

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE de FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème

Modélisation hydrodynamique et étude d'agitation

(Cas de la Marina Bay D'Alger)

Présenté par

Chaibai Mohamed Salah Eddine et Hanani Akram Zinddine

Soutenu le 12/ 07 /2022 devant le jury :

Mme ABDEDAIM H.

(MCB) ENSSMAL

Mr MEZOUAR K.

(Professeur) ENSSMAL

Mme SALEM CHRIF Y.

(Doctorante) ENSSMAL

Mr DAHMANI A.

(MAA) ENSSMAL

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE de FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN

DOMAINE : SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

FILIERE : GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT DU TERRITOIR

SPECIALITE : GESTION ET PROTECTION DU LITTORAL

Thème

Modélisation hydrodynamique et étude d'agitation

(Cas de la Marina Bay D'Alger)

Présenté par

Chaibai Mohamed Salah Eddine et Hanani Akram Zinddine

Soutenu le 12/ 07 /2022 devant le jury :

Mme ABDEDAIM H.	Présidente	(MCB) ENSSMAL
Mr MEZOUAR K.	Promoteur	(Professeur) ENSSMAL
Mme SALEM CHRIF Y.	Examinatrice	(Doctorante) ENSSMAL
Mr DAHMANI A.	Examineur	(MAA) ENSSMAL

2021/2022

Dédicace de Chaibai Mohamed Salah Eddine

*Je dédie ce travail à ma très chère **mère**, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. À mon cher **père**, vous été mon école de patience, de confiance et d'espoir. Vous êtes la lumière qui illumine mon chemin.*

*À mes frères **Sami, Wassim**, ces quelques lignes ne sauraient traduire le profond amour que je vous porte, votre encourageant et affection ont été pour moi l'exemple de persévérance. Et à la petite princesse **Lina** je ne peux exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir comme sœur.*

*Je veux dédier ce travail aussi à mes amis d'enfance, **Ilyes, Lotfi**.*

À toute la famille ENSSMAL, mes enseignant(e)s et mes ami(e)s.

Merci d'être toujours là pour moi.

Dédicace de Hanani akram zinddine

Je dédie se travail à mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont Donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'esper qu'ils trouveront dans ce Travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

*A mes chers frères **Yahia, Seyf Ali, Abderahman**.et ma chère sœur **Amira**, je n'oublierai Jamais votre encourageant et affection ont été pour moi.*

*A ma tente **Lamia** merci pour votre encouragement.*

*À mes grand parents maternel **Chaaban** et **Djamila** paix à son âme.*

*À mes grand parents paternel **Saleh** et **Houria** paix à son âme.*

À toute la famille ENSSMAL, mes enseignant(e)s et mes ami(e)s.

Remerciement

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous voudrions dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire ***Professeur Khoudir MEZOUAR***, à l'ENSSMAL, pour sa patience, sa disponibilité, malgré ses responsabilités administratives et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Veuillez trouver ici Monsieur l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Nous souhaiterons remercier notre Co-promoteur ***M. AOUI M.*** Chef de projet Marina l'équipe d'entreprise ***DAHLLI spa*** pour l'accueil qu'elles nous ont réservé, le temps que chacun de ses membres nous a accordé, et plus globalement pour toutes les informations, références bibliographiques, réflexions, que chacun nous a apporté et qui ont nourrie de travail.

Merci à monsieur ***Azzi Imad***, Co-promoteur et ingénieur d'état, il nous a guidé dans notre travail, trouver des solutions pour avancer, et les connaissances qu'il a su nous transmettre. Nous le remercions également pour sa disponibilité et la qualité de ses conseils.

Nous tenons à remercier ***Mme ABDEDAIM H***, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions ***Mme. SALEM CHRIF Y*** et ***M. DAHMANI A*** pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

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

Table des matières

Introduction générale	2
Chapitre I : Généralités	4
1. Généralités sur l'agitation portuaire	5
1.1 Généralités sur les ouvrages portuaire.....	5
1.1.1 Les composants essentiels d'un ouvrage portuaire.....	5
1.1.2 Ouvrages extérieurs.....	5
1.1.3 Ouvrages intérieurs.....	6
2. Etude de propagation de houle du large vers la côte	6
3. Etude d'agitation portuaire	6
Chapitre II : Généralités sur la zone d'étude	9
1 Généralités sur la zone d'étude.....	10
1.1 Situation géographique de la zone d'étude.....	10
1.1.1 Site de la baie d'Alger	10
1.1.2 Site de la marina	10
1.2 Caractéristiques de la Marina El Bay Alger	11
1.3 Présentation des objectifs et but du projet.....	13
1.4 Paramètres climatologiques et océanographiques	14
1.4.1 Le vent.....	14
1.4.2 La houle.....	15
1.4.3 Les courants.....	20
1.4.4 Niveau d'eau.....	20
1.5 Caractéristiques géologiques, géomorphologiques de la zone d'étude	21
1.5.1 Géomorphologie.....	21
1.5.2 Géologie	22
Chapitre III : Etude bath-sédimentologique	23
1 Introduction	24
2 Matériels utilisés.....	24
3 Méthodologie d'échantillonnage	25
3.1 Méthode d'analyse sédimentologique	26
4 Classification des dépôts superficiels.....	27
5 Calcul des paramètres granulométriques.....	28
5.1.1 Résultats et discussion.....	30
Chapitre IV : Traitement et recueil de données	34
Introduction	35
1 Principe de modélisation	35

2	Origine de la donnée :	35
2.1	Présentation des hauteurs significatives maximales au large de la baie d'Alger	37
3	Analyse statistique des évènements extrêmes de la houle de la cote algéroise (toute direction confondue)	41
3.1	Méthode des valeurs au-dessus du seuil POT	41
3.2	La loi GPD (Generalized Pareto distribution)	42
3.3	Interprétation des résultats	45
4	Analyse statistique des évènements extrêmes du vent de la cote algéroise (toute direction confondue)	48
5	Méthode de k clustering k-means	49
5.1	Degré de similarité	49
5.2	Choix de K cluster	49
5.3	Interprétation de la distribution des données	49
	Chapitre V : Modélisation de la propagation de la houle	51
1	Modélisation de la propagation des houles	52
1.1	Objectif de la modélisation numérique	52
1.2	Description des codes de calcul	52
1.3	Collecte de données bathymétriques	52
1.3.1	Mike 21 SW	53
1.3.2	Mike 21 ST	55
1.3.3	Mike 21 HD	56
2	Maillage	57
2.1	Interprétation des résultats bathymétriques	62
3	Tests de sensibilité et choix des directions	63
4	Données d'entrée du model SW	65
5	Les conditions de projet à simuler :	65
6	Interprétation des Résultats de la simulation hydro-sédimentaire selon la direction	73
6.1	La direction Nord-Est (30°)	73
	Chapitre VI : Modélisation de l'agitation portuaire	75
1	L'objectif d'étude	76
2	Présentation des logiciels utilisés :	76
2.1	BlueKenue	76
2.2	TELEMAC-MASCARET	76
2.3	L'outil ARTEMIS	77
3	Mise en place du modèle d'agitation portuaire	78
3.1	Emprise du modèle et présentation du maillage	78
3.2	Conditions aux limites	80

3.2.1	Frontière liquides.....	80
3.2.2	Frontières solides.....	80
4	Insertion des données	81
5	Paramétrage de direction	82
6	Résultats de la simulation d'agitation avec le logiciel ARTEMIS	84
6.1	Secteur Nord-Est	84
	Chapitre VII : Modélisation de la circulation et le séjour des eaux dans le bassin portuaire	88
1.	Renouvellement des eaux	89
1.1.	Présentation	89
1.2.	Hypothèse de départ	89
1.2.1.	Conditions météo-océaniques simulées.....	89
7	Résultat :.....	91
	Conclusion.....	94

Liste des figures

Figure 1: Organigramme du déroulement d'une étude de propagation des vagues du large à la cote (CEREMA, 2018).....	6
Figure 2: : Organigramme du déroulement d'une étude d'agitation portuaire. (CEREMA,2018)7	7
Figure 3 Représentation schématique d'un port	8
Figure 4 : situation géographique de la marina El Bay d'Alger (google earth pro).....	10
Figure 5: Plan général de la Marina Bay D'Alger (BTP,2016)	11
Figure 6 : des blocs de Cubipodes au niveau du musoir de la Marina El Bay D'Alger (BTP,2016)	12
Figure 7: Schéma de la digue de la Marina El Bay D'Alger (BTP,2016)	12
Figure 8: Plan de la marina et distribution des amarrages. (BTP, 2016).....	13
Figure 9 : Les roses des houles mensuelles	16
Figure 10 : Les roses des houles saisonnières et annuelle	17
Figure 11 : Les roses des vents mensuelles	18
Figure 12 : Les roses des vents saisonnières et annuelle	19
Figure 13: schéma de la marée (Techniques-ingenieur.fr, 2019)	20
Figure 14: une embarcation pneumatique	24
Figure 15: Une benne Ven-Veen	24
Figure 16: Un ordinateur de courantomètre.....	24
Figure 17: un courantomètre.....	24
Figure 18: Un GPS	24
Figure 19: Un ecotest.....	24
Figure 20: Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer.....	25
Figure 21: une étuve	26
Figure 22: matériels utilisés dans le pesage.....	26
Figure 23: Une tamiseuse.....	26
Figure 25: Courbe granulométrique de la station 48	30
Figure 24: Courbe granulométrique de la station 08	30
Figure 26: répartition spatiale des pélites dans la marina Bay d'Alger (< 40µm) (ArcGIS).....	31
Figure 27: Répartition spatiale de la fraction grossière (ArcGIS).....	32
Figure 28: répartition spatiale de D25 dans la marina de la Baie d'Alger((ArcGIS).....	33
Figure 29: répartition spatiale de D10 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)	33
Figure 30: répartition spatiale de D84 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)	33
Figure 31: répartition spatiale de D50 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)	33
Figure 32 Base de données IOWAGA 37°N 3°E.....	36
Figure 33 : point d'extraction IOWAGA au large.....	36
Figure 34 : La distribution des amplitudes de houle en fonction du temps (1992-2019)	37
Figure 35: La distribution des périodes de piques de houles en fonction du temps (1992-2019) .	37
Figure 36: La distribution des directions des houles en fonction du temps (1992-2019)	37
Figure 37: corrélogramme de vitesse de vent /Direction de vent pour le point IOWAGA : 37°N-3°E.....	38
Figure 38: corrélogramme Hs/DP pour le point IOWAGA : 37°N-3°E	39
Figure 39: corrélogramme Tp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N-3°E.....	39
Figure 40: corrélogramme Dp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N-3°E	40
Figure 41: corrélogramme Dp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N-3°E	40
Figure 42: Méthodes de sélection de seuil dans la modélisation POT	43
Figure 43: Traitement POT avec un seuil optimale = 3m.....	44

Figure 44: Traitement POT avec un seuil surestimé = 4.5m	44
Figure 45: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 22.5-67° NE	46
Figure 46: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 337.5-22.5° N	46
Figure 47: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 315-360° NNW	46
Figure 48: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 292.5-337.5 SNW	46
Figure 49 : les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 270-315° WNW	46
Figure 50: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 45-90° ENE.....	46
Figure 51: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur NNE 0-45°	46
Figure 56:	47
Figure 52: Ajustement par la loi GPD secteur 315-360° NNE	47
Figure 53: Ajustement par la loi GPD secteur 337.5-22.5°N	47
Figure 54: Ajustement par la loi GPD secteur 292.5-337.5 NW.....	47
Figure 55: Ajustement par la loi GPD secteur 270-315	47
Figure 57: Ajustement par la loi GPD secteur 45-90°	47
Figure 58: Ajustement par la loi GPD secteur 0-45° NNE	47
Figure 59 : Ajustement par la loi GPD secteur 22.5-67° NE	47
Figure 60: Ajustement par la loi GEV.....	48
Figure 61: Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes.....	48
Figure 62: Distribution Hs/Tp.....	50
Figure 63: Graphe de coude	50
Figure 64: distribution 3D des deux clusters de données.....	50
Figure 65: Maillage du modèle régionale (Boumerdes Tipaza)	58
Figure 66: bathymétrie du modèle régionale (Boumerdes Tipaza)	59
Figure 67: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Alger	60
Figure 68: Bathymétrie du model zoom sur la baie d'Alger	60
Figure 69: Maillage du modèle zoom sur la marina d'Alger.....	61
Figure 70: bathymétrie du modèle zoom sur la marina d'Alger.....	61
Figure 71: Champs des houles MWD 10°	64
Figure 72: Champs des houles MWD 20°.....	64
Figure 73: Champs des houles MWD 40°	64
Figure 74: Champs des houles MWD 30°.....	64
Figure 75: Champs des houles MWD 320°	64
Figure 76: Champs des houles MWD 320°	64
Figure 77: Champs des houles MWD 60°.....	64
Figure 78: Champs des houles MWD 50°.....	64
Figure 79: Champs des houles MWD 340°.....	64
Figure 80: Champs des houles MWD 330°.....	64
Figure 81: Champs des houles MWD 350°.....	64
Figure 82: Résultats des simulations SW chaque 10°.....	64
Figure 83: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 4.56$ m, $T_p = 10.61$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	68
Figure 84: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 3.48$ m, $T_p = 10.38$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	68
Figure 85: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 5.03$ m, $T_p = 12.65$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	69
Figure 86: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 5.49$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	69

Figure 87: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 6.58$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	70
Figure 88: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 6.11$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s).....	70
Figure 89: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10} = 17.62$ m/s).....	71
Figure 90: : Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10} = 12,18$ m/s) ..	71
Figure 91: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10} = 20.55$ m/s).....	71
Figure 92: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10} = 19.29$ m/s).....	71
Figure 93: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 3.48$ m, $T_p = 10.38$ s, $U_{10} = 12,18$ m/s).....	72
Figure 94: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 5.49$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 17.62$ m/s).....	72
Figure 95: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 6.58$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 20.55$ m/s).....	72
Figure 96: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d'Alger (6.11 m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 19.29$ m/s)	72
Figure 97: emprise du maillage BlueKenue	79
Figure 98: coefficients de réflexion de la marina El Bay d'Alger	81
Figure 99: Tests de sensibilités ARTEMIS	83
Figure 100: Résultat de l'agitation pour la période de retour 5ans- Nord-Est.....	85
Figure 101: Résultat de l'agitation pour la période de retour 1an- Nord-Est.....	85
Figure 102: Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans- Nord-Est.....	86
Figure 103: Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans- Nord-Est.....	86
Figure 104: Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans- Nord-Est.....	87
Figure 105: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans- Nord-Est.....	87
Figure 106: le positionnement de point du rejet	90
Figure 107: résultats de la courantologie locale couplée avec le module AD	91
Figure 108: l'évolution du panache - pas de temps=01	92
Figure 109: l'évolution du panache - pas de temps=1398	92
Figure 110: l'évolution du panache en fonction du temps	93

Liste des tableaux

Tableau 1: classification granulométrique des sédiments selon Falk, 1966 (Riviere,1977)	27
Tableau 2: seuil proposé pour chaque direction	43
Tableau 3: Tableau de scénario des périodes de retour du vent extrême	48
Tableau 4: hauteur de la houle en entrée et sortie du modèle	63
Tableau 5: données de sortie du model SW	65
Tableau 6: données de sortie du model HD	65
Tableau 7: les niveaux d'eaux de projet proposés pour l'étude	66
Tableau 8: les conditions de projet à simuler (toutes direction confondu)	66
Tableau 9: les conditions de projet à simuler (direction pénalisante)	67
Tableau 10: les fichiers d'entrée sur ARTEMIS	81
Tableau 11: les fichiers de sortie ARTEMIS	82

Acronyme

DAHLI S.P.A : Daewoo Algérie Hôtellerie Loisir et Immobiliers –Société par action.

GEBCO : Carte Bathymétrique Générale des Océans (General Bathymetric Chart of the Ocean).

GEV : Valeurs Extrêmes Généralisées (Generalized Extreme Values).

GPD : Distributions de Pareto Généralisées (Generalized Pareto distributions).

GPS : Système de positionnement Globale (Global Positioning System).

NGA : Niveau Générale Algérien.

PAC : programme d'aménagements côtiers.

PAM : Plan d'Action de la Méditerranée.

POT : Pic au-dessus du Seuil (Peak Over Threshold).

WGS : Systèmes Géodésique Mondial (World Geodetic System 1984).

LEM : laboratoire des études maritimes.

K.N.M.I : Institut Royal Météorologique allemand.

IOWAGA : Integrated OceanWaves for Geophysical and other Applications

LEM : laboratoire des études maritimes.

Introduction

Introduction générale

La situation privilégiée de la frange littorale Algérienne sur la mer Méditerranée, ses conditions climatiques naturelles, son environnement, ainsi que son patrimoine culturel augmentent la demande d'activités touristiques sur la région.

L'Algérie a connu depuis quelques décennies un engouement envers la bande littoral, les agglomérations ont doublée voir triplé de densité. En effet, environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui ne représente que 4% du territoire **(Ghodbani&Semmoud, 2010)**.

C'est pourquoi l'Algérie qui a fait partie de la conférence de Barcelone en 1995 et le Plan d'Action méditerranéen a décidé d'élaborer et développer un programme d'aménagement côtier pour installer des infrastructures selon une méthode étudié sous le modelé « smart-city ».

Et pour couvrir les besoins croissants de la capitale d'Algérie en matière d'activités nautiques et sportives associées au tourisme haut de gamme, la wilaya d'Alger a envisagé la création d'une marina de loisirs dans la zone de Mohammédia.

Dès le début 2007, l'entreprise DAHLI S.P.A. a envisagé la création d'une marina de loisirs dans la zone de Mohammédia, dans la baie d'Alger, afin de couvrir les besoins croissants de la capitale d'Algérie en matière d'activités nautiques et sportives associées au tourisme haut de gamme. En 2015, l'entreprise BTP Infrastructures a développé le projet d'exécution de la baie d'Alger, qui comprend une digue principale et une contre-digue. Diverses solutions ont été proposées dans l'étude d'alternatives pour la carapace de protection. C'est finalement la solution bicouche de CUBIPOD qui a été retenue en raison de ses économies substantielles.

La modélisation numérique des processus hydrodynamiques est un moyen puissant, largement utilisé et validé depuis plusieurs années pour l'étude d'un site et/ou des conséquences d'un projet sur les conditions naturelles. Cet outil permet, par la résolution des équations qui régissent les mouvements des masses d'eau (mécanique des fluides), de décrire sur une zone géographique donnée les fluctuations spatiales et temporelles des courants et des niveaux d'eau pour différentes conditions météo-océanographiques.

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

A travers ce modeste travail, on va dresser une complète sur l'hydrodynamique littorale, agitation portuaire et la durée de renouvellement des eaux du bassin au niveau de la marina d'Alger vis-à-vis au climat de la houle résiduelle et celle des événements extrêmes.

Pour cela on adaptera une démarche simplifiée et concrète. Elle s'articule autour de ces six chapitres :

Dans le premier chapitre on a abordé une synthèse sur la zone d'étude puis on a décrit les aspects généraux du milieu ; la topographie, la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie et les conditions naturelles y compris les vents, les courants, et les houles qui affecte directement les structures de la marinas et qui conditionnent directement la dynamique sédimentaire tout le long de la côte.

Chapitre II est consacré à l'utilisation et traitement des données acquises pour la prévision des houles au large.

Chapitre III est focalisé sur l'utilisation des données collecter en compagne océanographique et études bathy-sédimentologique.

Chapitre IV porte sur la présentation des résultats des études bathymétrique et hydrodynamique d'une part, et étude du transport sédimentaire et la modélisation de transit littoral d'une autre part dans une approche de modélisation numérique à l'aide des logiciels Arc Gis et Mike21.

L'avant dernier chapitre aborde plus précisément la modélisation de l'agitation portuaire au niveau de la marina.

Le dernier chapitre est consacré à la modélisation de la circulation et le séjour des eaux à l'intérieur de la marina.

Chapitre I : Généralités

1. Généralités sur l'agitation portuaire

1.1 Généralités sur les ouvrages portuaire

Un port est une entité géographique et économique, portant un nom spécifique, située en bordure de la mer, d'un fleuve ou d'un lac, accueillant les navires, et où s'effectue le transfert des marchandises et des passagers. Un port désigne un plan de masse qui inclue essentiellement dans sa partie courante les jetées et les quais qui bordent le plan d'eau.

Un port est destiné à accueillir et abriter des bateaux, navires et embarquassions en particulier pendant les opérations d'échange de la marchandise, le transport des passagers ainsi la pratique des activités nautiques et touristiques. Et qui permet aussi leur ancrage, mouillage ou le stationnement quai. **(Module 2 l'organisation d'un système portuaire Manuel du participant)**

1.1.1 Les composants essentiels d'un ouvrage portuaire

A ce stade, on se contentera de présenter les installations au plan technique, en donnant quelques ordres de grandeur.

1.1.2 Ouvrages extérieurs

a) 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. **(Module 2 l'organisation d'un système portuaire Manuel du participant,2012)**

b) 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.

c) Les digues

Elles protègent l'avant-port contre l'agitation due à la houle et sont conçues pour résister à l'assaut des vagues. Les trois types d'ouvrages utilisés sont les digues verticales, les digues à talus et les digues mixtes.

1.1.3 Ouvrages intérieurs

a) 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

b) Ouvrages d'accostage et d'amarrage

Le long des bassins sont établis des ouvrages sur lesquels les navires viennent accoster et s'amarrer pour débarquer ou embarquer les passagers ou les marchandises, on les désigne par le terme de quais. Lorsqu'ils sont implantés à quelque distance du rivage, on les qualifie généralement. **(Module 2 l'organisation d'un système portuaire Manuel du participant)**

2. Etude de propagation de houle du large vers la côte

La houle se crée sous l'action du vent au large sur la surface de la mer formant des ondulations qui se propagent du large vers les côtes et cela sous différents aspects causés par des déformations résultant de la variation des profondeurs, les courants marins ainsi que les différentes directions du vent. Ces études sont obligatoires et permettent d'évaluer la surcote statique (wave set-up) à la cote. **(CEREMA,2018)**

Pour notre cas d'étude une modélisation numérique a été établie pour le choix du scenario

Le déroulement d'une étude de propagation de houle se fait de la façon suivante **(voir figure 01)**

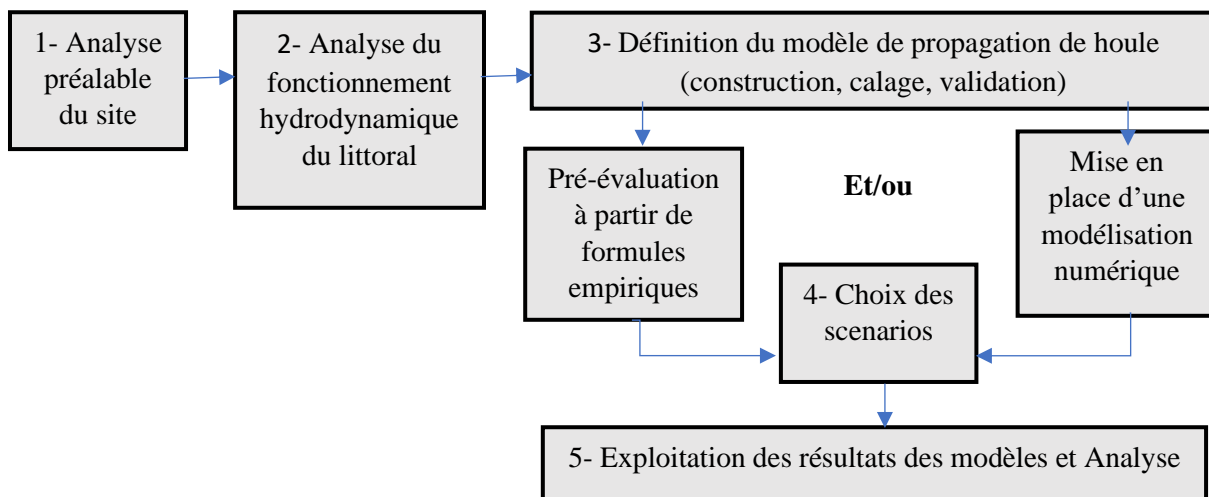


Figure 1: Organigramme du déroulement d'une étude de propagation des vagues du large à la cote (CEREMA, 2018)

3. Etude d'agitation portuaire

Tous les ports consistent à faire l'étude de l'agitation portuaire pour but de connaître plusieurs objectifs tel que, les conditions d'exploitation associées à un nouvel

aménagement portuaire, déterminer l'impact d'agitation au niveau des quais et d'autres objectifs. (CEREMA, 2018)

L'organigramme ci-dessous résume toutes les étapes de déroulements d'une étude d'agitation portuaire. (Figure 02)

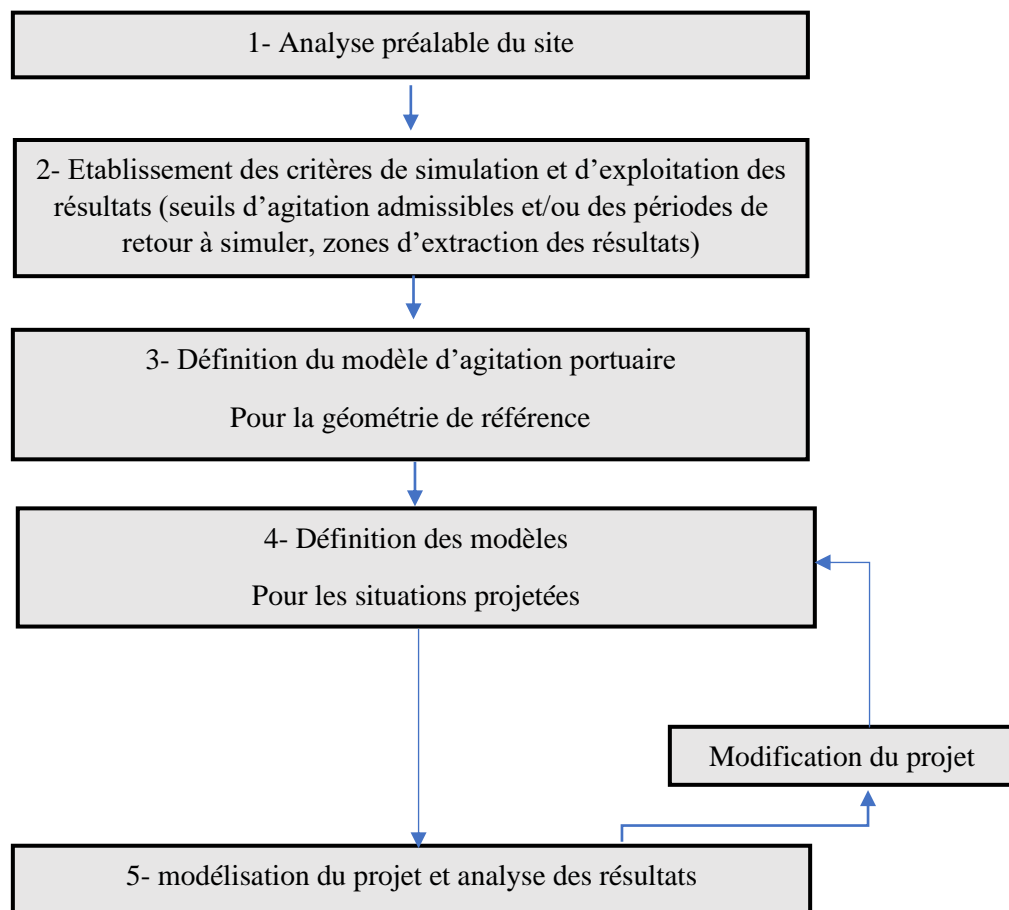


Figure 2: : Organigramme du déroulement d'une étude d'agitation portuaire. (CEREMA,2018)

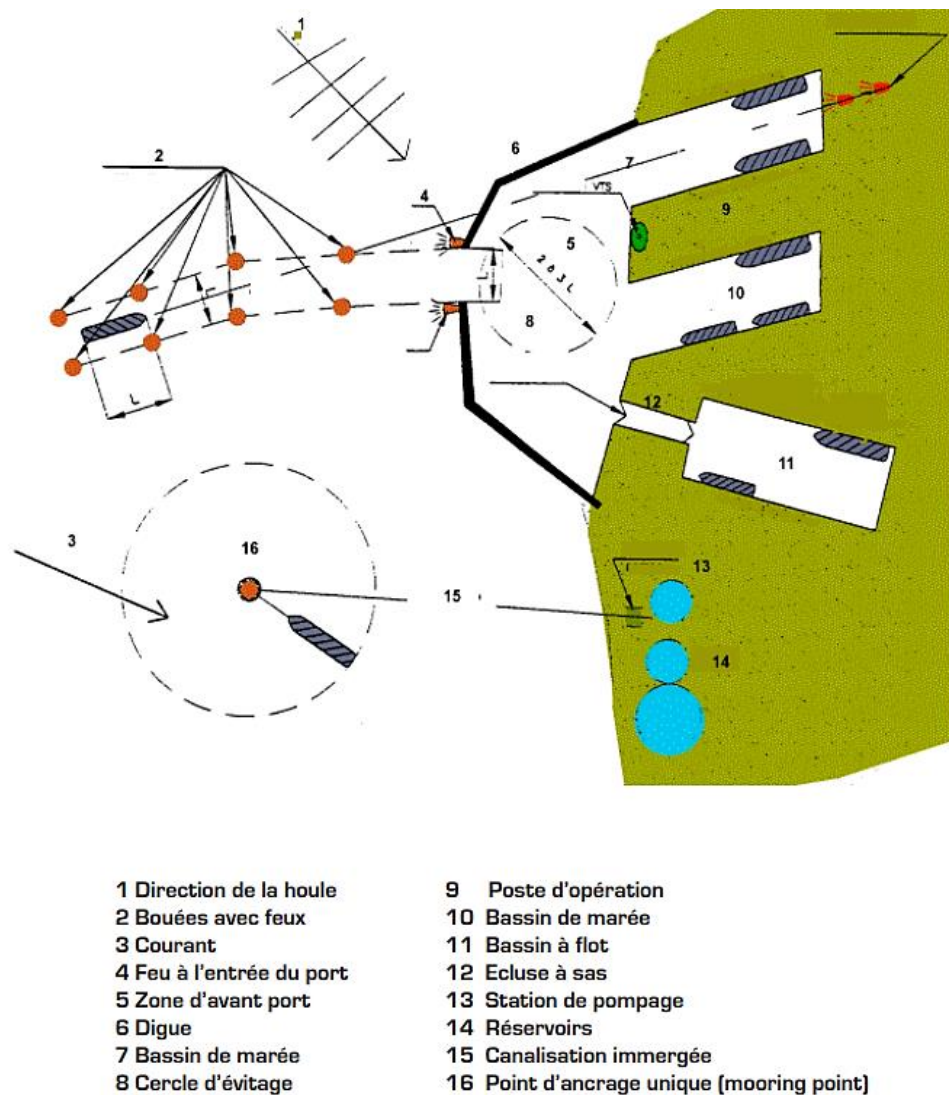


Figure 3 Représentation schématique d'un port

(Module 2 l'organisation d'un système portuaire Manuel du participant, 2012)

Remarque : Dans ce projet, la différence entre les ports de plaisance et les marinas, se résume dans le type d'accueil des bateaux. Les marinas permettent l'accostage des bateaux des propriétaires résidentielles de la région uniquement ; tandis que les ports de plaisances peuvent permettre l'accostage des bateaux extérieurs.

Chapitre II : Généralités sur la zone d'étude

1 Généralités sur la zone d'étude

1.1 Situation géographique de la zone d'étude

1.1.1 Site de la baie d'Alger

La baie d'Alger située au centre de la cote algérienne, elle s'étend du cap Rais Hamidou, au cap Tamanfoust, sous la forme semi-circulaire de 31 km de long. Sa superficie totale est de 215 kilomètres carrés, Elle est délimitée par les coordonnées géographiques suivantes : longitude Est de $03^{\circ}01'00''$ à $03^{\circ}14'30''$, et une latitude Nord de $36^{\circ}44'30''$ à $36^{\circ}49'15''$ Voir (Figure 04).

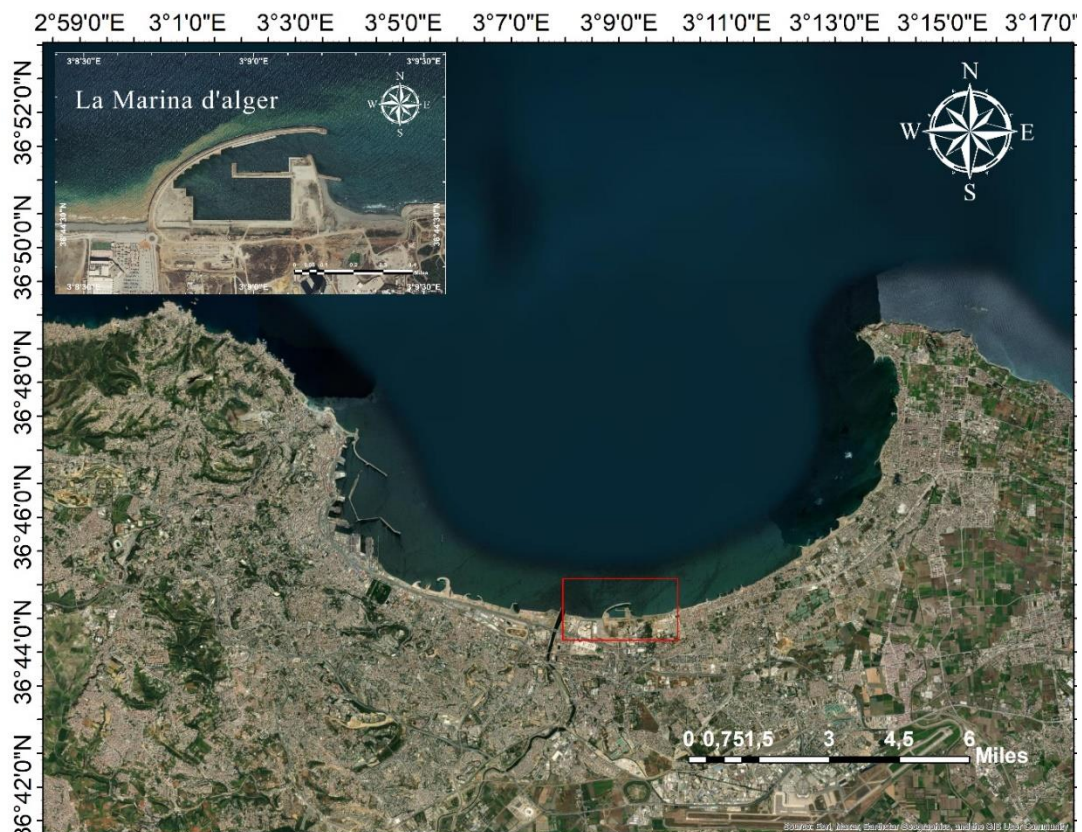


Figure 4 : situation géographique de la marina El Bay d'Alger (google earth pro)

1.1.2 Site de la marina

Le site de la Marina Bay d'Alger se situe dans la partie centrale de la baie d'Alger, dans la commune de Mohammadia, Il est limité au Nord par la mer méditerranée, la route nationale n° 05 au Sud, le camp militaire du Lido à l'Est et par Oued El-Harrach à l'Ouest.

Situé aux coordonnées géographiques UTM WGS84 zone 31 N suivantes :

- Latitude de $36^{\circ}44'30''$ N et $36^{\circ}44'43.94''$ N.
- Longitude de $03^{\circ}8'45''$ E et $03^{\circ}9'20.34''$ E.

1.2 Caractéristiques de la Marina El Bay Alger

Introduction

Le style du port devrait être conçu sur la base de l'esthétique, de l'aménagement paysager, du faible impact et de l'intrusion visuelle. Dans cette idée, les travaux d'ombrage extérieurs sont projetés en dessous de l'élévation maximale et peuvent être dépassés dans des conditions de tempête extrêmes.

La digue d'alignement courbe, ainsi que la contre-digue, permettent un accouplement avec la baie, des affinités sont données au dispositif et à l'environnement le plus adapté à la réalisation du site.

Les composants internes tels que quais quai et appontement servent comme support des éléments constituant du port intérieur.

