

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
D'Ingénieur d'Etat et master en Sciences de la Mer  
Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**ETUDE D'AMENAGEMENT D'UNE MARINA AU NIVEAU DE LA VILLE D'ALGER.**

**(Exemple de la Marina Bay D'Alger)**

Présenté par :

**ABER Kamar**

**OUNIS Faiza Sabrina**

Soutenu le 20/12/2020, devant le jury composé de :

**Mme. LOUANCHI. F**

**Professeur - ENSSMAL**

**Président**

**M. MEZOUAR K.**

**Maitre conférence A - ENSSMAL**

**Promoteur**

**M. AOUI M.**

**Ingénieur chef de projet - DAHLI spa**

**Co-Promoteur**

**Mme. ABDEDDAIM H.**

**Maitre conférence - ENSSMAL**

**Examinatrice**

**M. DAHMANI A**

**Maitre-assistant A - ENSSMAL**

**Examineur**

**M. ARAR F.**

**Ingénieur (LEM)**

**Invité**

**Année universitaire : 2019/2020**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
D'Ingénieur d'Etat et master en Sciences de la Mer  
Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**ETUDE D'AMENAGEMENT D'UNE MARINA AU NIVEAU DE LA VILLE D'ALGER.**

**(Exemple de la Marina Bay D'Alger)**

Présenté par :

**ABER Kamar**

**OUNIS Faiza Sabrina**

Soutenu le 20/12/2020, devant le jury composé de :

**Mme. LOUANCHI. F**

**Professeur - ENSSMAL**

**Président**

**M. MEZOUAR K.**

**Maitre conférence A - ENSSMAL**

**Promoteur**

**M. AOUI M.**

**Ingénieur chef de projet - DAHLI spa**

**Co-Promoteur**

**Mme. ABDEDDAIM H.**

**Maitre conférence - ENSSMAL**

**Examinatrice**

**M. DAHMANI A**

**Maitre-assistant A - ENSSMAL**

**Examineur**

**M. ARAR F.**

**Ingénieur (LEM)**

**Invité**

**Année universitaire : 2019/2020**

*« The scientific man does not aim at an immediate result. He does not expect that his advanced ideas will be readily taken up. His work is like that of the planter for the future. His duty is to lay the foundation for those who are to come, and point the way. »*

***Nicola Tesla***

## **Dédicace de Ounis F. Sabrina**

*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 étiez mon école de patience, de confiance et d'espoir. Vous êtes la lumière qui illumine mon chemin.*

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

*À mes grands-parents maternel djedou **Bachir** et Djeda **Khadija**, que Dieu vous donne bonne santé et longue vie parmi nous. À mes deux tantes **Hinda, Anissa** et son conjoint. À mon grand-père paternel papasidou **Mohamed**, paix à son âme. À tous mes oncles et tantes paternelles et mes petit(e)s cousin(e)s.*

*Je veux dédier ce travail aussi à ma voisine **Amel**, son conjoint et leurs enfants **Sérine, Adem** et **Djibril**.*

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

## **Dédicace de ABER Kamar**

*Je dédie ce travail à ma mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices.*

*À mon père, pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé.*

*À la mémoire de mes chères grand-mère et grand-père.*

*À mes sœurs et mes frères pour leurs encouragements.*

*À tous les membres de ma famille, À tous mes amis.*

*À tous ceux et celles que j'aime de près comme de loin. Et tous qui m'aiment...*

*« Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries » **Marcel Proust**.*

## **Remerciement**

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

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

*Nous remercions énormément notre Co-promoteur **M. AOUIM**. Chef de projet Marina (**DAHLI spa**) qui a bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et nous guider à chaque étape de sa réalisation et qui nous a toujours réservé le meilleur accueil, malgré ses obligations professionnelles.*

*Nous souhaiterons remercier l'équipe des entreprises **BTP infraestructuras** et **DAHLI 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 nourri ce travail.*

*Nos remerciments les ingénieurs du laboratoire géotechnique et d'aménagement **M. MEGARTSI Y.**, **M. MISRAOUI A.** qui nous ont aidés à réaliser cette étude dans les meilleures conditions de travail et dans une bonne ambiance.*

*Nous tenons à remercier Mme. **LOUANCHI. F.**, professeur chargé de cours de L'ENSSMAL d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Nous s'adressons à **M. DAHMANIA**. Maître-assistant chargé de cours de l'ENSSMAL pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

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

*Nos s'adressons aussi, à l'ensemble des doctorants de l'ENSSMAL, **Mme. SALEM CHRIFY.** ; **M. SALLAYEM.** ; **KERAGHELM.** 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.*

## Liste des photos

Photo I-1:La marina de Montrose, Chicago, États-Unis. ....	4
Photo III-1 : Un GPS (ENSSMAL).....	40
Photo III-2 : Une embarcation pneumatique (Marina Bay Alger) .....	40
Photo III-3 : Un courantomètre (ENSSMAL).....	40
Photo III-4 : Une benne Ven-Veen (ENSSMAL) .....	40
Photo III-5 : une eco-test (ENSSMAL).....	40
Photo III-6 : une étuve (Laboratoire de l'ENSSMAL) .....	43
Photo III-7 : une tamiseuse (Laboratoire de l'ENSSMAL) .....	43
Photo III-8 : matériels utilisés dans le pesage (Laboratoire de l'ENSSMAL).....	43
Photo VIII-3 : Fourniture de TVC et d'embrochements. ....	133
Photo VIII-1: Air de stockage des prédalles, blocs de Cubipodes et de quai. ....	133
Photo VIII-2 : Central et stockage du béton.....	133
Photo VIII-6 : Contre épi .....	134
Photo VIII-4 : jetée principale.....	134
Photo VIII-5 : Jetée secondaire .....	134
Photo VIII-7: Bétonnage de la semelle et voile. ....	134
Photo VIII-9 : Clavage de couche filtre. ....	134
Photo VIII-8: Coulage du plot.....	134
Photo VIII-12 : Pose des prédalles. ....	135
Photo VIII-10 : Vibrofonçage des pieux. ....	135
Photo VIII-11 : Remblai du talus de quai. ....	135
Photo VIII-14 bétonnage des vides .....	136
Photo VIII-15 : construction de la poutre d'accostage.....	136
Photo VIII-13 : Pose des bocs de quai .....	136

## Liste des figures

Figure I-1 : Schéma représentatif des principales composantes d'un port maritime. [www.forum-btp.blogspot.com].....	5
Figure I-2 : Carte satellitaire représentative de la localisation géographique de la Marina Bay dans la Baie d'Alger (ArcGIS en ligne, 2020).....	6
Figure I-3: Plateforme du site Web Puertos.es (Puertos Del Estado) .....	7
Figure I-4: Situation du point SIMAR 44 par rapport au large algérien (Puertos Del Estado).....	7
Figure I-5 : Rose des vents annuels de la région algéroise, (Purtos.es) .....	9
Figure I-6 : Rose des vents hivernaux de la région algéroise (Purtos.es) .....	9
Figure I-7 : Rose des vents automnaux de la région algéroise (Purtos.es).....	9
Figure I-8 : Rose des vents printaniers de la région algéroise (Purtos.es) .....	9
Figure I-9 : Rose des vents estivaux de la région algéroise (Purtos.es) .....	9
Figure I-10 : Rose des houles annuelles de la région Algéroise (Purtos.es) .....	10
Figure I-11 : Rose des houles automnales de la région Algéroise (Purtos.es).....	10
Figure I-12 : Rose des houles printanières de la région Algéroise (Purtos.es) .....	10
Figure I-13 : Rose des houles estivales de la région Algéroise (Purtos.es) .....	10
Figure I-14 : Rose des houles hivernales de la région Algéroise (Purtos.es).....	10
Figure I-15: Carte représentative des zones sismiques du territoire national .....	12
Figure II-1: Propagation de la houle (Bonnefille, 2012).....	15
Figure II-2 : Les hauteurs significatives maximales annuelles du point SIMAR 44 .....	17
Figure II-3 : Représentation graphique de la loi GEV .....	18
Figure II-4 : Présentation graphique de la loi Log-normal.....	19
Figure II-5 : Représentation graphique de la loi Gumbel.....	20
Figure II-6: Histogramme de distribution des fréquences suivant les hauteurs significatives (SIMAR44).....	22
Figure II-7 : Ajustement par la loi GPD direction NNE (22.5°) $\lambda=1.79$ .....	25
Figure II-8 : Ajustement par la loi GPD direction O (270°) $\lambda=3$ .....	26
Figure II-9 : Ajustement par la loi GPD direction O (67.5°) $\lambda=1$ .....	26
Figure II-10 : Ajustement par la loi GPD direction ENE (270°) $\lambda=2$ .....	26
Figure II-11 : Ajustement par la loi GPD direction O (270°) $\lambda=1$ .....	26
Figure II-12 : Ajustement par la loi GPD direction ENE (67.5°) $\lambda=2$ .....	26
Figure II-13 : Ajustement par la loi GPD direction ENE (45°) $\lambda=1.2$ .....	26
Figure II-14 : Ajustement par la loi GPD direction NE (45°) $\lambda=1$ .....	26
Figure II-15 : Ajustement par la loi GPD direction NE (67.5°) $\lambda=2.8$ .....	26
Figure II-16: Ajustement par la loi de GEV direction O (270°) .....	33
Figure II-17: Ajustement par la loi de Gumbel direction O (270°).....	33
Figure II-18: Ajustement par la loi de Gumbel direction NE (45°) .....	33
Figure II-19: Ajustement par la loi de Gumbel direction O (45°).....	33
Figure II-20 : Les différents Fetch suivant les directions O, NO, ENE, NE (Google Earth Pro) .	34
Figure II-22 : Spectre JONSWAP pour la direction O (270°) .....	35
Figure II-24: Spectre JONSWAP pour la direction NO (315°) .....	35
Figure II-23: Spectre JONSWAP pour la direction O (67.5°) .....	35
Figure II-21: Représentation du spectre JONSWAP pour la direction NE (45°).....	35
Figure III-1: Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer. (ArcGIS en ligne).....	41

