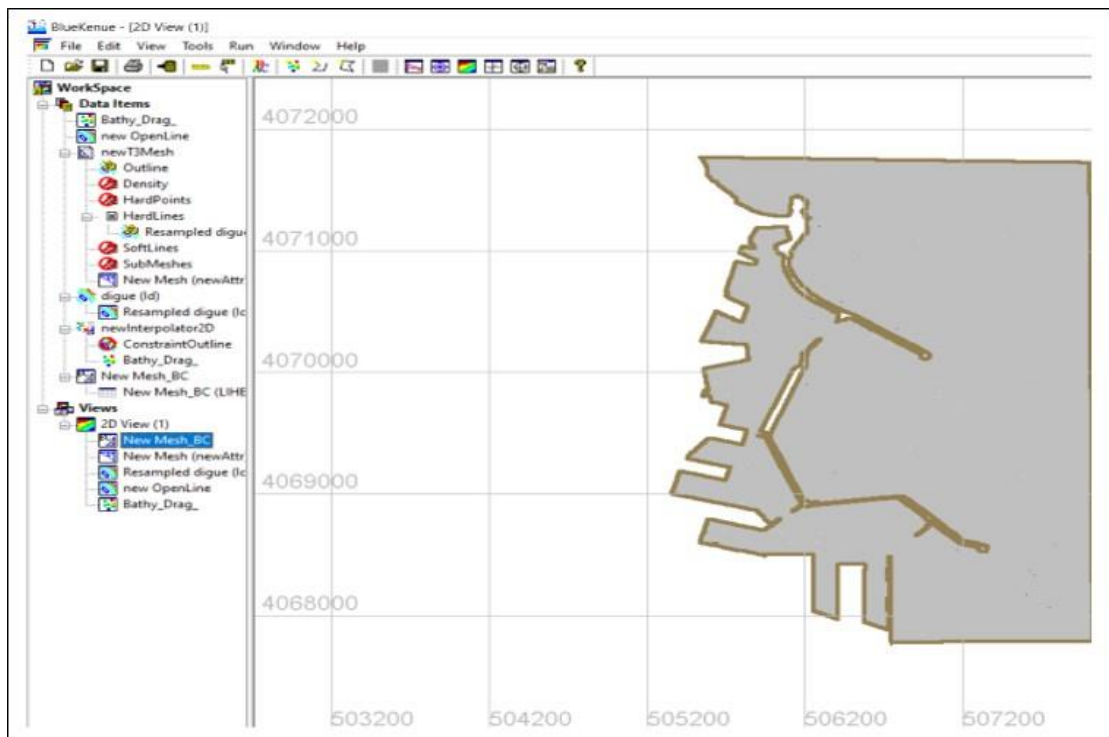
La Bathymétrie du port d'Alger sur Bleukenue



La Mesh du port d'Alger sur BleuKenue après dragage



Boundary conditions du port d'Alger sur BleuKenue après dragage



Start-Up

1. Problématique

A partir de tous ces points étudiés on s'est intéressé à la protection et la résolution de ces problèmes particulièrement l'étude de l'agitation portuaire des différents scénarii d'aménagement par la création d'un bureau d'étude de modélisation numérique spécialisé en agitation des ports dans le but de répondre à la problématique de ce projet et de définir le taux d'indisponibilité lié à l'agitation dans le cas de port d'Alger.

2. Objectifs

Le but principal de la startup est la conquête d'un business model. Trouver une manière de transformer une idée en entreprise, de trouver une nouvelle prestation de service à rendre, de créer de la valeur.

L'étude d'agitation est fondamentale pour le développement des installations portuaires puisqu'elle permet de tester la protection offerte par le port projeté. Il convient aussi pour tout ouvrage maritime d'en assurer sa stabilité. L'ouvrage doit résister à l'action dynamique de la houle ainsi qu'aux tempêtes les plus fortes atteignant le site considéré.

- Au regard des objectifs du projet maritime ou côtier qui nous est confié, nous proposons une approche qualitative et pertinente dont les points clés sont :
 - ✓ Le recueil des données pour l'établissement du programme.
 - ✓ Caractérisation de l'agitation et proposition de solutions de protection
 - ✓ La conception du projet en fonction des objectifs du programme.
 - ✓ L'établissement et le suivi des démarches d'autorisations administratives.
 - ✓ Une prise en charge de la coordination des études et des intervenants, dans le strict respect des objectifs programmatiques.
 - ✓ La prise en compte des contraintes du notre site.
 - ✓ L'optimisation des coûts, des économies de projet, des techniques de mise en œuvre
 - ✓ Etude d'aménagement sur le model numérique et résoudre le problème de port d'Alger.