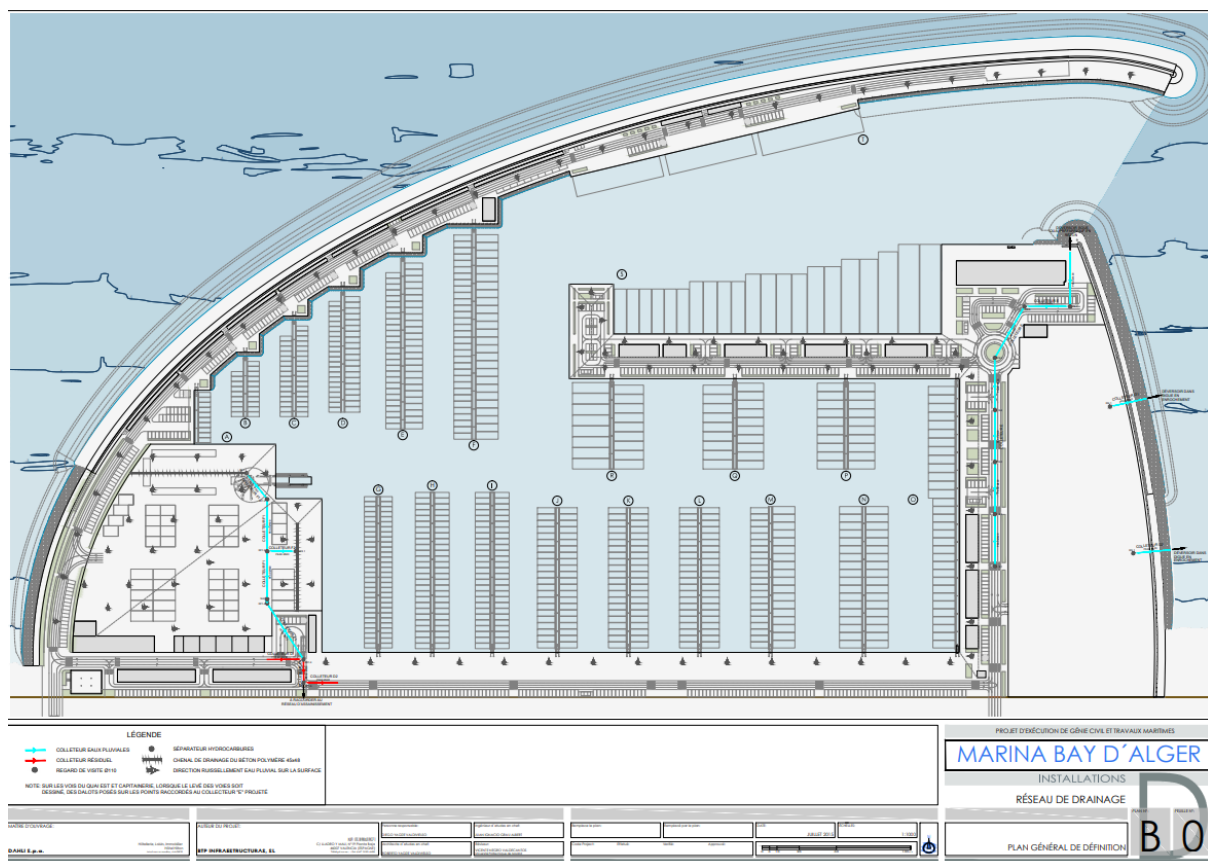


Figure 5: Plan général de la Marina Bay D'Alger (BTP,2016)

a) Les cubipodes

Ces éléments de construction utilisés pour la première fois en Algérie sur le projet de la marina El Bay Alger, avec une forme cubique ou parallélépipédique, dont les faces ont une ou plusieurs protubérances, pour éviter que les éléments ne s'accouplent, et pour augmenter l'imbrication entre la carapace et la couche inférieure en enrochement, ainsi que celle se produisant entre les propres éléments. (BTP,2016)



Figure 6 : des blocs de Cubipodes au niveau du musoir de la Marina El Bay D'Alger (BTP,2016)

- L'ouvrage d'abri

b) La digue

La protection principale du port est réalisée par une digue à talus de 988 m de longueur, et plan courbe avec une profondeur maximale d'environ -6.5 m d'eau. La digue est subdivisée en trois tronçons avec de coupes type adéquates à l'intensité de la houle qui reçoivent. (BTP,2016)

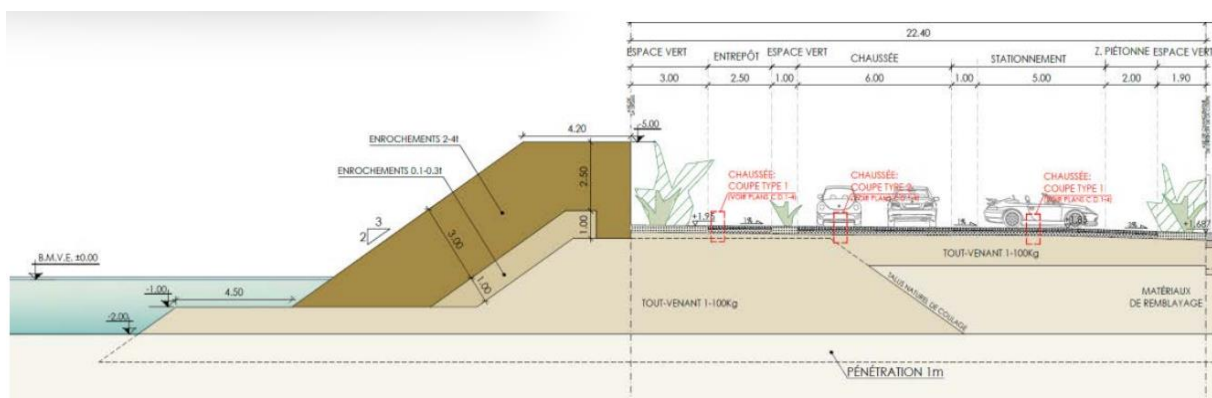


Figure 7: Schéma de la digue de la Marina El Bay D'Alger (BTP,2016)

c) La contre-digue

La fonction de la contre-digue est d'abriter la façade ouest du port. Les houles qu'elle reçoit ont une intensité plus petite que celle de la digue. Son tracée, en plan courbe, passe de manière sensible en perpendiculaire à la cote du sud au nord, jusqu'à atteindre un tirant d'eau légèrement supérieur à 5m. La longueur totale de la contre-digue est de 283,43m. **(BTP,2016)**

d) L'embouchure

L'orientation de l'embouchure doit être étudiée en fonction du plan d'houles afin que plus étroit est préférable pour éviter que les houles se propage à l'intérieur du port, il est recommandé que la largeur nominale de l'embouchure du port soit égale ou supérieure à longueur totale (L) du bateau du projet. La largeur de l'embouchure est de 76,14 m ce qui est valable selon les critères, mesurée à la cote -5.0 m, sachant que la longueur maximale prévue pour le projet est de 70 m, avec un tirant d'eau fonctionnelle de ce bateau de 4,74 m. **(BTP,2016)**

e) Capacité d'accostage

La Marina Baie d'Alger peut accueillir 705 embarcations entre 8 et 70 mètres de longueurs, et avec une distribution ou 72.7% des bateaux dont la longueur est inférieure à 15m. **(BTP,2016)**



Figure 8: Plan de la marina et distribution des amarrages. (BTP, 2016)

1.3 Présentation des objectifs et but du projet

Le projet vise à développer le tourisme balnéaire de luxe dans la région centre du pays. Il doit répondre aux exigences techniques et scientifiques pour la construction des infrastructures touristiques prévues et les infrastructures économiques, sociales et Problèmes environnementaux dans la province d'Alger.

Notre but dans cette étude est de prévoir l'agitation résiduelle de la marina face aux conditions météorologiques extrêmes et de déduire son impact direct sur les structures de la marina et de prévoir la circulation et le séjour des eaux dans le bassin portuaire.

1.4 Paramètres climatologiques et océanographiques

1.4.1 Le vent

Le vent est un élément moteur essentiel dans la dynamique marine superficielle (www.cieau.com) C'est le générateur de houle et de certain courant de surface, leur impact évalué proportionnellement avec leurs vitesses, il joue un rôle important dans l'évolution de la géomorphologie des côtes.

Les données statistiques des vents au large, ont été extraites à partir de la base de données IOWAGA (Integrated OceanWaves for Geophysical and other Applications), au point d'extraction situé au large selon les coordonnées géographiques (37°N, 3°E). Cette dernière résume les statistiques de vents et de houles au large sur une période de 29 ans entre 1990-2019 au large de la baie d'Alger.

À l'aide d'un langage de scripte python (voir l'annexe B), nous avons pu tracer les roses annuelles, saisonnières (trimestrielles) et mensuelles des directions de souffler / propagation, selon la vitesse et la direction. Les données des vents au large (Vitesse et directions) sont représentées sous forme de roses dans les figures suivantes (**Figure 11,12**).

L'analyse de ces roses montre la dominance des vents issues des directions Nord-Est, persistant pendant 17 % à une échelle annuelle de temps, (29%) pendant l'été, et (8%) pendant l'hiver. Cependant, les vents qui proviennent du secteur Ouest apparaissent sur 21% du temps annuel, (27%) durant l'hiver et (10%) pendant l'été.

L'analyse des roses annuelles et trimestrielles (**Figure 12**), montre d'une part, une forte similitude entre la saison printanière et automnale, avec des vents dominants issus généralement du Nord-est et Ouest, et d'autre part une dissemblance entre la saison estivale et la saison hivernale, où les vents dominants proviennent du secteur Ouest en été, et du secteur Nord-Est en Hiver.

Les vents forts avec des vitesses pouvant atteindre les 20m/s en hiver et 16m/s en été proviennent de l'ouest. Ces fortes tempêtes sont rares, et peuvent aussi provenir du secteur Nord-Est, avec des vitesses maximales de 14m/s annuellement. Les vents faibles avec des vitesses allant de 2 et 7 m/s avec des fréquences d'apparition moyenne de 64% du temps durant

les quatre trimestres. Le pourcentage des vents calmes pour toutes les directions confondues est de (2.54%) annuellement, (2.6%) durant l'hiver et l'été, (3.11%) durant l'automne et (3.04%) durant le printemps.

Les autres périodes de l'année connaissent une apparence des vents dans les deux secteurs dominants (ENE et WSW) avec des vitesses ne dépassent pas 24 m/s.

1.4.2 La houle

La surface de la mer présente généralement, une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle, cet ensemble d'ondulations ou de vagues. (**Bonnefille, 1992**)

L'analyse statistique des données IOWAGA (Integrated OceanWaves for Geophysical and other Applications), nous a permis de tracer les roses mensuelles, trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes algéroises pour la période 1990-2019 (**Figure 09,10**).

D'après les analyses des roses des houles :

- Les houles en provenance du secteur Nord-Est prédominent en été.
- Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver.
- Les houles dominantes sont caractérisées par des hauteurs significatives oscillant généralement entre 0.25 et 2.5m.
- Les houles de tempêtes sont rares et sont caractérisées par des hauteurs significatives fluctuant généralement entre 3.5 et 7.5m.
- Les fortes agitations proviennent fréquemment de l'ouest avec des hauteurs significatives de houles pouvant atteindre un maximum de 7.5m en hiver, 6m annuellement, au printemps, et en automne et 3.5m en été.

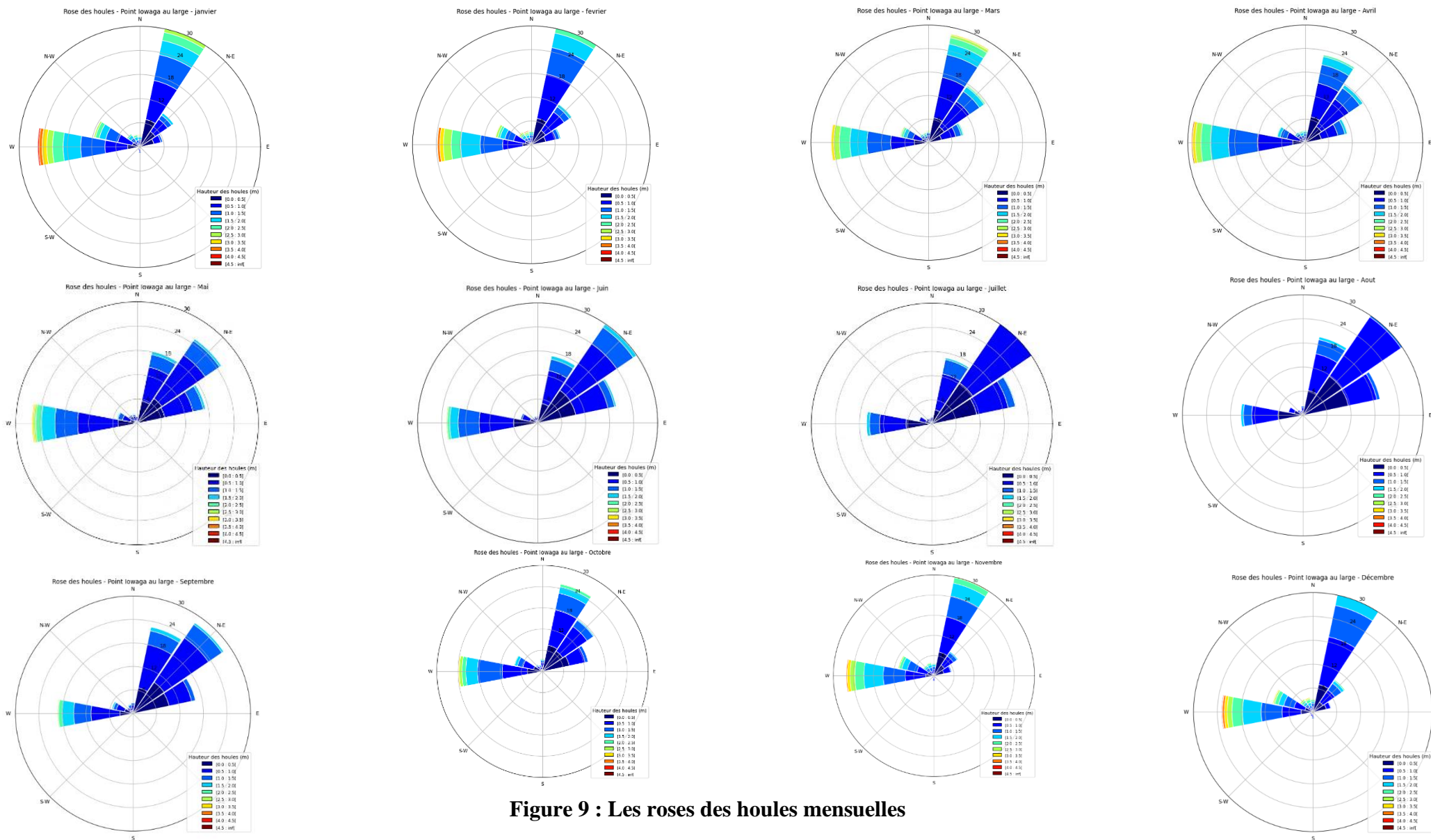


Figure 9 : Les roses des houles mensuelles

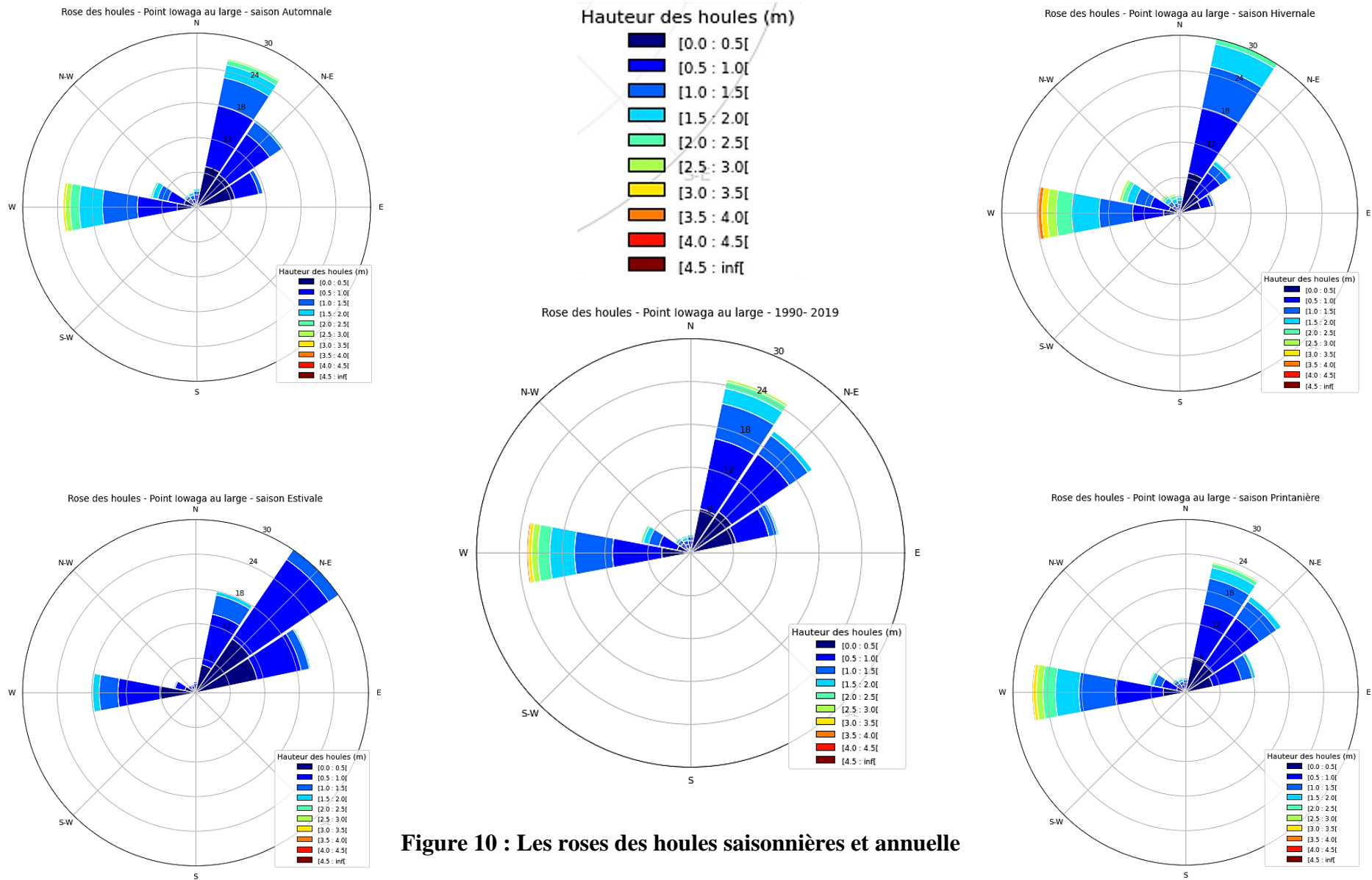


Figure 10 : Les roses des houles saisonnières et annuelle

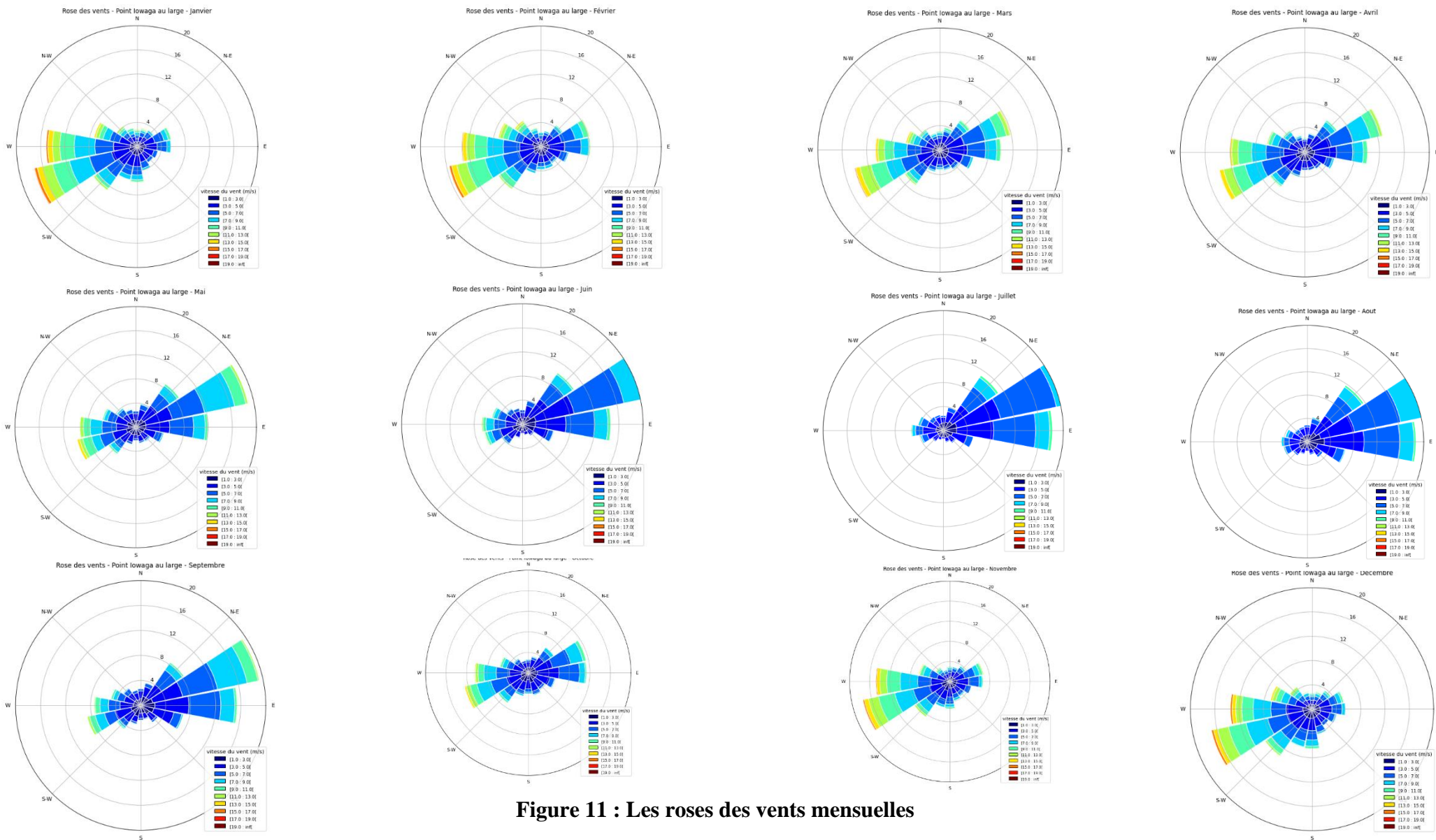


Figure 11 : Les roses des vents mensuelles

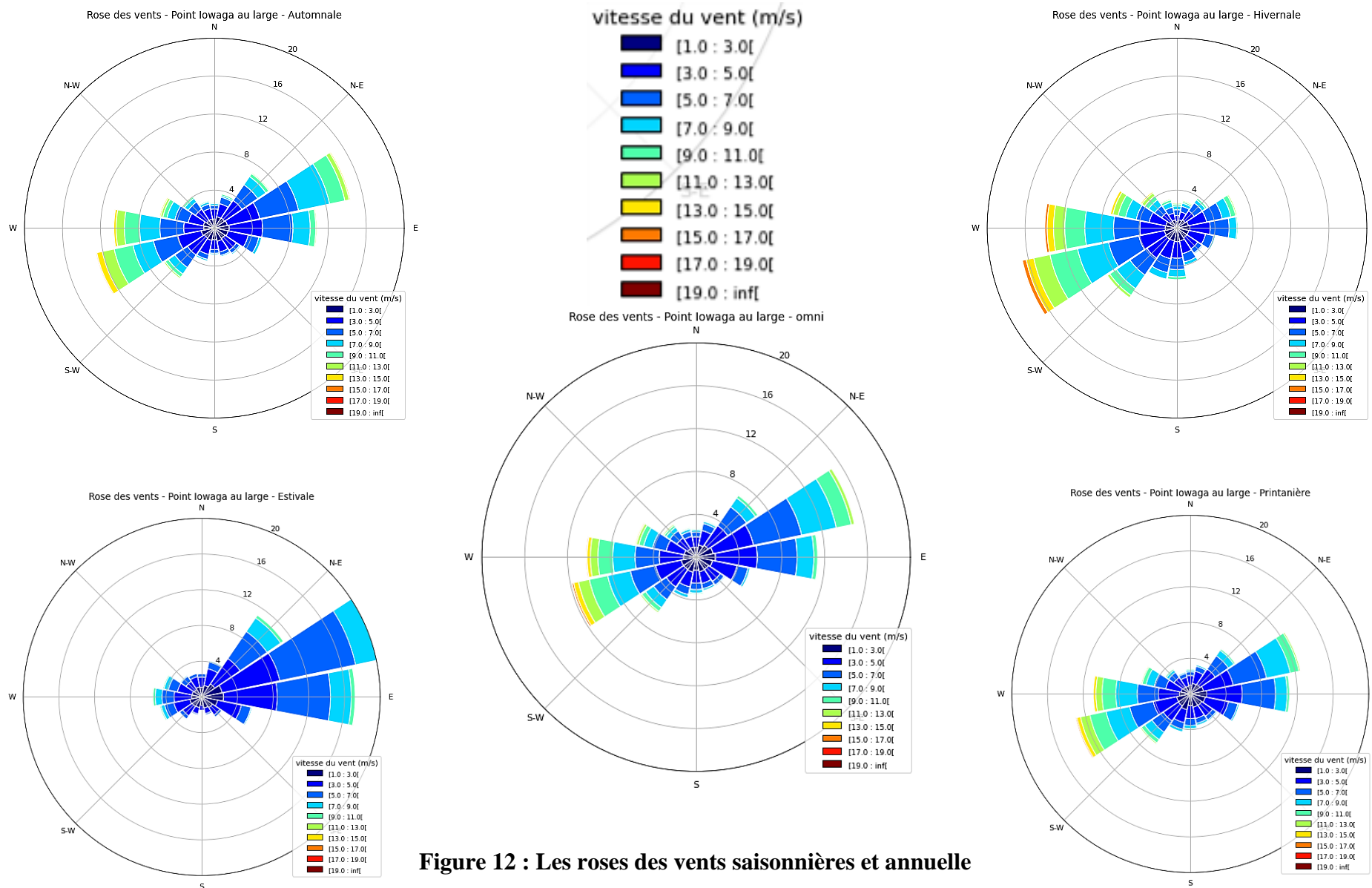


Figure 12 : Les roses des vents saisonnières et annuelle

1.4.3 Les courants

Le long de la côte algérienne, les courants sont relativement faibles et sont pas un facteur principal qui rentre dans le fonctionnement des ouvrages côtiers. Des données compilées pendant des observations enregistrées en mer par le K.N.M.I (Institut Royal Météorologique allemand) indiquent que les courants ont une vitesse inférieure à 0.5 Nœuds pendant environ 75% du temps et 1 nœud pour 80% du temps.

1.4.4 Niveau d'eau

La marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (**Bougis, 2003**). (**Voir figure 13**) Dans les côtes algériennes et 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 et de 5 à 15 cm en nouvelle (**Amrouche, 2015**).

Vu que la marée astronomique est faible en méditerranée et le manque de données récentes relatives au niveau moyen de mer, nous avons utilisé les données qui ont été faites sur une étude de « faisabilité pour la réfection de la digue station de pompage et zone de dépotage combustible du CCG Martigues Rapport d'étude du scénario » au niveau des digues à Marseille comme référence durant l'année 2019.

Ces données comprennent les niveaux d'eaux proposées pour le projet, en fonction de la marée, la surcote et la surélévation du niveau de la mère.

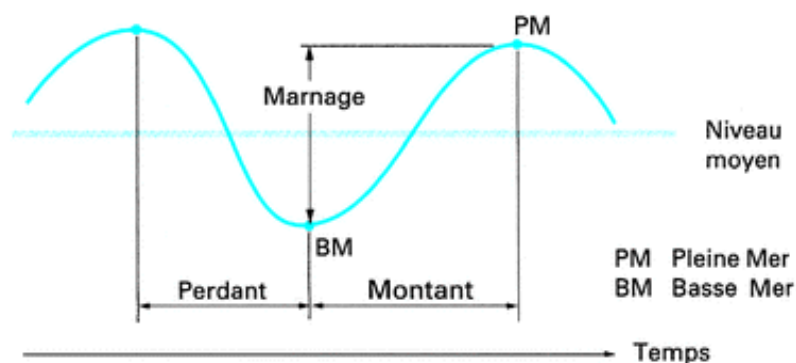


Figure 13: schéma de la marée (Techniques-ingenieur.fr, 2019)

a) Surcote

La surcote associée aux vagues : surélévation moyenne du plan d'eau induite par le déferlement des vagues « Waves setup ». Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. La surcote sur la baie d'Alger en période de tempête exceptionnelle est entre 1,5 m et 2m. (**LEM 2013**)

b) Elévation du niveau moyen de la mer

La circulaire du 27/07/2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux (<https://aida.ineris.fr/>) peut être considérée afin d'intégrer une surcote engendrée par une surélévation du niveau moyen de la mer. Cette circulaire fournit les projections d'élévation du niveau moyen de la mer par rapport à l'année 2000 suivantes :

- Hypothèse optimiste : 10 cm d'ici 2030 (soit projection à 30 ans), 17 cm d'ici 2050 (soit +50 ans), 40cm d'ici 2100 (soit +100 ans).
- Hypothèse pessimiste : 14 cm d'ici 2030, 25 cm d'ici 2050, 60cm d'ici 2100.
- Hypothèse extrême : 22 cm d'ici 2030, 41 cm d'ici 2050, 100cm d'ici 2100.

Le rapport du GIEC de 2013, ne remet pas en cause ces valeurs. Il indique une élévation moyenne du niveau des mers comprise entre 0.32 et 0.63 m pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005.

Il est courant de retenir l'hypothèse pessimiste, pour les projets portuaires soit environ 5mm/an pour les projections à 30 et 50 ans.

Comme la durée de vie de la réhabilitation est de 20 ans, nous proposons de retenir une surélévation lente des mers de 10 cm (soit 20 ans x 5 mm). (CCG MARTIGUES,2019)

1.5 Caractéristiques géologiques, géomorphologiques de la zone d'étude

1.5.1 Géomorphologie

En baie d'Alger les plages se développent entre Alger-Plage à l'Est et l'embouchure de Oued El Harrach à l'ouest, il s'agit des plages de : Alger-Plage, les dunes, Beni-Mered, Bordj el Kiffan, le Lido, l'embouchure de l'oued el Harrach (rive droite). La région d'étude se caractérise par la formation d'un cordon dunaire, plus ou moins développé dans la partie Est de la baie, entre la rive droite de l'oued El-Harrach et Bordj El Bahri, bordant au Nord la partie des zones basses septentrionales de Mitidja.

1.4.2 Topographie

Entre le Cap de Bordj El Bahri à l'Est et le massif de Bouzareah à l'Ouest, s'installe la grande baie d'Alger qui s'ouvre directement vers le large, sous forme d'un hémicycle tourné vers le Nord, face à la mer Méditerranée.

Notons aussi que la topographie générale de cette baie se confond à l'Est avec celle de la plaine de la Mitidja, mais au sud et à l'ouest, elle s'arrête brusquement au pied des plateaux néogènes du Sahel occidental d'Alger et des reliefs anciens de la Bouzareah. Ainsi, la topographie de cette baie est dominée par la morphologie de plaine à l'Est et localement au sud, mais elle reste marquée par la morphologie de plateaux et de reliefs à l'ouest.

Les altitudes au niveau de la première partie sont généralement faibles, elles ne dépassent rarement les 20m et se caractérisent par la platitude relative des surfaces de cette zone. Par

contre la partie ouest, elle se distingue des autres zones par ses altitudes plus ou moins marquées, mais ne dépassant pas les 200m en général. Seul le massif de Bouzareah dépasse les 300m d'altitude et culmine à 395m à proximité de la place centrale de ce quartier.

Par ailleurs, cette baie est traversée par plusieurs oueds dont la plupart prennent naissance dans l'Atlas Blidéen au sud, il s'agit surtout des oueds el Hamiz et el Harrach.

1.5.2 Géologie

Du point de vue géologique, la zone d'étude fait partie du sahel sud d'Alger. L'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène ont donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du Cap Matifou, du Sahel ainsi que la formation du synclinal de la Mitidja.

Chapitre III : Etude bath- sédimentologique

1 Introduction

Une étude sédimentologique de la zone d'étude pour mieux comprendre la répartition spatiale des sédiments dans la marina et déterminer les paramètres granulométriques qui permet de classer les sédiments selon des différents critères.

En raison de la difficulté d'effectuer une campagne océanographique de reconnaissance sur terrain malgré sa programmation, on va se baser sur les données collectées, lors de la sortie faite dans le cadre d'un projet de fin d'étude des deux ex-étudiantes **OUNIS F. S. & ABER K** en 2020. Une campagne océanographique de reconnaissance comprenant :

- Des levés bathymétriques.
- Des prélèvements de 60 échantillons de sédiments superficiels dans 60 stations différents ont été prélevés dont 45 sont répartis à l'intérieure de la marina et 15 échantillons à l'extérieure.
- Des mesures des vitesses et directions du courant.
- Des coordonnées géographiques dont le système de coordonnées approprier au GPS est le système de référence géodésique WGS84.

2 Matériels utilisés

- Une embarcation pneumatique. (**Figure 14**)
- Un ordinateur de courantomètre. (**Figure 15**)
- Un GPS. (**Figure 16**)
- Une benne Ven-Veen attachée à un câble. (**Figure 17**)
- Un courantomètre. (**Figure 18**)
- Un Ecotest. (**Figure 19**)



Figure 14: une embarcation pneumatique

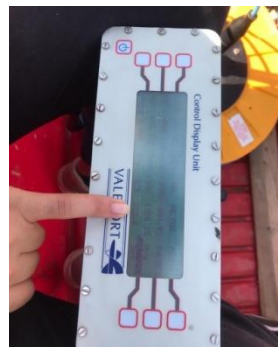


Figure 16: Un ordinateur de courantomètre



Figure 18: Un GPS



Figure 15: Une benne Ven-Veen



Figure 17: un courantomètre



Figure 19: Un ecotest

3 Méthodologie d'échantillonnage

Le positionnement sur les stations de prélèvements d'échantillons est réalisé à l'aide du GPS, suivant des coordonnées prédéfinies. Les échantillons sont prélevés par une benne Ven-Veen attachée à un câble et envoyer sur le fond, une fois remontée, le sédiment est récupéré dans des sacs en plastique étiquetés et numérotés, après rapportés au laboratoire pour une analyse détaillé. Les 60 échantillons prélevés sont représentés sur **la figure 20**

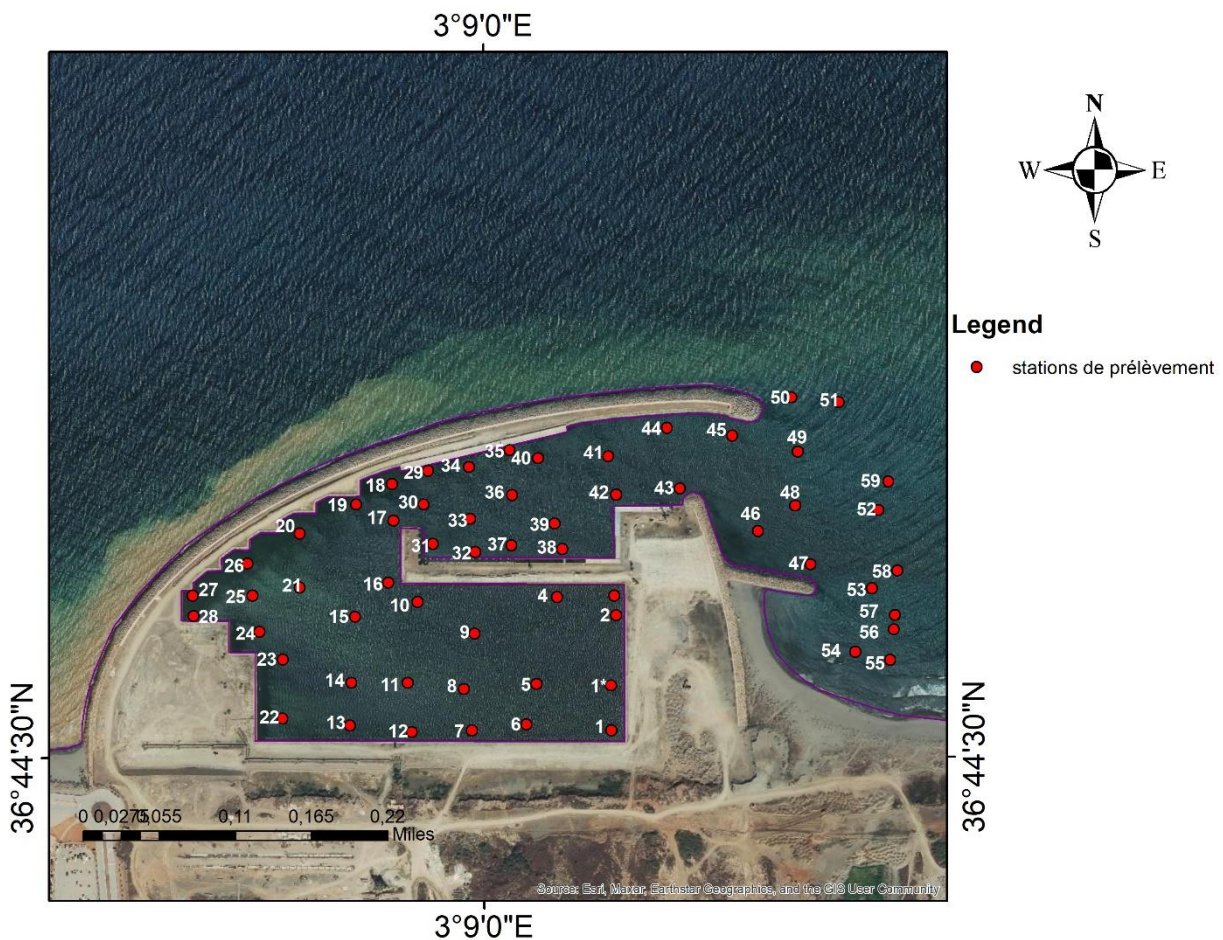


Figure 20: Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer

Les données collectées lors de la sortie sont présentées dans le tableau 1 (annexe A).

Les études sédimentologiques ont pour but de caractériser les sédiments marins, leur distribution spatiale et leur comportement. L'analyse in vitro de la taille des particules d'échantillons est désormais une pratique courante utilisant l'analyse statistique des particules de sédiments meubles. Les résultats de cette analyse permettent de construire une carte de la répartition spatiale des sédiments.