Figure III-2 : Carte bathymétrique réalisée sur la Marina Bay d'Alger (ArcGIS en ligne).....	41
Figure III-3: Courbe granulométrique de la station 06 de Matlab .....	46
Figure III-4: Courbes granulométriques de la station 50 de Matlab .....	46
Figure III-5 : Répartition spatiale des pélites dans la marina Bay d'Alger (< 40µm). (ArcGis).....	47
Figure III-6 : Répartition spatiale de la fraction grossière Mz dans la marina Bay d'Alger. (ArcGis).....	47
Figure III-11 : Fréquence des modes les plus représentatifs dans la marina.....	48
Figure III-7 : Répartition spatiale de D10 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis).....	48
Figure III-8 : Répartition spatiale de Q1 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis).....	48
Figure III-9 : Répartition spatiale de Q2 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis).....	48
Figure III-10 : Répartition spatiale de Q3 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis).....	48
Figure IV-1 : Emprise et maillage du modèle côtier de la marina d'Alger (MIKE21, données 2020).....	53
Figure IV-2 : Emprise et maillage du modèle côtier de la Baie d'Alger (Mike 21, données .....)	53
Figure IV-3 : Carte bathymétrique de la Marina Bay Alger (Mike 21, données 2020) .....	53
Figure IV-4 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21).....	58
Figure IV-5 : Dynamique sédimentaire de la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21).....	58
Figure IV-6 : Champs des courants dans la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21). .....	58
Figure IV-7: Dynamique sédimentaire de la Marina Bay d'Alger MWD 45° (Mike 21). .....	58
Figure IV-8 : Champs des courants dans la Marina Bay d'Alger MWD 45° (Mike 21). .....	58
Figure IV-9 : Champs des houles dans la Marina Bay Alger MWD 45° (Mike 21).....	58
Figure IV-10 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 360° (Mike 21).....	60
Figure IV-11 : Dynamique sédimentaire dans la Marina Bay Alger MWD 360° (Mike 21). .....	60
Figure IV-12 : Champs des courants dans la Marina Bay d'Alger MWD 360° (Mike 21). .....	60
Figure IV-13 : Champs des houles dans la Marina Bay Alger MWD 360° (Mike 21).....	60
Figure IV-14 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 360° (Mike 21).....	60
Figure IV-15 : Dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger MWD 360° (Mike 21).. .....	60
Figure IV-16 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 315° (Mike 21).....	62
Figure IV-17 : Champs des courants dans la baie d'Alger MWD 315°(Mike 21). .....	62
Figure IV-18 : Dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger MWD 315° (Mike 21). .....	62
Figure IV-19 : Dynamique sédimentaire dans la Marina Bay d'Alger MWD 315° (Mike 21). ...	62
Figure IV-20 : Champs des courants dans la Marina bay d'Alger MWD 315° (Mike 21).....	62
Figure IV-21 : Champs des houles dans la Marina Bay Alger 315° (Mike 21).....	62
Figure V-1 : schéma représentatif des composantes principales d'une digue à talus (CAMINADE, 2012).....	66
Figure V-2 : Coupes type au niveau du profil d'enracinement de la digue. ....	70
Figure V-3 : Coupes type au niveau de la section courante de la digue. ....	72
Figure V-4 : Type au niveau du musoir de la digue. ....	74
Figure V-5 : Coupes type au niveau du profil d'enracinement de la contre digue. ....	77
Figure V-6 : Coupes type au niveau de la section courante. ....	79
Figure V-7 : Coupes type au niveau du musoir de la contre digue. ....	81
Figure V-8 : Schéma représentatif de distribution de capteurs .....	85
Figure V-9 : Coupe de la digue après de l'essai, TP=13 secondes. ....	85
Figure V-10 Schéma de distribution de capteurs. ....	85

Figure V-11: Schéma de distribution de capteurs. ....	85
Figure V-12 : Vue globale sur les quais de la marina .....	86
Figure V-13 : Schéma du quai sur blocs. ....	87
Figure V-14 : Schéma du quai sur pieux.....	92
Figure V-15 : Dénomination et emplacement de jetées flottantes .....	93
Figure V-16: Configuration générale jetée type ASE 900. ....	95
Figure V-17: Détail du taquet.....	95
Figure V-18: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 8 et 10m .....	96
Figure V-19: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 8m. ....	96
Figure V-20: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 20/25m.....	96
Figure VI-1 : Plan de la marina et distribution des amarrages. (BTP, 2016).....	116
Figure VI-2 : Triage des voies de navigation. (BTP).....	119
Figure VI-3: zone de manœuvre (BTP).....	120
Figure VI-4 : Profondeur existante et profondeur suite au dragage. (BTP).....	122
Figure VIII-1 : Plan globale de la marina Bay d'Alger (BTP).....	132
Figure VIII-4 : la suite des étapes d'exécution des ouvrages de protection, partie interne, jetée secondaire (BTP).....	134
Figure VIII-3 : les étapes d'exécution des ouvrages de protection, jetée principale (BTP) .....	134
Figure VIII-5 : Les étapes d'exécution des pieux .....	135

## Liste des tableaux

Tableau I-1 : Relation des tremblements de terre en Algérie avec possibilité de Tsunami (Journal of Tsunami Society International).....	11
Tableau I-2: Tableau représentatif des caractéristiques géotechnique, SM : Sable limoneux, (RPA 99/version 2003).....	12
Tableau I-3 : Tableau récapitulatif des Paramètres géotechniques du terrain de fondation (couche de sable limoneux, campagne géotechnique, BTP, 2015).....	12
Tableau II-1 : Valeur des paramètres de la loi GEV .....	18
Tableau II-2 : Valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour.....	18
Tableau II-3: Valeurs des paramètres de la loi Log-normal.....	19
Tableau II-4 : Valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour Log-normal.....	19
Tableau II-5 : Valeur des paramètres de la loi de Gumbel.....	20
Tableau II-6 : Valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour Gumbel.....	20
Tableau II-7 : Résultat de paramètre d'étalement pour chaque loi .....	21
Tableau II-8 : Fréquence d'apparition des houles significative et leur période de 1958-2019 (SIMAR 44).....	22
Tableau II-9 : Valeur des distances d'Anderson Darling pour chaque seuil et nombre de dépassement .....	24
Tableau II-10 : Hauteur significative extrêmes en fonction des périodes de retour et le nombre de dépassement pour chaque direction.....	24
Tableau II-11 : Période de retour pour zone de type 1 (technical guidelines of sea dike design, HOAI, 2011).....	27
Tableau II-12 : Classification des ouvrages de protection par leur période de retour, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011).....	27
Tableau II-13 : Classification des ouvrages selon la profondeur d'inondation, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011) .....	27
Tableau II-14 : Durée de vie de l'ouvrage selon sa classification, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011).....	27
Tableau II-15 : Les périodes significatives de la houle suivant plusieurs directions .....	28
Tableau II-16: Les valeurs significatives des amplitudes en (m) de la houle au large (SSMO, 1980).....	28
Tableau II-17: Valeur des vitesses des vents extrême sur le point SIMAR 2120084 en (m /s)....	32
Tableau II-18 : Valeur du fetch pour chaque direction .....	32
Tableau II-19 : Résultat du programme JONSWAPFU sur Matlab.....	34
Tableau II-20: Résultat des formules semi empiriques .....	37
Tableau II-21 : Valeurs des hauteurs et périodes significative au large.....	37
Tableau III-1 : Classification granulométrique des sédiments selon Falk, 1966 (Riviere, 1977).44	
Tableau IV-1 : Les conditions initiales du modèle SW. ....	55
Tableau IV-2 : Sortants du modèle SW. ....	55
Tableau IV-3 : Les données sortantes du model HD. ....	56
Tableau IV-4 : Les données sortants du modèle ST.....	56
Tableau V-1 :Résumé des équations utilisé pour le calcul des paramètres des digues .....	67
Tableau V-2 :Tableau récapitulatif des caractéristiques de la digue principale.....	81
Tableau V-3 :Tableau récapitulatif des caractéristiques de la digue secondaire.....	82
Tableau V-4 : Poids propre du quai en blocs. ....	87

Tableau V-5 : Poussée hydrostatique et hydrodynamique (quai en blocs). .....	88
Tableau V-6 : Poussées de terres dans le cas exploitation et séisme (quai en blocs).....	88
Tableau V-7: Calcul des poussées dues aux surcharges (quai en blocs).....	89
Tableau V-8 : Calcul de l'action sismique sur quai en blocs. ....	89
Tableau V-9 : Résultats des efforts sur quai en blocs (exploitation). ....	89
Tableau V-10 : Résultats des combinaisons de charge (exploitation). ....	90
Tableau V-11 : Résultats des efforts sur quai en blocs (séisme).....	90
Tableau V-12 : Stabilité au glissement du quai en blocs. ....	90
Tableau V-13 : Stabilité au renversement du quai en blocs. ....	91
Tableau V-14 : Vérification au poinçonnement du quai en blocs.....	91
Tableau V-16 : Poids propre de la structure en aluminium.....	97
Tableau V-17 : Poids propre des flotteurs.....	98
Tableau V-18 : Poids propre du revêtement.....	98
Tableau V-19 : Poids propre de la défense du quai.....	98
Tableau V-20 : Poids total des appontements. ....	98
Tableau V-21: Résultats des calculs de la flottabilité. ....	99
Tableau V-22 : Calcul du poids, bras de levier, moment. ....	100
Tableau V-23 : Calcul du centre de gravité de l'appontement.....	101
Tableau V-24 : Résultats de la stabilité des appontements. ....	102
Tableau V-25 : Action du vent selon la direction NW/NE et W.....	102
Tableau V-26 : Action du vent le plus défavorable. ....	103
Tableau V-27: Charges sur les pieux d'appontements.....	104
Tableau V-28: Schéma de calcul de rupture horizontale d'un pieu.....	105
Tableau V-29: Résumé des résultats des profondeurs des pieux. ....	108
Tableau V-30: Résumé de la vérification des pieux à la flexion simple.....	111
Tableau V-31 : Résumé des résultats de vérification des déplacements en tête des pieux. ....	112
Tableau VI-1 : Caractéristiques des embarcations. (BTP).....	116
Tableau VI-2: Définition des largeurs minimales de voies de navigation en fonction de la longueur (BTP).....	118
Tableau VI-3 : Triage des voies de navigation. (BTP) .....	119
Tableau VI-4 : Définition des largeurs minimales de canaux d'accès à amarrage en fonction de la longueur.....	119
Tableau VI-5 : Rayons de manœuvre en fonction de la longueur. (BTP).....	121
Tableau VI-6 : Tirant d'eau nécessaire par longueurs des bateaux. (BTP) .....	122
Tableau VII-1 : Matrice de l'EIE de la Marina Bay d'Alger .....	129