3. Les activités du bureau d'étude

➤ L'activité principale

Réalisation d'un bureau d'étude sur la modélisation numérique : La modélisation numérique est un outil puissant pour analyser, prédire et optimiser les systèmes complexes. Elle permet d'améliorer la compréhension, d'optimiser les performances et de prendre des décisions éclairées dans de nombreux domaines d'application.

3.1. Les activités secondaires

➤ L'agitation portuaire

En ajoutant à la modélisation numérique une étude d'agitation des scénarios d'aménagement par des outils précieux pour évaluer les performances portuaires, optimiser la conception des infrastructures et réduire les risques associés à l'agitation. Ces activités contribuent à assurer un développement portuaire durable et efficace. En utilisant des logiciels spécialisés de modélisation, des experts en modélisation numérique simulent les courants marins, les marées, la houle et d'autres phénomènes d'agitation dans le port d'Alger.

➤ Aménagement portuaire et côtier

L'aménagement du littoral implique la gestion intégrée des zones côtières pour assurer leur développement durable tout en préservant leur intégrité écologique. Cela comprend la protection contre l'érosion côtière, l'Aménagement des plages, la réglementation de l'accès aux zones côtières sensibles, la protection des habitats marins, la gestion des ressources en eau côtières, la planification de l'utilisation des terres côtières et la gestion des risques liés au changement climatique tels que l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes.

➤ Modélisation des différents phénomènes physique liées à la côte

La modélisation des phénomènes physiques côtiers est une méthode utilisée pour étudier et comprendre les processus naturels qui se produisent le long des côtes, tels que l'érosion côtière, la dynamique des vagues, la circulation des courants océaniques, la formation de sable, les marées, etc. Ces modèles peuvent prédire et simuler le comportement des côtes dans différentes conditions et soutenir les décisions en matière de planification et de gestion côtières. Voici quelques-uns des phénomènes physiques de modélisation couramment utilisés :

- **Erosion côtiers** : Ces modèles peuvent aider à évaluer l'impact du changement climatique, des tempêtes ou de l'intervention humaine sur les côtes, ainsi qu'à prévoir les futurs taux d'érosion.
- **Dynamique des vagues** : Ils prennent en compte des paramètres tels que la hauteur, la période et la direction des vagues, ainsi que les interactions avec les fonds marins et les structures côtières. Ces modèles peuvent être utilisés dans la conception de projets de protection côtière tels que des brise-lames ou des digues, et dans l'évaluation du risque d'inondation causée par les vagues.

- **Circulation des courants :** Les modèles de circulation des courants simulent le mouvement de l'eau le long des côtes, Ces modèles permettent d'étudier la dispersion des polluants, le transport des sédiments et la formation des courants côtiers.

Ces modèles sont souvent basés sur des équations mathématiques complexes et sont alimentés par des données géographiques, météorologiques, océanographiques et bathymétriques. Ils sont utilisés par les chercheurs, les ingénieurs côtiers et les gestionnaires de l'environnement pour évaluer les impacts potentiels des activités humaines.

➤ **Traitement des bases des données**

C'est une référence à l'ensemble des opérations et des techniques utilisées pour gérer et manipuler les données stockées dans une base de données. Quelques étapes et techniques couramment utilisées dans le traitement des bases de données :

Extraction des données, Nettoyage des données, Transformation des données,
Indexation des données, L'indexation est utilisée pour accélérer les recherches
Optimisation des performances, Sécurité des données, Sauvegarde et récupération.

➤ **Résolution de problème portuaire en relation côtière**

Voici quelques problèmes courants liés aux ports et à leur relation côtière, ainsi que des approches pour les résoudre :

L'érosion côtière : peut menacer les infrastructures portuaires et compromettre leur fonctionnement.

Dragage et sédimentation : Les ports nécessitent souvent des opérations de dragage pour maintenir des voies navigables adéquates et des profondeurs suffisantes pour les navires.

Accès et navigation : L'amélioration de l'accès et de la navigation dans les ports peut être un défi majeur.

Gestion des déchets et de la pollution : Les ports peuvent être confrontés à des problèmes de gestion des déchets et de la pollution .