3.1 Méthode d'analyse sédimentologique

➤ Analyse au laboratoire

Matériels utilisés :

- Une série de tamis, où un tamis est constitué d'une toile métallique ou d'une tôle perforée définissant des mailles de tous carres. Pour nos échantillons nous avons utilisé la série de tamis mentionnée dans le protocole d'AFROR (P18-560).
- Une étuve, élimine et sèche l'eau de l'échantillon à une très grande température après une durée de temps déterminée.
- Une balance.
- Des cristallisoirs, c'est un récipient posé sur une balance pour peser les échantillons.
- Une brosse, permet de nettoyer les tamis de toutes les fractions qui se trouvent à la fin du tamisage.
- Une spatule, aide à séparer les échantillons, élève les grains qui ont resté collés sur les tamis.
- Des sacs, conservent les refus, de chaque tamis après tamisage.
- L'étiquetage, permet de séparer les sacs et connaître chaque refus selon le tamis.



Figure 21: une étuve

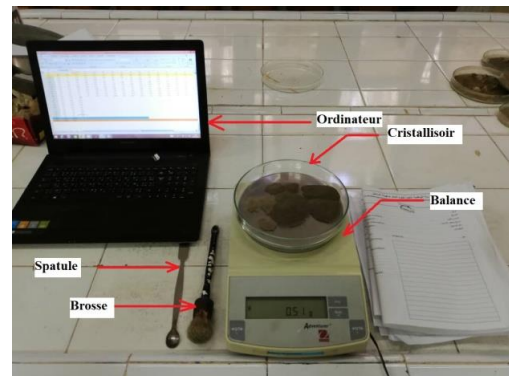
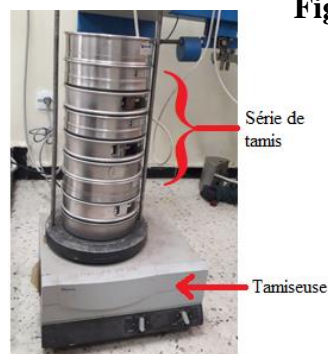


Figure 22: matériels utilisés dans le pesage

Figure 23: Une tamiseuse



L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage (Weydert, 1971 ; Rivière, 1977). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (Rivière, 1977).

L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) phases :

1. Une phase technique expérimentale

Cette phase conduit à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment. Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :

- Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Lavage de 150 g de sédiment séché à l'eau douce et séparation de la fraction pélitique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de 40 μm .
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux de pélite.
- Tamisage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension croissante.
- Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision.
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

2. Phase d'interprétation des résultats obtenus

Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :

- Traitement des résultats sous formes de fiches granulométriques.
- Représentations graphiques en courbes cumulative.
- Exploitation des résultats pour la répartition des cartes des différents indices et paramètres granulométriques.

Les résultats obtenus à partir de cette analyse sont lancés dans un script Matlab pour calculer les Paramètres de position, les indices granulométriques et afficher les courbes granulométriques (annexe C).

4 Classification des dépôts superficiels

Chaque type de dépôt peut être caractérisé, par sa teneur en pélites et en fraction grossière. L'analyse de la fraction grossière distingue les proportions granulométriques, qui permettent de comprendre la répartition spatiale des sédiments sont séparés comme suit :

Tableau 1: classification granulométrique des sédiments selon Falk, 1966 (Riviere,1977)

Class	Diamètre (μm)
Sables très grossiers	>2000
Sables grossiers	500 - 1000
Sables moyen	250 – 500
Sables fins	40 - 250

5 Calcul des paramètres granulométriques

La taille des particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumet aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (**Blott&Pye, 2001**). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (**Friedman, 1979 ; Bui et al.1990**). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont ceux précédemment cités, à savoir :

- La taille moyenne des sédiments.
- L'indice de tri (S_0).
- L'indice de symétrie de la distribution (Sk).

Les indices retenus dans le cadre de cette étude peuvent se diviser principalement en deux groupes : les indices « ponctuels » qui font appel au plus à 5 points de la courbe granulométrique et les indices « globaux », qui retiennent l'ensemble des données disponibles (**Pascal Galichon, 1984**).

I. **Les indices ponctuels** : Ce sont des indices les plus couramment employés. Ces indices se divisent en 04 familles :

Les indices granulométriques exprimés en unité (ϕ). L'échelle ϕ est une unité de mesure définie par la relation suivante :

$$\phi = \log_2(D) \text{ En mm} \quad (01)$$

Pour la suite $\phi_{i \ 1 < i < 100}$ représente la taille des grains en ϕ correspond à ($i\%$) du poids cumulé.

II. Les indices centraux

C'est de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments :

- Moyenne de FOLK et WARD :

$$(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \quad (02)$$

* Les différentes limites utilisées par FOLK 1954 sont les suivantes :

TM < -6 Galet

-6 < TM < -2 Granule

-2 < TM < -1 Sable très grossier

-1 < TM < 0 Sable grossier

0 < TM < 1 Sable moyen

1 < TM < 2 Sable fin

2 < TM < 3 Sable très fin

3 < TM < 3.98 Vase

III. Les indices de dispersion (indice de classement)

Ils donnent une idée de l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen. **FOLK et WARD :**

$$S_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16})/4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5)/6,6] \quad (03)$$

Les différents stades du triage utilisés par FOLK 1954 sont les suivantes :

TRI < 0.35	Très bien trié
0.4 < TRI < 0.5	Bien trié
0.5 < TRI < 0.7	Modérément bien trié
0.7 < TRI < 1	Modérément trié
1 < TRI < 2	Mal trié
2 < TRI < 4	Très mal trié
4 < TRI	Extrêmement mal trié

IV. Les indices d'asymétrie

Ils indiquent un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers. **FOLK et WARD :**

$$SKi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (04)$$

Les limites et la nomenclature utilisées sont les suivantes :

-1 < SKI < -0.3	Asymétrie très négative
-0.3 < SKI < -0.1	Asymétrie négative
-0.1 < SKI < 0.1	Asymétrie
0.1 < SKI < 0.3	Asymétrie positive
0.3 < SKI < 1	Asymétrie très positive

V. Analyse modale

La carte de répartition des modes apporte une précision des mélanges sédimentaires et leurs origines dans la zone ainsi que leurs modalités de mise en place.

5.1.1 Résultats et discussion

Les résultats du script Matlab sont projetés à l'aide de l'outil ArcGIS, par une interpolation de ces données, pour avoir des cartes de répartition spéciale des différents diamètres.

a) Courbes granulométriques

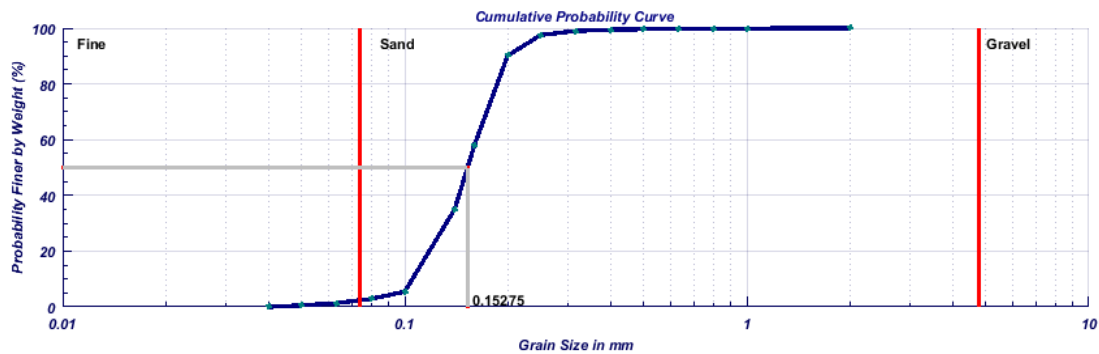


Figure 25: Courbe granulométrique de la station 48

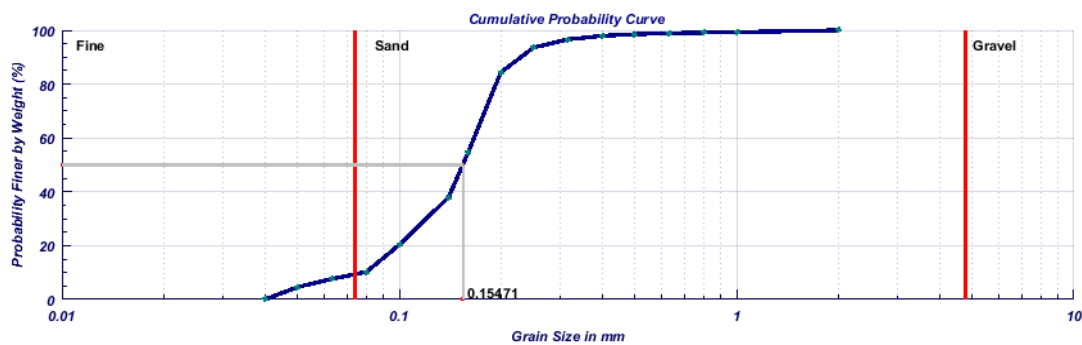


Figure 24: Courbe granulométrique de la station 08

Les courbes granulométriques semi-logarithmiques ci-dessus, représentent la taille des grains (mm) en fonction de leur pourcentage des refus (%) dans le site d'étude. D'après la courbe de la station 08 (à l'intérieur du bassin) et celle de la station 48 (à la passe d'entrée), on remarque que les courbes se ressemblent et indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire sableux homogène. (Voir figure 25,26)

b) Répartition spatiale de la fraction fine

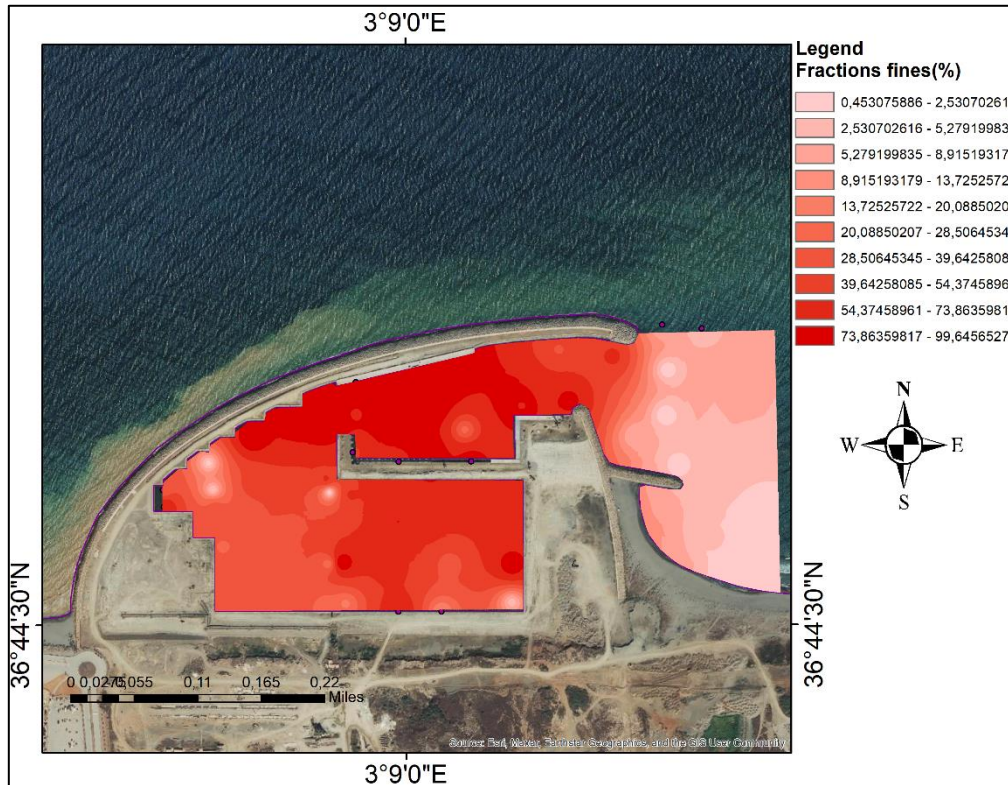


Figure 26: répartition spatiale des pélites dans la marina Bay d'Alger (< 40 μ m) (ArcGIS)

- **Interprétation de la carte de la répartition spatiale des pélites**

La carte représente la répartition spatiale des fractions fines selon les différents échantillons, dans le premier bassin de la marina les teneurs en pelites varient entre 53% et 73%. En revanche le centre de deuxième bassin les teneurs sont de l'ordre de 73% et montent jusqu'à 99%, à l'extérieur de la marina et près de l'épi, on trouve des teneurs supérieures à 73%. Cette distribution résulte du transit sédimentaire de l'Est vers l'Ouest et de l'agitation à l'intérieure de la marina. (Voir figure 26)

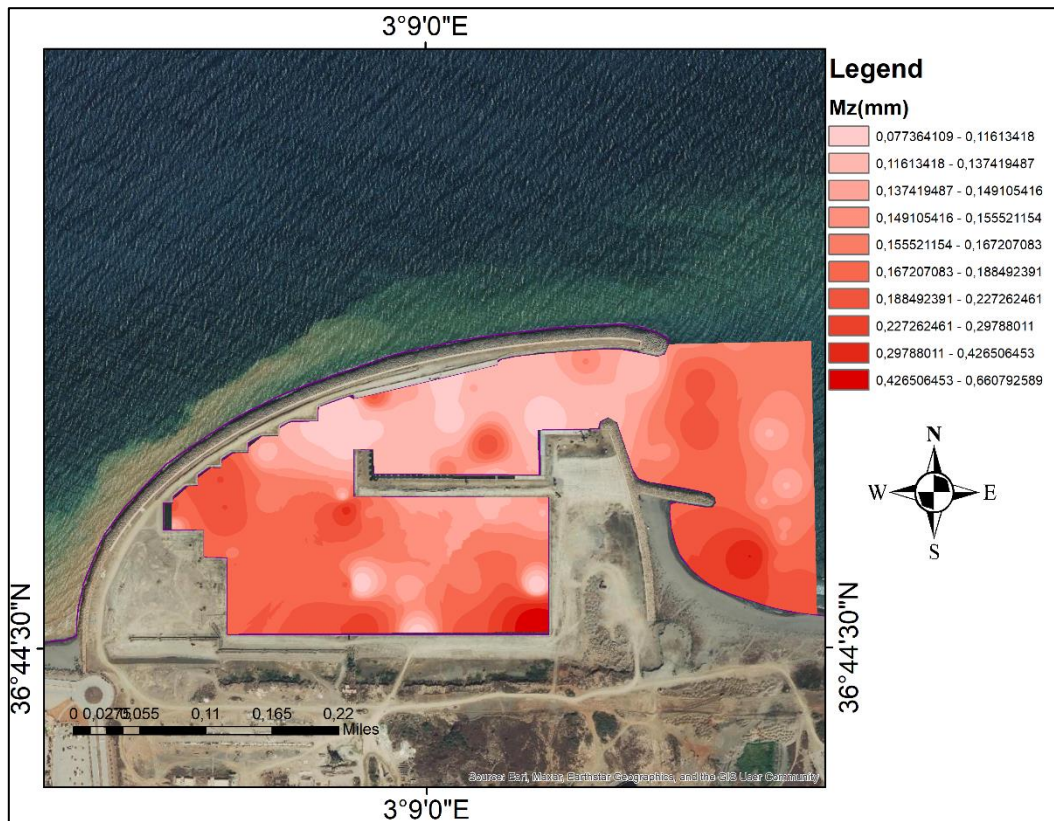


Figure 27: Répartition spatiale de la fraction grossière (ArcGIS)

- **Interprétation de la carte de la répartition spatiale de la fraction grossière**

La carte montre un régime granulométrique décroissant de la digue principale vers le centre de marina, les particules grossières (entre 0.29mm et 0.42mm) se localisent dans le centre à une profondeur de -1.5m. Au-delà de cette profondeur, les particules diminuent pour avoir un diamètre compris entre 0.11mm et 0.17mm. Les sables les plus fins sont localisés dans la passe d'entrée (entre 0.07mm et 0.11mm). Cette répartition répondue à la circulation des courants à l'intérieure de marina. **(Voir figure 27)**

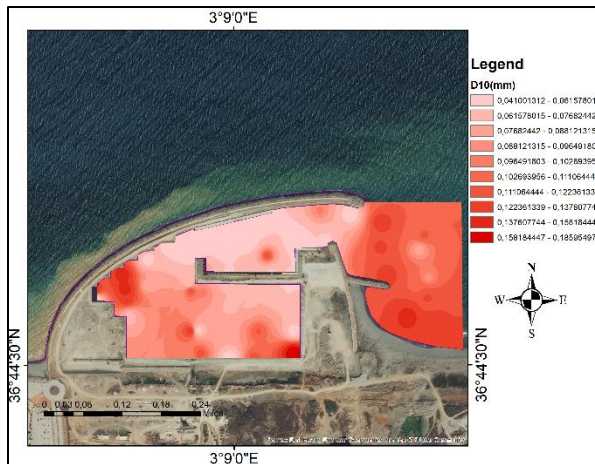


Figure 29: répartition spatiale de D10 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)

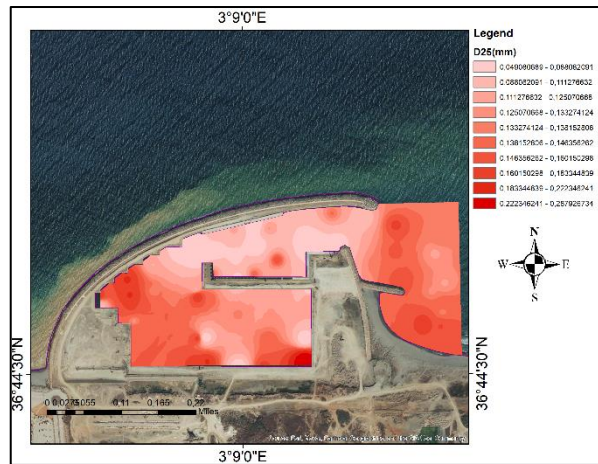


Figure 28: répartition spatiale de D25 dans la marina de la Baie d'Alger((ArcGIS)

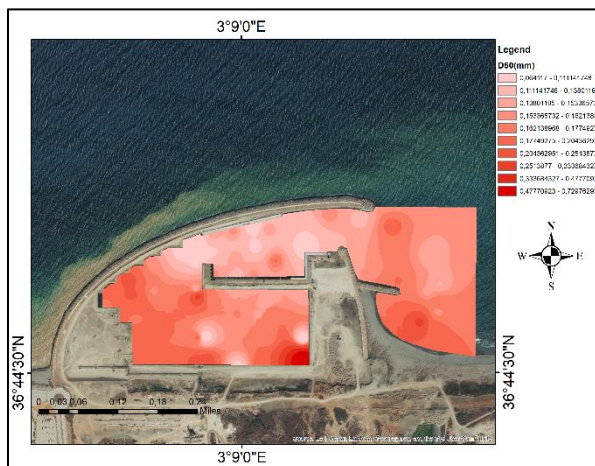


Figure 31: répartition spatiale de D50 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)

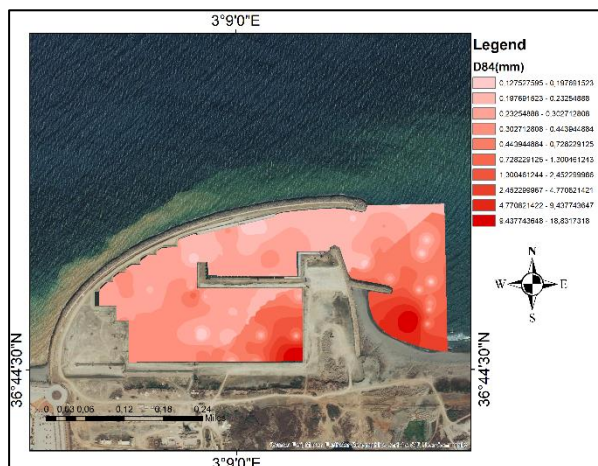


Figure 30: répartition spatiale de D84 dans la marina de la Baie d'Alger (ArcGIS)

Conclusion

La distribution spatiale des sédiments montre une distribution conforme au schéma classique Répartition des sédiments portuaires. L'étude de la partie sableuse a permis de définir sa répartition et ses différentes caractéristiques. La distribution granulométrique du diamètre moyen montre la dominance du sable fin (100 et 200 µm). L'analyse modale confirme cette distribution, montrant la dominance des stocks sédimentaires appartenant aux modes M1.

Chapitre IV : Traitement et recueil de données

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons développer les étapes de réalisation de l'étude hydrodynamique, en utilisant le modèle numérique Mike21, dans la zone Baie d'Alger et la marina Bay d'Alger. Discuter ses résultats pour mieux saisir le comportement hydrodynamique dans la baie d'Alger et la Marina Bay d'Alger.

1 Principe de modélisation

Le principe général et les étapes de la modélisation mises en œuvre pour étudier l'agitation dans la marina d'Alger sont :

- Détermination de conditions climatologiques représentatives.
- Estimation statistique des événements extrêmes de houle.
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Baie.
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Marina.
- Modélisation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire.

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 côtes et au voisinage des ouvrages, il est nécessaire de calculer au moyen d'un modèle numérique, la propagation et la génération des houles depuis le large, ou elles sont connues, jusqu'au littoral.

La première phase consiste en la détermination des caractéristiques de houle (hauteur, période et direction) au large de la baie d'Alger. Vu qu'il n'existe pas de données d'houlologue à proximité du site d'étude, cette phase préalable se base sur une modélisation à l'échelle de baie.

La deuxième phase vise à condenser la climatologie au large issue de la phase précédente en quelques conditions représentatives qui permettront de restituer les courants engendrés par la réfraction et le déferlement de la houle, le transport sédimentaire dans la zone d'étude.

La modélisation de la houle requiert un éventail de conditions climatologiques plus étalé que dans la deuxième phase : deux phases annexes ont donc été ajoutées aux phases précédentes :

- Détermination de conditions climatologiques statistiques.
- Modélisation de propagation de houle à l'échelle locale basée sur les conditions statistiques définies au préalable.

L'extension géographique des différents modèles utilisés au cours des phases de modélisation de cette étude sera fournie dans les sections suivantes.

Il faut noter que l'état de mer est souvent considéré comme stationnaire dans la modélisation. Dans des bassins de taille importante, un vent local peut amener en plus un clapot non négligeable. (CEREMA 2018).

2 Origine de la donnée :

La base de données IOWAGA (Integrated Océan Waves for Geophysical and other Applications), développée par l'IFREMER et financé par la Commission européenne, par le

biais d'un "Young Investigator Award" du Conseil européen de la recherche (ERC).
<https://sextant.ifremer.fr/>

Le modèle IOWAGA est basé sur une approche multi-échelles, combinant plusieurs modèles hauturiers et une série d'emprise côtières.

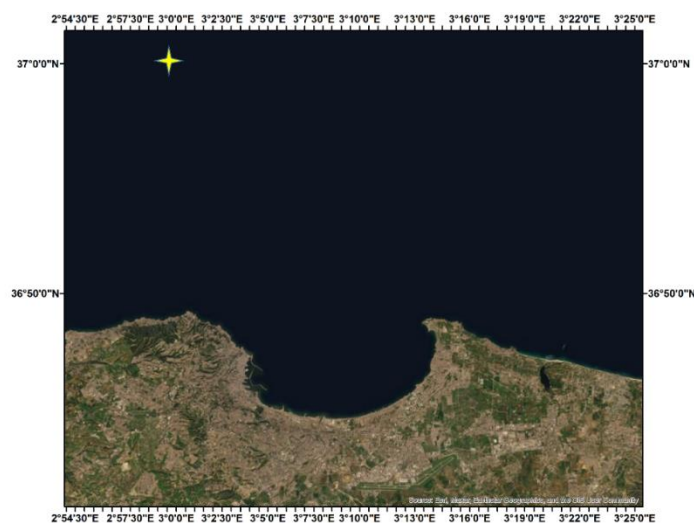
Elle correspond à un modèle d'états de mer à grande emprise, utilisant pour les forçages météorologiques des données de modèles globaux. La série temporelle utilisée est celle de début 1990 à fin 2019, soit 29 années de données. Les données disponibles sont la hauteur significative (Hs), la période (Tp) et la direction principale (Dp) la fréquence, l'intensité du vent et la direction du vent avec un pas de temps de 3h. (**Voir figure 32**)

La résolution de la grille est de $0,5^\circ$ (~50 km).

1	date	Hs	Fp	Dp	ALL.tabwnd_I	ALL.tabwnd_D
2	'01-Jan-1990 00:00:00'	0.930000044172630	0.139000006602146	59	3.96610646210998	326.309932474020
3	'01-Jan-1990 03:00:00'	1.03800004930235	0.142000006744638	57	6.58559042854373	318.077455399424
4	'01-Jan-1990 06:00:00'	1.07000005082227	0.184000008739531	1	4.71699063631694	327.994616791917
5	'01-Jan-1990 09:00:00'	1.00600004778244	0.186000008834526	360	2.64007579582901	335.376435213836
6	'01-Jan-1990 12:00:00'	0.926000043982640	0.188000008929521	3	4.51220573630850	282.804266065287
7	'01-Jan-1990 15:00:00'	0.870000041322783	0.133000006317161	66	4.93659809244004	276.981057406830
8	'01-Jan-1990 18:00:00'	0.808000038377941	0.132000006269664	65	3.50570968083077	266.729512076816
9	'01-Jan-1990 21:00:00'	0.740000035148114	0.133000006317161	65	3.80131561839366	243.434948822922
10	'02-Jan-1990 00:00:00'	0.686000032583252	0.134000006364658	66	4.75394580044120	247.750976342788
11	'02-Jan-1990 03:00:00'	0.682000032393262	0.142000006744638	60	5.36003739317374	261.416378519886
12	'02-Jan-1990 06:00:00'	0.674000032013282	0.145000006887130	63	4.25440954063217	246.447736327105
13	'02-Jan-1990 09:00:00'	0.616000029258430	0.146000006934628	65	4.65295611898719	241.782644145271
14	'02-Jan-1990 12:00:00'	0.608000028878450	0.148000007029623	67	6.16846829723379	250.096250462692
15	'02-Jan-1990 15:00:00'	0.724000034388155	0.273000012966804	270	7.20277734947739	268.408859728805
16	'02-Jan-1990 18:00:00'	0.800000037997961	0.244000011589378	270	6.60000009834766	270
17	'02-Jan-1990 21:00:00'	0.702000033343211	0.231000010971911	269	4.03112893421778	246.614778942786
18	'03-Jan-1990 00:00:00'	0.608000028878450	0.230000010924414	269	4.96789701337712	220.100907546212

Figure 32 Base de données IOWAGA 37°N 3°E

La position du point d'extraction, il s'agit du point 37° N 3°E, il a été choisi de manière à être le plus proche aux limites du modèle mise en place pour la propagation. (**Voir figure 33**)



**Figure 33 : point d'extraction IOWAGA au large
(Google Earth Pro)**

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

La distribution des hauteurs significatives au large sont extraites à partir de la base de données IWAGA utilisant d'un script Matlab, ainsi que la distribution de la période de pique et la direction des houles par rapport au temps et sont représentées sous forme de spectres et corrélogrammes (figures 34 jusqu'à 41).

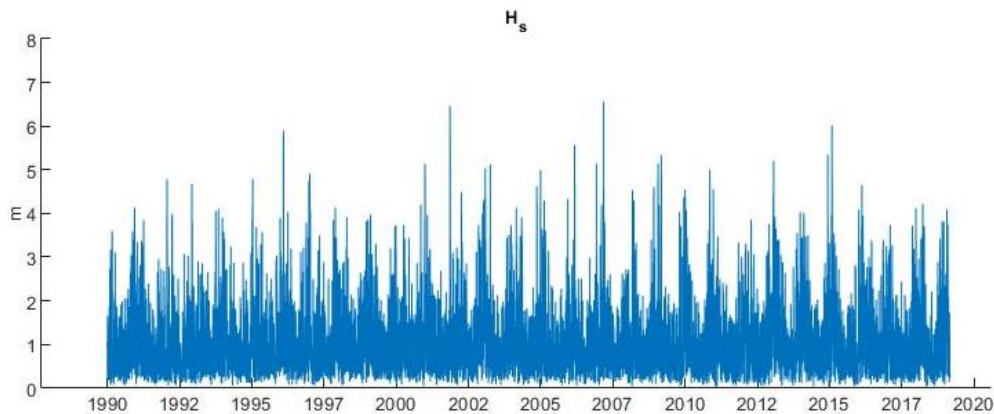


Figure 34 : La distribution des amplitudes de houle en fonction du temps (1992-2019)

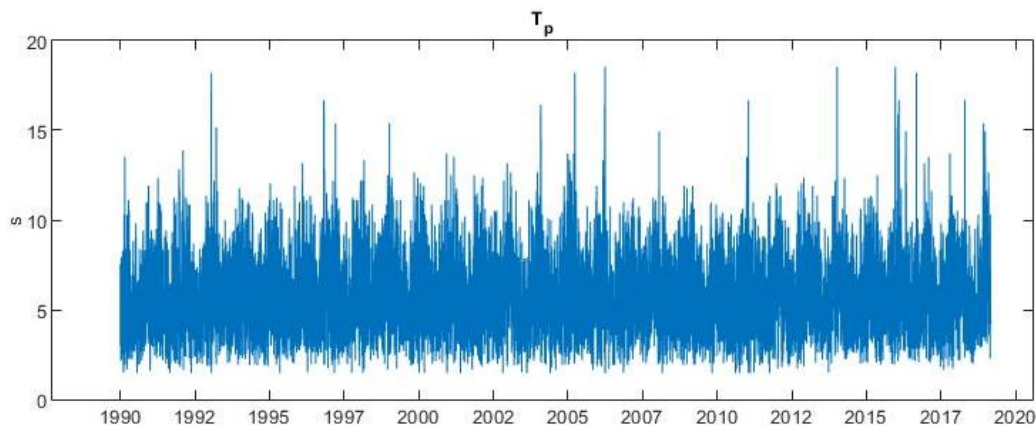


Figure 35: La distribution des périodes de pics de houles en fonction du temps (1992-2019)

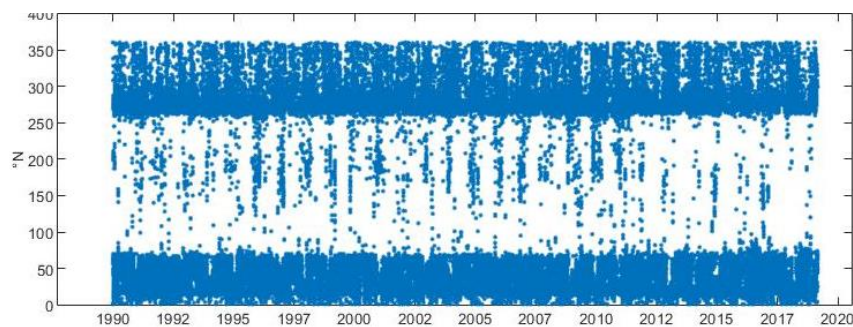


Figure 36: La distribution des directions des houles en fonction du temps (1992-2019)

Figure 37: corrélogramme de vitesse de vent /Direction de vent pour le point IOWAGA : 37°N-3°E

Wind speed (m/s)

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

Direction (°N)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	180-190	190-200	200-210	210-220	220-230	230-240	240-250	250-260	260-270	270-280	280-290	290-300	300-310	310-320	320-330	330-340	340-350	Total		
≥18	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28		
16-18	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	18	22	20	18	8	5	0	6	3	0	0	108
14-16	4	2	1	2	4	3	14	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	24	85	119	69	34	18	11	10	10	3	4	1	3	429
12-14	6	12	6	4	8	21	50	15	9	2	2	1	1	0	0	0	2	6	5	1	1	2	17	132	315	266	200	112	53	39	20	28	19	3	3	10	1370	
10-12	16	27	19	19	25	129	243	149	60	17	4	4	0	2	0	3	13	23	25	5	6	15	54	235	840	604	556	343	269	82	72	44	75	12	17	4023		
8-10	32	36	46	59	121	489	666	562	313	115	39	18	13	10	14	27	38	82	71	34	41	76	326	644	735	759	727	494	238	204	97	177	109	38	41	80	7390	
6-8	128	84	117	276	507	928	1029	1120	844	577	222	136	72	58	72	94	120	150	274	144	213	243	670	860	1016	1439	956	860	429	304	234	233	151	143	76	121	14620	
4-6	223	255	371	507	687	889	1131	1383	1291	1179	837	507	331	312	261	230	286	408	434	391	601	936	736	840	942	982	958	808	695	450	438	348	289	238	199	192	21545	
2-4	366	353	488	431	547	651	678	674	767	1027	877	629	568	551	659	537	655	498	861	588	697	754	591	733	815	701	665	679	617	442	451	442	379	326	423	275	21875	
0-2	206	180	201	173	221	181	232	250	146	252	200	176	210	310	215	206	262	238	238	294	179	247	221	161	223	258	102	229	165	137	156	149	154	148	195	109	7324	
Total	1002	949	1249	1471	2121	3292	4044	4356	3452	3171	2181	1671	1215	1243	1221	1097	1376	1405	1606	1457	1738	2274	2618	3633	4930	5174	4279	3561	2492	1675	1480	1437	1165	912	956	807	79112	

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

>=18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10
16-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	23	
14-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	46	
12-14	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	110	0	0	0	0	1	195	
10-12	19	1392	32	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	63	0	1	3	4	7	1580	
8-10	484	5445	357	148	236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	937	615	55	52	75	145	118	6667	
6-8	1492	6899	1984	1477	1477	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5043	4895	916	580	559	819	661	26811	
4-6	678	3271	4671	9105	4294	55	6	8	8	15	35	73	89	41	16	18	44	2625	5571	2377	1006	623	515	504	36048
2-4	146	435	1547	3966	1245	144	44	38	52	97	123	200	279	188	144	103	145	335	891	625	365	145	100	98	11655
0-2	8	12	11	17	8	9	8	6	10	6	10	5	4	7	9	7	7	3	3	5	3	4	2	9	173
Total	3027	17528	8802	14714	7270	208	58	52	70	118	168	278	372	236	169	128	205	9001	12227	4178	2007	1409	1585	1398	85208
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180	180-195	195-210	210-225	225-240	240-255	255-270	270-285	285-300	300-315	315-330	330-345	>=345	Total

Figure 40: corrélogramme Dp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N-3°E

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

>=345	295	437	284	187	107	34	24	16	9	5	1398
330-345	289	414	327	249	161	84	32	22	5	2	1585
315-330	307	422	288	188	96	53	33	15	4	3	1409
300-315	539	667	349	227	118	61	31	9	3	3	2007
285-300	1135	1477	831	396	193	96	36	11	1	2	4178
270-285	1931	3819	3162	1889	763	354	203	68	25	13	12227
255-270	1620	2622	1735	1253	718	440	219	134	37	23	9001
240-255	83	86	15	13	6	1	1	0	0	0	205
225-240	81	43	4	0	0	0	0	0	0	0	128
210-225	94	67	8	0	0	0	0	0	0	0	169
195-210	121	102	12	1	0	0	0	0	0	0	236
180-195	128	201	43	2	0	0	0	0	0	0	372
165-180	99	132	46	1	0	0	0	0	0	0	278
150-165	74	78	15	1	0	0	0	0	0	0	168
135-150	54	57	7	0	0	0	0	0	0	0	118
120-135	45	25	0	0	0	0	0	0	0	0	70
105-120	35	15	2	0	0	0	0	0	0	0	52
90-105	43	15	0	0	0	0	0	0	0	0	58
75-90	131	62	15	0	0	0	0	0	0	0	208
60-75	4052	2514	551	114	29	6	4	0	0	0	7270
45-60	5311	6845	1986	458	87	19	7	1	0	0	14714
30-45	2691	3962	1594	429	83	31	9	3	0	0	8802
15-30	4087	7013	3641	1618	696	289	105	40	19	20	17528
0-15	1048	1062	441	210	129	74	34	18	5	6	3027
Total	24491	32137	15356	7236	3186	1542	738	337	108	77	85208
	0-0.5	0.5- 1	1-1.5	1.5- 2	2-2.5	2.5- 3	3-3.5	3.5- 4	4-4.5	>=4.5	Total

Figure 41: corrélogramme Dp/Hs pour le point IOWAGA : 37°N-3°E

3 Analyse statistique des événements extrêmes de la houle de la cote algéroise (toute direction confondue)

3.1 Méthode des valeurs au-dessus du seuil POT

Il faut souligner qu'avant, les méthodes basées sur l'utilisation des valeurs maximales au-dessus d'un certain seuil, la méthode POT (l'approche Peaks Over Threshold) est devenue courante dans les analyses de données de vagues, des méthodes qui ont été souvent utilisées pour obtenir des estimations de la valeur de retour était l'approche de la distribution initiale (ID), ou en utilisant la valeur maximale par an dans l'approche Maximale annuelle (AM).

Le processus d'échantillonnage dans le modèle AM élimine une grande partie des données des séries chronologiques de débit enregistrées. Par exemple, pour une base de 50 ans d'enregistrement de données de houle, le modèle AM ne considère que 50 éléments pour la modélisation, chacun étant les données les plus élevées en une seule année. Plusieurs études notent que le modèle AM entraîne une perte d'informations utiles.

En revanche, La méthode de la distribution initiale utilise des valeurs qui sont statistiquement dépendants et rapprochées, contrairement à la méthode des maximales annuelles et la méthode Peak Over Threshold qui utilisent des valeurs (généralement) très éloignées du temps.

Pour notre cas d'étude, on va extraire et étudier les conditions nominales extrêmes par la méthode POT sur les séries temporelles de données de la houle au point d'extraction IOWAGA mentionné, et analyser les périodes de retours ou de récurrence (désigne l'intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé par le dépassement d'une valeur particulière pour une variable aléatoire unique), (<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/>) selon la distribution asymptotique Distribution des Pareto Généralisée ou (GPD).