## Liste des symboles

**Aser** : Section des aciers.  
**C** : cohésion du sol.  
**Cotga** : Pente du talus.  
**CR** : La contre réaction du pieu.  
**CS** : coefficient de sécurité  
**D**: La profondeur d'enfoncement.  
**Dr** : Densité relative  
**Dn** : Diamètre nominale.  
**e** : Épaisseur de la couche.  
**E** : Module d'élasticité de Young  
**f** : Le coefficient de frottement.  
**F** : coefficient de sécurité  
**Fb** : Force de butée.  
**Fp** : Force de poussée.  
**fy** : Résistance de calcul de l'acier.  
**Hs** : Hauteur de houle significative.  
**Hb** : Houle au pied de l'ouvrage.  
**Ix** : Moment d'inertie.  
**Ka** : Coefficient de MONONOBÉ-OKABÉ de poussée.  
**K $\Delta$**  : Coefficient de couche.  
**KD**: Coefficient de stabilité adimensionnel de HUDSON.  
**kh** : Coefficient horizontal de perméabilité  
**kv** : Coefficient vertical de perméabilité.  
**Kp** : Coefficient de MONONOBÉ-OKABÉ de butée.  
**Kr** : Le coefficient de réfraction.  
**n** : Nombres de couches.  
**Nq** : Terme de portance de CAQUOT et KERISEL.  
**qp** : Résistance partiel en pointe.  
**R** : La réaction horizontale du pieu.  
**W** : Masse d'un seul bloc  
**Wel** : Moment élastique.  
**Wpl** : Moment plastique.  $\varphi$  : Angle de frottement du sol.  
 **$\sigma_{adm}$** : Contrainte admissible d'acier.  
 **$\sigma_{bc}$**  : Résistance admissible du béton.  
 **$\sigma_{st}$**  : Résistance admissible des aciers HA.  
 **$\gamma$**  : Poids volumique du sol.  
 **$\gamma_0$**  : Masse volumique de l'eau de mer.  
 **$\gamma_d$**  : Poids volumique déjaugé du sol.  
 **$\gamma_M$** : Coefficient d'instabilité mécanique.  
 **$\gamma_s$**  : Masse volumique des blocs utilisés (blocs artificiels / enrochements naturels).  
 **$\gamma_{sat}$**  : Poids volumique saturé du sol  
 **$\delta$**  : Angle du frottement du sol sur l'écran  
 **$\Phi$**  : Angle du frottement (conditions non drainées)  
 **$\Phi'$**  : Angle du frottement (condition drainées)

## Acronymes

**AD:** Anderson-Darling  
**AEP :** Alimentation en Eau Potable  
**ASE:** Structure d'Aluminium Européen (*Aluminum Structure European*).  
**CEN :** Comité Européen de Normalisation  
**CERC:** Centre de Recherche en Génie Côtier (*Coastal Engineering Research Center*).  
**CETMEF** Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales  
**CIRIA:** Association de Recherche et d'Information sur l'Industrie de la construction (*Construction Industry Research and Information Association*)  
**CPS :** Cahier des prescriptions spéciales  
**DAHLI S.P.A :** Daewoo Algérie Hôtellerie Loisir et Immobiliers –Société par action-  
**DTP** Direction des Travaux Publics  
**E.I.E :** Etude d'Impact Environnementale  
**ELU:** Etat Limite Ultime  
**FT I:** Fisher Tippet type I  
**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*)  
**JONSWAP:** Projet Conjoint d'Observation des Vagues de la Mer du Nord (*Joint North Sea Wave Observation Project*)  
**K.N.M.I :** Institut Météorologique Royal Néerlandais  
**LCHF** Laboratoire Centrale d'Hydraulique de France  
**LEM** Laboratoire d'Etudes Maritimes  
**MAM :** Maison d'assistants maternels.  
**MIG:** Gaz Inerte Métallique (*Metal Inert Gas*)  
**MPRH :** Ministre de la Pêche et des Ressources Halieutiques.  
**NGA** Niveau Générale Algérien  
**ONM** Office National de Météorologie  
**PAC :** programme d'aménagements côtiers  
**PAM :** Plan d'Action de la Méditerranée  
**PHD :** Poussée hydrodynamique.  
**PHS :** Poussée hydrostatique.  
**POT:** Pic au-dessus du Seuil (*Peak Over Threshold*)  
**PP:** Poids propre.  
**PTS:** Poussées des terres.  
**SCS :** Surcharge.  
**SDP :** séries de durée partielle  
**SIS :** Action sismique.  
**SM:** Sables Limoneux  
**SMA** Série des Maxima Annuel  
**SMB:** Sverdrup-Munk-Bretschneider  
**SPM:** Manuel de Protection du Rivage (*Shore Protection Manual*)  
**SSMO** Résumé des Observations météorologiques synoptiques (*Summary of Synoptic Meteorological Observations*)  
**TVC:** Tout venant de carrière.  
**VIS:** Systèmes de Trafic Visuel (*Visual Traffic System*)  
**VRD :** Voirie et Réseau Divers  
**WGS:** Systèmes Géodésique Mondial (*World Geodetic System 1984*)

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
Introduction .....	2
<b>Chapitre I : Zone d'étude baie et Marina Bay d'Alger .....</b>	<b>3</b>
Introduction .....	4
I.1 Généralités sur les ouvrages portuaires .....	4
I.1.1 Les composantes essentielles d'un ouvrage portuaire : .....	5
I.2 Présentation des objectifs et but du projet .....	6
I.3 Situation géographique de la zone d'étude.....	6
I.4 Paramètre climatologique et océanographique.....	7
I.4.1 Le vent :.....	8
I.4.2 Les facteurs hydrodynamiques.....	8
I.5 Sismicité de la région .....	11
I.6 Caractéristiques du sol.....	12
I.7 Transport des sédiments .....	13
Conclusion.....	13
<b>Chapitre II :Prévision des caractéristiques de houles au large .....</b>	<b>14</b>
Introduction .....	15
II.1 Généralités sur les houles .....	15
II.1.1 Définition .....	15
II.2 Analyse statistique des houles extrêmes au large de la cote algéroise (toutes direction confondues).....	16
II.2.1 Présentation des hauteurs significatives maximal au large de la baie d'Alger .....	16
II.2.2 La Méthode série des maxima annuel (SMA).....	17
II.2.3 Choix de la meilleure distribution .....	20
II.3 Analyse statistique des houles extrêmes par direction .....	21
II.3.1 Présentation des données.....	21
II.3.2 Distribution des hauteurs et période significative suivant les directions .....	21
II.3.3 Préparation des échantillons.....	22
II.3.4 La Méthode de Série des Durées Pareils ou POT .....	23
II.4 Choix de la période de retour .....	27
II.4.1 La période significative :.....	28
II.5 Analyse spectrale de la houle au large des côtes algéroise.....	29

II.5.1	Le spectre de JONSWAP .....	30
II.5.2	Présentation des données de départ : .....	31
II.5.2.1	La vitesse des vents .....	31
II.5.3	Simulation du spectre JONSWAP sur Matlab .....	34
II.6	Prévision par méthode semi-empirique .....	36
II.6.1	. Formules de Wilson (1965), revues par Goda (2003) : .....	36
II.7	Discussions et choix des houles au larges .....	37
<b>Chapitre III :</b>	<b>Campagne océanographique et étude bathy-sédimentologique .....</b>	<b>39</b>
	Introduction .....	40
III.1	Travaux de la campagne océanographique .....	40
III.1.1	Matériels utilisés .....	40
III.1.2	Méthodologie d'échantillonnage.....	41
III.2	Etude sédimentologies .....	42
III.2.1	Matériels utilisés : .....	42
III.2.2	Méthodologie de l'étude sédimentologie .....	43
III.2.3	Classification des dépôts superficiels.....	44
III.2.3.1	Fraction fine .....	44
III.2.3.2	Fraction grossière.....	44
III.2.3.3	Résultats et discussion .....	45
<b>Chapitre IV :</b>	<b>Détermination numérique des caractéristiques de la houle au rivage et de l'hydro sédimentaire côtier .....</b>	<b>50</b>
	Introduction .....	51
IV.1	Principe de la modélisation .....	51
IV.2	Présentation du modèle .....	51
IV.3	Bathymétrie :.....	52
IV.3.1	Méthode de réalisation de la bathymétrie .....	52
a.	Emprise.....	52
IV.3.2	Interprétation des résultats bathymétriques.....	54
IV.4	Simulation hydro-sédimentaire :.....	55
	Les conditions initiales.....	55
IV.4.1	Méthode de réalisation .....	55
IV.4.2	Interprétation des Résultats de la simulation hydro-sédimentaire selon la direction .....	
	56	
	Conclusion.....	63
<b>Chapitre V :</b>	<b>Prédimensionnement des ouvrages de protection et d'accostage .....</b>	<b>64</b>

Introduction .....	65
V.1 Généralité sur les ouvrages de protection et d'accostage .....	65
V.1.1 Les digues : .....	65
V.2 Dimensionnement des ouvrages de protection (digue et contre digue) : .....	66
V.2.1 Méthodes de dimensionnement : .....	66
V.2.2 Formule utilisée pour l'utilisation du Cubipodes .....	66
V.2.3 Formule utilisé pour les filtres Dimensionnement du filtre du support et de transition.....	67
o Vérification des règles de TERZAGHI : .....	67
V.2.4 Formule utilisé pour la butée de pied .....	68
□ Dimensionnement de la jetée principale : .....	68
□ Au niveau du profil d'enracinement de la digue : .....	68
V.2.5 Poids de la carapace : .....	68
V.2.6 Au niveau de la section courante de la digue .....	70
V.2.7 Au niveau du musoir de la digue.....	73
□ Dimensionnement de la jetée secondaire .....	75
o Au niveau du profil d'enracinement de la contre digue .....	75
o Au niveau de la section courante de la contre digue .....	77
□ Au niveau du musoir de la contre digue : .....	79
V.2.8 Résumé des résultats .....	81
□ Jetée principale : .....	81
□ Jetée secondaire : .....	82
V.2.9 Calcul du Run-Up (Méthode de CERC: Coastal Engineering Research Center) ...	82
1.1. Jeté principale .....	82
V.2.10.....	83
1.2. Jeté Secondaire : .....	83
V.2.11 Modélisation physique.....	84
V.3 Dimensionnement Ouvrages d'accostages des quais .....	86
V.3.1 Quais envisagés dans ce projet.....	86
V.3.1.1 Quais en blocs.....	87
V.4 Dimensionnement des appontements .....	93
V.4.1 Introduction .....	93
V.4.2 Présentation des trois typologies choisies .....	93
V.4.3 Calcul du poids propre des appontements.....	96
V.4.4 Calculs de la flottabilité.....	99

V.4.5	Étude de la stabilité .....	99
V.4.6	Calcul de l'angle d'agitation .....	101
V.5	Calcul des pieux.....	102
V.5.1	6.1. Charges de conception des pieux .....	102
V.6	Vérification structurale du pieu .....	109
V.6.1	Vérification de la coupe à flexion simple : .....	109
V.7	Le déplacement du pieu en tête : .....	110
<b>Chapitre VI :</b>	<b>Etude d'aménagement .....</b>	<b>114</b>
	Introduction .....	115
VI.1	Critères de conception.....	115
VI.2	Ouverture maritime .....	117
VI.2.1	La digue.....	117
VI.2.2	La contre-digue .....	117
VI.3	Dimensionnement de l'embouchure .....	117
VI.4	La surface de la lame d'eau et la surface des services à terre .....	117
VI.5	Voies de navigation.....	118
VI.5.1	Chenal principal et secondaire .....	118
VI.5.2	Canal d'accès aux amarrages .....	119
VI.6	Largeur et longueur des appontements .....	120
VI.7	Zone de manœuvre.....	120
VI.8	Profondeur d'eau nécessaire aux pieds des quais .....	121
VI.9	Dragage .....	121
<b>Chapitre VII :</b>	<b>L'Etude d'impact environnementale (l'E.I.E.) .....</b>	<b>123</b>
	Introduction .....	124
VII.1	Cadre juridique et institutionnel.....	124
VII.2	Données générales de l'ouvrage .....	125
VII.3	Impacts sur le paysage .....	125
VII.4	Milieu physique .....	125
VII.5	Milieu naturel.....	126
VII.6	Milieu humain.....	126
VII.7	Identification des déchets générés par l'ouvrage et prévision des opérations de réutilisation.....	127
b.	Déchets de construction et de démolition : Niveau II (Déchets de nature non pierreuse).....	127
VII.8	Le suivi et la surveillance continue.....	128