Intégration avec l'environnement côtier : Les ports doivent être planifiés et aménagés en tenant compte de l'environnement côtier afin de minimiser les impacts sur les écosystèmes sensibles

➤ **La relation entre cartographie et la télédétection des phénomènes côtiers**

La télédétection fournit les données nécessaires pour cartographier les caractéristiques côtières, surveiller les changements et analyser les risques. La cartographie, quant à elle, utilise ces données pour créer des représentations visuelles des zones côtières, fournissant des informations précieuses pour la gestion et la planification côtières. Un exemple de la façon dont ces deux disciplines sont liées :

Création de cartes : La cartographie utilise les données recueillies par télédétection pour créer des cartes détaillées des zones côtières

➤ **Etude des phénomènes de dragage et de valorisation des sédiments**

Essentiel pour une compréhension et une gestion efficaces des opérations de dragage dans les ports et les voies navigables.

Les principales considérations lors de l'étude de ces phénomènes :

- **Caractérisation des sédiments** : Avant d'entreprendre une opération de dragage, il est important de caractériser les sédiments présents dans la zone draguée.
- **Planification du dragage** : une fois les sédiments caractérisés, il est nécessaire de planifier l'opération de dragage de manière à minimiser l'impact environnemental
- **Gestion des sédiments dragués** : Une fois les sédiments dragués, différentes options de gestion peuvent être envisagées.
- **Étude d'impact sur l'environnement** : L'étude des phénomènes de dragage et de récupération des sédiments doit également tenir compte des impacts potentiels sur l'environnement.
- **Cadre réglementaire** : Les opérations de dragage et de gestion des sédiments sont soumises à une réglementation environnementale et maritime.

4. Les matérielles nécessaires

- Mobilier de bureau : des bureaux, des chaises ergonomiques, des armoires de rangement, des étagères, des tables de réunion
- Equipement informatiques : des ordinateurs, (sont essentiels pour la modélisation 3D, l'analyse des données ...), des imprimantes, des scanners, photocopieuses, des fax, des routeurs Wi-Fi, des câbles,
- Les logiciels spécialisés (selon le domaine d'ingénierie : AutoCAD, Matlab, Mike21, Telemac, Microsoft Office, Google Workspace des logiciels de communication : Skype, Slack,
- Connexion internet : permettre la communication en ligne, les recherches, partage les fichier
- Fournitures de bureau : Papier, stylos, crayons, trombones, agrafeuses, perforatrices, calculatrices, classeurs, dossiers, post-it, etc.
- Éclairage et électricité : Des luminaires adéquats pour un éclairage suffisant, des prises électriques, des rallonges, des multiprises, des onduleurs, etc.
- Systèmes de stockage et d'organisation : Des étagères, des classeurs, des boîtes de rangement, des paniers, des organisateurs de bureau, des étiquettes, etc.
- Équipements de communication : Des téléphones, des répondeurs, des casques, des systèmes de visioconférence, etc.
- Salle de réunion : Une salle de réunion équipée d'une table, de chaises, d'un tableau blanc, d'un vidéoprojecteur, d'un écran de projection, etc.
- Éléments de sécurité : Des extincteurs, des détecteurs de fumée, des trousse de premiers secours, des alarmes de sécurité, des caméras de surveillance, des serrures sécurisées, etc.
- **✚ Pour les ressources humaines** on 'a besoin des ingénieurs, comptable, informaticien ...



Figure 1 : table de réunion



Figure 2 : bureau de responsable



Figure 3 : Equipement informatiques



Figure 4 : Fournitures de bureau



Figure 5 : Les logiciels spécialisés



Figure 6 : Relation entre clients

Start-Up

4.1. Le coût de chaqu'un

Les ressources	Le coût
8 Ordinateurs	25 millions pour unité = 2000 000 DA
6 bureaux + chaises	11 millions pour unité = 6600 000 DA
6 Chaises	5000 da pour unité = 15000DA
5 armoires	5 millions da pour unité = 2500 000 DA
2 Tables	4 millions da pour unité = 80000 DA
1 Table de réunion	11 millions de da
Data chou	30000 DA
Electricité	2 millions pour 3mois
2 imprimantes	28 000 DA pour unité = 56 000 DA
2 Modem + 7 Téléphones Fix +connexion	2 millions da
Loyer	7 millions
Les logiciels Mike 21, telemac, Arcgis, Autocad,	1000000,00DA
Comptable	4 millions
Informaticien	4 millions
Ingénieur en génie côtier	4 millions
Réceptionniste	3 millions
Voiture spéciale de bureau	250 0000 DA
Total	7 951 000,00DA