La méthode Peak Over Threshold consiste à extraire les valeurs du Peak au-dessus d'un certain seuil, le modèle POT présente également l'avantage de la flexibilité du processus d'échantillonnage, c'est-à-dire que, selon le but de l'analyse, le modèle POT peut extraire le nombre souhaité de points de données en ajustant le niveau de seuil.

Une complication connexe, est le choix du seuil, le choix d'un seuil trop bas peut violer la base asymptotique du modèle, et un seuil trop élevé donnera moins d'excès pour estimer le modèle. Voir figure

Plusieurs méthodes ont été proposées pour sélectionner le seuil, qui comprend des méthodes graphiques, (par exemple, le graphique de la durée de vie résiduelle moyenne) et le graphique de stabilité de forme de la distribution GPD. Ces méthodes supposent que pour tous les seuils, au-dessus d'un niveau bien choisi, il en résulte un paramètre de forme stable de la distribution GPD.

Pour le type de données qui nous intéresse dans ce rapport, le diagnostic graphique utilisé pour sélectionner un seuil approprié est le graphe du QQ, PP et le graphique du niveau de retour.

Il convient de noter qu'un seuil unique pour l'approche POT-GPD pourrait ne pas convenir à toutes les situations, donc il faut guider la sélection de seuil, par rapport aux données sur le secteur directionnel choisi pour arriver à un affinement qui représente les conditions réelles de projet.

Les échantillons utilisés dans la méthode POT doivent être tirés de la série chronologique d'origine, afin que les données puissent être modélisées comme des observations indépendantes, ce qui se fait par un processus de séparation, où seules les observations les plus élevées du groupe de dépassement pour un seuil spécifié sont conservées, où seulement En un sens, ceux qui sont suffisamment éloignés les uns des autres, pour lesquels on considère que les maximums de clusters espacés de 48 heures appartiennent au même cluster, ce qui correspond à la durée maximale de la tempête de données. (Clémence FAUVE, 1989)

3.2 La loi GPD (Generalized Pareto distribution)

Soit H_s une variable aléatoire réelle (hauteurs significative) de fonction de répartition F , \hat{H} le seuil fixé et $Y = H_s - \hat{H}$. Sous condition que $H_s > \hat{H}$ (Y représentant ici la variable aléatoire de dépassement du seuil \hat{H}). (Pickands, 1975) a démontré que lorsque \hat{H} approche le point terminal de l'échantillon (valeur finie ou infinie dont la probabilité de dépassement est nulle). La loi des dépassements de u peut être approchée par la distribution généralisée de Pareto (GPD) (Hamm, 2010) donnée par :

$$F(y) = 1 - (1 + k y \alpha)^{-1/k} : 0 < y < \infty \quad (5)$$

- k et α représente les paramètres de forme et d'échelle de l'échantillon.

La réalisation de la méthode POT et GPD ont été faites par la création d'un script sur le langage python, en basant sur les bibliothèques pandas, numpy et pyextremes (voir annexe B). Il nécessite comme « input », la série chronologique du point d'extraction IOWAGA, la hauteur significative.

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

- Les échantillons POT des maxima de tempête sont collectés à partir de la série chronologique originale en utilisant différents seuils
- Pour chaque échantillon POT les paramètres GPD et leurs incertitudes sont estimés

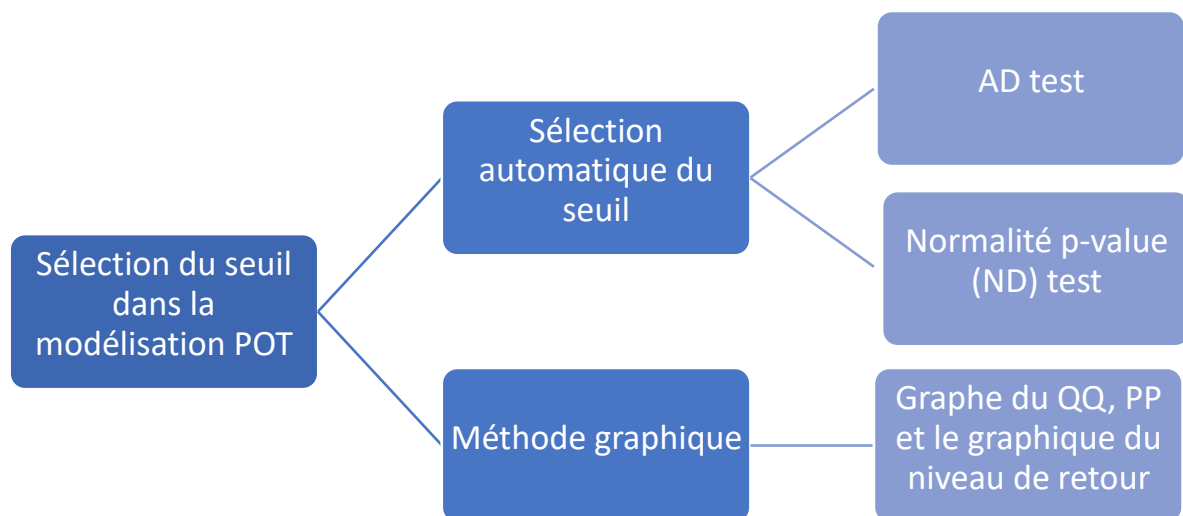
Sur la base de la variation des estimations des paramétrisations avec le seuil, le seuil optimal pour chaque direction a été sélectionné pour cette étude en basant sur la méthode graphique ci-dessous. (Voir tableau 02, figure 42)

Les résultats du traitement statistique POT pour chaque direction selon le seuil choisi sont représentées sur les figures 45 à 51.

Tableau 2: seuil proposé pour chaque direction

Direction	Nord-Nord-Est	Nord-Est	Est-Nord-Est	Ouest-Nord-Ouest	Nord-Ouest	Nord-Nord-Ouest	Nord
Seuil proposé	2.9	2.7	1.8	1.8	2.9	2.5	2.7

- En fixant le seuil, les estimations des valeurs de retours seront estimées

**Figure 42: Méthodes de sélection de seuil dans la modélisation POT**

La figure 43 montre le traitement statistique effectué avec un seuil surestimé de 4.5, on remarque que le modèle a gardé peu de valeurs ce qui donnera moins d'excès pour estimer le modèle, les graphes de QQ, PP, le graphique du niveau de retour ne sont pas ajustés et dépasse la ligne de confiance, le $R^2=0.989$ (R^2 ajusté est une mesure corrigée de l'exactitude de modèles linéaires. Elle identifie le pourcentage de variance du champ cible expliqué par une ou plusieurs entrées). La valeur 1 indique un modèle qui prévoit parfaitement les valeurs du champ cible. Une valeur inférieure ou égale à 0 indique un modèle qui n'a pas de valeur prédictive. Dans le réel, la valeur R^2 ajusté se situe entre ces valeurs.

En revanche la figure 44 montre le traitement statistique effectué avec un seuil optimal de 3, on remarque que la distribution est ajustée le graphe du retour ne présente pas d'anomalies et le R^2 est plus proche de la valeur 1

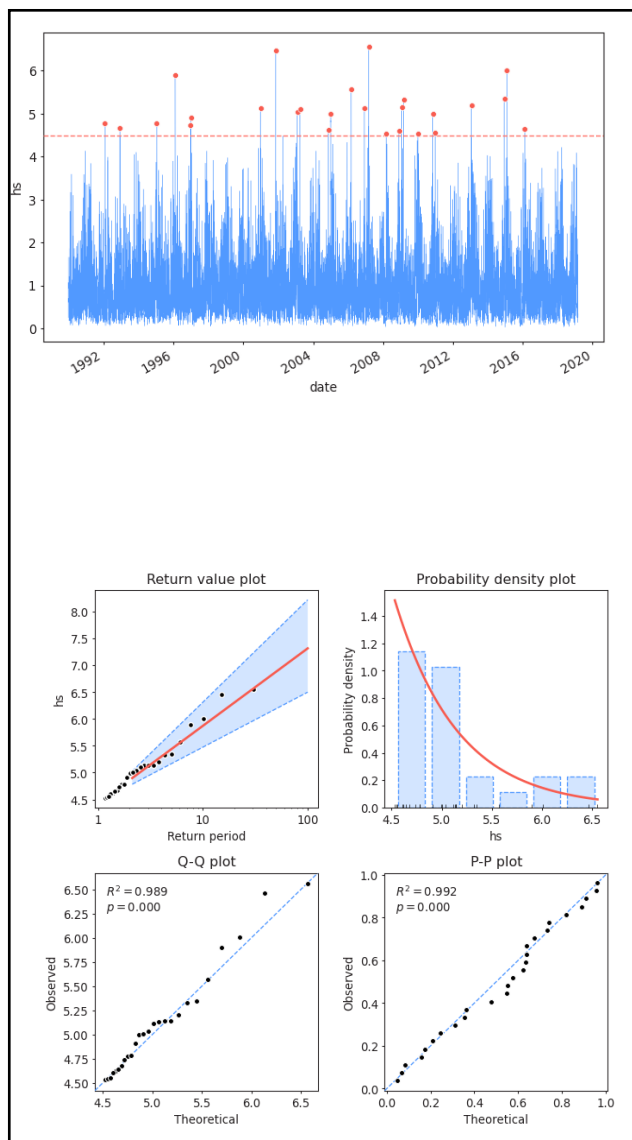


Figure 44: Traitement POT avec un seuil surestimé = 4.5m

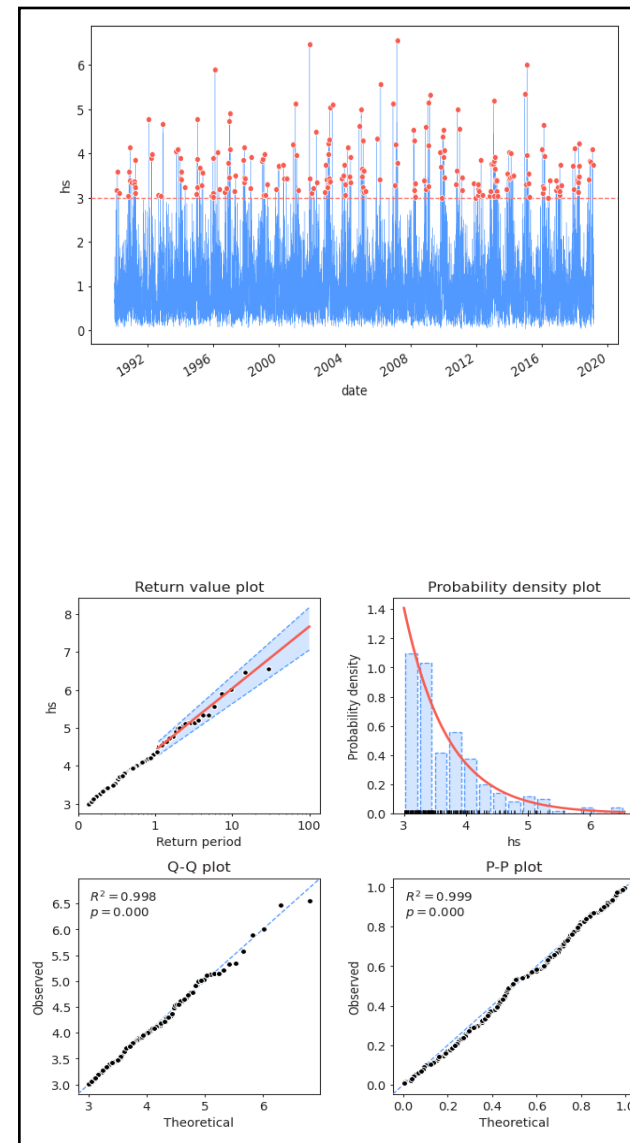


Figure 43: Traitement POT avec un seuil optimale = 3m

3.3 Interprétation des résultats

- **La figure 44** présente le spectre des houles pour toutes les directions et durant la période de 1990 à 2019.
Les hauteurs significatives oscillent entre des valeurs supérieures à 0m et inférieure ou égale 6.7m. Le seuil défini pour ce spectre est de 3m, au-delà ce sont des valeurs extrêmes des houles.
- Le Cas du secteur Nord-Est (**figure 45**) montre des hauteurs significatives atteint 6.3m avec un seuil de 2.8m.
- Vers la fin nous avons les courbes semi-logarithmiques (hauteurs significatives en fonction de la période de retour) représentent juste les valeurs au-dessus de la ligne de seuil (donc juste les valeurs du pic) les périodes des retours sont d'une année jusqu'à centennal (toute direction confondue de 0° à 337.5°).
- Pour le secteur omnidirectionnel, la hauteur significative est variée entre 3 <Hs< 6,5 m.
Figure 44.
- Pour chaque direction la courbe semi-logarithmique, qui présente les valeurs de l'amplitude de la houle en fonction de chaque période de récurrence. Ces valeurs varient selon le comportement de la houle enregistré sur la période de 1990 jusqu'à 2019
- Le résultat de ce traitement statistique va nous donner les conditions de projet à simuler selon la direction la plus pénalisante.

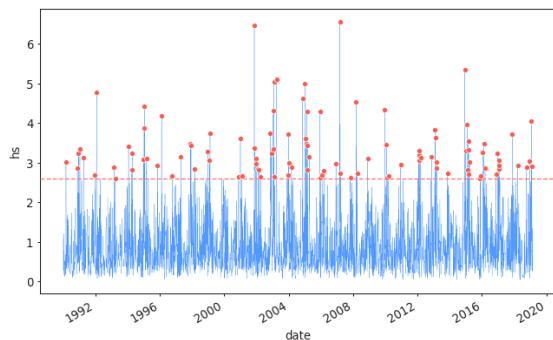


Figure 51: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur NNE 0-45°

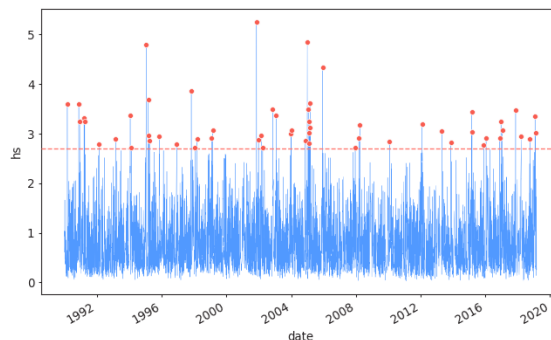


Figure 45: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 22.5-67° NE

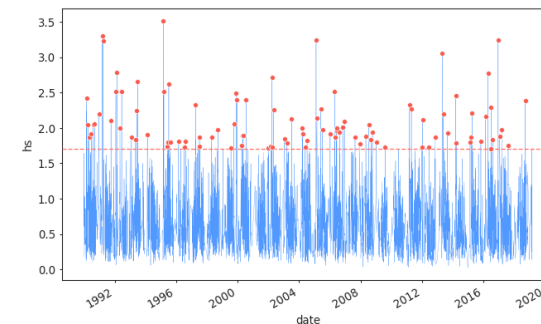


Figure 50: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 45-90° ENE

Figure 47: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 315-360° NNW

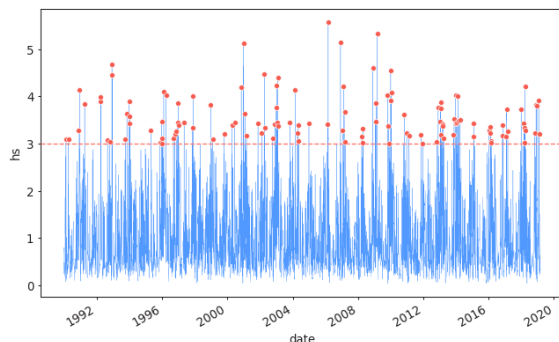
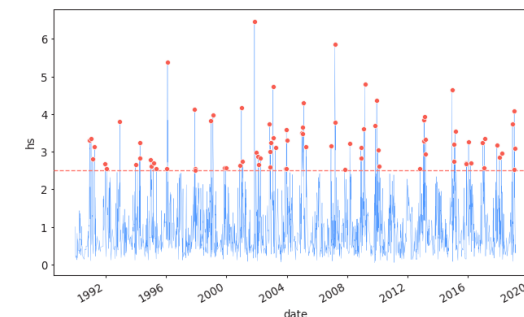


Figure 49 : les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 270-315° WNW

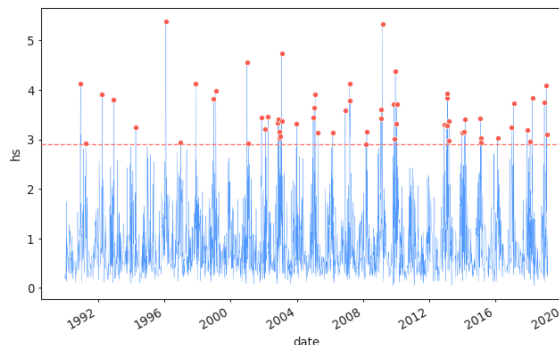


Figure 48: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 292.5-337.5 SNW

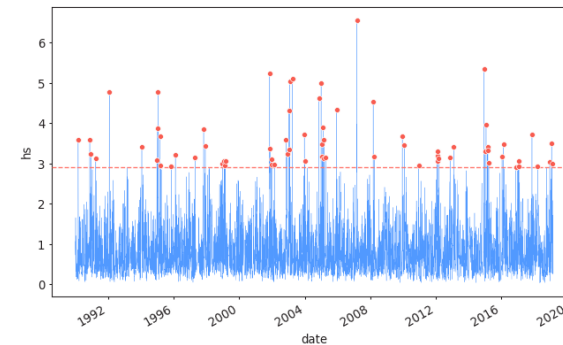


Figure 46: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur 337.5-22.5° N

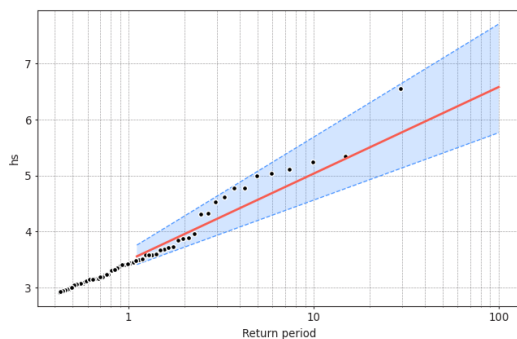


Figure 58: Ajustement par la loi GPD secteur 0-45° NNE

Figure

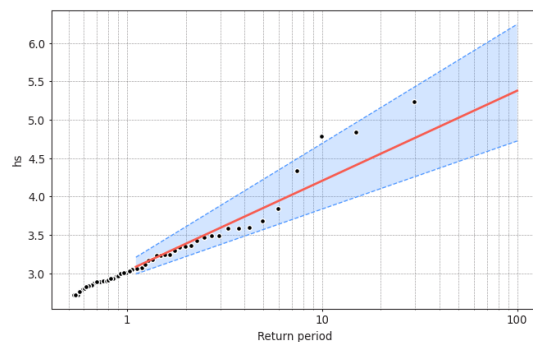


Figure 59 : Ajustement par la loi GPD secteur 22.5-67° NE

56:

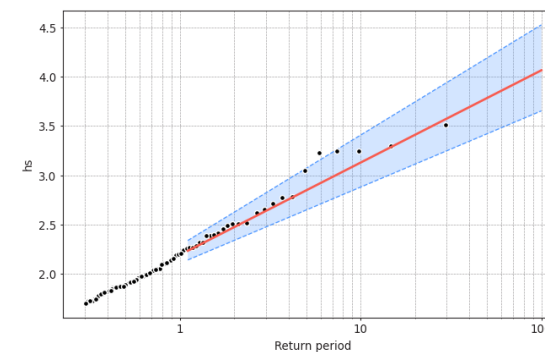


Figure 57: Ajustement par la loi GPD secteur 45-90°

Figure 52: Ajustement par la loi GPD secteur 315-360° NNE

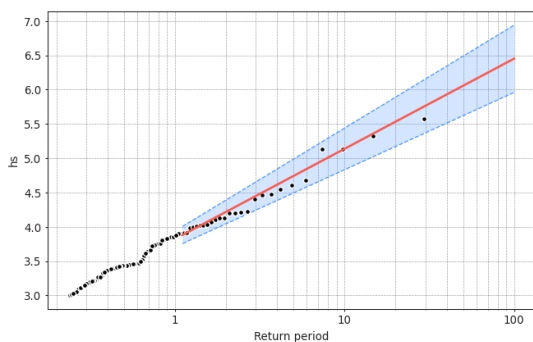
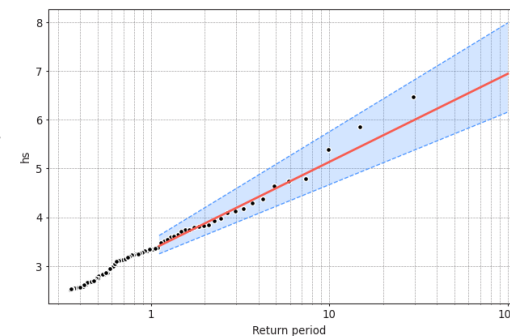


Figure 55: Ajustement par la loi GPD secteur 270-315

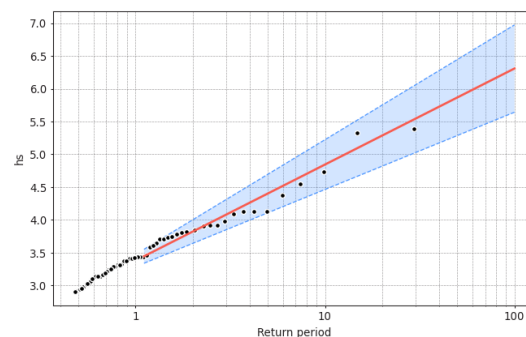


Figure 54: Ajustement par la loi GPD secteur 292.5-337.5 NW

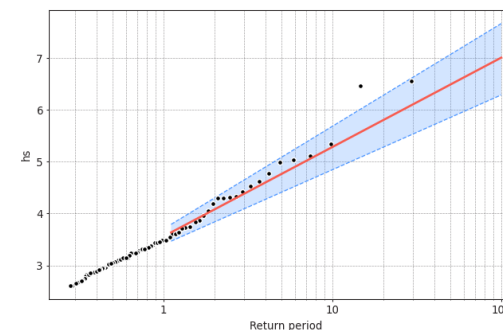


Figure 53: Ajustement par la loi GPD secteur 337.5-22.5° N

4 Analyse statistique des évènements extrêmes du vent de la cote algéroise (toute direction confondue)

Une analyse statistique a été réalisée spécifiquement pour le secteur d'incidence Nord-Nord-Est 30°, une direction qui affecte directement l'ouvrage et cause une agitation à l'intérieur de la marina plus importante.

Une analyse statistique des tempêtes ensuite a été réalisée, afin d'évaluer les caractéristiques des vents extrêmes pour différentes périodes de retour à partir notamment de lois d'interpolation. Les résultats de cette analyse des extrêmes et les périodes de retour sont présentés dans le tableau suivant (**Voir tableau 03**)

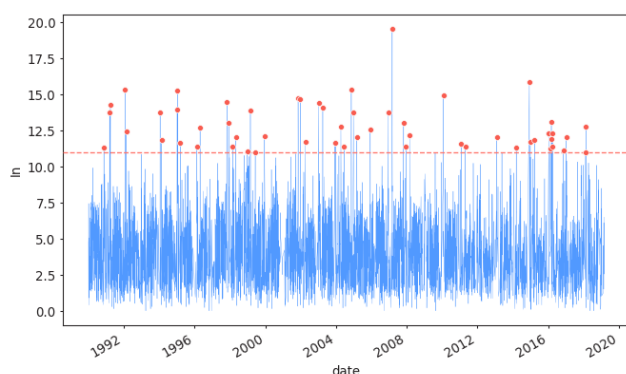


Figure 61: Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes

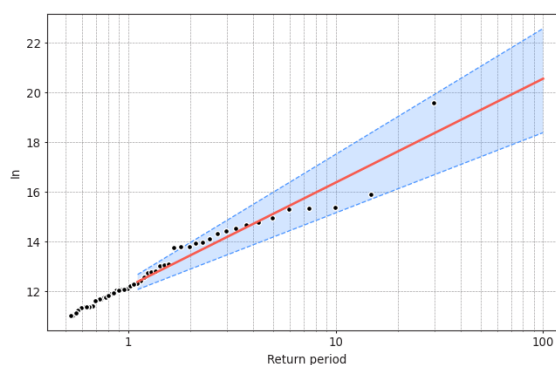


Figure 60: Ajustement par la loi GEV

Tableau 3: Tableau de scénario des périodes de retour du vent extrême

Périodes de retour	1an	5ans	10ans	20ans	30ans	50ans	100ans
Vitesse du vent (m/s)	12.18	15.10	16.36	17.62	18.36	19.29	20.55
Niveau d'eau (m)	1	1.20	1.30	1.52	1.52	1.58	1.65
Hauteur significative(m)	3,48	4,56	5 ,03	5,49	5,77	6,11	6,58

5 Méthode de k clustering k-means

En basant sur cette distribution, on peut ressortir les conditions de projet les plus fréquentes par un affinement directionnel et connaître la norme de la distribution et ses anomalies.

K-means est un algorithme non supervisé de clustering non hiérarchique. Il permet de regrouper en K clusters distincts les observations du data set. Ainsi les données similaires se retrouveront dans un même cluster. Par ailleurs, une observation ne peut se retrouver que dans un cluster à la fois (exclusivité d'appartenance). Une même observation, ne pourra donc, appartenir à deux clusters différents. (<https://mrmint.fr/algorithme-k-means>)

Les avantages de cette méthode ce sont la Scalabilité ou la Capacité à traiter les très grandes bases, et la complexité linéaire par rapport au nombre d'observations (pas de calcul des distances deux à deux des individus, cf. CAH).

5.1 Degré de similarité

Pour pouvoir regrouper les ensembles de données en K clusters distincts, l'algorithme K-Means a besoin d'un moyen de comparer la similarité des différentes observations. Par conséquent, deux données similaires auront une distance de dissimilarité réduite et deux objets différents auront une distance de séparation plus grande.

5.2 Choix de K cluster

Choisir plusieurs clusters K n'est pas forcément intuitif. Surtout lorsque l'ensemble de données est volumineux et que nous n'avons pas d'antécédents ni d'hypothèses sur les données. Un K plus grand peut entraîner des partitions de données trop fragmentées. Cela empêchera la découverte des patterns intéressants dans les données. D'un autre côté, avoir trop peu de clusters peut rendre les clusters contenant de grandes quantités de données trop généraux. Dans ce cas, il n'y aura pas de patterns "fins" à découvrir.

Toutes fois on peut déduire le nombre de cluster idéal pour notre distribution à l'aide de graphe de coude, On définit cette dernière comme ceci : la somme des distances euclidiennes entre chaque point et son centroïde associé. Evidemment plus on fixe un nombre initial de clusters élevés et plus on réduit l'inertie : les points ont plus de chance d'être à côté d'un centroïde. (<https://datascientest.com/>)

Pour notre cas d'étude la méthode de la distribution kmeans été faites par la création d'un script sur le langage python en basant sur les bibliothèques pandas, numpy avec les visualiser jupyter sur anaconda.

5.3 Interprétation de la distribution des données

Les groupes finaux des données Hs, Dp et Tp sous 2 clusters (**figure 64**) sont homogènes, logiques et ne représentent pas d'anomalies.

La figure 62 représente la distribution des amplitudes de la houle en fonction de la période de la houle, sur toute la série chronologique extraite du point IOWAGA mentionnée. On remarque que les houles aillant une amplitude de 5m a 7m ont une période moyenne de 10sec.

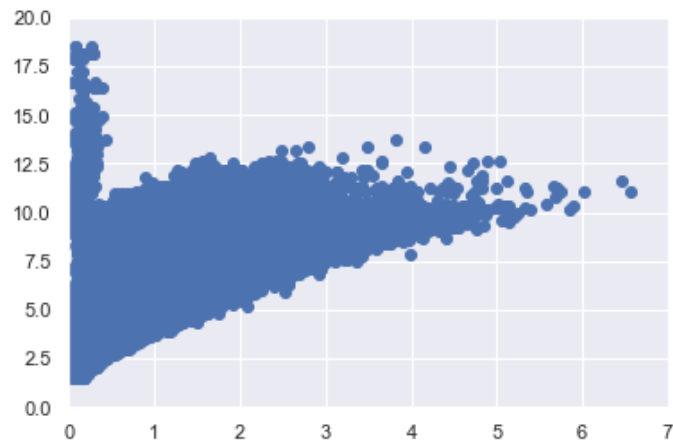


Figure 62: Distribution Hs/Tp

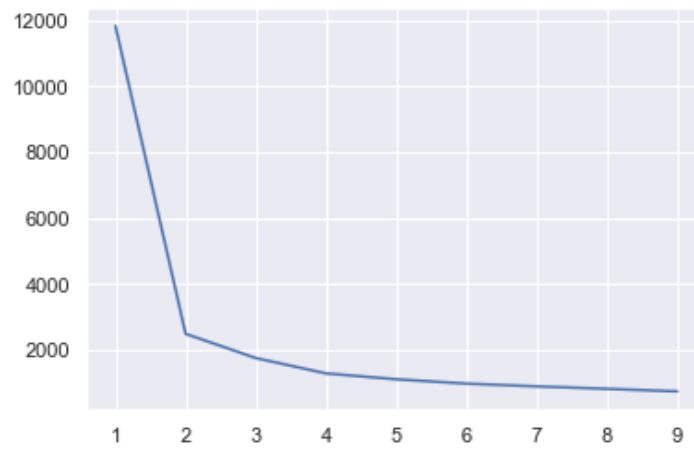


Figure 63: Graphe de coude

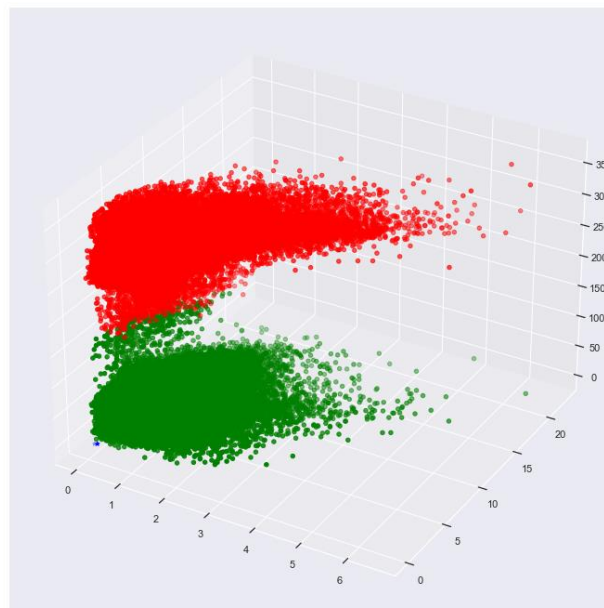


Figure 64: distribution 3D des deux clusters de données

Chapitre V : Modélisation de la propagation de la houle

1 Modélisation de la propagation des houles

1.1 Objectif de la modélisation numérique

L'objectif des modélisations numériques de propagation est de déterminer précisément les houles incidentes au pied de la digue actuelle. Pour cela les houles sont calculées depuis le large (grandes profondeurs) jusqu'en pied d'ouvrage (profondeurs de quelques mètres) grâce au logiciel MIKE21.

Cette étude s'articule autour de trois parties complémentaires :

- En premier lieu les données nécessaires pour la simulation ont été récoltées, en plus d'une étude bathymétrique, qui est une étape basique pour parvenir à une modélisation du fonctionnement hydrodynamique.
- En deuxième lieu une détermination de module intégré dans un système de modélisation Mike21 (SW) a été faite, en fonction de nos besoins dans l'objectif d'avoir un aperçu hydrodynamique de la zone.
- Au finale on présente et interprète les résultats issus de la simulation sous le Mike21.

1.2 Description des codes de calcul

Dans le cadre de cette étude on a utilisé le modèle MIKE21-DHI, est un modèle numérique professionnel de simulation de courants, vagues, transport solide et qualité de l'eau dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières au large et qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier.

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

1.3 Collecte de données bathymétriques

La cartographie de la bathymétrie de notre zone d'étude est une phase très importante, elle permet de visualiser l'état d'évolution de la morphologie des fonds marins en suite estimer le déficit sédimentaire de la zone.

Nous avons utilisé une base de données bathymétrique composée de quatre couches de données, une de la baie d'Alger a l'aide de données bathymétriques de NAVIONICS disponible sur le site web <https://webapp.navionics.com> , digitalisées avec Arc GIS 10.4 avec la bathymétrie à l'extérieure du bassin de la marina et une autre à l'intérieur de la marina (23 Aout 2020).

En raison de construire un modèle bathymétrique régional qui s'étend de BOUMERDES à l'Est jusqu'à TIPAZA à l'Ouest, on a complété les bases de données précédentes par des levés au large réalisés par GEBCO, afin d'obtenir une carte globale et régionale à partir de la ligne de cote jusqu'au large (plus de 2800 m de profondeur).

La construction d'un modèle bathymétrique est basée sur les étapes suivantes :

- Le choix du système de projection.
- Analyse des données bathymétriques XYZ.

- La génération du mèche et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage.

Le résultat de cette opération aboutit à la connaissance des coordonnées tridimensionnelles (X, Y et Z) des sondes bathymétriques digitalisés qui seront par la suite utilisés dans l'étape suivante. Une interpolation de ces données spatiales a été lancée sous le logiciel Mike 21 pour obtenir à la fin des informations continues et suffisantes en chaque nœud de la mesh générée.

Choix des directions pénalisantes en utilisant le Tests de sensibilité, afin de déterminer les caractéristiques de la houle au voisinage de l'ouvrage qui peut affecter plus l'agitation portuaire. Les résultats obtenus après interpolation sont exploités dans l'élaboration des cartes bathymétriques en 2D ou en 3D et mettre en évidence les reliefs et la morphologie sous-marine en utilisant le logiciel Mike 21.

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, est mise en œuvre avec le module de propagation de la houle spectrale (SW).

1.3.1 Mike 21 SW

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale, le modèle simule la croissance, la décroissance et la transformation des vagues et de la houle générées par le vent dans les zones offshore et côtières.

Les simulations permettent de reproduire les phénomènes de réfraction, de dissipation par déferlement et/ou frottement sur le fond, de génération des vagues par le vent, d'interaction non linéaire entre les vagues et d'interaction vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur. Le module permet d'utiliser des données de vagues au large préétablies, qui doivent alors être connues grâce à des mesures ou autres données externes, ou de générer des vagues par le vent. La deuxième approche a été utilisée pour la présente étude. **DHI (2014)**

Le modèle est basé sur la résolution des équations tridimensionnelles incompressibles de Reynolds moyennées de Navier-Stokes, sous les hypothèses de Boussinesq et de pression hydrostatique. L'équation de continuité locale s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (06)$$

Et les deux équations d'impulsion horizontale pour les composantes x et y, sont respectivement :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad (8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial u v}{\partial x} + \frac{\partial w v}{\partial z} = -f u - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad (9)$$

Les termes de contrainte horizontale sont décrits à l'aide d'une relation gradient-contrainte, qui est simplifiée en :

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (10)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (11)$$

A est la viscosité horizontale.

Les conditions aux limites de surface et de fond pour u, van et w sont :

$$A z = \eta : \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

$$A z = -d : \quad (12)$$

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

Où

pa: Pression atmosphérique,

η : Hauteur de la surface,

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

ρ_w : Densité de l'eau,

θ : Latitude géographique,

x, y, z : Coordonnées cartésiennes,

d : Profondeur de l'eau.

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

Ω : vitesse angulaire de révolution.

t : Temps.

ρ_0 : Densité de référence de l'eau.

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

S : Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles

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

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

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

ν_t, A : Viscosités turbulentes verticale et horizontale, respectivement

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

Formules du coefficients	Variables
<ul style="list-style-type: none"> • $K_r = \frac{H_s \text{ local}}{(H_{s0} \cdot K_s)} \quad (13)$ 	H_{s0} : La hauteur de la houle au large
<ul style="list-style-type: none"> • $K_s = \frac{H}{H'0} \quad (14)$ 	H_s : Hauteur de la houle locale
<ul style="list-style-type: none"> • $\frac{C_0}{C_g} = K_0 \cdot d \left(1 - \frac{1}{2} K_0 \cdot d + \frac{7}{72} (K_0 \cdot d)^2\right) \quad (15)$ 	K_s : Coefficient de Shaoling
Avec :	K_r : coefficient de réfraction
<ul style="list-style-type: none"> • $K_0 = \frac{2\pi}{L_0} \quad (16)$ 	H : Hauteur de la vague à une profondeur d
	$H'0$: Hauteur de la vague équivalente au large
	C_0 : Célérité de phase
	C_g : Célérité de groupe
	K_0 : Nombre d'onde
	L_0 : Longueur d'onde
	d : Profondeur
	T : Période de pic

1.3.2 Mike 21 ST

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et la gradation spatiale des sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée. Avant la simulation des valeurs de transport des sédiments non cohésifs, une « table de sédiment » doit être générée à l'aide d'utilitaires de génération de table de sédiment offerts avec le module MIKE 21-ST. Un sable de diamètre médian 0.2 mm, de gradation 1.4 et de porosité 0.4 est considéré sur l'ensemble du modèle. Les sortants du module SW ($H_{m0} - T_p - \text{Dir}$) et HD (Vitesses et directions des courants) simulés pour les 5 périodes de retour sont utilisés dans le module ST. **DHI (2014)**.

$$\bar{\tau} = \rho \nu_t \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right| \quad (17)$$

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

$$q_t = q_s + q_b \quad (18)$$

1.3.3 Mike 21 HD

Le module hydrodynamique (HD) de MIKE 21 et MIKE 3 résout les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement ainsi que de la salinité et de la température en réponse à diverses fonctions de forçage.