VII.9	La matrice d'impacts.....	128
	Conclusion.....	130
<b>Chapitre VIII : Organisation de chantier et phasage de construction .....</b>		<b>131</b>
	Introduction .....	132
VIII.1	Les acteurs principaux du projet .....	132
VIII.1.1	Le maitre d'ouvrage.....	132
VIII.1.2	Le maitre d'œuvre et l'entreprise .....	132
VIII.1.3	Assistant technique :.....	132
VIII.1.4	Laboratoire de contrôle de qualité des matériaux :.....	132
VIII.2	Travaux de réalisation.....	133
VIII.2.1	Installation du chantier .....	133
VIII.3	Réalisation de l'ouvrage portuaire .....	133
VIII.3.1	Réalisation des ouvrages de protection .....	134
VIII.3.2	Réalisation des ouvrages d'accostage.....	135
VIII.4	Pontons flottants et matériel de mouillage.....	136
VIII.5	Dragage .....	136
VIII.6	Equipements et appareils .....	136
VIII.7	Revêtements des terre-pleins .....	136
VIII.8	Installations (Réseau VRD) .....	136
VIII.9	Divers.....	136
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>138</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>140</b>
<b>ANNEXE A</b>		<b>146</b>
<b>ANNEXE B</b>		<b>151</b>
<b>ANNEXE C</b>		<b>153</b>
<b>ANNEXE D</b>		<b>157</b>

---

## **Introduction générale**

---

L'emplacement privilégié de la baie d'Alger en mer Méditerranée, et ses conditions naturelles, environnementales, climatologiques ainsi que son patrimoine culturel font augmenter la demande des activités et installations touristiques et de plaisance.

Devant de telles conditions et avantages, la possibilité de développer une marina, non seulement pour les croisières, mais aussi pour la navigation de plaisance dans un environnement privilégié, avec des plages et de grandes installations hôtelières constituent le premier lieu pour le développement de la zone qui puisse attirer un tourisme de qualité et offrir ainsi des différentes solutions économiques et sociales.

Les infrastructures portuaires ou plus particulièrement les marinas font l'objet de notre projet de fin d'études, sous la thématique « Étude d'aménagement de la marina d'Alger ». Ce projet, premier à son genre, a été initié par INGRA S.A pour DAHLI S.P.A et est supervisé par le bureau d'études Espagnole BTP Infraestructurat où nous avons effectué notre stage pratique.

Afin de traiter ce sujet, une démarche a été établie. Elle consiste d'abord à la collecte des données, notamment : les données océanographiques, climatologiques, géologiques et topobathymétriques de la zone d'étude. De même une recherche documentaire sur le génie côtiers, des ouvrages de référence tels que the Shore Protection Manuel (**CERC, 1984**), Technique de l'ingénieur (**Caminade, 1995**) et (**Bonnefille, 2010**), le guide d'enrochement (**CETMEF, 2009**) et The Random Seas and Design of Maritime Structures (**Goda, 2010**) ont été utilisés. Cette initiative a pour but de bien connaître la région et le domaine maritime.

Le présent mémoire de projet de fin d'études s'intéresse à l'explication des principales étapes de réalisation de la marina. Nous verrons en premier temps une synthèse sur la zone d'étude (Chapitre I), Ensuite, une introduction à la prévision des houles au large (Chapitre II) et l'utilisation des données collecter en campagne océanographique et études bathy-sédimentologique (Chapitre III) pour la détermination de la propagation de la houle vers la côte et la détermination de celle du projet (Chapitre IV). Par la suite, projeter et dimensionner la variante d'ouvrage envisageable (Chapitre V) à être aménager (Chapitre VI) et réaliser sous des phases de construction suivant un plan organisé (Chapitre VIII).

---

**Chapitre I : Zone d'étude baie et Marina  
Bay d'Alger**

---

## Introduction

La bonne connaissance de la zone d'étude maritime et ses facteurs géologique, climatologique et hydrodynamique servent à déduire les problématiques qui peuvent être produites. C'est le but de ce chapitre, à savoir une connaissance claire et précise des paramètres physiques de notre région. Une brève définition et explication des ouvrages portuaires serrant données.

### I.1 Généralités sur les ouvrages portuaires

Un port est une infrastructure formant un abri naturel ou artificiel sur les rives d'un océan, d'un lac ou d'un fleuve, selon (**CHAPON, 1971**). 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 embarcations en particulier pendant les opérations d'échange de la marchandise, le transport des passagers et pour la pratique des activités nautiques et touristiques. Il permet aussi leur ancrage, mouillage ou le stationnement à quai. **Photo I-1**



Photo I-1: La marina de Montrose, Chicago, États-Unis. (Yacht service Now).  
[[https://marinas.com/view/marina/rncqp8\\_Montrose\\_Harbor\\_the\\_Chicago\\_Harbors\\_Chicago\\_IL\\_United\\_States](https://marinas.com/view/marina/rncqp8_Montrose_Harbor_the_Chicago_Harbors_Chicago_IL_United_States)]

#### *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 résidentiels de la région uniquement ; tandis que les ports de plaisances peuvent permettre l'accostage des bateaux extérieurs.

### I.1.1 Les composantes essentielles d'un ouvrage portuaire :

Nous trouvons dans chaque port maritime un plan principal qui est fait pour le bon fonctionnement et circulation des navires suivant un chenal d'accès et d'issue du port, appelé un chenal balisé (A), dont ils sont dirigés par le radar du VIS (Visual Traffic System) et les faux d'alignement. Les digues (C) servent à protéger et à maintenir la stabilité de l'avant-port (D), qui représente le plan d'eau du port. Les navires peuvent effectuer des manœuvres d'évitage, de façon à pouvoir être amarré à son poste d'opérations cap vers la sortie.

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

Les postes sont desservis par des voies de transport intérieures routes, rails et voies navigables successivement (G, H, I) et équipés de terre-pleins permettant le stockage des cargaisons. Dans, le beau-temps, les navires transportant des cargaisons liquides ou en vrac peuvent être reçus à des postes non protégés (B). Ils transportent leur cargaison par des tuyaux flexibles reliés à un point d'ancrage (B) constitué d'une bouée ancrée sur le fond par des chaînes. La liaison de canalisation fixe est posée sur le fond marin. (Figure I-1).

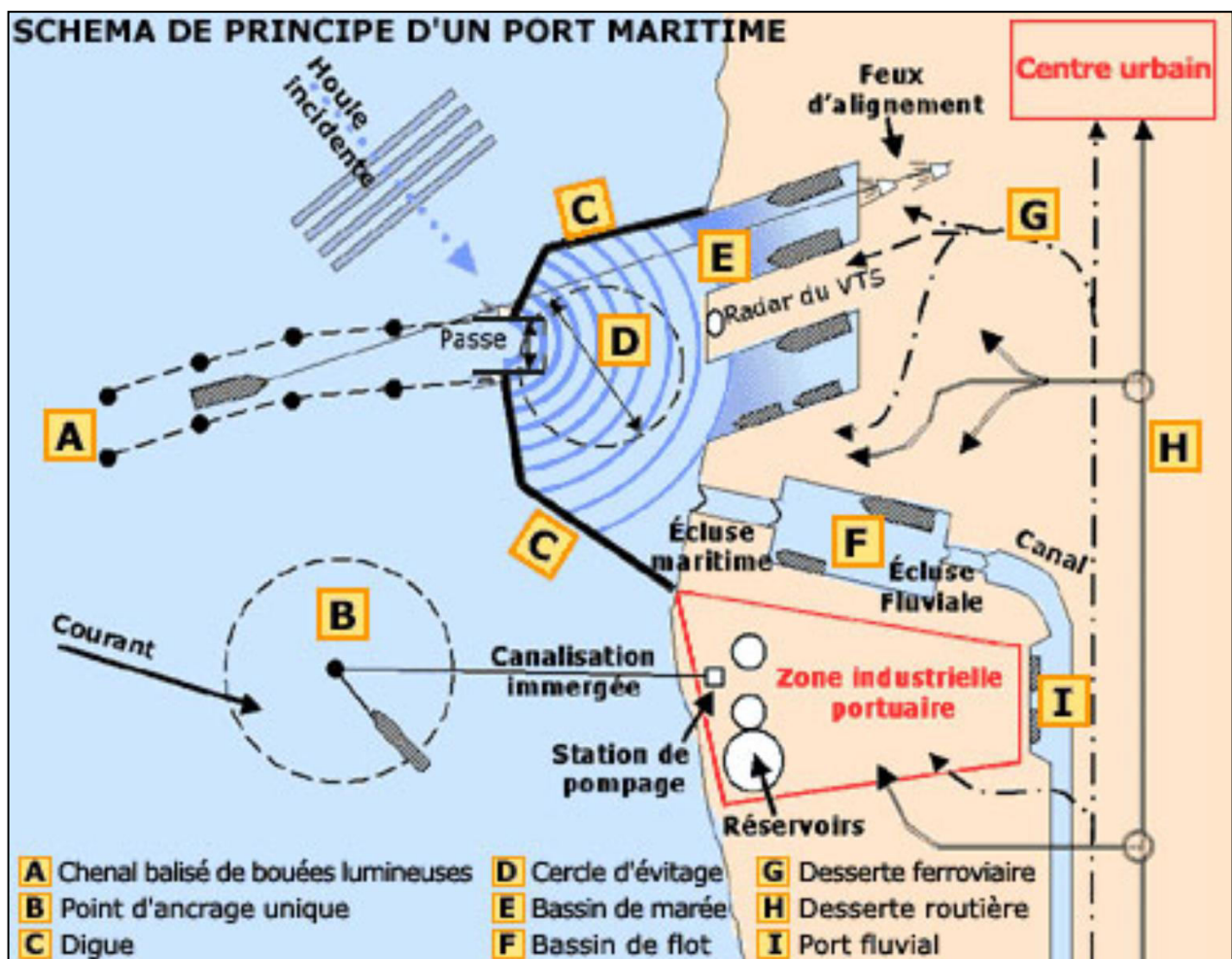


Figure I-1 : Schéma représentatif des principales composantes d'un port maritime.  
[www.forum-btp.blogspot.com]

## I.2 Présentation des objectifs et but du projet

Ce projet a pour objectif le développement du tourisme balnéaire de luxe dans la région centrale du pays. Il doit répondre aux exigences techniques et scientifiques pour la construction des infrastructures touristiques projetées et aux besoins économiques, sociaux et environnementaux dans la wilaya d'Alger.