Business Model Canvas		Nait idir Yasmine	May ibtisssem	SAP	2023
Partenaire clés	Activités principales	Valeur Ajouté	Relation Ajouté	Clients	
<ul style="list-style-type: none"> • Collaborateur LEM (Laboratoire d'étude maritime) • Les partenaires Financiers (Les banques, les investisseurs) • Les associations professionnelles (liés à l'industrie maritimes) • Collaboration avec des fournisseurs d'équipements portuaires 	<p>Réalisation d'un bureau d'étude sur la modélisation numérique.</p> <hr/> <p>Ressources clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressources matérielles Les logiciels (MIKE 21, TELEMAR, ARTEMIS). Les matériels (informatiques, industriels, de transport.) exemple : Les tables, les chaises, les pcs ; matériels électriques. • Ressources humaines Des ingénieurs spécialisées dans les domaines de la modélisation physique et numérique ; partenaires. Tous les paramètres entrent ici en jeu : management, motivation, savoir-faire, compétences, savoir-être, etc. • Ressources financières Il s'agit du capital social sous toutes ses formes (apports des associés, des prêts bancaires, des garanties, le gouvernement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Spécialisé dans l'agitation portuaire • Maitrise des logiciels et programmation par python (intelligence artificiel) • Etude d'aménagement portuaire 	<p>Au niveau national est de fidéliser les clients, de différencier de la concurrence en offrant une expérience client exceptionnelle. Cela peut conduire à une relation plus solide et durable entre notre start-up et nos clients, favorisant la croissance et le succès à long termes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • LEM • Vert et Bleu • Les entreprises de gestion portuaires et entreprises de technologie portuaire • SIFA (Agents de douanement pour frait maritime) • Algérie Ferries • EPAL • Les universités et les instituts dans les domaines maritimes • CNL 	

Start-Up

Canaux	Coût	Revenus
<ul style="list-style-type: none">• Rendre des services en ligne• Les réunions• Autorités portuaires• Entreprise de construction• Sites Web officiel• Vente directe aux autorités portuaires• Partenariats avec des entreprises de construction et d'ingénierie• Participation à des salons et des évènements d'industrie portuaire• Remise, abonnement	<ul style="list-style-type: none">• Matériel de bureau (1000 000,00 DA)• (6 bureaux + chaises ,8 Ordinateurs ,6 Chaises ,5 armoires ,2 Tables ,1 Table de réunion, Data chou, 2 imprimantes• 2 Modem + 7 Téléphones Fix +connexion)• - Electricité 20000 DA• - Loyer 70000 DA• -Les logiciels 1000000,00DA• (Mike 21, Telemac, ArcGIS)• Les employés 150000,00DA• (Comptable, Informaticien, Ingénieur en génie côtier ,Réceptionniste)	<p>L'argent dépensé :</p> <ul style="list-style-type: none">• Total =5 000 000,00DA <p>Le revenu :</p> <ul style="list-style-type: none">• 70 00 000 DA –5 000 000 DA = 2000 000,00DA

7. Conclusion

En se concentrant autant sur le service auprès de nos clients, sur le développement et la recherche, et sur la qualité de nos prestations, notre bureau d'étude a su fidéliser ses contacts pour se développer dans ses métiers : études scientifiques, ingénierie appliquée à l'aménagement du territoire et aux étapes industrielles, génie côtier et génie civil, maîtrise d'œuvre, assistance à maîtrise d'ouvrage, expertises techniques, réalisation de prototypes et installations pilotes.

Dans ce contexte, des études de modélisation et d'agitation portuaire, complètes pour caractériser la situation actuelle, définir des scénarios de protection, établir un pré dimensionnement de la solution retenue, vérifier la performance et la stabilité hydrauliques des ouvrages en modèle physique.

Ce projet a réalisé les études des houles du large et propagation à la côte, agitation portuaire, hydrodynamique, proposé des solutions de protection, évalué l'agitation admissible à l'aide de la modélisation numérique.

Les modélisations ont confirmé le bon dimensionnement des ouvrages réalisés à l'issue des études numériques et les impacts des vagues sur le port.

Résumé

Ce mémoire présente une synthèse des reconnaissances hydrodynamique réalisées dans le cadre d'une étude basée sur la problématique posée par DP Word El-Djazaïr qui concerne une perte de performances due aux phénomènes météorologiques et d'agitation portuaire.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de déterminer le degré d'agitation existant dans le port d'Alger et de déterminer une solution adéquate qui assure une agitation admissible pour le bon déroulement des opérations et qui répond aux critères d'exploitation sécurisée des quais.

L'analyse des données existantes a permis de proposer la solution du dragage de l'avant-port et du Bassin Mustapha, cette dernière s'est avérée nécessaire pour l'aménagement du port et aussi réduire l'agitation au niveau des différents postes. Ceci va être un pas stratégique qui va améliorer les performances le rendement économique et du port d'Alger pour les différents termes d'activité au bord des quais.

Abstract

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

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

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