Le module HD vous permet de spécifier une variété de conditions aux limites hydrographiques, les conditions initiales, la résistance du lit et le forçage du vent.

Le module HD vous permet de spécifier une variété de conditions aux limites hydrographiques, les conditions initiales, la résistance du lit et le forçage du vent. Il vous permet également d'inclure différents types de sources et de puits ainsi qu'un certain nombre de structures différentes. Les variations de densité peuvent être traitées de différentes manières et les contraintes de rayonnement des simulations d'ondes peuvent être facilement incluses.

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

Les formules	
$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hs \quad (19)$	
$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial x_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) +$	$\frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + (hu_s S) \quad (20)$
$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial x_{yy}}{\partial y} \right) +$	$\frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yy}) + (hv_s S) \quad (21)$
$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad (22)$	
$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$	
$\left\{ \begin{array}{l} hT_{xy} = A \left(\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} \right) \quad (23) \\ hT_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \quad (24) \\ hT_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (25) \end{array} \right.$	

2 Maillage

Pour présenter les bases de données bathymétriques en données numériques 2D détaillées, on a eu recours au module (Mesh Generator) pour avoir un format souple de maillage, ce module consiste à importer les données du trait de côte, notamment les bathymétries pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation. Nous pouvons par la suite utiliser les options d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats. Pour construire la bathymétrie on doit d'abord établir un système de projection, ce choix influence uniquement le format des résultats et de l'affichage, le système utilisé est le UTM WGS84 ZONE 31, tous les outputs sont enregistrés sous le format « *.XYZ ». **(DHI 2014)**.

A l'aide de ce module nous pouvons importer le fichier « *.XYZ » qui correspond au trait de côte ou le contour Limite du maillage.

Cependant, la vitesse de calcul pour les triangulations est proportionnelle à la taille du plus petit élément du maillage, le modèle MIKE21, choisi le pas de temps pour assurer la condition de stabilité CFL inférieure à 1 pour tous les éléments de la mèche.

Pour ce cas d'étude la mèche générée est construite de 6215 éléments pour 3553 nœuds. Le générateur de maillage donne des possibilités à l'égard de deux interpolations pour les éléments triangulaires. Les deux routines d'interpolation sont possibles : **le voisin naturel** et **l'interpolation linéaire**. Elles sont indépendantes du type de maillage utilisé.

Pour notre cas d'étude on a utilisé l'interpolation du type **le voisin naturel**.

Après la vérification que les arcs du trait de côte sont bien fermés on passe aux données bathymétriques « *.XYZ » qui sont importées dans le fichier du maillage.

Ensuite ces données doivent être traitées pour éliminer les irrégularités du trait de côte, le déplacement des points qui ne coïncideraient pas avec la bathymétrie créer d'éventuels arcs afin de délimiter des zones de maillage plus raffinées. Pour notre cas on a créé 5 arcs au niveau de la baie d'Alger et 2 arcs au large entre Tipaza Boumerdes. **(Voir figure 67)**

Les tailles des mailles sont les suivantes :

Maille de 5000 m au-delà de -2500 m.

Maille de 2500 m de -2500 à -500 m.

Maille de 300 m de -15 à -55 m.

Maille de 90 m de l'ouvrage à -15 m.

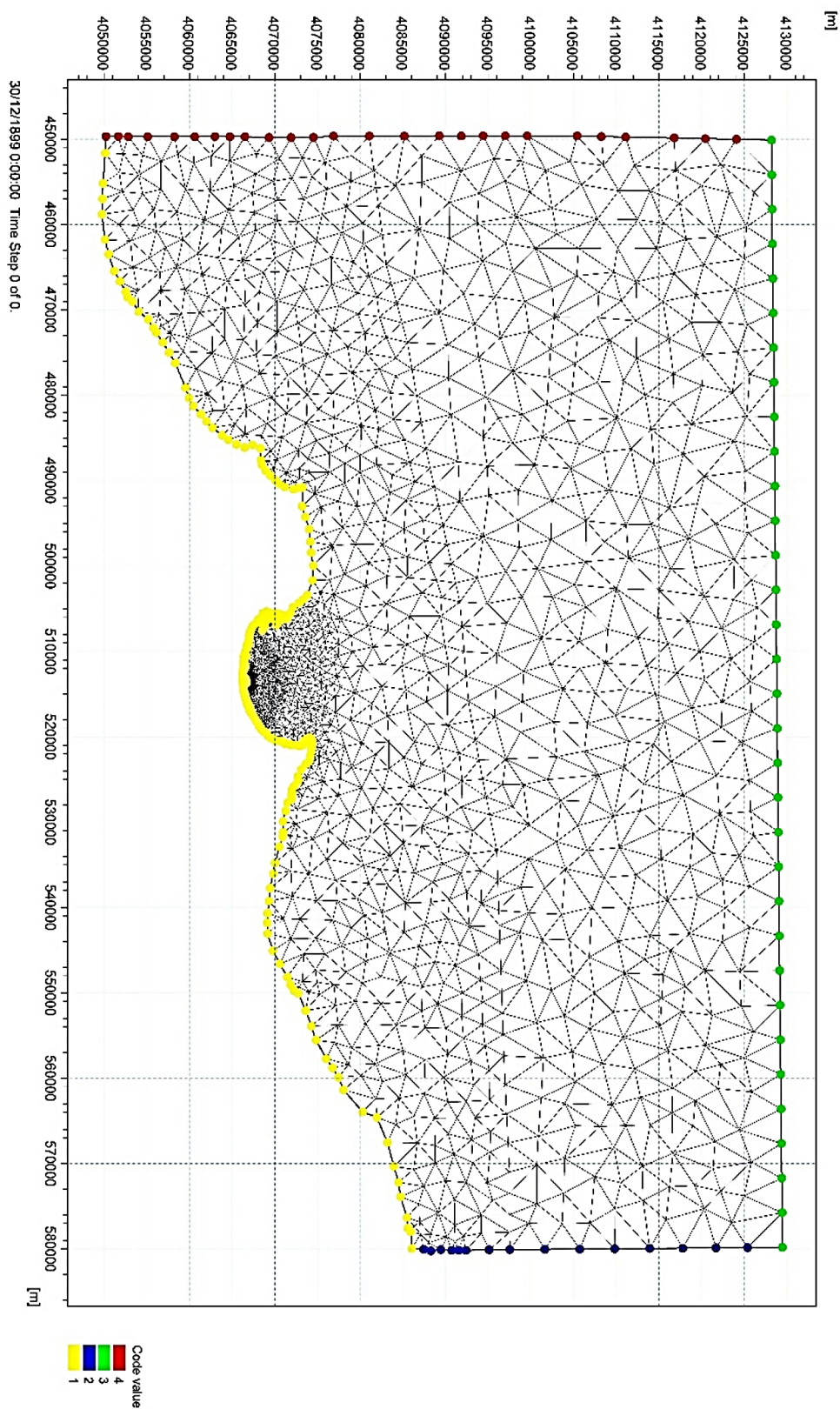


Figure 65: Maillage du modèle régionale (Boumerdes Tipaza)

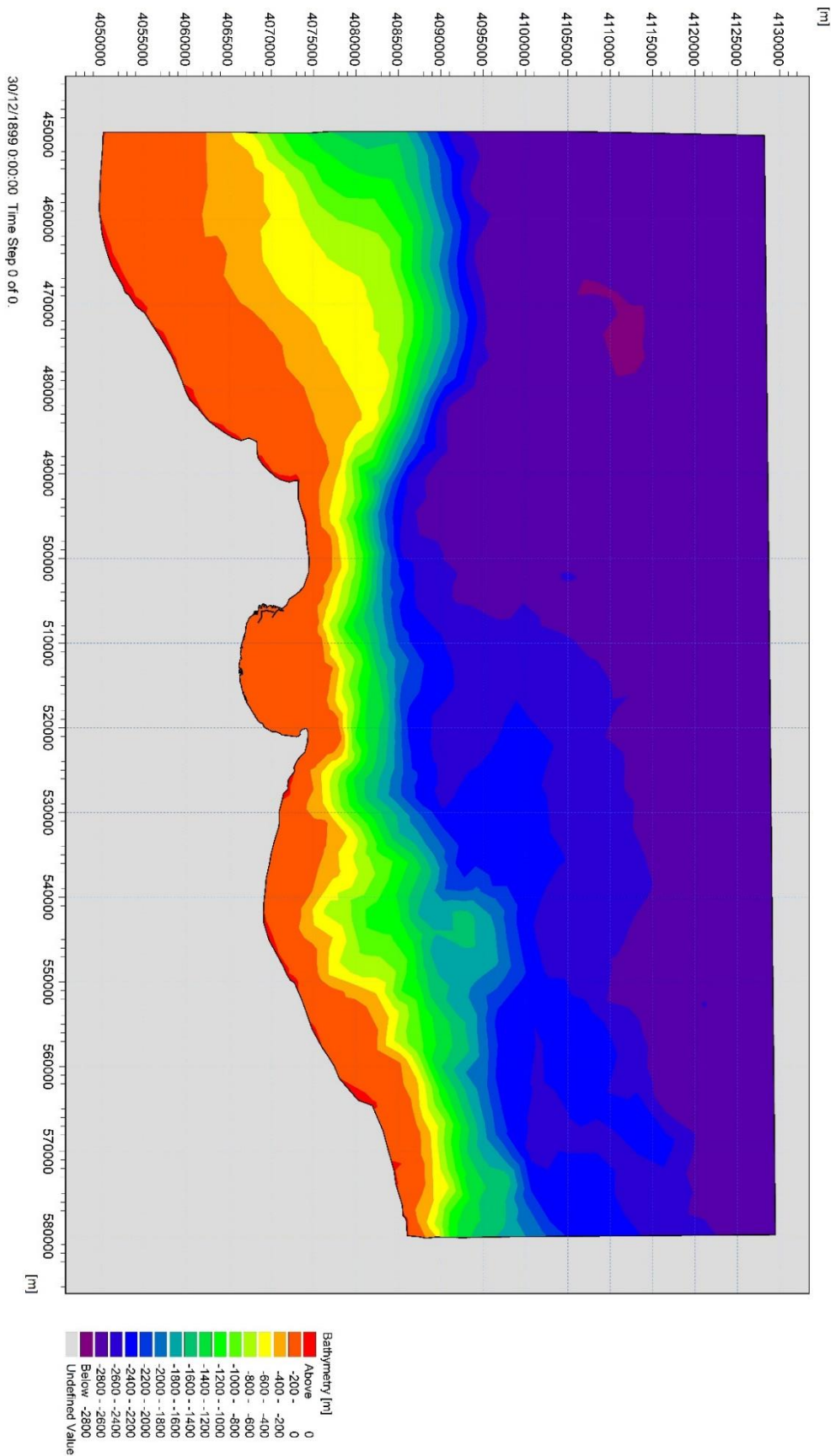


Figure 66: bathymétrie du modèle régionale (Boumerdes Tipaza)

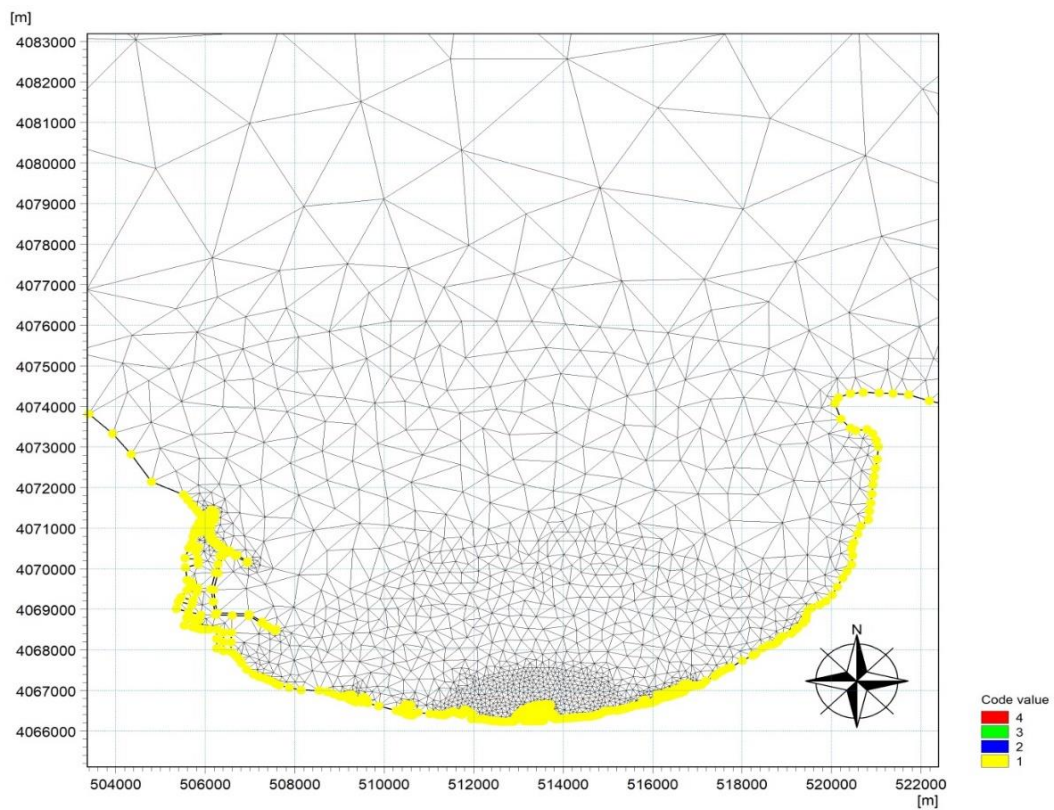


Figure 67: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Alger

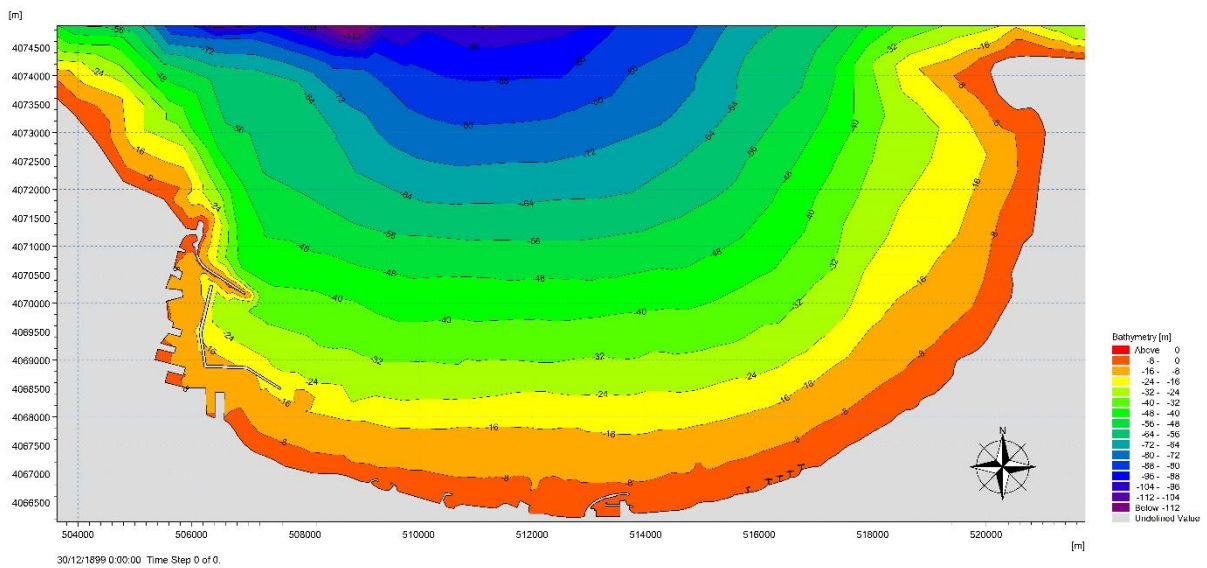


Figure 68: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger

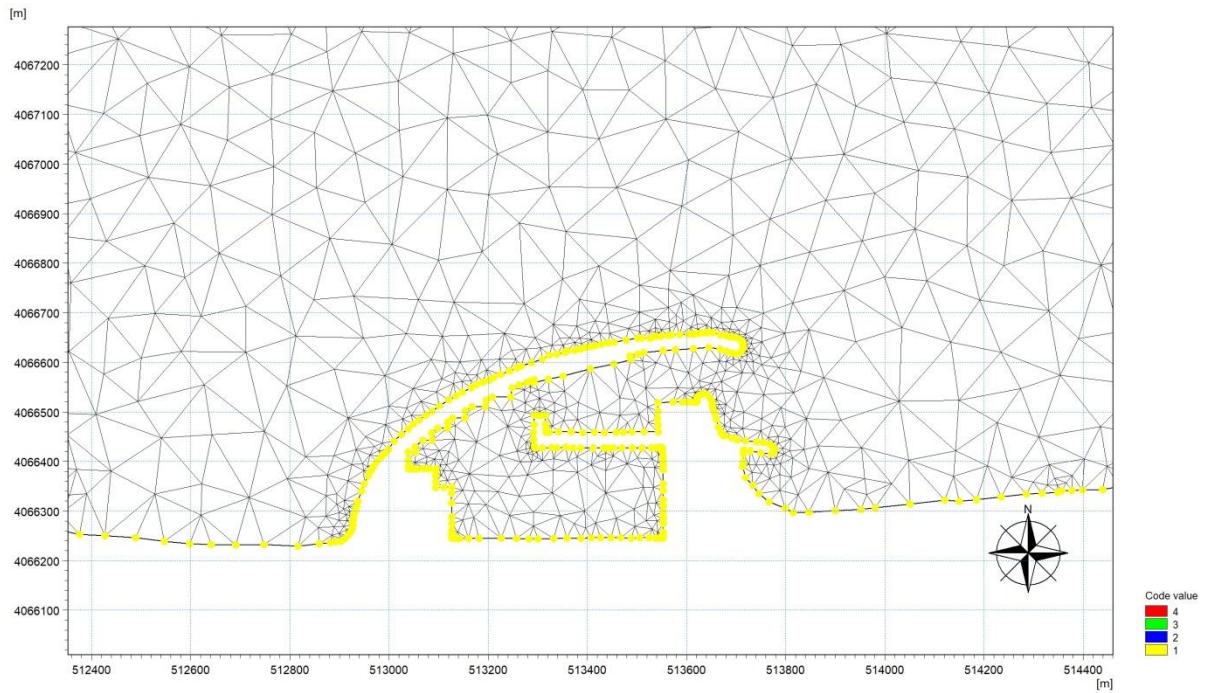


Figure 69: Maillage du modèle zoom sur la marina d'Alger

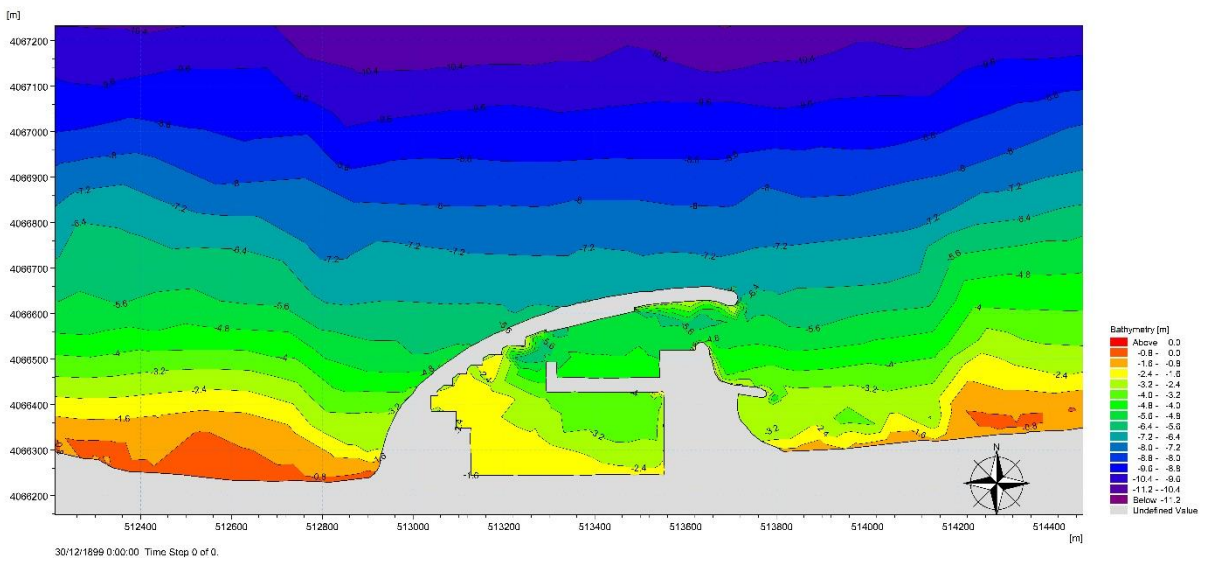


Figure 70: bathymétrie du modèle zoom sur la marina d'Alger

2.1 Interprétation des résultats bathymétriques

Dans cette partie nous allons interpréter les résultats obtenus dans la partie précédente afin de mieux décrire la morphologie sous-marine de la zone d'études et les critères qui vont être expliqués ultérieurement, l'interprétation bathymétrique a été divisée en deux parties.

- **Bathymétrie de la Baie d'Alger**

D'après les cartes bathymétriques de la baie d'Alger, qui couvre une zone s'étendant de Cap Matifou à l'est, jusqu'à la pointe-Pescade à l'ouest (**Figure 68**). Nous avons pu constater que les deux zones morphologiques mises en évidence selon la répartition des isobathes sont les suivantes :

- **La zone au large** : montre des isobathes généralement régulières entre -20 et -2000 m, parallèles au rivage, elles sont relativement espacées en carte traduisant ainsi un fond régulier et une pente douce en réalité. Cela se traduit par une faible activité du fond par rapport aux zones. Cependant, à l'est de Cap Matifou, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement des fonds rocheux,
- **La zone côtière** : présente des isobathes plus ou moins irréguliers et hétérogènes et irréguliers bien serrées et qui varie entre -1 et -16m avec une morphologie irrégulière causée par l'apport de oued el Harrach et la présence des ouvrages de protection toute au long de la zone côtière « port d'Alger, sablette, sablette verte, fond de mer » et la zone Est caractérisée par une morphologie complexe et mixte, cependant la nature du fond marin dépend principalement des fluctuations hydrométéorologiques.

- **Bathymétrie de la marina d'Alger (échelle centrale)**

La carte bathymétrique de la marina d'Alger, (figure), nous permettrons de faire les constatations suivantes :

- **À l'extérieur du bassin** : Les limites extérieures de l'ouvrage montrent des isobathes relativement espacées et régulières entre -2 et -6.5m traduit par une pente douce sableuse. À la plage Ouest du bassin les isobathes sont plus espacées, et suite aux apports sédimentaires d'oued El Harrach on remarque ainsi un fond régulier et une pente douce et qui a remplacé le piégeage de sédiment dans la plage est donc nous nous observant aucune érosion de la plage ouest. (**Voir figure 70**)
À l'Est de la carte les isobathes sont plus ou moins espacées qui varie entre -1.2 et -6.6 m, traduisant un fond régulier et une pente douce causé par l'apport sédimentaire qui est de l'est vers l'ouest avec un piégeage des sédiments du à l'épi extérieur du bassin où nous observant une zone d'accumulation traduit par la formation d'une nouvelle plage.
- **A l'intérieur du bassin** : sur les limites intérieures de la digue principale on remarque des isobathes serrées qui varie entre -3m et -4.8m et entre la digue principale et la contre digue des isobathes entre -5.4 et -6 m.

3 Tests de sensibilité et choix des directions

Afin de déterminer l'ampleur des différents phénomènes sur l'agitation de la zone d'étude des Simulation quasi-stationnaire avec des directions de propagation des houles par 10° ont été menés. **(Voir figure 71 jusqu'à 81)**

La configuration de la marina El Bay Alger par rapport à la baie d'Alger offre une protection, contre les houles incidentes de la direction 270° (Ouest) et 90° (Est). En basant sur ces remarques les tests de sensibilités ont couvert les directions (de 10° à 60° et de 320° à 360°).

Les tests ont également montré que les houles de secteur 20-40°N, gêneraient l'agitation la plus prononcée à l'intérieur du bassin de la marina. Il faut noter que les autres paramètres de houles n'ont pas été changés. Par contre suite à la configuration de la baie d'Alger, et la situation géographique du la marina dans la baie, la direction Nord-Ouest et Ouest ne montre pas une grande influence sur le port. **(Voir tableau 04)**

Tableau 4: hauteur de la houle en entrée et sortie du modèle

Direction (°)	10	20	30	40	50	60	320	330	340	350	360
Hs Large (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Hs Pied de l'ouvrage (m)	1.66	1.69	1.72	1.50	1.40	1.39	1.03	1.27	1.37	1.37	1.37

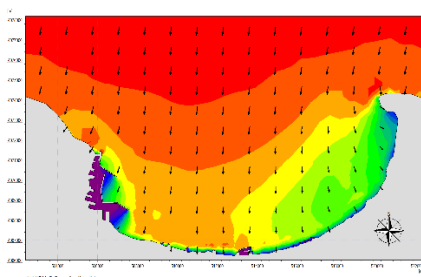


Figure 71: Champs des houles MWD 10°

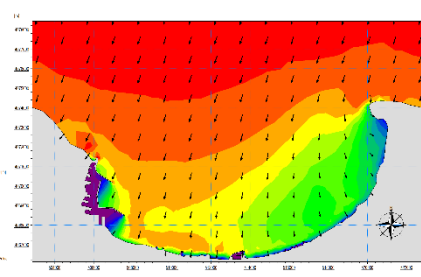


Figure 72: Champs des houles MWD 20°

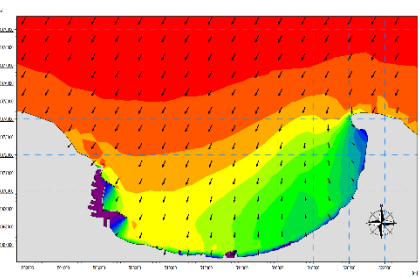


Figure 74: Champs des houles MWD 30°

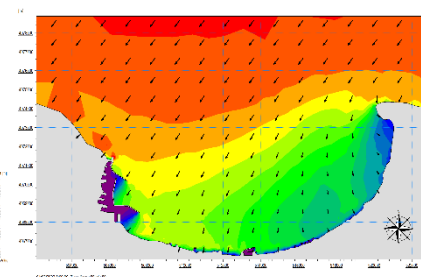


Figure 73: Champs des houles MWD 40°

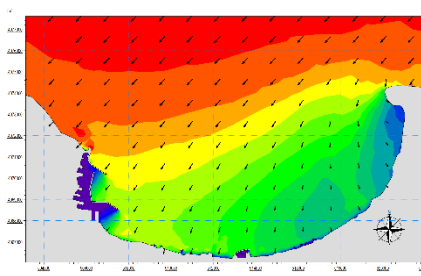


Figure 78: Champs des houles MWD 50°

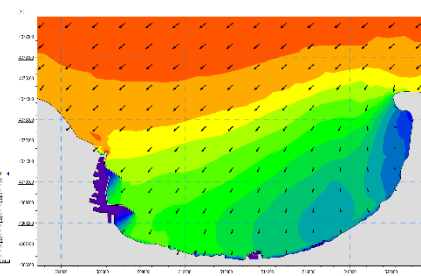


Figure 77: Champs des houles MWD 60°

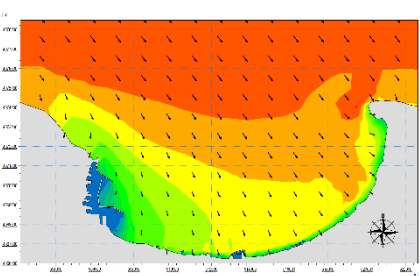


Figure 76: Champs des houles MWD 320°

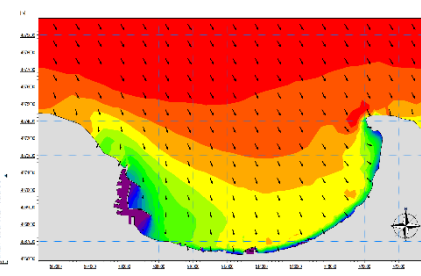


Figure 75: Champs des houles MWD 320°

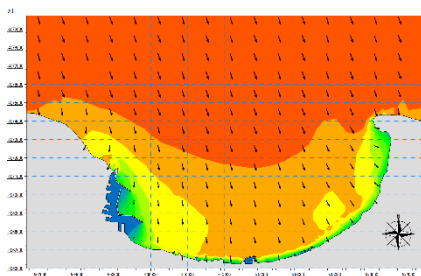


Figure 80: Champs des houles MWD 330°

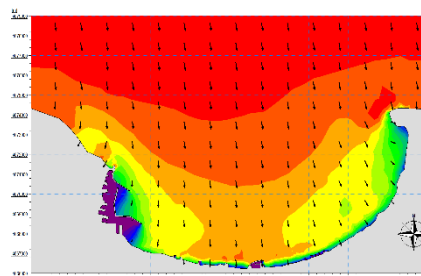


Figure 79: Champs des houles MWD 340°

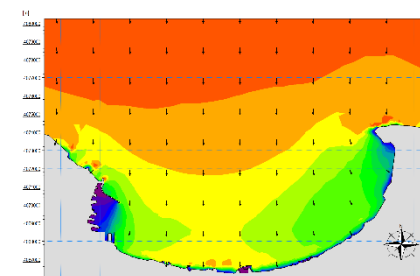


Figure 81: Champs des houles MWD 350°

Figure 82: Résultats des simulations SW chaque 10°

4 Données d'entrée du model SW

Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 SW. **DHI (2014)**.

Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie.
- Des Directions des houles dominantes ; ici on la direction Nord-Est et Nord.

Tableau 5: données de sortie du model SW

Non	Symbole	Unité
Hauteur significative	Hm0	Mètre
Période pique	Tp	Seconde
Direction moyenne	MWD	Degrés
Ecart type	DSD	Degrés
Contrainte de radiation	Sxx, Sxy, Sxy	m ³ /s ²

Tableau 6: données de sortie du model HD

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

A noter que tous les modèles sont associés à un vent constant moyen de 12 m/s, et une direction de 30°, en effet le couplage entre le vent et la période de retour conduit à des valeurs fortement surestimées et toutes les simulations sont faites avec 150 pas de temps de 200 secondes.

5 Les conditions de projet à simuler :

Les niveaux d'eau proposées pour ce projet sont issus de l'étude mentionnée précédemment et elle prend en compte le plan de la haute marée astrologique (m), Elévation période 2017 – 2021, surcote météorologique estimée (m), et surélévation des mers (m).

Période de retour	1 an	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Elévation période 2017-2021	0.42					
Surcote météorologique estimée (m)	0.55	0.76	0.85	0.98	1.04	1.11
Surélévation des mers (m)	0.10 (horizon 20 ans)					
Niveau d'eau de projet (m)	1.00	1.20	1.30	1.52	1.58	1.65

Tableau 7: les niveaux d'eaux de projet proposés pour l'étude

Tableau 8: les conditions de projet à simuler (toutes direction confondu)

Période de retour	1 ans		5 ans		20 ans		50 ans		100 ans	
	HS(m)	TP(s)	HS(m)	TP(s)	HS(m)	TP(s)	HS(m)	TP(s)	HS(m)	TP(s)
Scénario										
ENE	2.19	7.45	2.84	8.30	3.41	8.62	3.78	9	4.06	9.5
NE	3.03	9.49	3.85	10.63	4.55	10.73	5.02	10.8	5.38	11.11
NNE	3.48	10.38	4.56	10.61	5.49	11.11	6.11	11.11	6.58	11.11
N	3.55	9.62	4.76	11.87	5.80	11	6.48	11.62	7	11.9
NNW	3.33	8.49	4.59	10.32	5.11	11.10	5.70	10.10	6.15	11
NW	3.37	8.50	4.40	9.97	5.28	10.15	5.86	11	6.3	11.11
WNW	3.82	9.41	4.74	9.73	5.53	10.41	6.61	11	6.45	11
Niveau d'eau	1.00		1.2		1.52		1.58		1.65	

Tableau 9: les conditions de projet à simuler (direction pénalisante)

Scenario	Secteur Directionnel en degré nord	Période de retour	Hauteur Hs(m)	Période Ts(s)	Niveau d'eau(m)
Nord - Nord-Est	0°-45°	1 an	3,48	10.38	1.00
	0°-45°	5 ans	4,56	10.61	1.20
	0°-45°	10 ans	5,03	12.65	1.30
	0°-45°	20 ans	5,49	11.11	1.52
	0°-45°	30 ans	5,77	11.11	1.52
	0°-45°	50 ans	6,11	11.11	1.58
	0°-45°	100 ans	6,58	11.11	1.65

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 1 an)

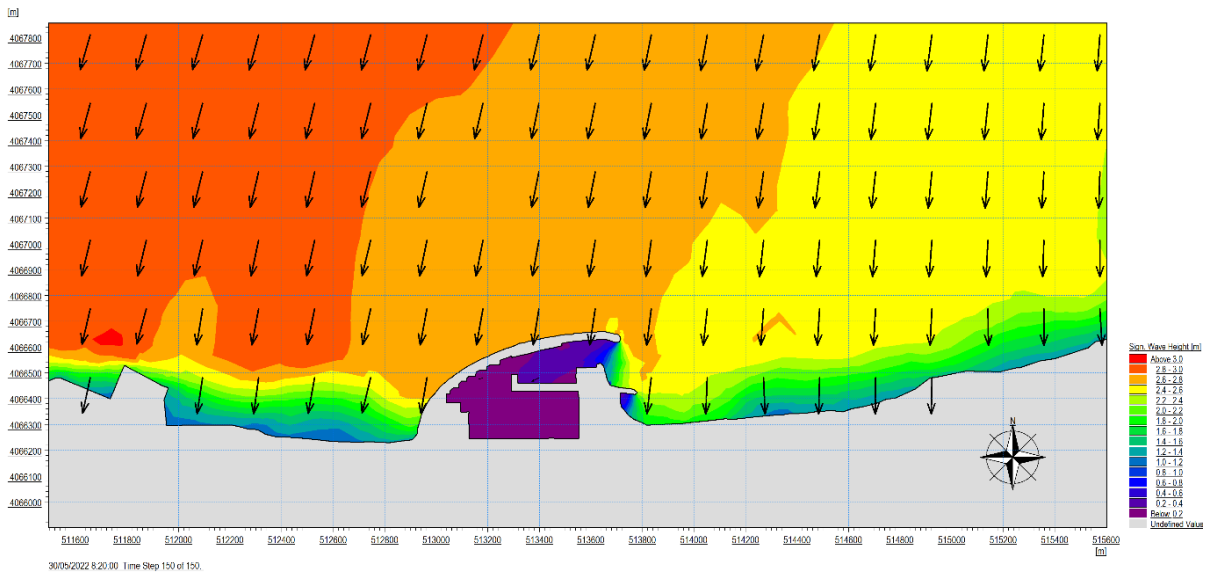


Figure 84: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger
($H_s = 3.48$ m, $T_p = 10.38$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 5 ans)

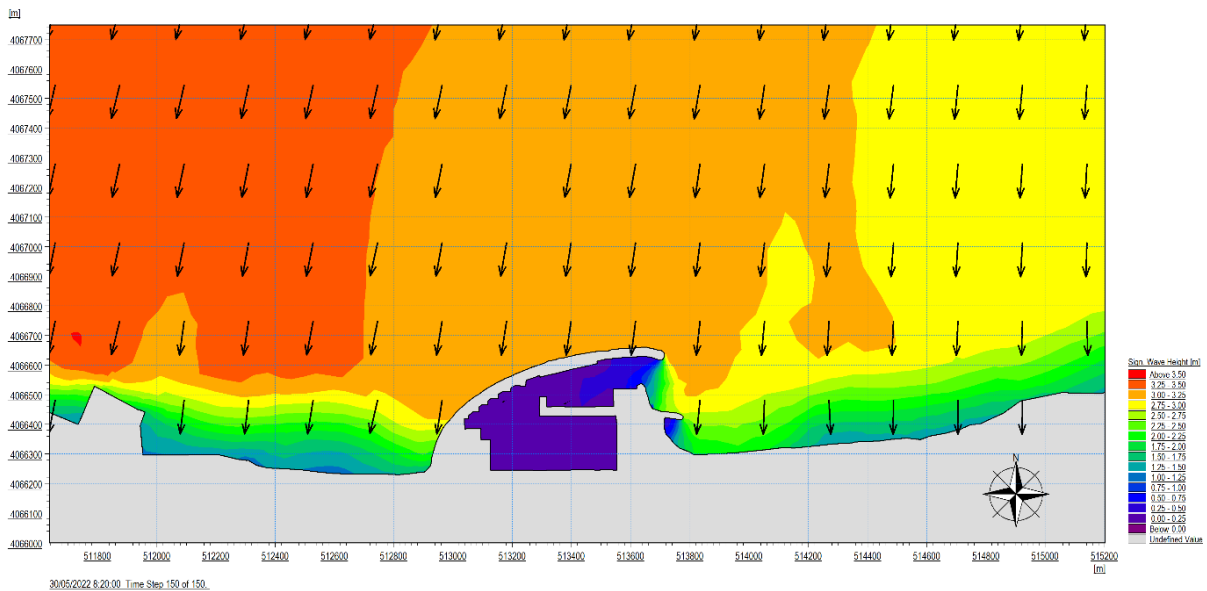


Figure 83: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger
($H_s = 4.56$ m, $T_p = 10.61$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 10 ans)