Le port marina Bay d'Alger a pour but d'abriter environ **700** unités de bateaux de plaisances tel que les yachts et les bateaux de promenade et autres loisirs, dont les caractéristiques sont données dans les recommandations du **(R.O.M. 2.0-11)** qui obéit aux règlements internationaux.

## I.3 Situation géographique de la zone d'étude

Le site de la Marina Bay d'Alger se situe dans la partie centrale de la baie d'Alger dans la commune de Mohammadia, à côté de l'hôtel Hilton à l'est et le centre commercial Ardis à l'ouest. 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 où est à 1500m de son embouchûre. La Marina Bay présente un linéaire côtier d'environ 800 (m). **Figure I-2**

Situé aux coordonnées géographiques UTM WGS84 zone 31 N suivantes

- Latitude de 36°44'30''N et 36°44'43.94''N
- Longitude de 03°8'45''E et 03°9'20.34'' E



**Figure I-2 : Carte satellitaire représentative de la localisation géographique de la Marina Bay dans la Baie d'Alger (ArcGIS en ligne, 2020)**

#### I.4 Paramètre climatologique et océanographique

Les données statistiques des vents et houles au large ont été extraites à partir du site Web Puertos Del Estado (Figure I-3) ; nous avons obtenu une base de données du réseau **SIMAR 44** [[www.Puertos-es.com](http://www.Puertos-es.com)], **Nœud 2120082** (Figure I-4), couvrant une période de 62 ans allant de 1958 jusqu'à 2020. À l'aide d'un langage de script Matlab, nous avons pu tracer les roses annuelles et saisonnières (trimestrielles) des directions de souffle / propagation, selon la vitesse, ajoutant à cela, leur fréquence d'apparition.

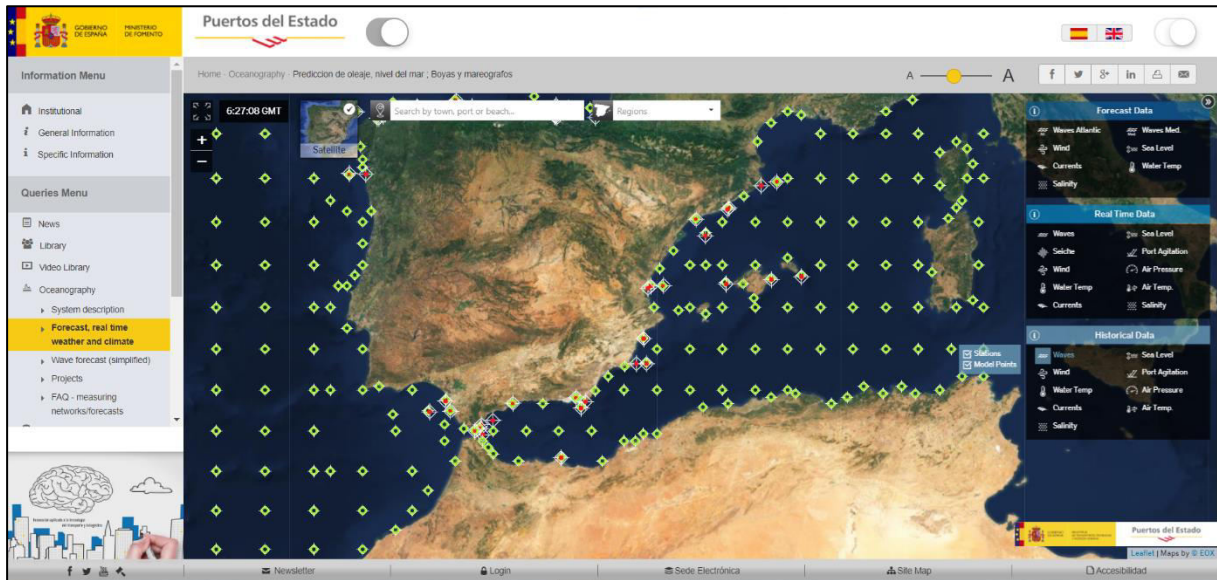


Figure I-3: Plateforme du site Web Puertos.es (Puertos Del Estado)

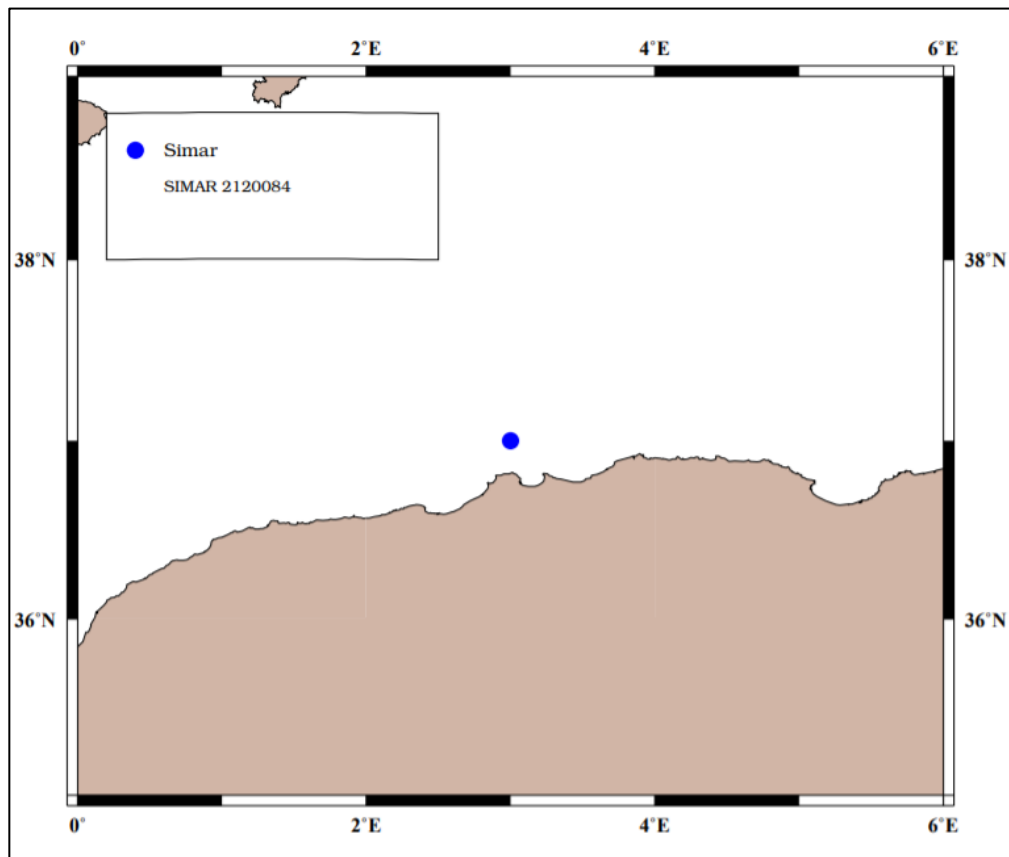


Figure I-4: Situation du point SIMAR 44 par rapport au large algérien (Puertos Del Estado)

### **I.4.1 Le vent :**

Les données sont présentées dans (Figure I-5), (Figure I-6), (Figure I-7), (Figure I-8), (Figure I-9) ; L'analyse statistique de ces données de vent montre que les directions les plus dominantes sont :

- Période printanière et automnale : Une prédominance des vents de secteur compris entre Ouest à Sud-Ouest et Est à Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives de 18% et 22% pour la baie d'Alger. Les vents de cette direction ont des vitesses supérieures à 16 m/s ;
- Période hivernale : les vents qui proviennent de secteur Ouest dans la zone possèdent une grande fréquence qui est de 26.31% avec une vitesse comprise entre 12 et 16 m/s. Les autres directions sont moins fréquentes avec des fréquences relativement faibles.
- Période estivale : les vents les plus dominants sont ceux de la direction Nord-Est avec une fréquence d'apparition de 24.26%.
- Fréquence annuelle : nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent d'Est, Ouest et de Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectivement estimées par à 20.51%, 18.46% et 14.75%.
- Vitesse de base du projet régime moyen 18.5 m/s et vitesse de base du projet régime extrême 23.5 m/s

### **I.4.2 Les facteurs hydrodynamiques**

#### **a. La houle au large :**

Les données sont présentées dans (Figure I-10), (Figure I-11), (Figure I-12), (Figure I-13), (Figure I-14). L'analyse de ces roses fait ressortir, la prédominance des houles issues des secteurs :

- Ouest à 27% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (34%) qu'en été (13%) ;
- Nord Est à 43% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (66%) qu'en hiver (26%).

À partir de l'analyse de ces roses de houles nous concluons que :

- Les houles en provenance du secteur Nord-Est prédominent en été ;
- Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui proviennent des deux secteurs Nord-Est et Ouest prédominent durant l'automne, le printemps et annuellement ;
- 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.

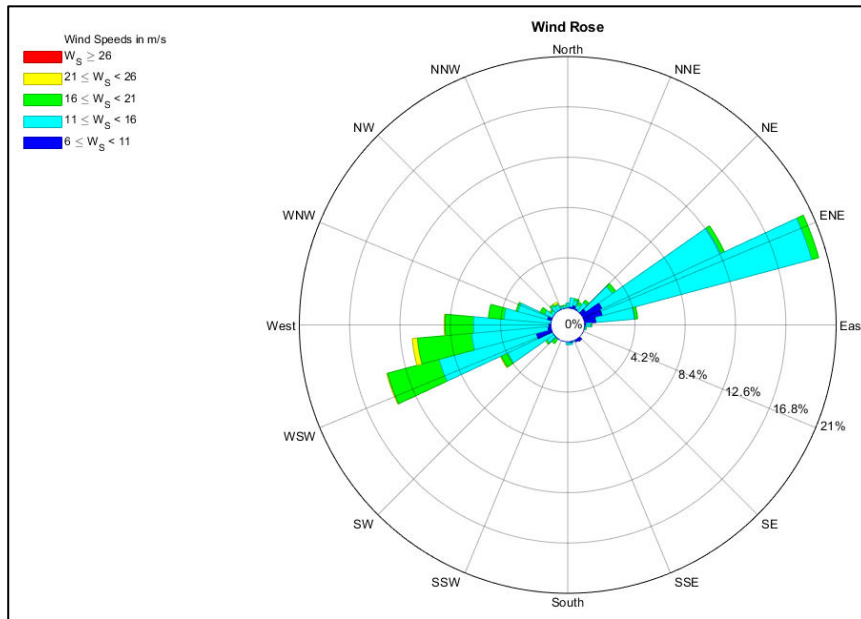


Figure I-5 : Rose des vents annuels de la région algéroise, (Purtos.es)

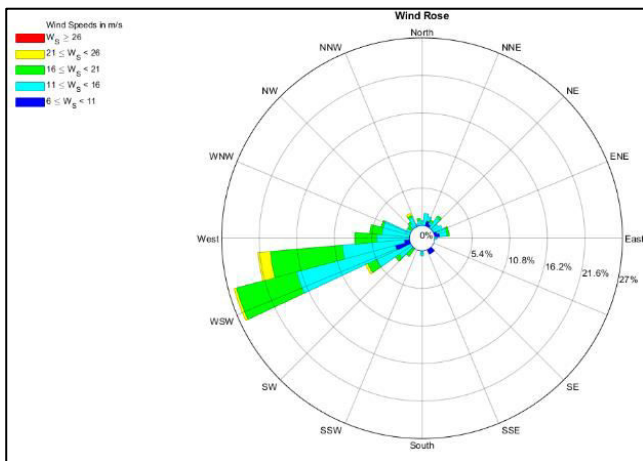


Figure I-6 : Rose des vents hivernaux de la région algéroise (Matlab)

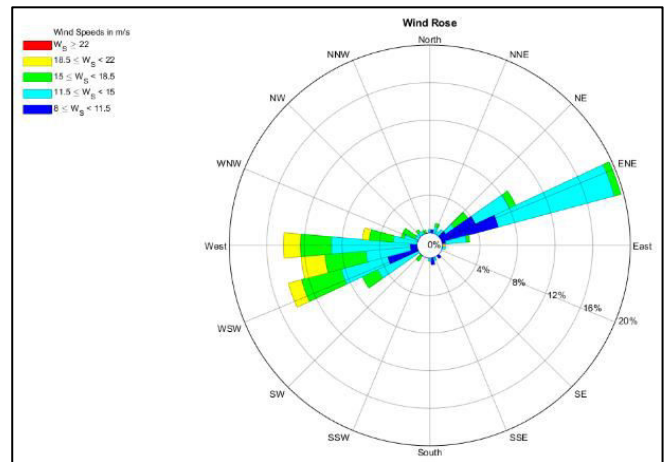


Figure I-6 : Rose des vents automnaux de la région algéroise (Matlab)

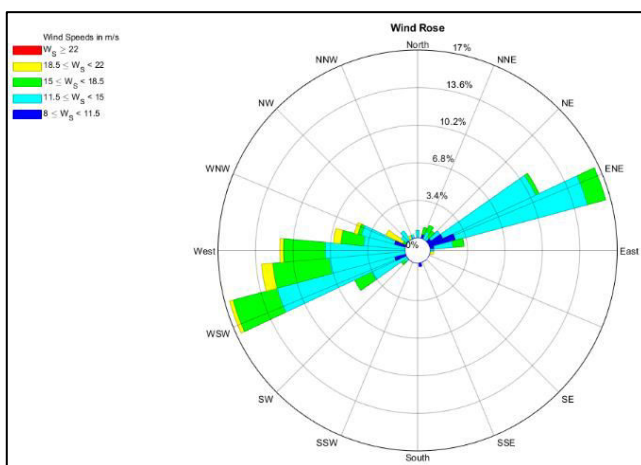


Figure I-8 : Rose des vents printaniers de la région algéroise (Matlab)

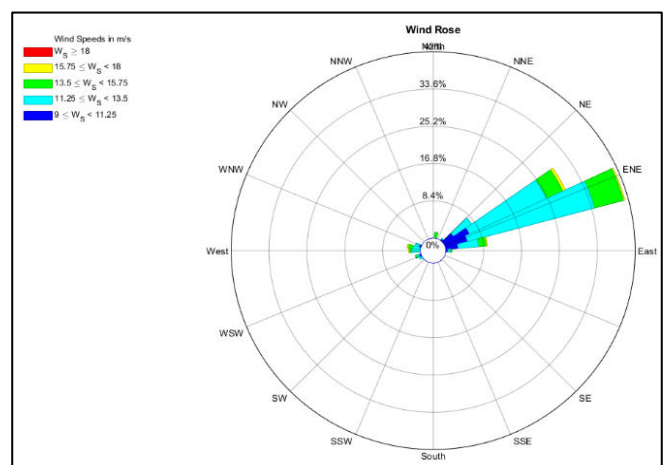


Figure I-9 : Rose des vents estivaux de la région algéroise (Matlab)

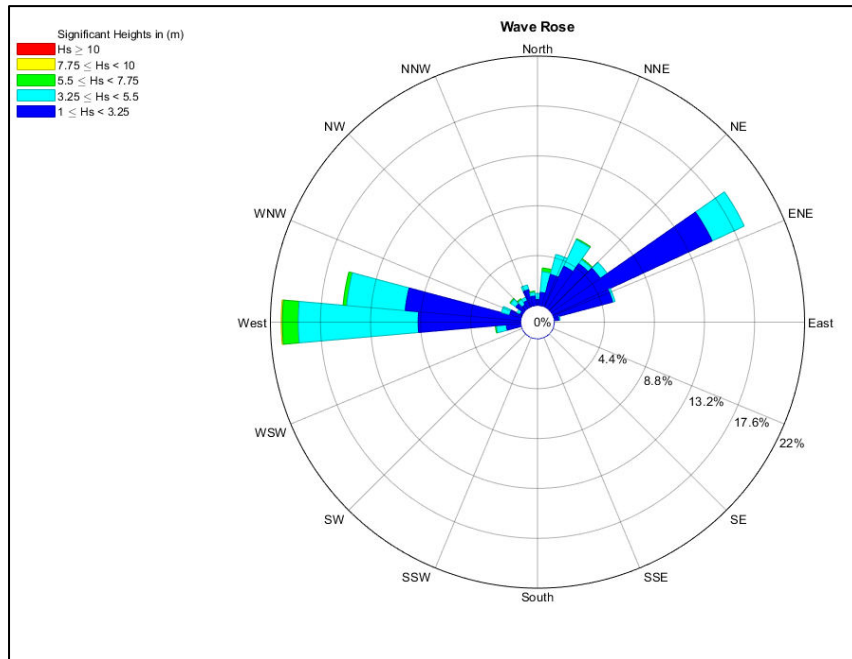


Figure I-11 : Rose des houles annuelles de la région Algéroise (Purtos.es)

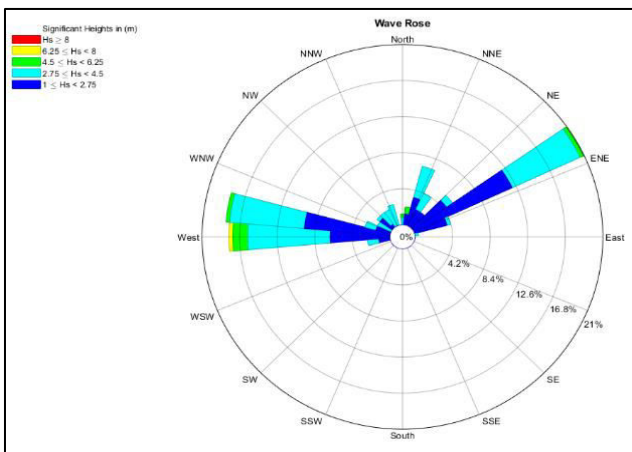


Figure I-10 : Rose des houles automnales de la région Algéroise (Matlab)

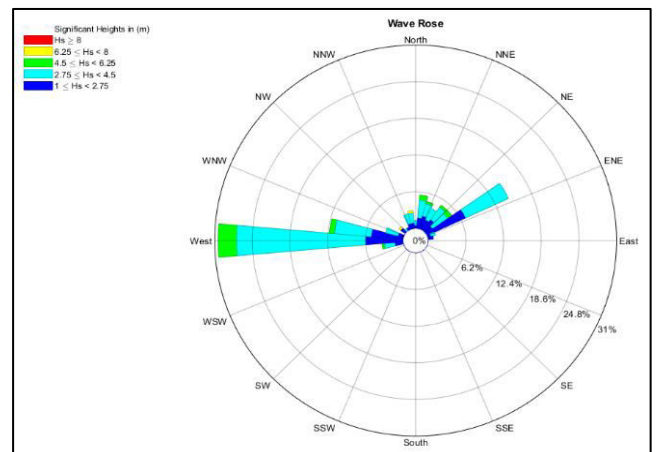


Figure I-7 : Rose des houles printanières de la région Algéroise (Matlab)

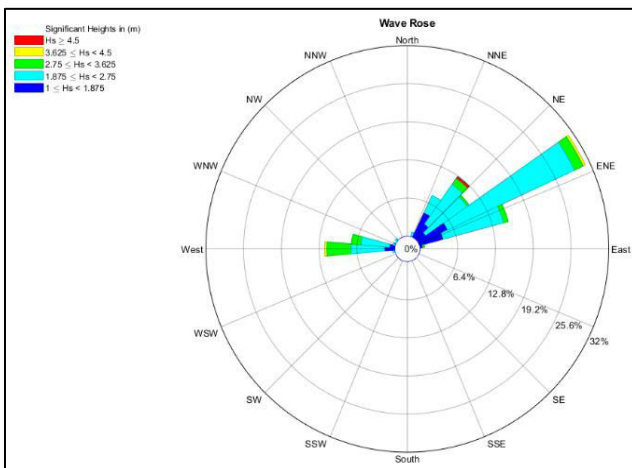


Figure I-8 : Rose des houles printanières de la région Algéroise (Matlab)

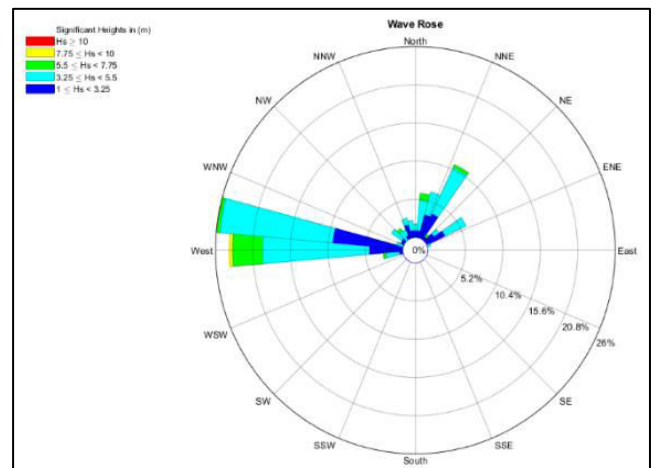


Figure I-9 : Rose des houles hivernales de la région Algéroise (Matlab)

### b. La marée et le niveau d'eau

L'amplitude des marées sur la cote Algérienne est faible, de l'ordre de 20 cm environ (Annexe A).

- Niveau maximum +50cm NGA.
- Moyenne haute mer de vives eaux +10cm NGA.
- Moyenne basse mer -10cm NGA.
- Niveau minimum -34cm NGA.

### c. Les courants

Le long des côtes algériennes, les courants sont relativement faibles et ne constituent pas un facteur déterminant pour le fonctionnement des ouvrages littoraux. Les informations compilées au cours des observations enregistrées au large par le K.N.M.I (Institut Météorologique Royal Néerlandais) indiquent que les courants ont une vitesse inférieure à 0.5 Nœuds pendant environ 75% du temps et 1 nœud pendant 80% du temps.