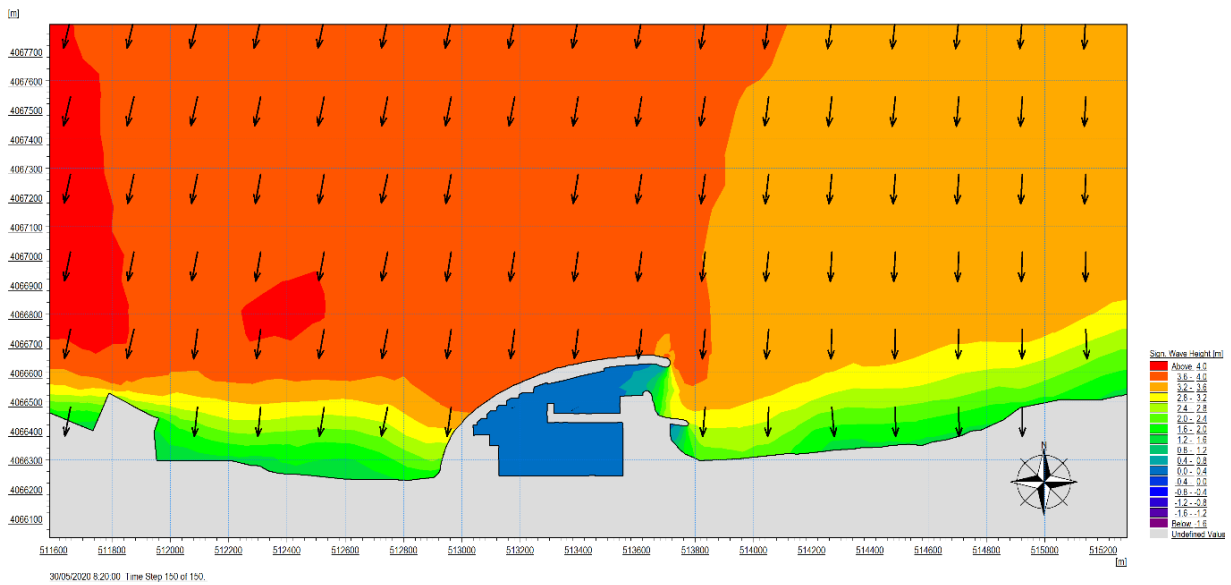


Figure 85: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger
($H_s = 5.03$ m, $T_p = 12.65$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 20 ans)

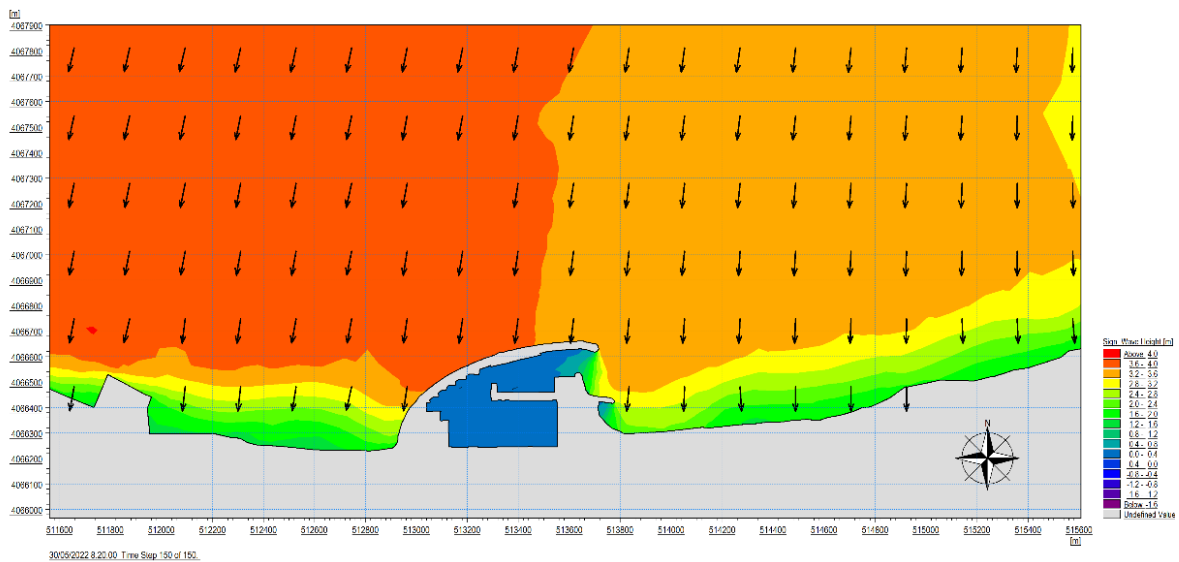


Figure 86: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger
($H_s = 5.49$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

SW – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 50 ans)

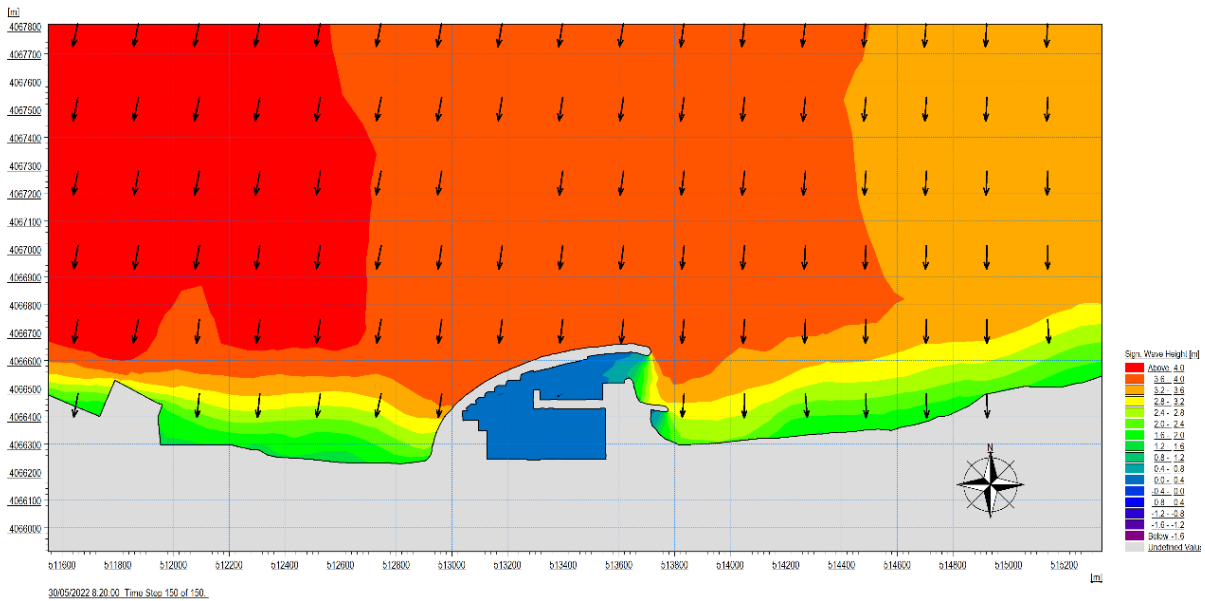


Figure 88: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 6.11$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

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

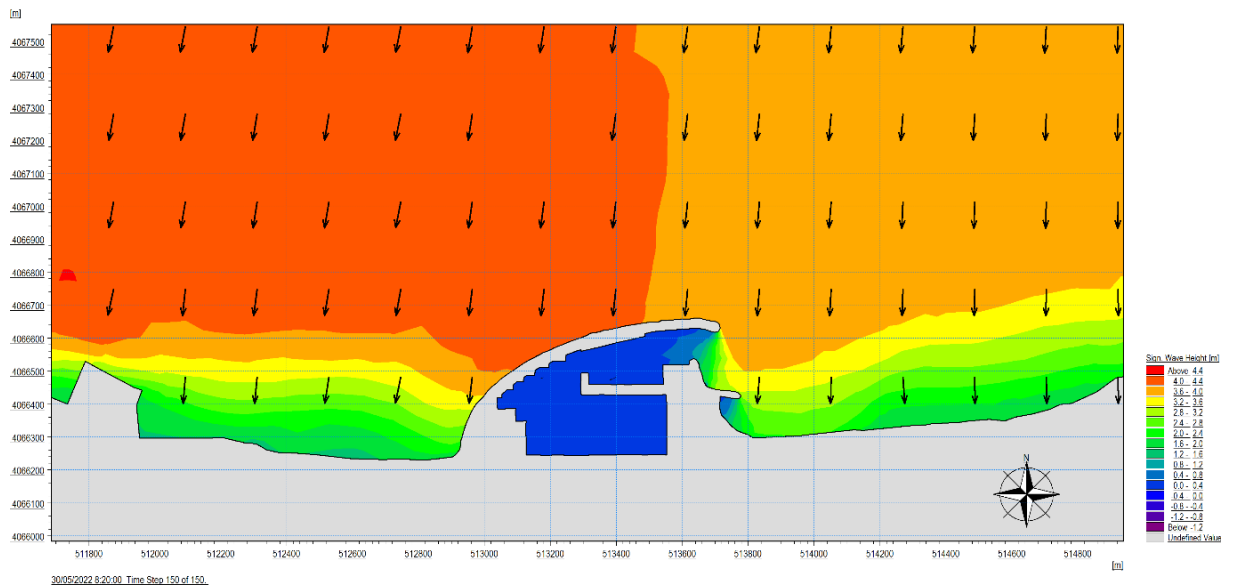


Figure 87: Champs des houles dans la marina El Bay d'Alger ($H_s = 6.58$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 12$ m/s)

HD – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 1an)

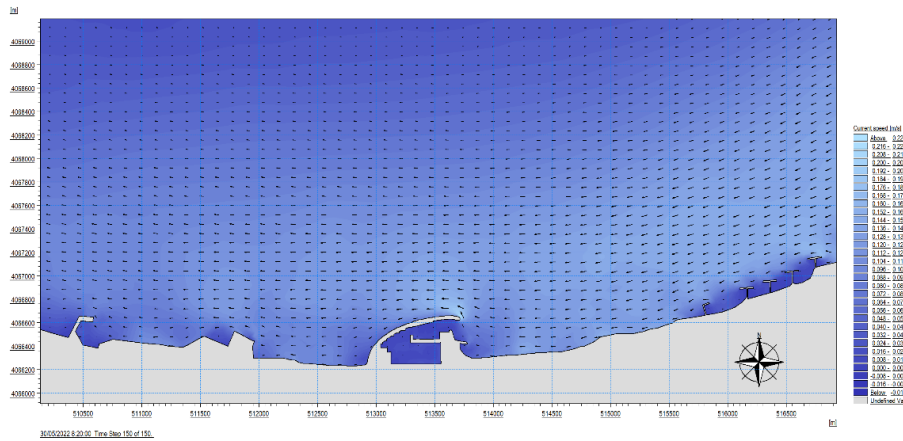


Figure 90: : Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10}= 12,18$ m/s)

HD – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 20an)

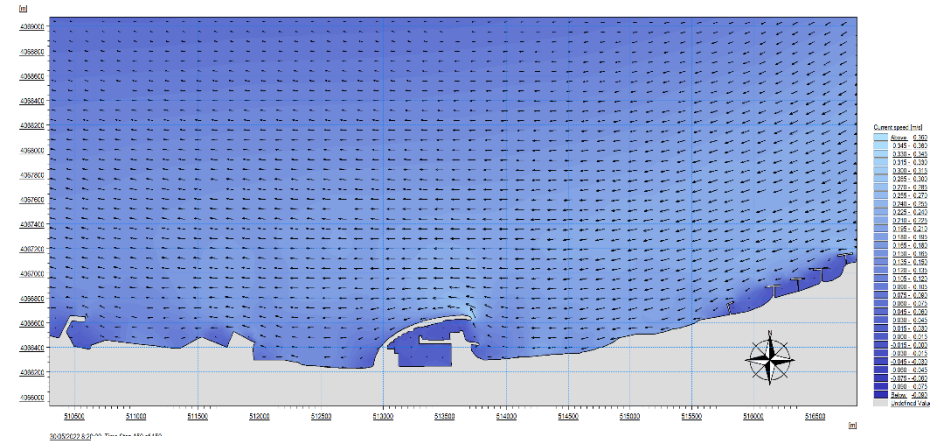


Figure 89: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10}= 17.62$ m/s)

HD – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 50an)

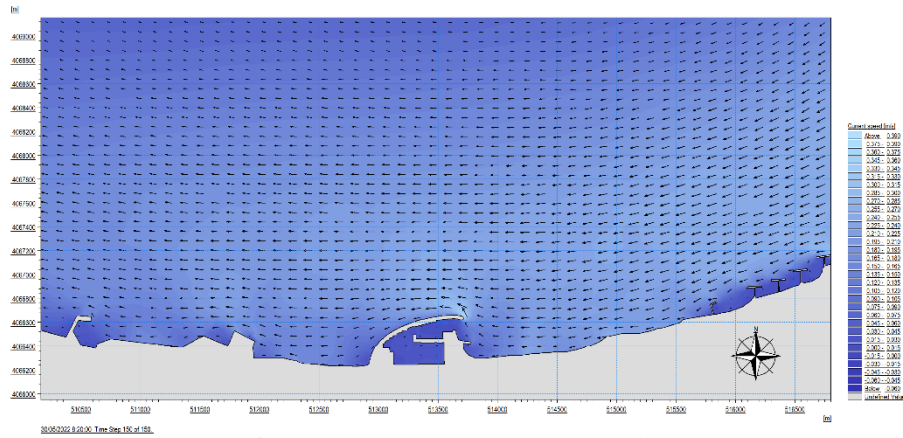


Figure 92: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10}= 19.29$ m/s)

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

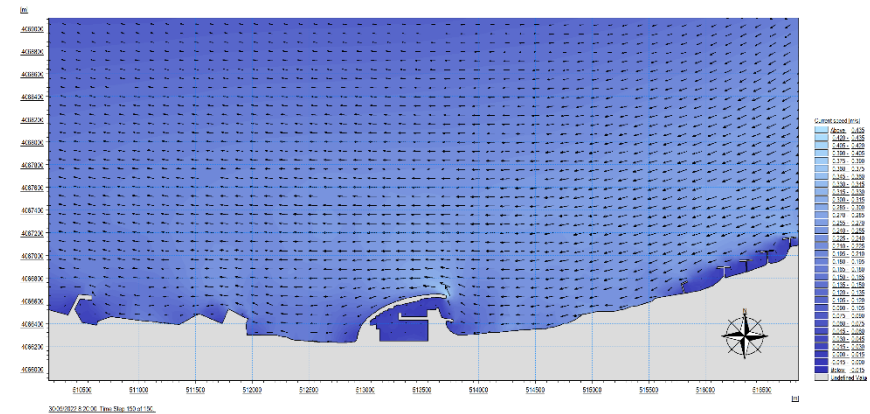


Figure 91: Champs des courants au voisinage de la marina El Bay d'Alger ($U_{10}= 20.55$ m/s)

ST – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 1ans)

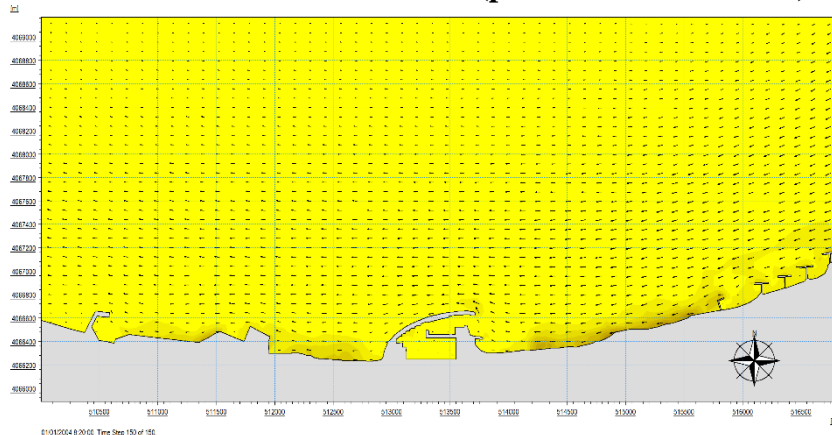


Figure 93: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d’Alger ($H_s = 3.48$ m, $T_p = 10.38$ s, $U_{10} = 12,18$ m/s)

ST – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 20ans)

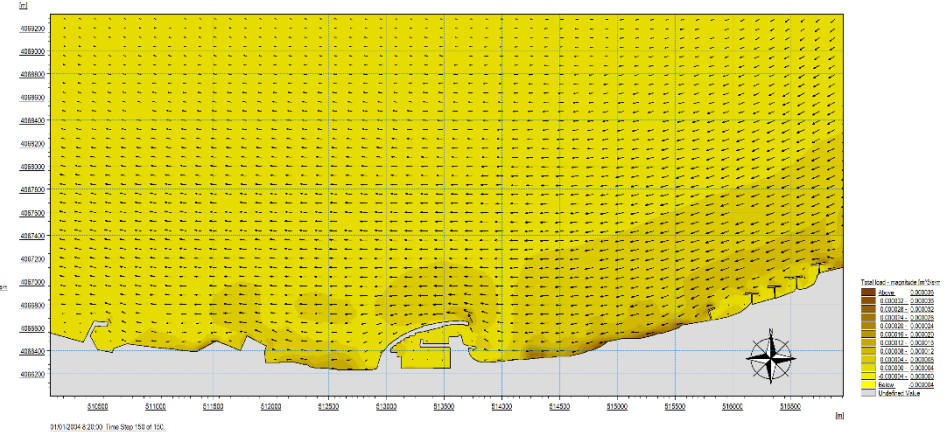


Figure 94: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d’Alger ($H_s = 5.49$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 17.62$ m/s)

ST – Direction Nord-Nord-Est (période de retour 50ans)

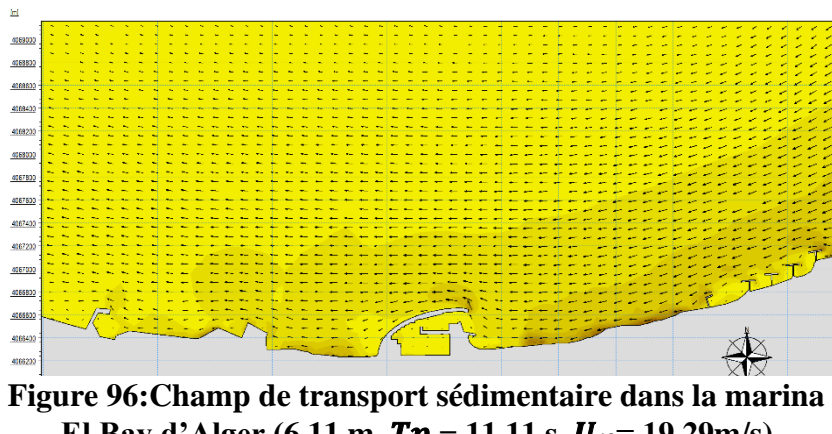


Figure 96: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d’Alger ($H_s = 6.11$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 19.29$ m/s)

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

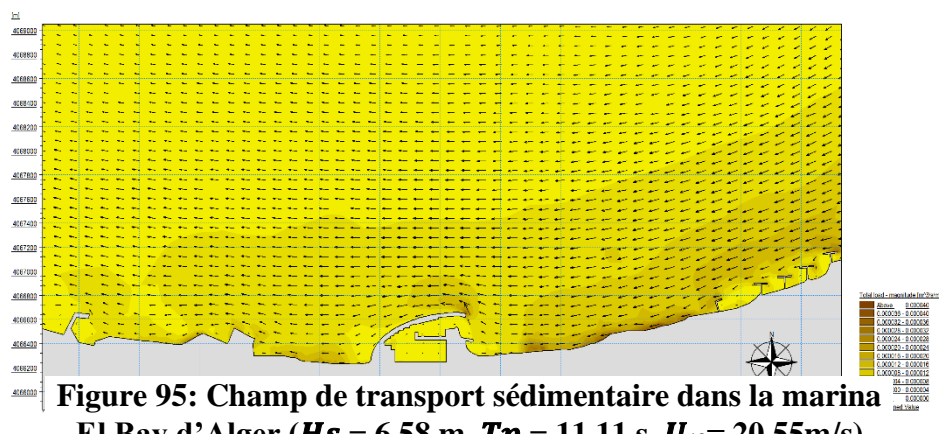


Figure 95: Champ de transport sédimentaire dans la marina El Bay d’Alger ($H_s = 6.58$ m, $T_p = 11.11$ s, $U_{10} = 20.55$ m/s)

6 Interprétation des Résultats de la simulation hydro-sédimentaire selon la direction

Pour chaque simulation, il est possible d'extraire en tout point du maillage les caractéristiques de la houle (période, hauteur, direction) ; la direction et la vitesse des courants, le débit de transport sédimentaire.

6.1 La direction Nord-Est (30°)

Pour le secteur Nord-Nord-Est il a été décidé de modéliser comme mentionné 6 périodes de retour 1an, 5ans, 10ans, 20ans, 50ans, et 100Ans. Il convient de garder à l'esprit que la direction 30° est la direction pénalisante, d'un point de vue de l'orientation de la passe d'entrée de la marina.

Les houles de prévenance de la direction NNE (30°) garde ses caractéristiques initiales du large du large pour les différentes périodes de retour, **Hs de 3,65m, 5.49m, 6.11, 6.58m**, pour les périodes de **1ans, 20ans, 50ans, 100ans** respectivement. Ces houles de direction Nord-Nord-Est (30°) ne subissent aucune modification, jusqu'à une profondeur de 50 m elles changent ses caractéristiques, au fur et à mesure, lorsqu'elle commence à ressentir le fond.

Dans la partie extrême Est de la baie au niveau de Tammenfoust et Sidi El Hadj protégés par le cap Matifou, la hauteur de la houle diminue considérablement pour atteindre les valeurs de l'ordre de **1.00m, 1.50m, 1.65m, 1.75m**. Pour les périodes de **1ans, 20ans, 50ans, 100ans** respectivement

Ces houles engendrent des courants côtiers orientés d'Est vers l'Ouest avec une vitesse varie entre 0.1 m/s et 0.4 m/s pour les différents de périodes de retour. Ces courants déclenchent un transport sédimentaire dirigé dans la même direction de l'Est vers l'Oust avec un débit solide varie entre $599 \text{ m}^3/\text{an/m}$ et $2492 \text{ m}^3/\text{an/m}$. pour les 4 périodes observées.

Au fur et à mesure, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées, comprises entre 0.9m et 1.2m. La partie centrale (Mazella, Pins Maritimes, la Sirène I, Sirène I et Verte Rive) est exposée aux houles obliques de ce secteur. Cela est justifié par la configuration des isobathes et du trait de côte qui sont perpendiculaires au Nord, et qui reçoivent une grande partie de l'énergie de la houle légèrement oblique.

Ces houles engendrent un courant de dérive littorale orienté de l'Est vers l'Ouest, avec des vitesses comprises entre 0.1 et 0.14 m/s et de 0.14 m/s et 0.2m/s pour la période de 100ans.

Les résultats du transport sédimentaire de cette zone varient entre $300 \text{ m}^3/\text{an/m}$ et $411 \text{ m}^3/\text{an/m}$, enregistrées pour toutes les périodes. Ce transport favorise une légère accumulation au pied de la jetée secondaire.

Au niveau de la marina, les houles arrivent avec des hauteurs comprises entre 2.5m et 2.65m, pour la période de retour de 1an, entre 3.5m et 3m pour la période de retour de 20ans, jusqu'à 3.7m pour la période de retour de 50ans, et en allant jusqu'à 3.90m pour la période de retour de 100ans. Ces houles engendre un courant portant vers le Sud-sud-ouest, avec une vitesse de 0.1 m/s et 0.22 m/s au voisinage du musoir pour les périodes 1an et 20ans et 0.1 m/s et 0.44 m/s pour les périodes de 50ans et 100ans.

Le champ des courants favorise un transport du sédiment dirigé vers la partie Ouest de la jetée principale avec des valeurs qui varient entre $315 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et $378 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. Ce transport favorise une accumulation de sédiment et formation de la plage Est de la marina Bay d'Alger.

Chapitre VI : Modélisation de l'agitation portuaire

1 L'objectif d'étude

La gestion des structures portuaires nécessite la connaissance le comportement de la houle a l'intérieure du port et de la passe d'entrée ainsi que les risques causés par l'agitation sur les bateaux amarrés et les structures adjacentes. Ce type de problème peut être étudié par la modélisation numérique qui doit prendre en considération l'ensemble des phénomènes pertinents de la déformation de la houle à l'intérieur de la marina.

Cette section présente les résultats des modèles d'agitation. Une modélisation de l'agitation dans la marina El Bay Alger a été mise en œuvre. Le modèle numérique utilisé est le modèle ARTEMIS de la suite OPEN TELEMAC-MASCARET. (<http://www.opentelemac.org/index.php/presentation?id=19>).

2 Présentation des logiciels utilisés :

2.1 BlueKenue

Blue Kenue^{MC} 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.

BlueKenue est l'un des pré- et post-processeurs associés au système TELEMAC. En tant que préprocesseur, il s'agit d'une interface graphique de pointe intégrant des bases de données environnementales et des données géoréférencées aux données de modèle (entrées et sorties). Un maillage d'éléments finis peut être généré par BlueKenue avec deux des fichiers d'entrée pour Telemac : le fichier de géométrie avec la géométrie de la grille et les élévations des nœuds, et les conditions aux limites fichier avec les types de conditions le long des limites. Ces deux fichiers sont requis par Telemac. **(BlueKenue, 2011)**

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 noeuds/éléments. La densité de nœuds est calculée à partir de cartes de densité définies par l'utilisateur (grilles rectangulaires, maillages triangulaires ou polygones).

BlueKenue est également utilisé par de nombreux utilisateurs, comme post-processeur pour visualiser et analyser les résultats qui 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. **(Philippe Maron, 15 Novembre 2012 centre hydraulique canadien)**

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

2.2 TELEMAC-MASCARET

Le système TELEMAC-MASCARET est un ensemble d'outils de modélisation intégrés pour une utilisation dans le domaine des écoulements à surface libre et la propagation des ondes de crue dans un système hydrologique développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et

d'Environnement (LNHE) de la Direction des Recherches et Développements d'EDF ; il est actuellement géré dans le cadre du Consortium Open Telemac-Mascaret.

(wikhydro.developpement-durable)

Telemac est construit sur des algorithmes sophistiqués qui utilisent une approche par éléments finis pour effectuer une simulation numérique sur un maillage triangulaire non structuré (**Hervouet, 2007**)

Cela permet de représenter les littoraux complexes avec plus de précision qu'en utilisant des grilles régulières.

Les phénomènes physiques pris en compte sont les suivants :

- Courants de houle (par couplage avec les modules ARTEMIS et TOMAWAC), importants lorsque, par exemple, la modélisation d'un estuaire doit aussi porter sur le domaine maritime jusqu'à la haute-mer où on dispose de prévisions océanographiques fiables de niveau, faute de disposer de prévisions des niveaux d'eau marins aux entrées des embouchures fluviales, grâce à des modèles d'océanographie côtière.
- Écoulements dans les singularités hydrauliques : seuils, entonnements, ponts, épis, orifices.
- Forces de traînée des structures verticales.
- Arrivée des écoulements dans des zones sèches : bancs découvrant et plaines inondables, et ruptures de barrage, ainsi que phénomènes de porosité.
- Frottements sur les fonds.
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent.
- Turbulence. (**Hydrodynamique bidimensionnelle Logiciel TELEMAC-2D**).

2.3 L'outil ARTEMIS

ARTEMIS (Agitation and Réfraction with TElemac on a MIld Slope) est un modèle numérique de simulation de propagation de houle et d'agitation dans les ports, sur une surface d'environ quelques kilomètres carrés. Le domaine peut être plus grand pour la simulation des ondes longues ou l'étude des phénomènes de résonance. La dépendance en fréquence et l'étalement directionnel de l'énergie des vagues est pris en compte par ARTEMIS. Le calcul permet de considérer les principales caractéristiques des ondes sur tout le domaine : hauteur significative des vagues, l'incidence des vagues, des vitesses orbitales, taux de dissipation, etc. ARTEMIS résout l'équation en pente douce de l'équation de Berkhoff par la formulation des éléments finis. L'équation en pente douce a été étendue pour intégrer les processus liés à la propagation des vagues en zone côtière. ARTEMIS est capable de modéliser notamment les processus suivants :

- Réflexions totales ou partielles contre les murs, brise-lames, digues, etc.
- Diffraction de la houle derrière un obstacle,
- Réfraction de la houle par variation de la bathymétrie,

- Houle monochromatique,
- Houle aléatoire monodirectionnelle ou multidirectionnelle,
- Frottement sur le fond,
- Déferlement bathymétrique.
- Phénomènes de dissipation par déferlement et/ou par frottement sur le fond,
- Amélioration des conditions aux limites avec prise en compte des angles d'incidence sur une paroi, et prise en compte des angles d'entrée ou de sortie sur les frontières liquides. Par contre, la version actuelle du logiciel ne permet pas de prendre en compte les effets suivants :
 - Réfraction de la houle par un courant.
 - Présence de zones sèches dans le domaine de calcul (bancs découvrant).

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.

Les domaines d'application du logiciel sont nombreux. Il permet en particulier d'étudier l'agitation dans un port ou dans une baie, d'apprécier l'impact de la construction d'un ouvrage protecteur contre la houle (jetée, digue), d'estimer l'agitation derrière une brèche, l'amortissement de la houle derrière une île ou un haut fond, les seiches dans un chenal, etc. (**Logiciel Artemis - Agitation d'un plan d'eau par la houle 2009**)

3 Mise en place du modèle d'agitation portuaire

3.1 Emprise du modèle et présentation du maillage

BlueKenue permet de générer des maillages rectangulaires et triangulaires à partir de points, de lignes, ou même à partir d'autres maillages réguliers ou triangulaires. L'utilisateur a la possibilité d'inclure des « nœuds durs » ou des « lignes de rupture » avec le générateur de grille triangulaire. Ces points et lignes seront préservés lors de la création des nœuds/éléments.

La densité de nœuds est calculée à partir de cartes de densité définies par l'utilisateur (grilles rectangulaires, maillages triangulaires ou polygones). (**BlueKenue 2011**)

Le modèle réalisé s'étend sur environ 775 m du sud au nord, et sur environ 1.48 km de l'Est à l'Ouest.

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

Le maillage est constitué d'éléments finis triangulaire obtenus grâce au logiciel de pré et post traitement BlueKenue. Lan taille des mailles sont comprises entre 1 et 1.2 m, au total le modèle, compte plus de 7755 nœuds et 1338542 mailles. (Voir figure 97)

3.2. 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 $E(\sigma, \theta)$, fonction de la pulsation ω et de la direction θ de la vague qui varie lentement en fonction de l'espace (x, y) et du temps. En présence d'un courant ambiant, il est plus pertinent de simuler la quantité du mouvement de la vague $N(\sigma, \theta)$ plutôt l'énergie de la vague :

$$N(\omega, \theta, x, y, z, t) = \frac{E(\omega, \theta, x, y, z, t)}{\sigma} \quad (26)$$

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

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + \frac{c}{c_g} \omega^2 \phi = 0 \quad (27)$$

Avec :

$\omega^2 = gkth(kd)$, relation de dispersion

L'équation (27) peut être résolue directement, par la méthode des éléments finis (MARCER *et al.* 1994). Ce type de modèle est notamment destiné à étudier les problèmes d'agitation portuaire où les effets de diffraction et réflexion de la houle peuvent être importants.

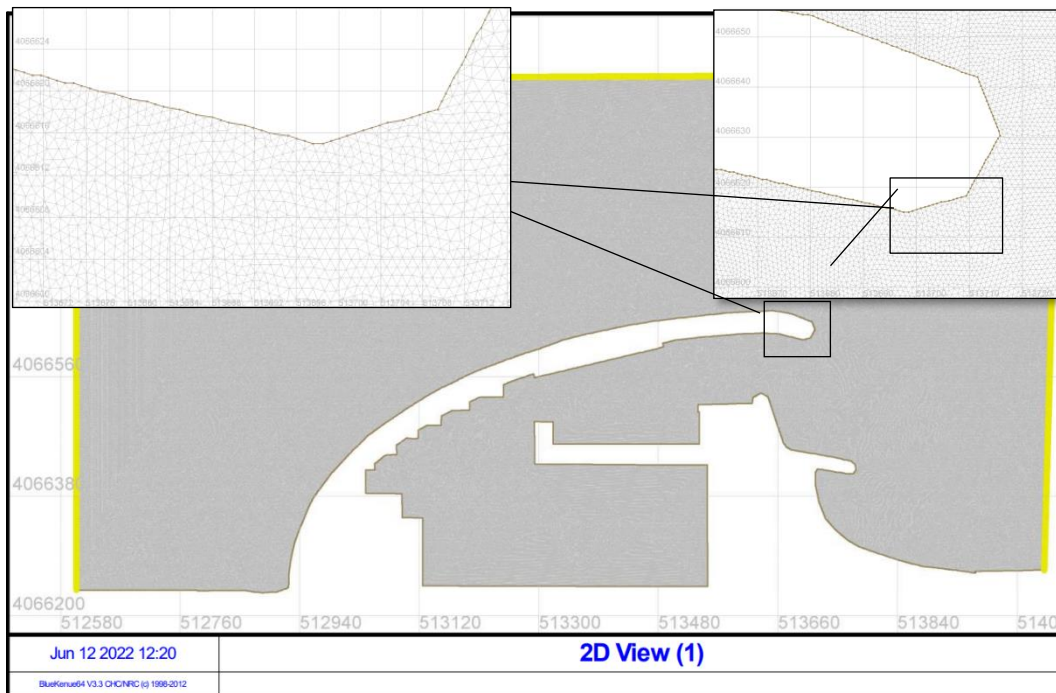


Figure 97: emprise du maillage BlueKenue

3.2 Conditions aux limites

3.2.1 Frontière liquides

Les valeurs H_s , T_p , et le niveau d'eau qui représentent les conditions propagées jusqu'à l'entrée de la marina ont été extraites du modèle de propagation de la houle SW pour l'intégralité des cas simulés pour chaque limite de projet, pour notre cas d'étude on va fixer 3 limites Nord, Est et Ouest.

Les valeurs de niveau d'eau et la période de pique vont être intégrées dans le fichier des paramètres (*.cas).

Les valeurs de H_s et D_p pour chaque limite vont être intégrées dans le fichier Fortran (*.f).

3.2.2 Frontières solides

Chaque limite solide de la marina est représentée par un coefficient de réflexion lui correspondant.

Le coefficient de réflexion indique le pourcentage de l'énergie réfléchié quand la houle impacte sur un contour ; il varie entre un 0 et 100%.

- 0% : le contour est totalement absorbé ; il n'y a pas lieu de la réflexion
- 100% : l'énergie de la houle est complètement réfléchié. Ceci est un cas idéal qui jamais a lieu dans la réalité.

Afin de déterminer les coefficients de réflexion des différents contours du domaine, les recommandations du programme **MANOLO utilisé par la société DAHLI SPA pour le projet de la marina El Bay d'Alger 2016** ont été prises en compte (voir figure 98)

- Digue en talus : 30%.
- Digue verticale : 75%.
- Falaise : entre le 20% et 40% en fonction de son talus.
- Plage : 0.1%.
- Contours de mer qui délimitent la zone d'étude : 0%

Il faut mentionner que ces valeurs sont légèrement inférieures à ceux standard. Par exemple, le coefficient de réflexion associé à une digue verticale souvent est environ le 90%. Dans ce cas, le coefficient de réflexion ne doit être entendu comme une valeur physique, mais comme un paramètre interne du programme.