### d. Tsunami

Afin de préciser l'alerte potentielle de tsunami, une recherche sur les tremblements de terre ainsi que sur les raz de marée historiques qui ont affecté récemment la baie.

Tableau I-1 : Relation des tremblements de terre en Algérie avec possibilité de Tsunami (Journal of Tsunami Society International)

La date		Localisation du tremblement de terre		
Année	Heur	Nom	Latitude	Longitude
09/10/1790	01h15min	Algérie : Oran	35.700	-0.600
07/11/1802	-	Algérie : Kolea, Blida, Alger	36.500	2.900
21/08/1856	21h45min	Algérie : Nord	37.100	5.700
22/08/1856	11h44min	Algérie : Nord	37.100	5.700
23/05/1857	09h00min	Algérie : Mer d'Alboran	36.500	1.300
29/01/1885	07h30min	Algérie : bordj bouarreridj	36.100	4.750
15/01/1891	03h55min	Algérie : Gouraya	36.500	1.800
09/09/1954	01h04min	Algérie : Orleans ville	36.283	1.467
21/05/2003	19h44min	Algérie : Boumérdes	36.700	3.700

## I.5 Sismicité de la région

Compte tenu de ce qui précède et à la lumière des Règles Parasismiques Algériennes (RPA, 99-2003) il est établi comme valeur de l'accélération de base di séisme pour la zone de projet:

$$A = a_b = 0,25g$$

Selon le tableau I.2 des RPA 99- 2003, pour ces valeurs d'accélération, ouvrage appartient en général au groupe II, car il est considéré qu'il y a un risque faible de perte de vies humaines, dans une zone sismique III. Dans le cas du design de la digue, le risque de perte de vies humaines est encore inférieur, donc cet élément pourrait appartenir au groupe III et l'accélération correspondante serait:

$$A = a_b = 0,18g$$

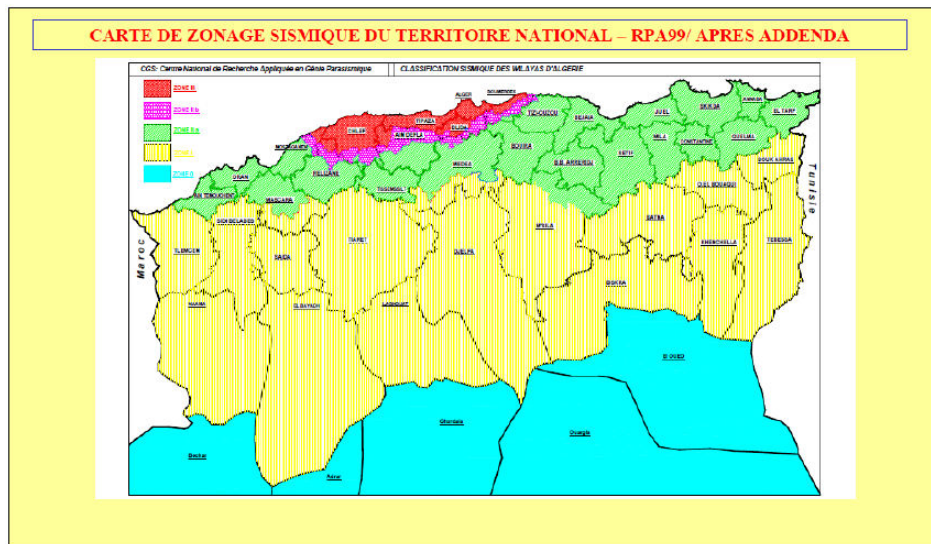


Figure I-12: Carte représentative des zones sismiques du territoire national (RPA 99/version 2003)

Tableau I-2: Tableau représentatif des caractéristiques géotechnique, (RPA, 99- 2003)

Groupe	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III
1 A	0.15	0.25	0.30	0.40
1 B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

### I.6 Caractéristiques du sol

L'information de caractère géomatique disponible pour la réalisation du projet est composée de l'étude géophysique (LEM, 2006), l'étude sédimentologique (LEM, 2006) et la campagne géotechnique réalisée sur 03 points de sondage carottés sur le trait de côte. Ces sondages ont révélé l'existence d'une seule couche de "sables limoneux (SM)" aux caractéristiques suivantes (Tableau I-3)

Tableau I-3 : Tableau récapitulatif des Paramètres géotechniques du terrain de fondation (couche de sable limoneux, campagne géotechnique, BTP, 2015)

Paramètre	Symbole	Unité	Valeur
Épaisseur	e	m	≈ 20
Masse volumique des blocs utilisés	$\gamma_s$	KN/m <sup>3</sup>	24.81
Poids volumique déjaugé du sol	$\gamma_d$	KN/m <sup>3</sup>	19.62
Poids volumique saturé du sol	$\gamma_{sat}$	KN/m <sup>3</sup>	19.62
Densité relative	Dr	%	77
Angle de frottement interne (conditions drainées)	$\Phi$	Degré	30
Angle de frottement interne (conditions drainées)	$\Phi'$	Degré	37.5
Module de déformation	E	MN/m <sup>2</sup>	10 – 96
Coefficient de perméabilité horizontal	kh	m/s	7 – 10
Coefficient de perméabilité vertical	kv	m/s	7 – 10

## **I.7 Transport des sédiments**

L'étude du transport des sédiments faite au préalable par le bureau d'étude BTP infraestructuras a montré que notre site d'étude est exposé à une quantité de 45.000 m<sup>3</sup>/an en direction de l'Est vers l'Ouest.

### **Conclusion**

L'étude d'un ouvrage maritime nécessite une multitude de connaissances combinée entre les connaissances scientifiques, l'ingénierie et la technique ; Ainsi qu'une collecte de donnée au préalable.

Selon BTP, les résultats obtenus de l'étude géotechnique montrent que le fond est formé uniquement d'une couche de sable limoneux et l'action sismique montre que le terrain naturel est non liquéfiable. Après avoir vérifié le coefficient de sécurité minimal exigé par le règlement nous concluons que la base de l'infrastructure est sûre.

Le rapport des données préliminaires et les informations acquises concernant les paramètres climatologiques, océanographiques, géotechniques du milieu vont nous permettre de poursuivre notre étude et d'entamer les chapitres suivants.

---

## **Chapitre II : Prévision des caractéristiques de houles au large**

---

## Introduction

Les effets des houles sont d'une importance capitale dans le domaine du génie côtier. Les houles sont le principal facteur déterminant la géométrie et la composition des plages et influencent de manière significative la planification et la conception de ports, des voies navigables et de la protection des rives, structures côtières et autres ouvrages côtiers. (SPM, 1984).

Dans ce chapitre nous allons calculer la houle de projet en se basant sur la prévision statistique et spectrale. Afin de faire la conception et le choix approprié des ouvrages. Une brève définition et explication sur les houles s'impose.

### II.1 Généralités sur les houles

#### II.1.1 Définition

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui est formé par un champ de vent éloigné de la zone d'observation nommé zone de Fetch. 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, (Bonnetille, 2012). La houle est caractérisée principalement par sa longueur d'onde  $L$ , son amplitude  $H$ , sa célérité  $C$  et sa période  $T$ . il y'a aussi d'autre paramètres représentatifs et nécessaires à la classification tel que la cambrure  $H/L$  ou bien la profondeur relative  $d$ . (Figure II-1).

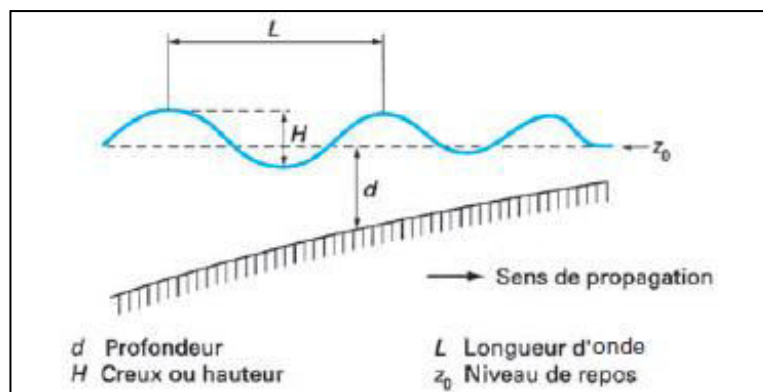


Figure II-1: Propagation de la houle (Bonnetille, 2012)

Les principaux paramètres rentrant en jeu dans la formation de houle sont :

- La longueur sur laquelle le vent souffle dans la seule direction et de façon relativement constante (appelée le Fetch).
- L'intensité du vent
- Le temps pendant lequel le vent souffle

L'étude du comportement des houles revient à définir les caractéristiques physiques et dynamiques de cette dernière. Que cela soit les hauteurs, les périodes ou bien même l'énergie, elle forme l'un des paramètres caractérisant la houle. En même temps elle est en relation avec plusieurs facteurs naturels tel que les vents, la profondeur, les marées etc.

## II.2 Analyse statistique des houles extrêmes au large de la côte algéroise (toutes directions confondues)

La prévision des hauteurs caractéristiques d'une houle peut parfois être compliquée comme calcul, vue l'absence de données d'une région. Les enregistrements holographiques sont des valeurs reprenant l'amplitude de plusieurs houles avec leur période. Les principaux paramètres représentatifs des enregistrements sont :

- **Hauteur significative, Période significative** : pour cette représentation il faut d'abord classer les observations dans l'ordre décroissant et calculer la moyenne du tiers supérieur des observations, l'annotation est respectivement  $H_s$  et  $T_s$  ou bien  $H_{1/3}$   $T_{1/3}$ , (SPM, 1984)

$$H_s = \frac{1}{N_{\frac{1}{3}}} \sum_i^{N_{\frac{1}{3}}} H_i \quad \text{(III-1)}$$

- **Hauteur de houle  $H_{1/10}$  et Période  $T_{1/10}$**  : Moyenne du 1/10 supérieur des hauteurs de vagues de l'enregistrement, et moyenne des périodes (SPM, 1984)
- D'autre paramètre tel que la hauteur max et la période max  $H_{\max}$  et  $T_{\max}$ . Mais aussi la moyenne quadratique de l'échantillon représenté par  $H_{\text{rms}}$  ; qu'ils peuvent caractériser une houle.

### ➤ Analyse des houles extrêmes :

Il existe plusieurs approches pour calculer cette houle extrême : à chaque augmentation de la taille de l'échantillon, la précision augmente pour le dimensionnement des ouvrages. L'approche peut avoir l'aspect suivant :

- Faire plusieurs enregistrements de tempête pendant une année. (Minimum 10 enregistrements)
- Répéter l'opération pendant plusieurs années (minimum 10 ans).
- Dépouiller les enregistrements et calcul les hauteurs caractéristique ( $H_s$ ,  $T_s$ ,  $H_{1/10}$ ...etc.)

Une fois la base de données des mesures brutes de la houle acquise il est possible de choisir une méthode d'échantillonnage tel que :

- La méthode des maximas annuels : Le principe c'est de prendre le seuil maximal pour chaque année pendant plusieurs années.
- La méthode du peak-over threshold (POT) : Contrairement à la méthode des maximas annuels, elle consiste à fixer un seuil  $H$  et prendre toute la valeur supérieure à ce seuil.