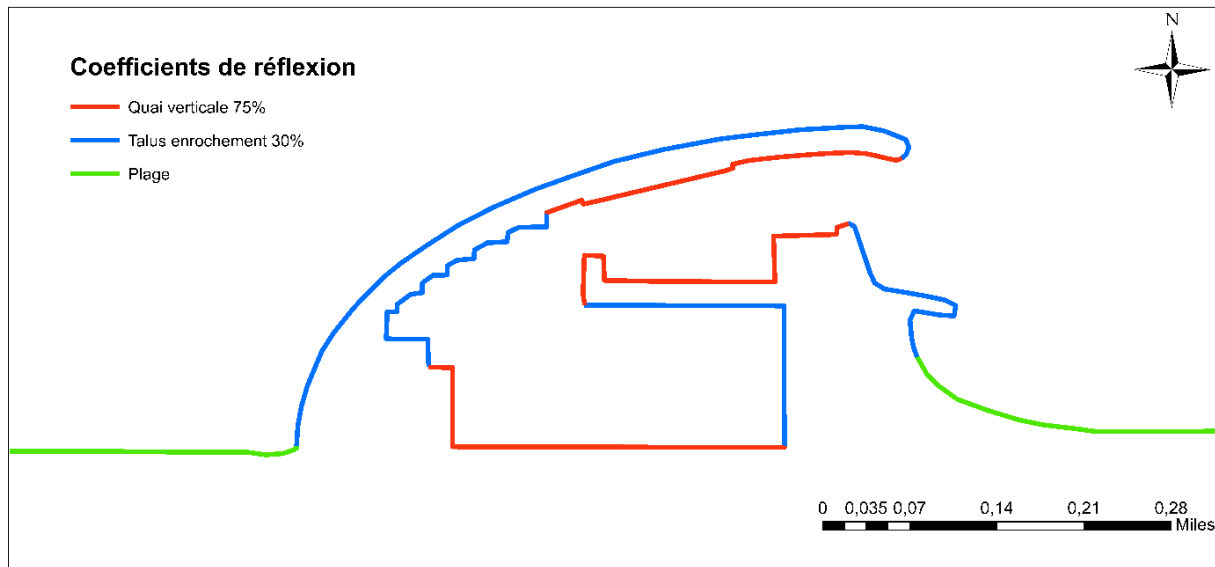


Figure 98: coefficients de réflexion de la marina El Bay d'Alger

4 Insertion des données

Lors d'un calcul, le logiciel ARTEMIS utilise un certain nombre de fichiers en entrée et en sortie, dont certains sont optionnels. (Logiciel Artemis, 2009)

Tableau 10: les fichiers d'entrée sur ARTEMIS

Nom du fichier	Contenu	Format
Le fichier de géométrie	Fichier Serafin en format binaire élaboré sous MATISSE et décrivant le maillage de la zone d'étude	(* .geo)
Le fichier des paramètres	Fichier contenant nos données d'entrée en format .txt	(* .cas)
Le fichier des conditions aux limites	Fichier décrivant les conditions limites sur les contours du maillage	(* .cli)
Le fichier des fonds	Fichier de résultats binaire (<i>optionnel</i>)	(* .slf)
Le fichier Fortran	Fichier contenant les sous-programme d'ARTEMIS que nous avons modifié	(* .f)
Les fichiers de données binaires	Optionnel	/
Les fichiers de données formatés	Optionnel	/

Tableau 11: les fichiers de sortie ARTEMIS

Nom du fichier	Contenu
Fichier des résultats	Fichier au format Serafin contenant les valeurs de houle (hauteur et périodicité) en chaque point du maillage
Listing de sortie	Liste des résultats d'exécution d'ARTEMIS tous les 10 pas de temps (valeur paramétrée dans le fichier d'entrée)
Fichier de résultats formaté (optionnel)	Non utilisé dans notre cas
Fichier de résultats binaire (optionnel)	Non utilisé dans notre cas

Les valeurs des inputs au pied de l'ouvrage extraites à partir des résultats SW simulées précédemment sont introduites dans le logiciel ARTEMIS via le fichier « paramètre » sont représentées sur le tableau suivant (**voir tableau 12**)

Hauteur de houle selon la Direction (m)	Période de retour					
	1AN	5ANS	10ANS	20ANS	50ANS	100ANS
Est	2.75m	3.01m	3.49m	3.44m	3.75m	3.8m
Nord	2.80m	3.15m	3.47m	3.62m	3.86m	4.04m
West	2.85m	3.35m	3.77m	3.8m	3.9m	5.03m

Tableau 12: les valeurs des inputs dans le fichier paramètre

5 Paramétrage de direction

Pour prévoir la direction la plus pénalisante face à la passe d'entrée, des tests de sensibilités selon un affinement directionnel de 5° ont été faites.

D'après les résultats des tests de sensibilités la direction 50° est la direction la plus pénalisante en point de vue agitation par rapport aux directions testées.

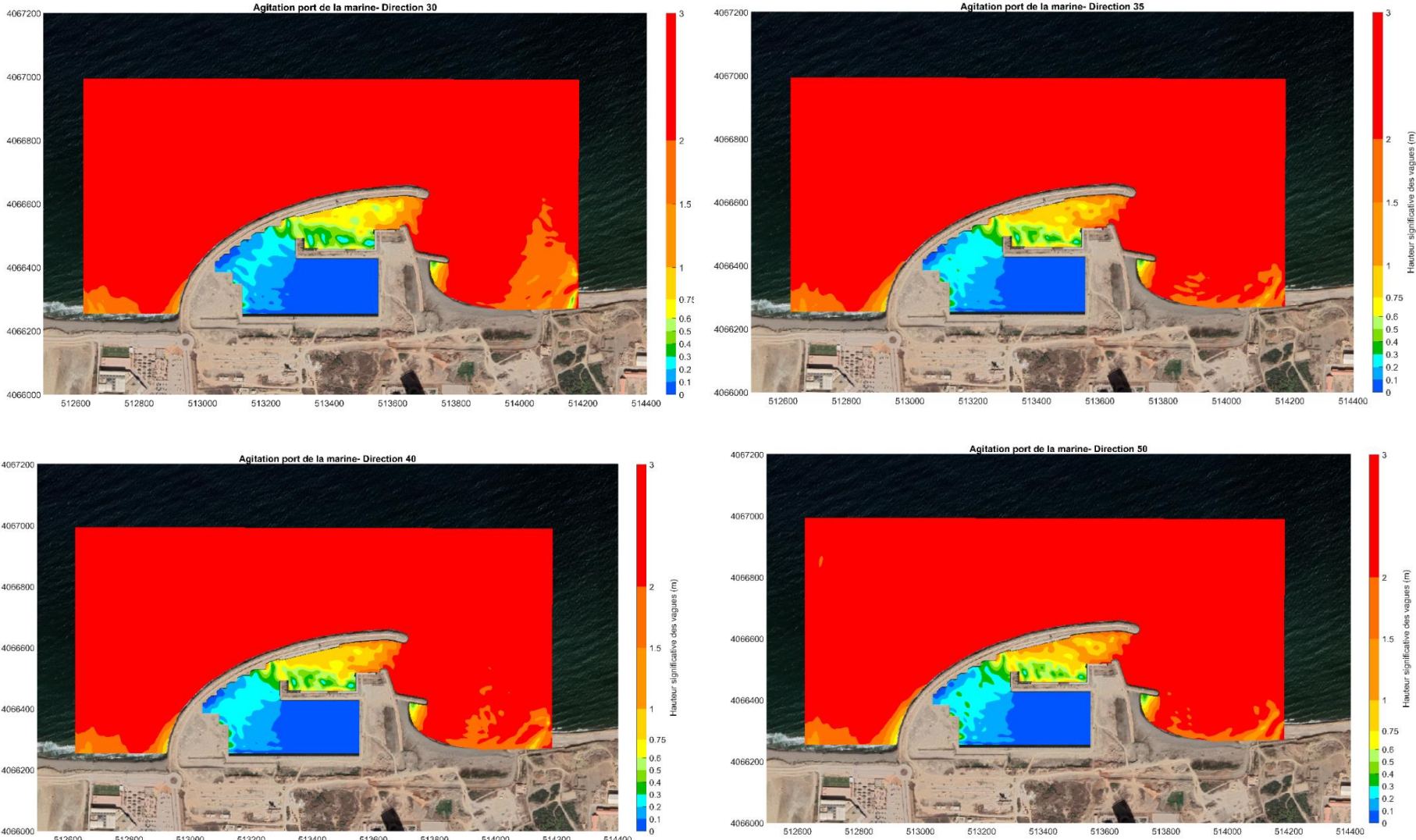


Figure 99: Tests de sensibilités ARTEMIS

6 Résultats de la simulation d'agitation avec le logiciel ARTEMIS

6.1 Secteur Nord-Est

La simulation de la propagation de la houle de la direction pénalisante, une direction frontale à la passe d'entrée qui favorise l'augmentation de l'agitation à l'intérieur du bassin du port (**figure 101 à 105**). Pour la houle de période de retour annuelle (HS=3.8 m, TP=10.38m, $U_{10}=12\text{m/s}$), l'amplitude de la vague après diffraction au niveau du musoir est de l'ordre de 1.02m à l'entrée du port. En avançant vers l'intérieur du port, cette valeur diminue progressivement de 0.51m juste après la passe d'entrée à 0.25m au niveau de l'avant bassin. Des valeurs qui ne dépassent 0.01m à l'intérieur du port qui favorisent l'accostage des différentes embarcations. Ces valeurs sont inférieures au critère de confort de 0.3 – 0.4 m et au facteur de sécurité de 0.6 m. Pour les périodes de retour de 5 ans, 10ans et 20ans (HS=4.56, TP=10.61, $U_{10}=12\text{M/S}$; HS=5.03, TP=12.65, $U_{10}=12\text{M/S}$; HS=5.49, TP=11.11, $U_{10}=12\text{M/S}$) l'agitation est plus importante par rapport à la première période notamment de la passe d'entrée avec une amplitude entre 1.12 et 1.28m, l'agitation varie entre 0.4 et 0.6m dans l'avant-port ce qui est au voisinage du critère de sécurité. L'agitation dans le bassin ne dépasse pas les 0.1m pour les houles de ces 3 périodes de retours à la partie intérieure reste stable et calme pour l'accostage des embarcations.

Pour les périodes de retour 50 et 100ans, (HS=6.11, TP=11.11, $U_{10}=12\text{M/S}$; HS=6.58, TP=11.11, $U_{10}=12\text{M/S}$) les mêmes tendances sont observées, la pénétration de la houle par la passe d'entrée effectuée une agitation plus importante 1.19 et 1.35m, l'agitation augmente considérablement sur l'avant-port et le chenal entre 0.6 et 0.7m ce qui ne remplit pas le critère de sécurité, l'agitation dans le bassin ne dépasse pas les 0.1m.

L'agitation dans la passe d'entrée est plus en revanche plus élevée sur l'ensemble des périodes d'occurrence, voire supérieure aux critères de sécurité : il n'est pas prévu d'y amarrer de bateau en cas de coup de mer.

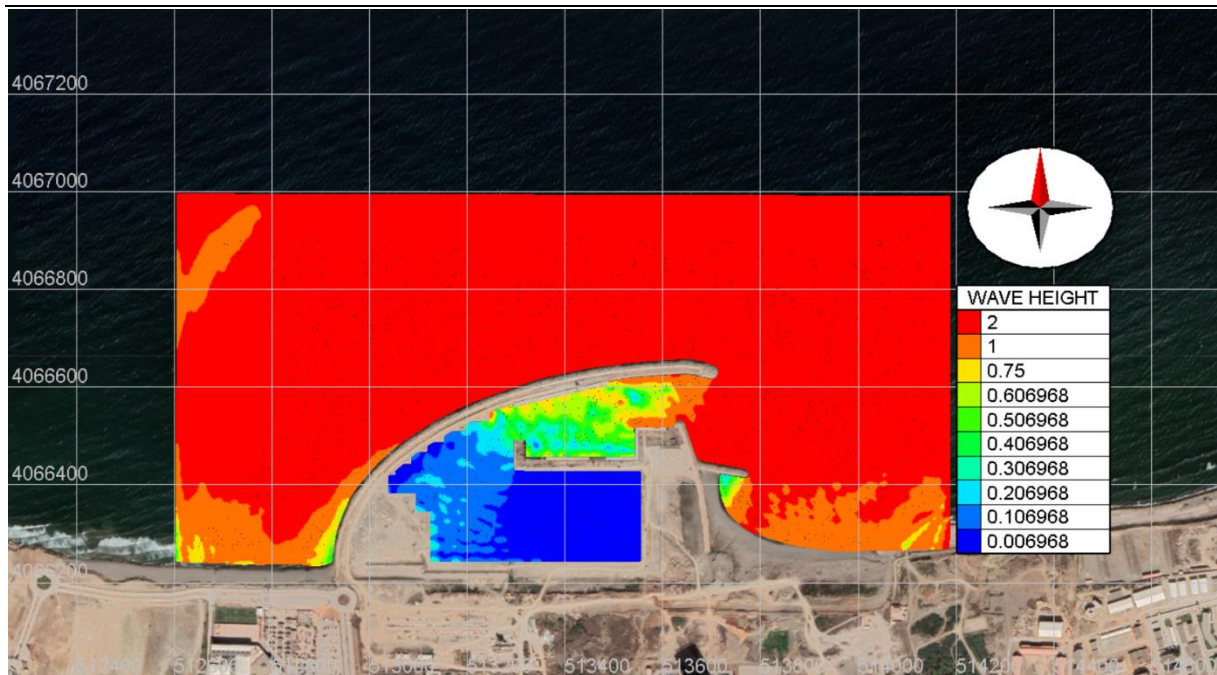


Figure 101: Résultat de l'agitation pour la période de retour 1an- Nord-Est.

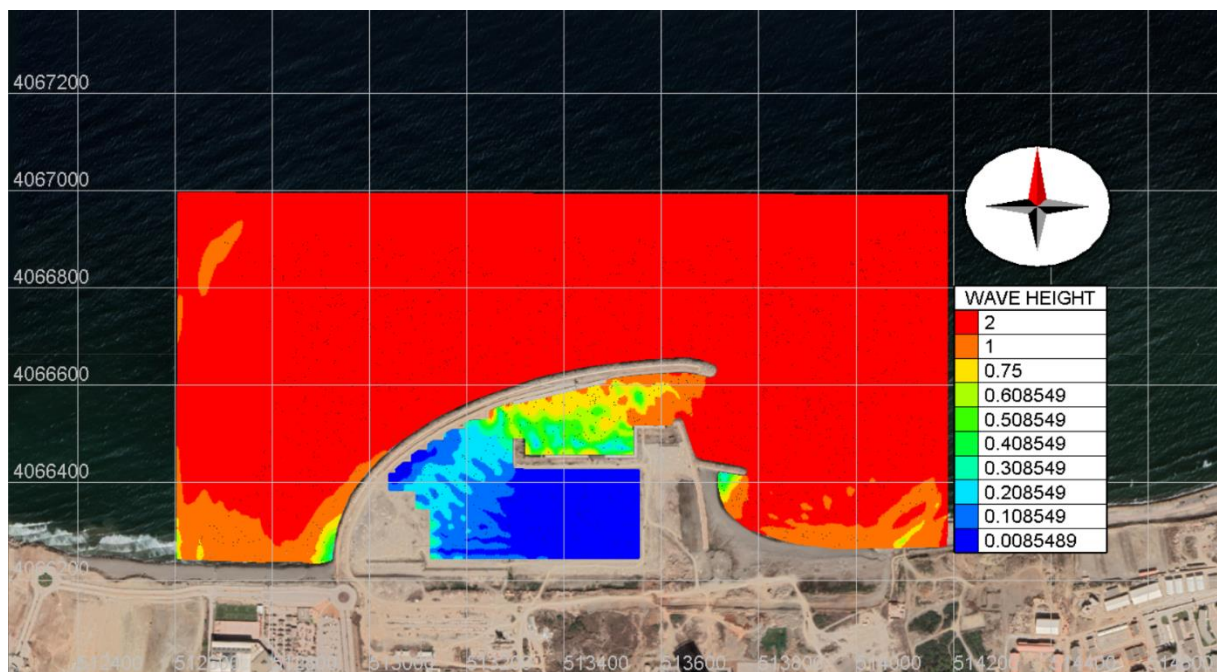


Figure 100: Résultat de l'agitation pour la période de retour 5ans- Nord-Est.

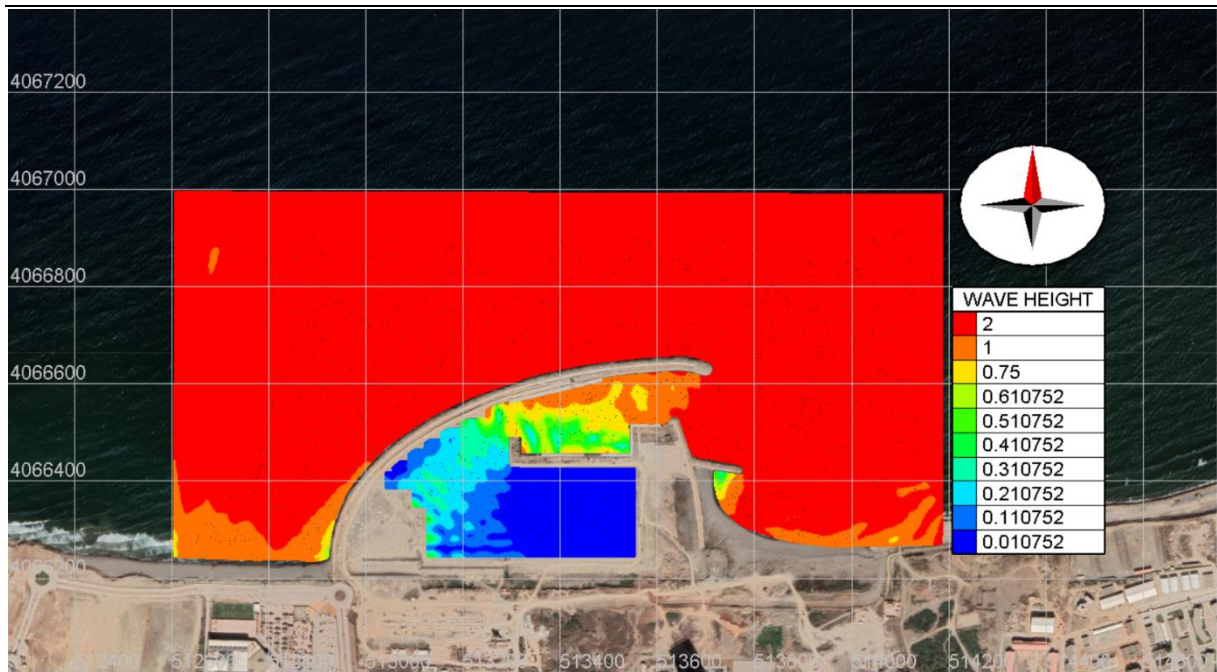


Figure 102: Résultat de l'agitation pour la période de retour 10 ans- Nord-Est.

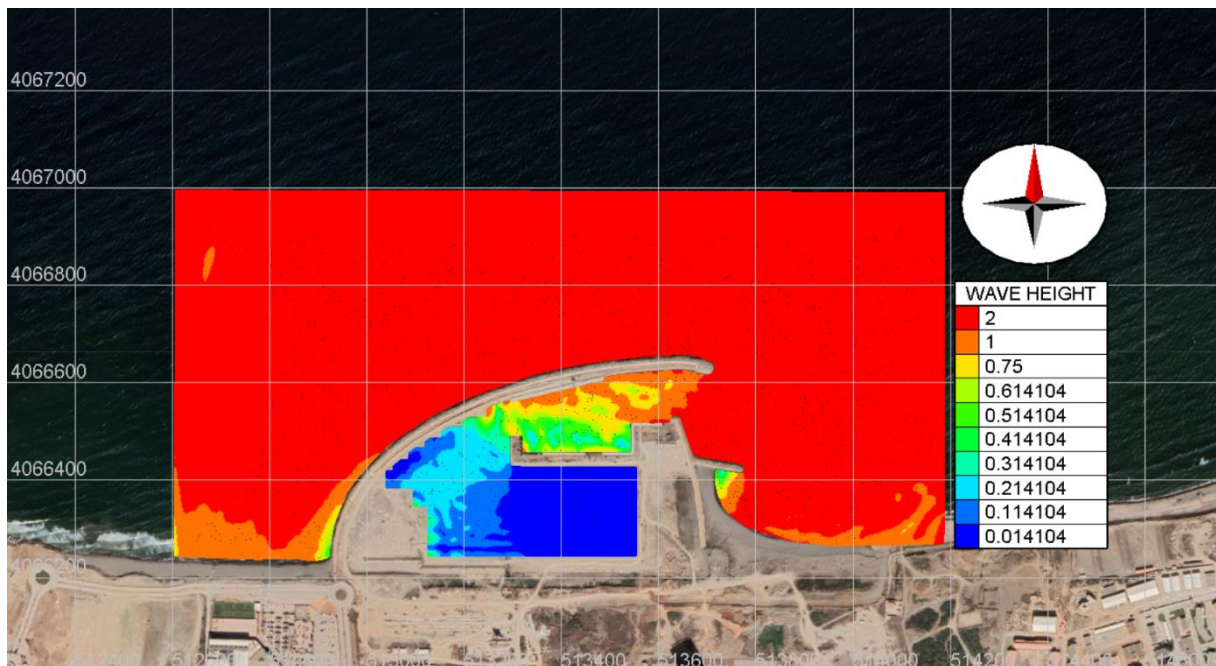


Figure 103: Résultat de l'agitation pour la période de retour 20 ans- Nord-Est.

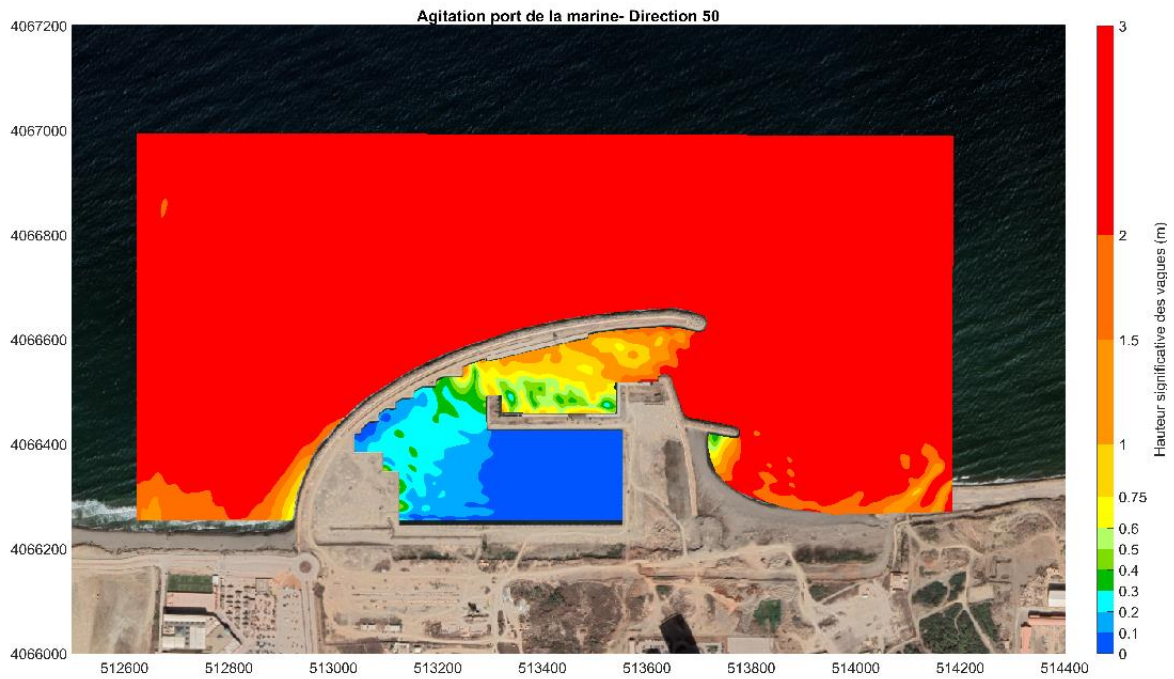


Figure 104: Résultat de l'agitation pour la période de retour 50 ans- Nord-Est.

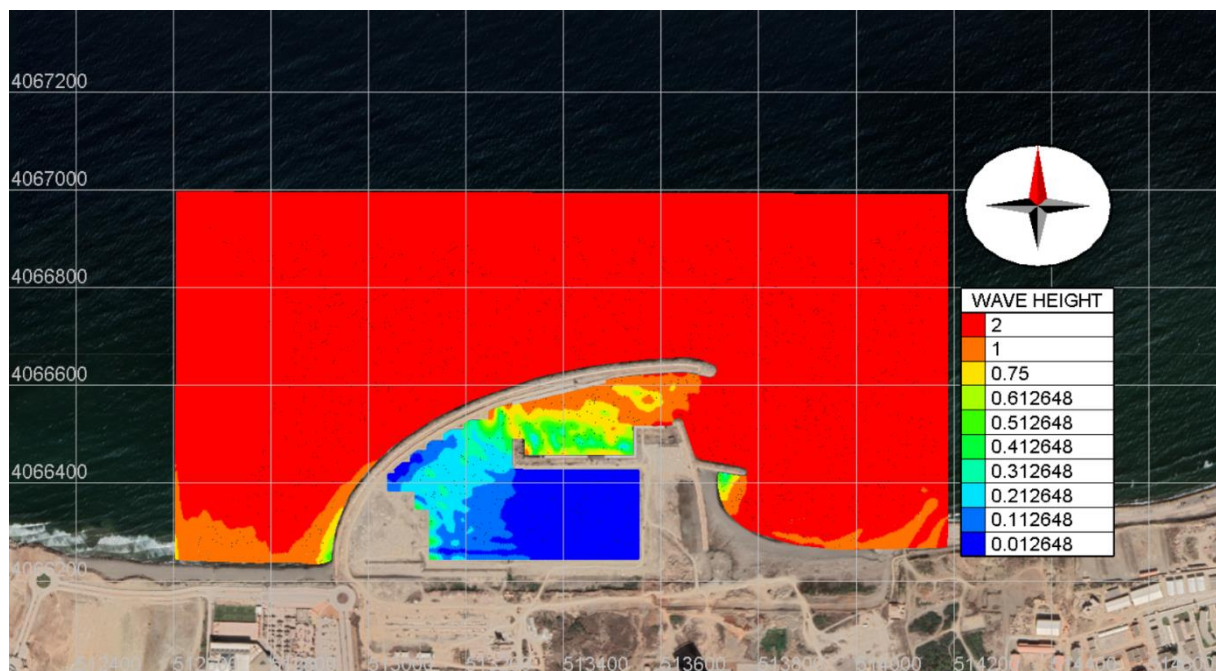


Figure 105: Résultat de l'agitation pour la période de retour 100 ans- Nord-Est.

**Chapitre VII : Modélisation de la
circulation et le séjour des eaux
dans le bassin portuaire**

1. Renouveaulement des eaux

1.1. Présentation

La modélisation numérique des processus hydrodynamiques est un moyen puissant, largement utilisé et validé depuis plusieurs années pour l'étude d'un site et/ou des conséquences d'un projet sur les conditions naturelles. Cet outil permet, par la résolution des équations qui régissent les mouvements des masses d'eau (mécanique des fluides), de décrire sur une zone géographique donnée les fluctuations spatiales et temporelles des courants et des niveaux d'eau pour différentes conditions météo-océanographiques.

Le logiciel de modélisation MIKE développé par DHI (Danish Hydraulic Institute) est principalement utilisé. Ce logiciel complet permet de simuler numériquement les phénomènes physiques régissant l'hydraulique des milieux maritimes et fluviaux tels que notamment les variations de niveau d'eau, les courants, les vagues, ainsi que leurs interactions. Pour cette étude, les modules suivants ont été utilisés :

- Module HD (courants et niveaux d'eau), permis de qualifier la courantologie locale durant la période choisie
- Module AD (advection – dispersion effluents).

Ces différents modules peuvent être couplés et permettent une large palette de possibilités. Le maillage utilisé par le modèle est en éléments finis et autorise une grande souplesse dans la représentation de zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner les mailles très précisément et de les adapter localement à la géométrie désirée.

Dans le cadre de cette étude, les modules **HD et AD** utilisés sont présentés dans les paragraphes ci-après.

À partir des caractéristiques du panache après modélisation dans le champ proche (flux de pollution, dilution initiale), les calculs d'évolution du panache de rejet sur l'ensemble de la zone sont partie intégrante du logiciel. Le code est capable de calculer l'entraînement par le courant et la diffusion (moléculaire et turbulente) d'un traceur passif ou actif, avec des termes de création ou de disparition.

Le renouvellement des eaux a été évaluée par modélisation bidimensionnelle.

1.2. Hypothèse de départ

L'hypothèse de départ utilisée est la production d'une pollution accidentelle au niveau de la zone d'étude, le but étant de suivre l'évolution et la dissipation de cette pollution au cours du temps.

1.2.1. Conditions météo-océaniques simulées

Une condition réelle entre 01/02/2019 00:00 et 11/02/2019 10:00 a été simulée dans le cadre de cette étude, afin d'évaluer le taux du renouvellement d'eau dans le port avec 1500 pas de temps de 200 secondes.

La position du point de rejet est illustrée dans la figure ci-après. (Voir figure 106)

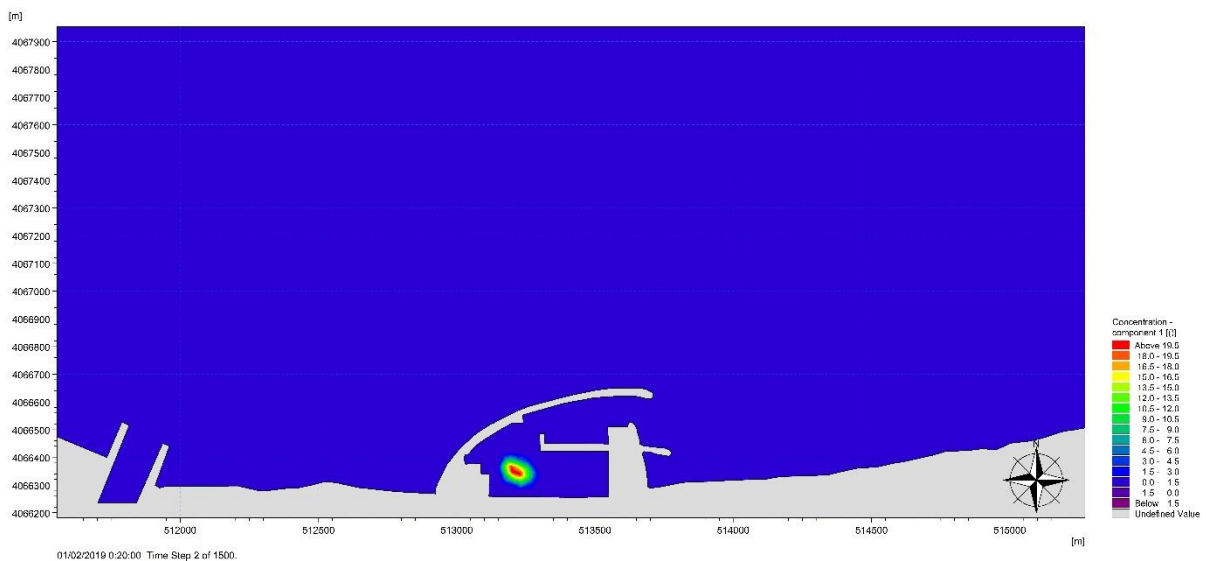


Figure 106: le positionnement de point du rejet

Il est fait l'hypothèse que la pollution artificielle rejetée dans le milieu est de 20 kg/m^3 , avec un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit est lancé sur une période continue de 5 minutes suivant l'heure de départ de la simulation (01/02/2019 00 :00).

Il faut noter que ce module de simulation, comporte l'aspect de dilution sur le volume de pollution injecté dans le bassin de la marina, ce qui observable sur les résultats ci-dessus (voir la figure 107).

Le choix de la direction des courants de l'ouest vers l'est, est de permettre la circulation des eaux à l'intérieur du bassin et de rejeter la substance vers l'extérieur par la passe d'entrée.

Les étapes pour le lancement de ce model :

- Bathymétrie sous forme. Dfsh extraite à partir du module bathymétrie du Mike 21.
- Conditions d'entrée : maillage flexible trop serré à l'intérieur du bassin, les valeurs du courant, niveau de la mer, la direction Ont été extraites à partir du module HD du Mike 21. (Le module Mike a été couplé avec le modèle de marrée TPXO)
- Caractéristiques du polluant injecté : volume, densité, dilution dans le temps sont intégrés sous forme d'un tableau généré par le module Mike Tools.

7 Résultat :

Les résultats sont présentés sous forme de planches représentant la cinétique de l'évolution de la pollution en fonction du temps (voir figures :).

L'analyse de séjours des eaux à l'intérieur du bassin de la marina, a fait ressortir :

Selon le scenario simulé, le sens de la propagation de la substance injectée suit le sens de la circulation de la courantologie de l'intérieure jusqu'à le rivage Est de la marina.

Après l'immersion de la substance au centre du deuxième bassin, il faut attendre 5 minutes pour que sa dilution commence. Selon ses caractéristiques initiales, la diffusion du polluant est observée dans le 2ème bassin, en suite en constate l'apparition d'un panache qui commence à prendre une dimension plus large en suivant le sens du courant à l'intérieur du bassin pour occuper la totalité de la surface du bassin durant 77 heures 33 minutes.

Après cette durée, le polluant occupe la totalité du bassin et sort vers l'extérieur pour atteindre la partie Est de la marina.

En conclusion, la durée de séjours des eaux l'intérieur du bassin de la marina selon les conditions hydrodynamiques, la configuration des ouvrages et la bathymétrie de la marina est de 250 heures. Une durée suffisante pour renouveler la totalité des eaux à l'intérieur, et d'éviter la stagnation des polluants à l'intérieur et d'éviter les effets nuisant pour le tourisme et la plaisance.

Cette durée de 11 jours sera réduite pour des conditions de houles et des courants de tempête et de forte agitation.

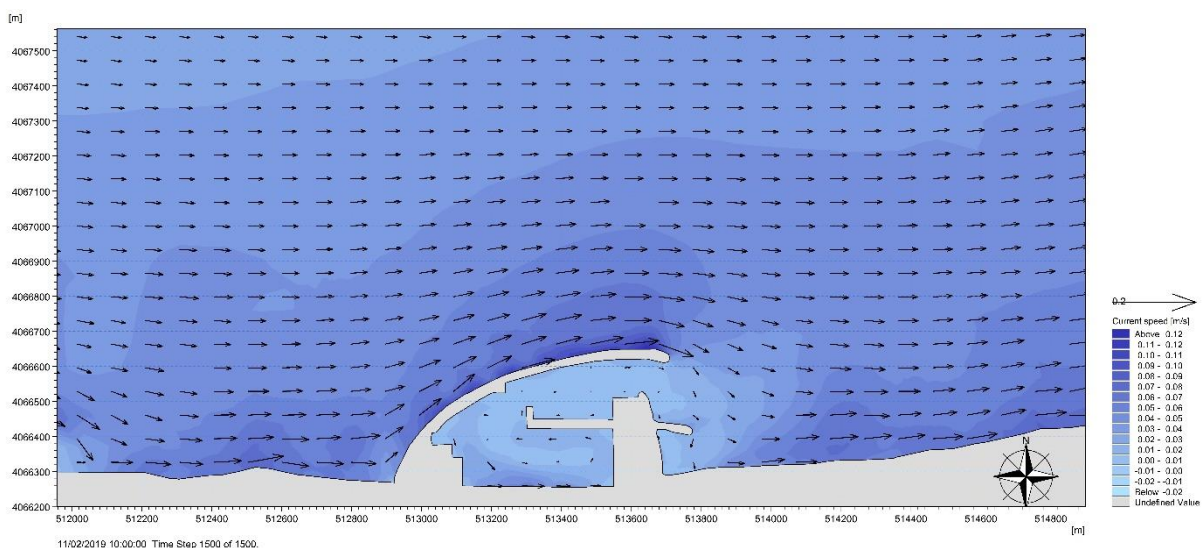


Figure 107: résultats de la courantologie locale couplée avec le module AD

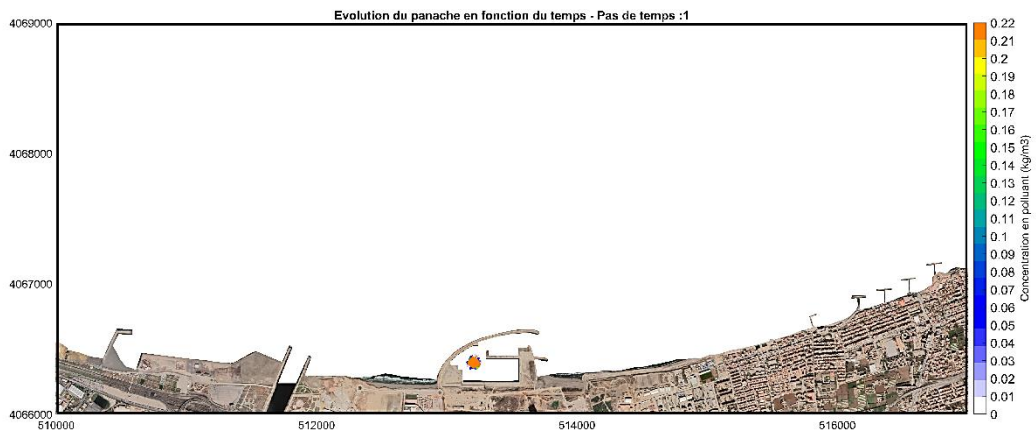


Figure 108: l'évolution du panache - pas de temps=01

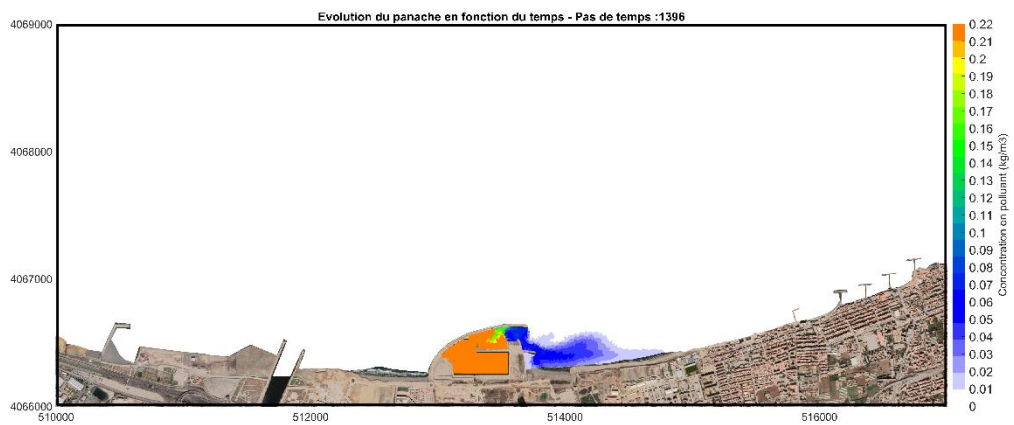


Figure 109: l'évolution du panache - pas de temps=1398



Pas de temps : 6

Pas de temps : 66

Pas de temps : 116

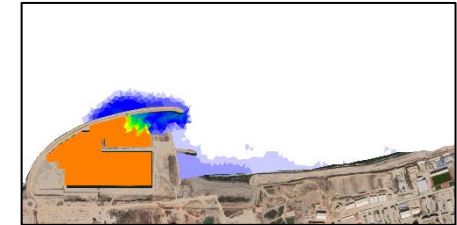
Pas de temps : 301



Pas de temps : 501



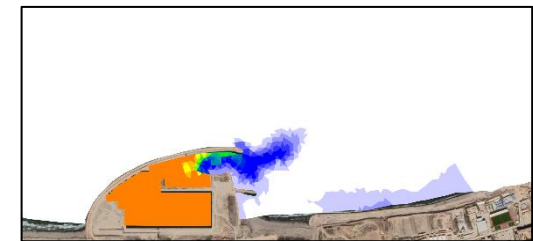
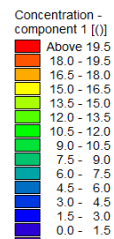
Pas de temps : 701



Pas de temps : 901



Pas de temps : 1101



Pas de temps : 1366

Figure 110: l'évolution du panache en fonction du temps

Conclusion

Conclusion générale

Pour assurer le bon fonctionnement des infrastructures portuaire de plaisance, il faut avoir une stabilité au sein de ses bassins portuaires. D'où la nécessité d'effectuer une étude d'agitation, et assurer la meilleure qualité d'eau dans a l'intérieur de ces infrastructures.

Nous avons dans un premier temps effectué une synthèse sur la zone d'étude, ou nous avons analyser ses paramètres climatologiques et océanographiques, pour ensuite faire une étude bath-sédimentologique pour caractériser les sédiments marins, leurs distributions spatiales et leurs comportements dans la marina. Après étude sur le comportement de la houle au large par les méthodes statistiques, nous avons pu déterminer les caractéristiques de la houle au large et les périodes de retour des houles extrême, nous avons utilisé ces dernières plus les données bathymétriques collectées dans l'étude de propagation de la houle, la propagation des courants marins et le transport sédimentaire en utilisant la méthode numérique, ainsi la prise en compte de tous les types de forçages vis-à-vis la configuration et l'orientation du port par le biais des tests de sensibilité ce qui a montré que la direction la plus pénalisante au point de vue de la passe d'entrée de la marina est la direction Nord-Nord-Est 30°. Cette étude nous a permis en premier lieu d'étudier le comportement de la houle au voisinage de la zone d'étude qui atteint les 6m sur une période de retour de 100 ans, ainsi de déduire la dérive littorale qui contrôle la morphologie des plages et détermine en grande partie l'érosion, l'accrétion/ensablement qui varie entre $500m^3/an/m$ et $2492 m^3/an/m$.

En utilisant les résultats obtenus, plus les coefficients des limites solides de la zone d'étude, un modèle numérique été établi 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. Les résultats ont montré que l'agitation au niveau du bassin intérieur est faible de l'ordre de 0.1 m et conforme aux critères de sécurité de 0.3 m, en revanche L'agitation dans la passe d'entrée est plus élevée sur l'ensemble des périodes d'occurrence qui varie entre 1.19m et 1.35m, voire supérieure aux critères de sécurité : il n'est pas prévu d'y amarrer de bateau en cas de coup de mer. Pour la dernière partie, une modélisation numérique des processus hydrodynamiques a été faite pour définir le taux de renouvellement des eaux à l'intérieur de la marina, un modèle couplé HD/AD pour un scenario initial selon l'orientation de la passe d'entrée a été effectuer pour pouvoir analyser le régime de la pollution immergée selon des caractéristiques de volume, de concentration de ce rejet.

Les résultats de cette modélisation nous a permis d'avoir la durée totale de 250 heures pour le renouvellement des eaux, une durée suffisante, pour renouveler la totalité des eaux a l'intérieur et d'éviter la stagnation des polluants à l'intérieur, et d'éviter les effets nuisant pour le tourisme et la plaisance.

Ce mémoire avait pour ambition d'expliqué les étapes de la modélisation hydrodynamique et l'étude d'agitation et le taux de renouvellement des eaux au niveau de la marina El Bay D'Alger, afin d'avoir un modèle de référence qui résume les démarches à suivre pour ce type d'étude dans les projets d'aménagement future.

Bibliographie

Becker, J., van Eekelen, & all, (2015). Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Management*, 149, 282–293.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2014.10.022>

BONNEFILLE, René, (2010). *Mouvements de la mer et leurs risques. Techniques de l'ingénieur Les aménagements des voies de transport. T. base documentaire. France : Editions T.I.*

BTP infrastructures, (2016). *Projet final marina El Bay d'Alger. Rapport d'activité. Document non publié. Alger : BTP infrastructures. (Pas de pagination)*

Centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. (2018). *Études hydrauliques maritimes, guide à destination des maîtres d'ouvrage. France. Page (89). [En ligne]. [Consulté le 02/03/2022]. Disponible sur le web : www.cerema.fr*

Clémence FAUVE (1998) *Clusters de tempêtes: quel paradigme ?, institut des actuaires,*

Crispin, V., Juni, Q., & all, (2018). *Application of the Peaks-Over-Threshold Method on Insurance Data.*

DHI (2014). *MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator,*

DHI (2014). *MIKE 21 Spectral Wave Module,*

DHI (2014). *MIKE 21/3 Couple Model FM,*

DHI (2014). *MIKE 21 Flow Model Advection/Dispersion Module,*

EDF – DTEAM. (2020). *Etude de faisabilité pour la réfection de la digue station de pompage et zone de dépotage combustible du CCG Martigues Rapport d'étude du scénario « pérennisation » des digues CPE et CCG. France : EDF – DTEAM.*

GABI Smail (2015) *Modélisation du comportement d'un quai sur pieux. Application à un quai du port de Djen-Djen (Jijel). TIZI OUAZOU : UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL.*

Module 2 L'organisation d'un système portuaire Manuel du participant. NATIONS UNIES CNUCED TrainForTrade,

Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau. Réf. Internet : 42617 | 4e édition
www.techniques-ingenieur.fr

KAMPHUIS, J William, (2003). *Introduction to coastal engineering and management.* World Scientific.

LEM, (2017). *Dossier d'exécution d'étude d'impact sur l'environnement du projet d'aménagement de la Marina Bay d'Alger.* Alger. Laboratoire d'Etudes Maritimes.

Lang P. (2010) : *Hydrodynamique bidimensionnelle Logiciel TELEMAC-2D Version 6.0 Manuel de l'utilisateur 2010,*

Logiciel Artemis (2009) - *Agitation d'un plan d'eau par la houle,*

Manuel du participant (2012). *Module 2 L'organisation d'un système portuaire, [En ligne]. [Consulté le 09/04/2022]. Disponible sur le web <http://learn.unctad.org>*

MIKE SHE DHI 2016 Fully Integrated Exercise. [En ligne]. [Consulté le 15/04/2022]. Disponible sur le web. www.mikepoweredbydhi.com

MIHOUBI, M. K., DAHMANI, H., KETTAB, A., & KHODJET 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.* 225–228. Alger. [En ligne]. [Consulté le 20/04/2022]. Disponible sur le web <https://doi.org/10.5150/cmcm.2011.048>

MIKE 21 Flow Model Advection/Dispersion Module User Guide. *Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau.* [En ligne]. [Consulté le 024/04/2022]. Disponible sur le web www.techniques-ingenieur.fr

Rosso, G. (2015). *Extreme Value Theory for Time Series using Peak-Over-Threshold method-Gianluca Rosso (2015) Extreme Value Theory for Time Series using Peak-Over-Threshold method.*

Projet Eco bleu, Cotinthe ingénierie (2018). *REDEPLOIEMENT DES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES ET DES ESPACES SUR LE DOMAINE PUBLIC MARITIME.*

WalidRABEHI1, MokhtarGUERFI2, habibMAHI. (2019). *LA BAIE D'ALGER, UN ESPACE CÔTIER PRISÉ, ENTRE PRESSIONS D'URBANISATION ET GOUVERNANCE TERRITORIALE.*

Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). *MORPHODYNAMIC VARIABILITY OF SURF ZONES AND BEACHES : A SYNTHÈSE : ~IS**. In *Marine Geology* (Vol. 56).

Villeneuve, M., & Catherine Denault. (2008). *Société des traversiers du Québec QUAI DU TRAVERSIER DE L'ISLE-AUX-COUDRES Modélisation numérique des conditions hydrosédimentologiques.*

Sites WEB :

[http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/TELEMAC_2D_\(HU\)](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/TELEMAC_2D_(HU))

<https://github.com/>

<https://scikit-learn.org/>

<https://stackoverflow.com/questions/52455797/python-fitting-a-gev-distribution-from-these-values>

<http://www.opentelemac.org/index.php/modules-list/19-artemis-presentation>

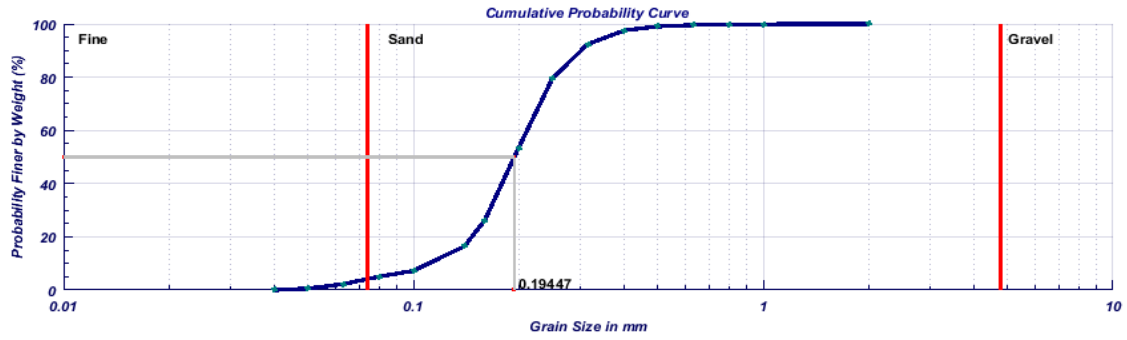
<https://wwz.ifremer.fr/iowaga/Products>

<https://sextant.ifremer.fr/geonetwork/srv/api/records/c87f6f24-63b4-46ec-b40e-f185a61dc672>

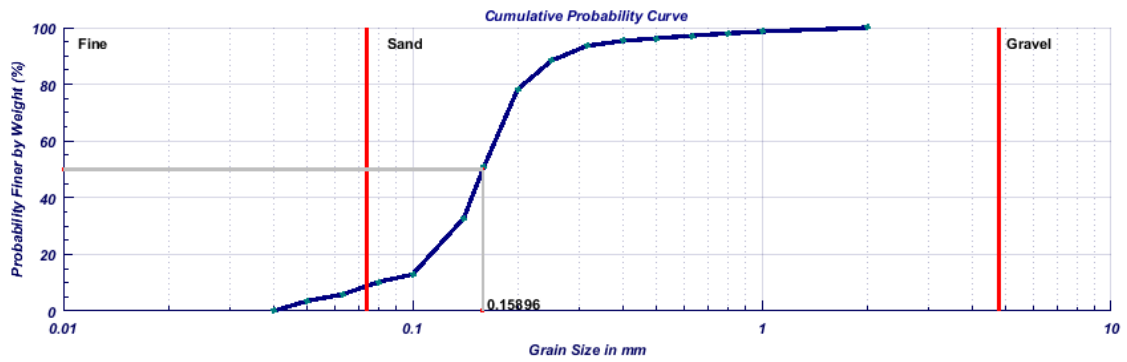
<https://training.theacademybydhi.com/>

ANNEXE A

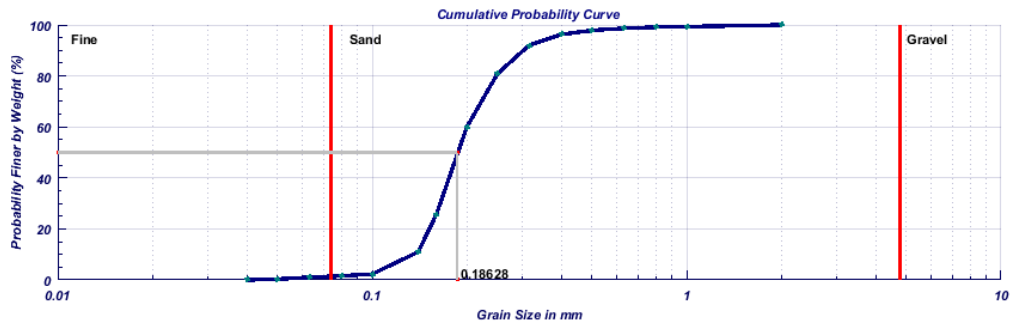
Station	Log	Lat	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vitesse (m/s)	Direction
1	3,1517	36,7424	513538,6860	4066257,3861	-2,7	0	233,08
1 *	3,1517	36,7433	513538,6040	4066309,1528	-2,8	0,131	337,9
2	3,1518	36,7435	513545,8884	4066407,1515	-3,9	0	217,4
3	3,1509	36,7435	513547,3499	4066423,7931	-3,2	0,072	171,2
4	3,1507	36,7424	513477,4185	4066423,6826	-3,5	0,069	125,3
5	3,1506	36,7418	513451,7064	4066310,8644	-3,2	0,236	330
6	3,1499	36,7418	513440,5028	4066244,2895	-2,8	0,058	247,3
7	3,1497	36,7424	513379,9438	4066244,2895	-3,1	0,081	358,7
8	3,1499	36,7399	513367,4986	4066305,1859	-1	0,076	43,2
9	3,1491	36,7433	513379,8273	4066369,4297	-1,1	0,073	277,9
10	3,1490	36,7425	513313,7750	4066406,7869	-2	0,071	323,1
11	3,1491	36,7419	513302,0185	4066312,4791	-3,1	0,006	229,8
12	3,1488	36,7419	513306,5714	4066255,1730	-2,8	0,006	53,4
13	3,1488	36,7424	513281,2823	4066251,4360	-3,9	0,112	245,9
14	3,1488	36,7433	513282,6784	4066310,6002	-3,2	0,046	226
15	3,1488	36,7435	513284,0112	4066410,4382	-3,5	0,077	360
16	3,1488	36,7441	513279,5187	4066428,9194	-3,2	0,109	205
17	3,1488	36,7445	513285,3583	4066501,0322	-2,5	0,035	115
18	3,1483	36,7443	513283,8044	4066543,5525	-3,6	0,126	234,4
19	3,1476	36,7440	513242,1809	4066519,4533	-3	0,108	78,1
20	3,1476	36,7435	513176,7652	4066486,0736	-3	0,024	67,2
21	3,1471	36,7427	513176,8620	4066423,2141	-3	0,086	115,8
22	3,1471	36,7428	513135,3314	4066338,1048	-2,8	0,746	164,9
23	3,1470	36,7431	513132,3357	4066351,0419	-3,1	0,14	324,3
24	3,1470	36,7434	513124,8393	4066388,0066	-1	0,046	320
25	3,1469	36,7437	513121,8238	4066413,8854	-1,1	0,017	225,8
26	3,1462	36,7434	513115,8155	4066450,8525	-2	0,046	168
27	3,1462	36,7432	513051,8923	4066413,7784	-3,1	0,061	336
28	3,1492	36,7447	513053,4169	4066389,7461	-1,8	0,068	29
29	3,1492	36,7443	513320,9697	4066563,9473	-4,9	0,014	164
30	3,1492	36,7438	513321,0389	4066519,5758	-5,1	0,111	58
31	3,1499	36,7437	513316,6587	4066465,9534	-4,2	0,032	356
32	3,1498	36,7442	513380,6585	4066453,1116	-3,9	0,023	286
33	3,1498	36,7448	513374,6288	4066503,0202	-4,4	0,019	164
34	3,1503	36,7449	513370,0611	4066569,5703	-5	0,058	171
35	3,1504	36,7444	513420,6286	4066582,5913	-5,1	0,051	190
36	3,1503	36,7438	513423,6856	4066530,8293	-4,7	0,021	321
37	3,1510	36,7437	513417,8385	4066464,2628	-4,1	0,223	13
38	3,1509	36,7441	513481,8355	4066453,2706	-3,8	0,073	331
39	3,1507	36,7448	513472,8382	4066497,6279	-4,4	0,072	151,4
40	3,1517	36,7451	513453,3764	4066573,3987	-5,1	0,222	180
41	3,1518	36,7444	513544,2043	4066531,0193	-1,2	0,187	235
42	3,1526	36,7445	513548,6679	4066531,0264	-4,9	0,201	359
43	3,1524	36,7451	513618,5867	4066538,5327	-4,6	0,435	251
44	3,1532	36,7450	513603,5961	4066608,7638	-5,3	0,106	157
45	3,1536	36,7440	513679,4923	4066599,6409	-4,8	0,43	36
46	3,1543	36,7437	513709,4276	4066488,7599	-2,4	0,188	0
47	3,1541	36,7443	513770,4937	4066450,0329	-2,8	0,226	166
48	3,1541	36,7449	513752,5289	4066518,4102	-3,3	0,355	163
49	3,1540	36,7454	513755,4036	4066581,2745	-5	0,17	32
50	3,1546	36,7454	513747,8631	4066644,1221	-6	0,132	78
51	3,1551	36,7443	513802,9231	4066638,6643	-5,4	0,189	18
52	3,1551	36,7434	513849,2505	4066513,0199	-3,8	0,127	13
53	3,1548	36,7428	513841,9578	4066422,4158	-3,2	0,129	12
54	3,1553	36,7427	513822,7346	4066348,4325	-1,5	0,131	10
55	3,1554	36,7432	513862,9233	4066339,2535	-0,6	0,133	16
56	3,1553	36,7430	513868,7910	4066391,0298	-3	0,073	188
57	3,1554	36,7436	513867,3301	4066374,3881	-3	0,152	343



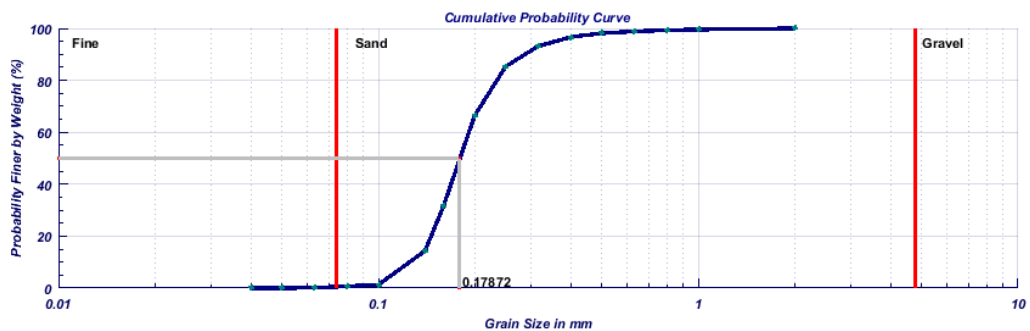
Courbe granulométrique de la station 06



Courbe granulométrique de la station 53



Courbe granulométrique de la station 14



Courbe granulométrique de la station 50

ANNEXE B

- Le script de la fonction **POT** (Peaks Over Threshold) et **GPD** (Generalized Pareto distribution)

```
#=====
#initialisation du modele EVA
#=====
# HANANI Akram Zineddine, CHAIBAI Mohamed Salah Eddine 5ème année ENSSMAL
#=====

model= EVA(data=df_hs)
model
help(EVA.get_extremes)

extremes = model.get_extremes(
    method="POT",
    extremes_type="high",
    threshold=3,
    r='48h')

model.plot_extremes()

model.fit_model()
model.plot_diagnostic(return_period=np.linspace(0.1,100,100),alpha=0.95)

model.plot_return_values(
    return_period=np.linspace(0.1,100,100),
    return_period_size="1Y",
    alpha=0.95)

summary = model.get_summary(
    return_period=[1,5,10,20,30,50,100],
    alpha=0.95)
summary
#=====
```

- Script de la fonction rose des houles sur python.

```
#=====
# HANANI Akram Zineddine, CHAIBAI Mohamed Salah Eddine 5ème année ENSSMAL
#=====

ax = WindroseAxes.from_ax(rmax=30)
bins=np.arange(0, 5, 0.5)
ax.bar(df_data['dp'], df_data['hs'], normed=True, opening=0.95, edgecolor='white', bins=bins)
xlabel = ('E', 'O', 'N', 'S')

ax.set_legend(loc='Lower right', title='hs (m)')

ax.set_title('Rose des houles - Point Iowaga au large - JANVIER')
#=====
```

- Script de la fonction rose des vents sur python

```
#=====
# HANANI Akram Zineddine, CHAIBAI Mohamed Salah Eddine 5ème année ENSSMAL
#=====

ax = WaveroseAxes.from_ax(rmax=30)
bins=np.arange(0, 20, 2)
ax.bar(df_data['dp'], df_data['hs'], normed=True, opening=0.95, edgecolor='white', bins=bins)
xlabel = ('E', 'O', 'N', 'S')

ax.set_legend(loc='Lower right', title='vitesse du vents (m/s)')

ax.set_title('Rose d vents - Point Iowaga au large - JANVIER')
#=====
```

➤ Script de la méthode K-means

```
Entrée [1]: import numpy as np
import pandas as pd
import statsmodels.api as sm
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
sns.set()
from sklearn.cluster import KMeans
```

```
Entrée [ ]: plt.scatter(data['Hs'],data['Dp'])
plt.xlim(0,7)
plt.ylim(0,360)
plt.show()
```

```
Entrée [ ]: plt.scatter(data['Hs'],data['Tp'])
plt.xlim(0,7)
plt.ylim(0,20)
plt.show()
```

Kmeans using 3 columns

```
Entrée [ ]: x = data.iloc[:,1:4] # 1t for rows and second for columns
x
```

```
Entrée [ ]: kmeans= KMeans(3)
kmeans.fit(x)
```

```
Entrée [ ]: identified_clusters = kmeans.fit_predict(x)
identified_clusters
```

```
Entrée [ ]: data_with_clusters = data.copy()
data_with_clusters['Clusters'] = identified_clusters
plt.scatter(data_with_clusters['Hs'],data_with_clusters['Dp'],c=data_with_clusters['Clusters'],cmap='rainbow')
```

Scale x using the MinMax scaler

```
Entrée [ ]: from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
scaler = MinMaxScaler()
x_scaled = scaler.fit_transform(x)
x_scaled
```

Elbow plot

```
Entrée [ ]: wcss = []
# 'cl_num' is a that keeps track of the highest number of clusters we want to use the WCSS method for. We have it set at 10 right now
cl_num = 10
for i in range(1,cl_num):
    kmeans= KMeans(i)
    kmeans.fit(x_scaled)
    wcss_iter = kmeans.inertia_
    wcss.append(wcss_iter)
wcss
```

```
Entrée [ ]: plt.plot(range(1,cl_num),wcss)
```

Identifying the cluster for each row

```
Entrée [ ]: kmeans2 = KMeans(3)
identified_clusters_k2 = kmeans2.fit_predict(x_scaled)
identified_clusters_k2
```

```
Entrée [ ]: x['cluster'] = identified_clusters_k2
```

Cluster centers

```
Entrée [ ]: kmeans2.cluster_centers_
```

```
Entrée [ ]: plt.rcParams['figure.figsize'] = (12,12)
x1 = x[x.cluster==0]
x2 = x[x.cluster==1]

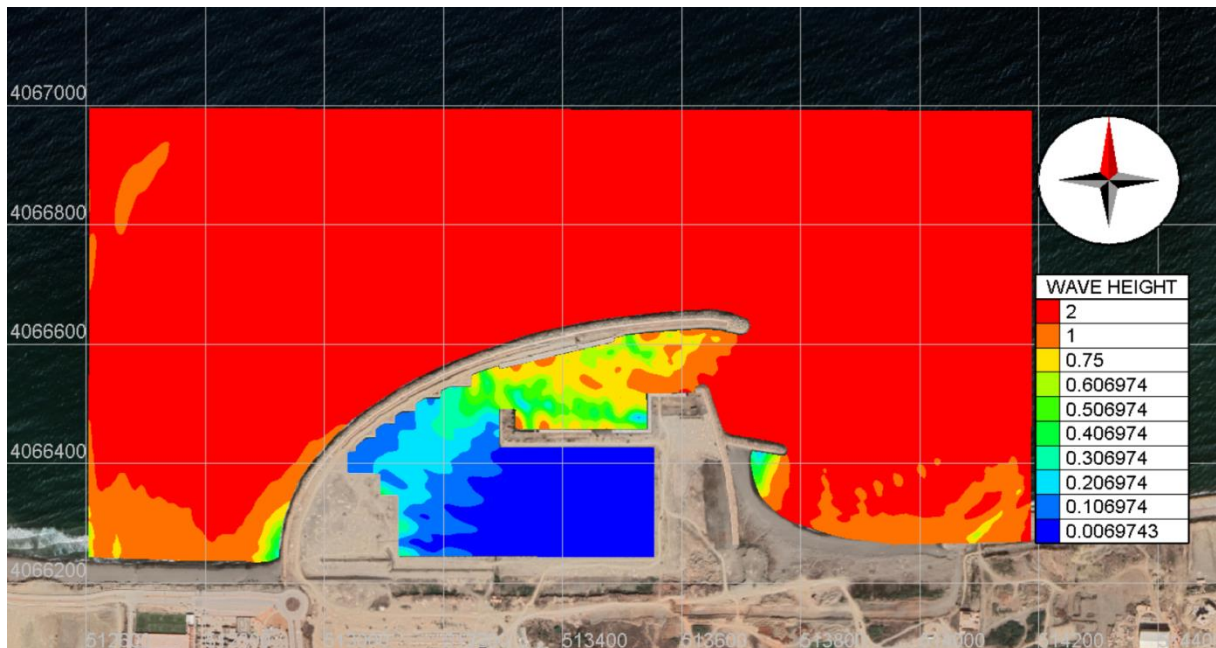
ax = plt.axes(projection="3d")
ax.scatter3D(x1['Hs'],x1['Tp'],x1['Dp'],color='green')
ax.scatter3D(x2['Hs'],x2['Tp'],x2['Dp'],color='red')

ax.scatter3D(kmeans2.cluster_centers_[0],kmeans2.cluster_centers_[1],kmeans2.cluster_centers_[2],marker='*',color='blue')
```

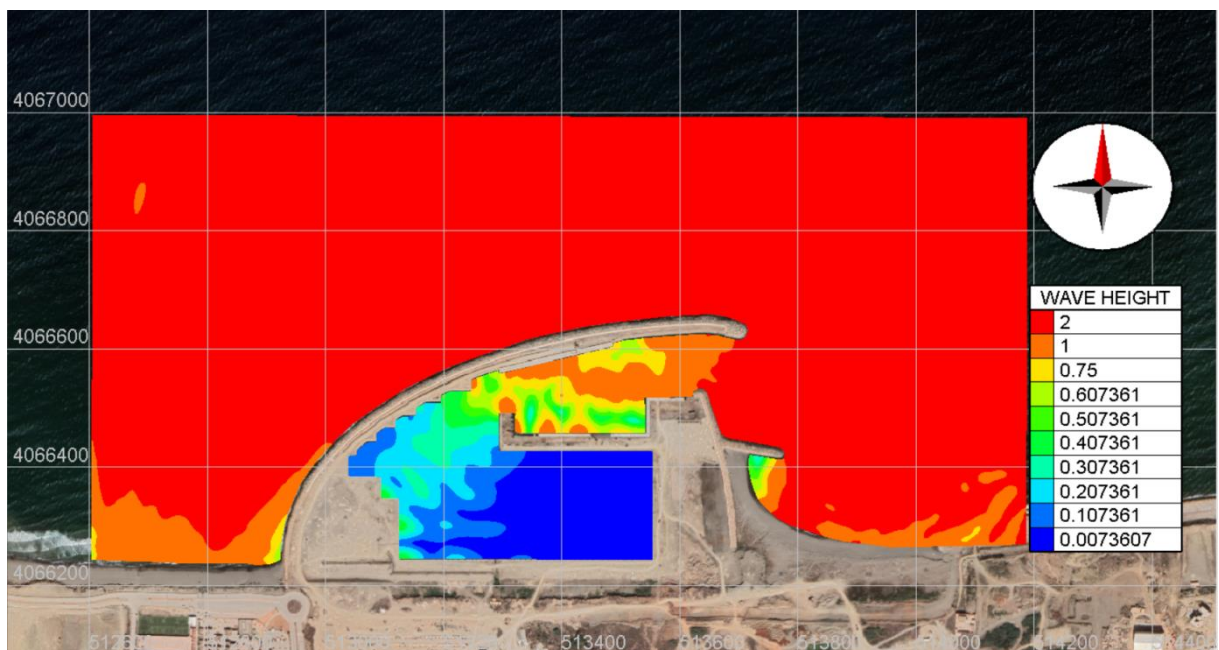
```
Entrée [ ]: ax = plt.axes(projection="3d")
ax.scatter3D(kmeans2.cluster_centers_[0],kmeans2.cluster_centers_[1],kmeans2.cluster_centers_[2],marker='*',color='blue')
```

ANNEXE C

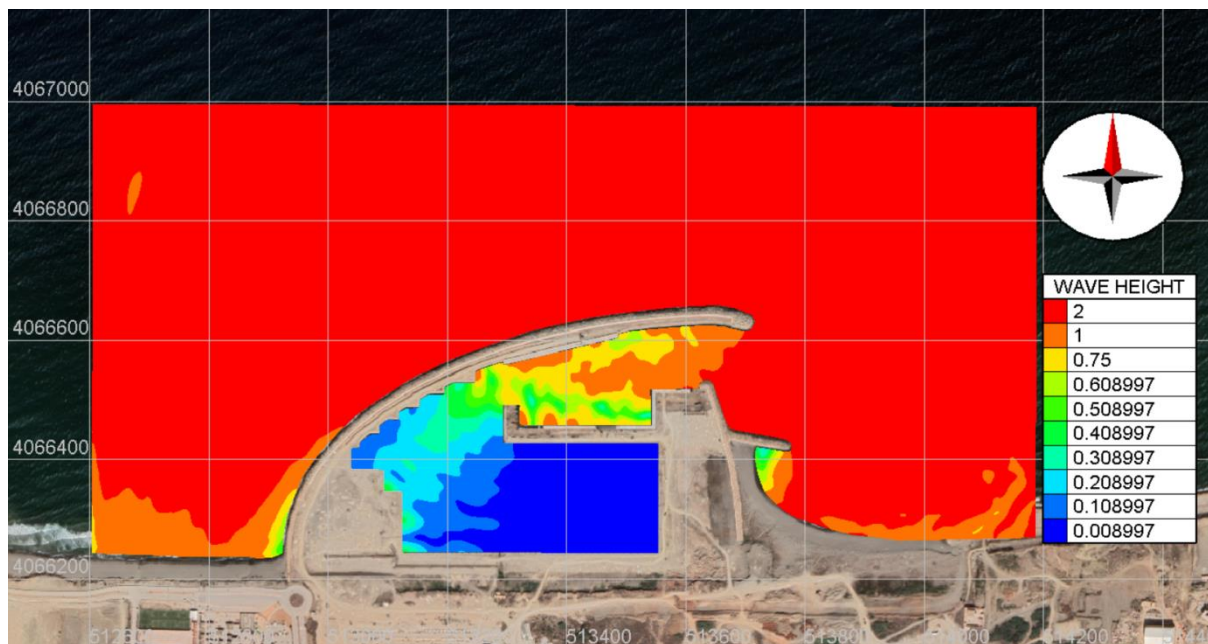
Scénario aménagé 5ans 50 degré :



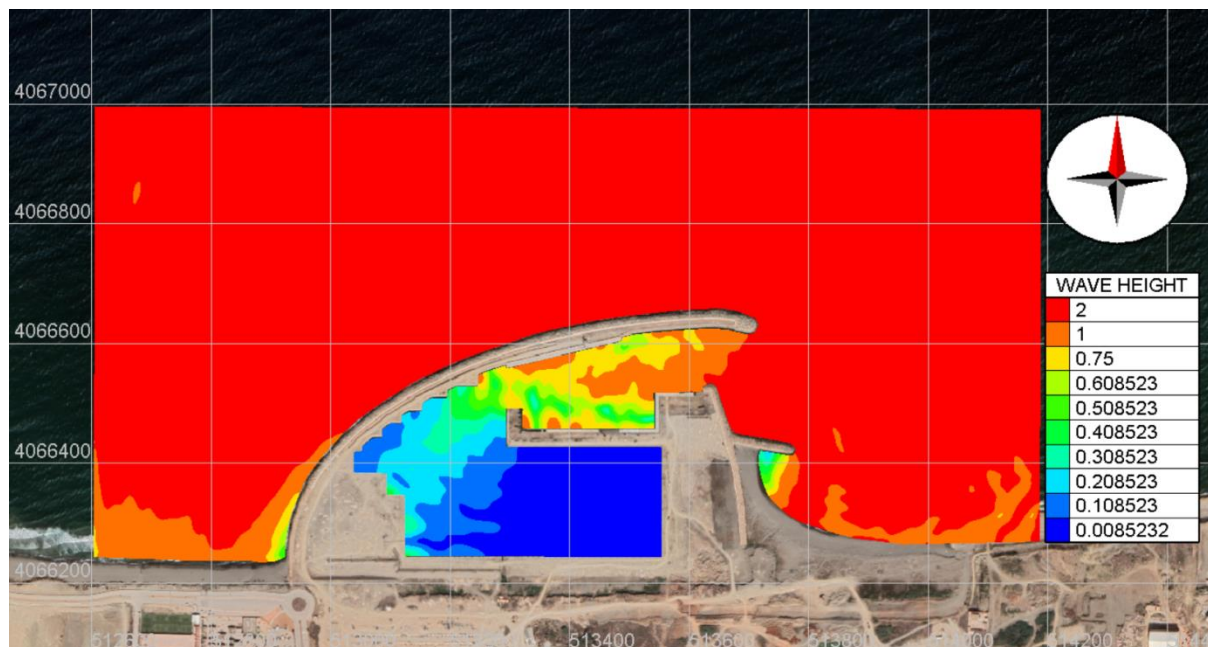
Scénario aménagé 10ans 50 degré :



Scénario aménagé 20ans 50 degré :



Scénario aménagé 50ans 50 degré :



ملخص

في هذا العمل المتواضع لمشروع نهاية الدراسات للحصول على درجة مهندس دولة في تهيئة وحماية الساحل اخترنا اخترنا مشروع مارينا في خليج الجزائر العاصمة كموضوع نتناول فيه المراحل الرئيسية لدراسة النمذجة الهيدروديناميكية واضطراب الميناء وكذلك نمذجة تدفق وتداول المياه داخل الحوض، للقيام بذلك، بدأنا بجمع وتحليل البيانات الأوقيانوغرافية والمناخية مثل، انتشار الموجة، وانكسار الموجة وانعكاسها، واتجاه الرياح، وما إلى ذلك، واستنادا إلى هذه البيانات، قمنا بمعالجة إحصائية وفقا لنهج القيم القصوى التي تتجاوز عتبة معينة مع تعديل توزيع باريتو المعمم، وأجريت نمذجة لانتشار الموجات باتجاه التصنيف لنمذجة الاضطراب المتبقي داخل مارينا في خليج الجزائر، وقد استخدمت جميع هذه البيانات وكذلك بيانات التيار لنمذجة تدفق وتداول المياه داخل حوض الميناء. سيضمن النتيجة الجيدة لهذه الدراسات الأداء السليم لهذه البنية التحتية للموان

الكلمات الرئيسية: اضطراب الميناء، الميناء، الهندسة البحرية، هيدروديناميكية، مايك 21، اارتميس

Résumé

Dans ce modeste mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur/Master 2 en gestion et protection du littoral, nous avons choisi la marina baie d'Alger comme thème et traité les principales étapes de la modélisation hydrodynamique et étude d'agitation ainsi la modélisation de séjour et la circulation des eaux à l'intérieur du bassin, Pour faire, nous avons commencé par la collecte et l'analyse des données océanographiques et climatiques comme, la propagation de la houle, la réfraction et la réflexion de la houle, la direction des vents, etc. et à base de ces données, un traitement statistique selon l'approche des valeurs maximales au-dessus d'un certain seuil avec l'ajustement GPD, une modélisation de la propagation des houles vers la cote a été faite pour ensuite modéliser l'agitation résiduelle au sein de la marina d'Alger, l'ensemble de ces données ainsi que les données de la courantologie ont servie pour modéliser le séjour et la circulation des eaux à l'intérieur du port . Le bon rendement de ces études va assurer le bon fonctionnement de cet infrastructure portuaire.

Mots clé : Port, Agitation portuaire, Génie côtier, Hydrodynamique, Mike 21, ARTEMIS, Mike SHE.

Abstract

In this modest final project thesis for the diploma of Engineer/Master 2 in coastal management and protection, we have chosen the Bay of Algiers marina as the theme and treated the main stages of the hydrodynamic modelling and agitation study as well as the residence modelling and the circulation of water within the basin, To do this, we started with the collection and analysis of oceanographic and climatic data such as, wave propagation, wave refraction and reflection, wind direction, etc. and based on these data, a statistical treatment according to the approach of the maximum values above a certain threshold with the GPD adjustment, a modelling of the propagation of the waves towards the rating was made to then model the residual agitation within the marina of Algiers, all these data as well as the data of the current have been used to model the stay and the circulation of the waters inside the port . The good performance of these studies will ensure the proper functioning of this port infrastructure.

Key words: Harbour, Harbour Agitation, Coastal Engineering, Hydrodynamics, Mike 21, ARTEMIS, Mike SHE.