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

Cette source est formée par des séries temporelles de paramètres atmosphériques et océanographiques provenant de modèles numériques couvrant les années de 1958 jusqu'à 2001, générés avec une cadence horaire (toutes les trois heures) à partir de modèles météorologiques affinés sur la base des études de pressions et de vents.

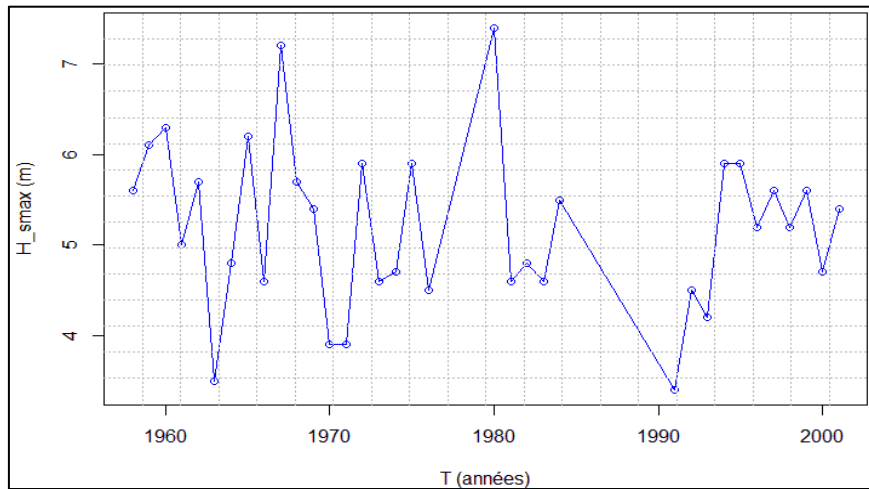
D'après ces informations, on peut obtenir des résultats suivants :

- L'historique et données sur la houle.
- Vitesses et direction des vents dominants.

- L'historique du niveau de mer.

Pour la façade littorale de l'Algérie, il y a de nombreux points disponibles, en choisissant le point 2073015 localisé à l'anse d'Alger. Les données sont représentées dans le (**tableau A-1**) de (**annexe A**).

La série des hauteurs significatives maximales annuelles de 1958 jusqu'à 2001 présente valeurs de Hs absente (1977-1978-1979-1985-1986-1987-1988-1989-1990) (**Figure II-2**). Le couplage des lacunes a été faite avec une interpolation par le langage R pour avoir une série continue.



**Figure II-2 : les hauteurs significatives maximales annuelles du point SIMAR 44 (Puertos Del Estado)**

## II.2.2 La Méthode de série des maxima annuel (SMA)

Aussi appelée blocks maxima, cette méthode consiste à prendre pour chaque année le maximum annuel. Dans notre cas la taille de l'échantillon est  $N=35$ . Nous allons utiliser trois fonctions de distribution qui reviennent souvent dans la théorie des valeurs extrêmes : loi de GEV, Gumbel et Log-Normal.

### a. La loi de la valeur extrême généralisée (GEV) :

$$F(x; x_0, \alpha, k) = \exp \left[ - \left( 1 + k \left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right) \right)^{-\frac{1}{k}} \right] ; (1 + k(x - x_0)/\alpha) > 0 \quad (\text{III-2})$$

Cette loi suit l'échantillon maxima annuel ; cette loi a 3 paramètres :

- $x_0$  : le paramètre de position (location en anglais).
- $\alpha$  : le paramètre de dispersion (scale en anglais).
- $k$  : le paramètre de forme (shape en anglais).

Après traitement des données sur langage R, les résultats sont présentés en (**Tableau II-2**) et (**Figure II-3**). Le test de qualité de l'ajustement est vérifié à travers le test d'adéquation d'Anderson-Darling, AD. Le test est mis en œuvre à l'aide du package nsRFA (**Viglione et al, 2019**) sous le logiciel de programmation R. La fonction utilisée est :

```
A2_GOFlaio (x, dist='GEV')
```

Le code a retourné une distance AD de 0.358 et une p-value de 0.668.

Puisque la distance AD est inférieure à la valeur critique soit 0.757 donc la loi GEV est adéquate. Les valeurs des paramètres sont résumées :

Tableau II-1 : Valeur des paramètres de la loi GEV

Paramètres	$x_0$	$\alpha$	k
Valeurs	4.861	0.90	0.247

Les résultats définitifs sur la fonction de distribution GEV sont sur le tableau suivant :

Tableau II-2 : Valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence au non-dépassement	Quantile $H_{s_{max}}$ (m)	Intervalle de confiance (85%)
1000	0.999	8	7.37 - 12.14
100	0.99	7.40	6.98 - 9.54
50	0.98	7.15	6.78 - 8.82
20	0.95	6.77	6.43 - 7.88
10	0.9	6.41	6.09 - 7.19
5	0.8	5.98	5.65 - 6.52

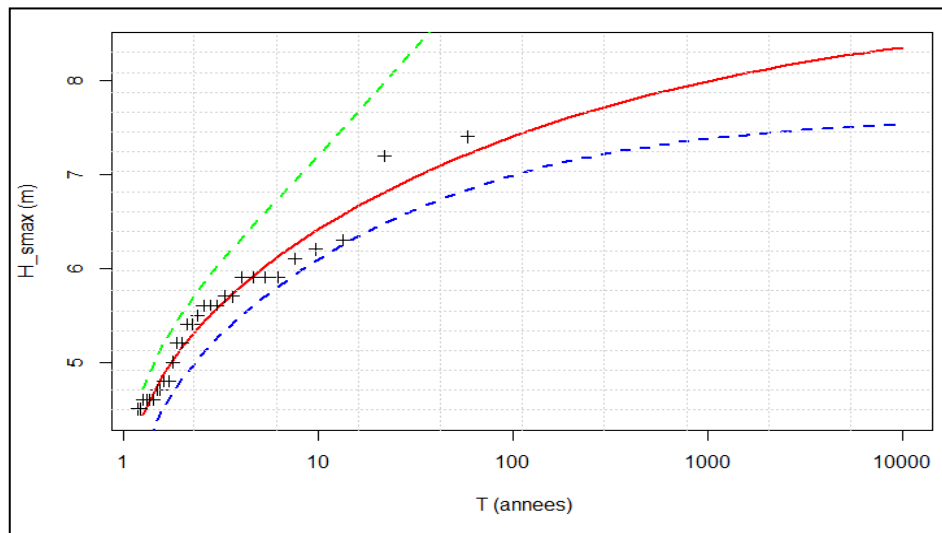


Figure II-3 : Représentation graphique de la loi GEV

Où les lignes bleues et vertes représentent les intervalles de confiances. La ligne rouge représente les valeurs de Hmax.

### b. La loi de distribution Log Normal :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt : 0 < x < \infty \quad (\text{II-3})$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - x_0)^2}{2\alpha^2}\right] \tag{II-4}$$

- $x_0$  et  $\alpha$  sont respectivement les paramètres (localisation et l'échelle) de la loi Log-normale.

Le test de qualité de l'ajustement est vérifié à travers le test d'adéquation d'Anderson-Darling, par le même code que dans la loi GEV. On trouve **AD=0.408** et **P-value=0.653**, donc la distribution est adéquate. Le résultat des paramètres de la distribution Log-normal sur **Tableau II-4** et **Figure II-4**

Tableau II-3: valeurs des paramètres de la loi Log-normal

Paramètres	$x_0$	$\alpha$
Valeurs	1.633	0.180

Tableau II-4 : valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour pour la Log-normal

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence au non-dépassement	Quantile Hsmax (m)	Intervalle de confiance (%)
1000	0.999	8.86	7.96 - 10.85
100	0.99	7.73	7.09 - 9.08
50	0.98	7.37	6.80 - 8.52
20	0.95	6.85	6.38 - 7.76
10	0.9	6.42	6.02 - 7.15
5	0.8	5.94	5.60 - 6.49

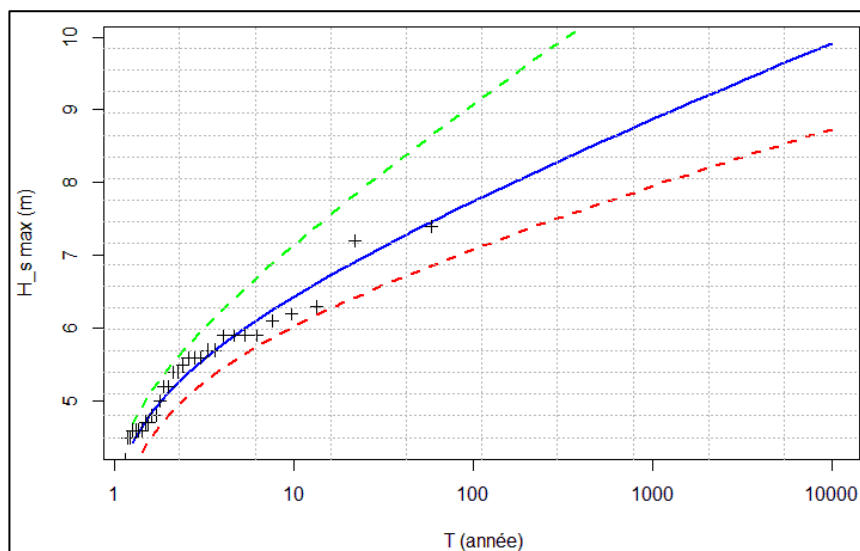


Figure II-4 : Représentation graphique de la loi Log-normal

**c. La loi de distribution Gumbel**

Aussi appelé Fisher Tippett type I (FT I), elle possède deux paramètres.

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - x_0}{\alpha}\right)\right] : -\infty < x < +\infty \tag{II-5}$$

-  $x_0$ ,  $\alpha$  sont respectivement la localisation et l'échelle de la loi.

Le test de qualité de l'ajustement est vérifié à travers le test d'adéquation d'Anderson-Darling, par le même code que dans la loi GEV. On trouve **AD**=0.615 et **p-value**= 0.888. La distribution est donc adéquate. Le résultat des paramètres de la distribution de Gumbel est représenté en (**Tableau II-6**) et (**Figure II-5**)

Tableau II-5 : valeur des paramètres de la loi de Gumbel

Paramètres	$x_0$	$\alpha$
Valeurs	4.766	0.750

Tableau II-6 : valeur des quantiles pour plusieurs périodes de retour Gumbel

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence au non-dépassement	Quantile Hsmax (m)	Intervalle de confiance (%)
1000	0.999	10.6064	9.4255 - 12.7246
100	0.99	8.6522	7.8158 - 10.1186
50	0.98	8.0629	7.3282 - 9.3383
20	0.95	7.2695	6.6661 - 8.2823
10	0.9	6.6619	6.1570 - 7.4795
5	0.8	6.0285	5.6183 - 6.6554

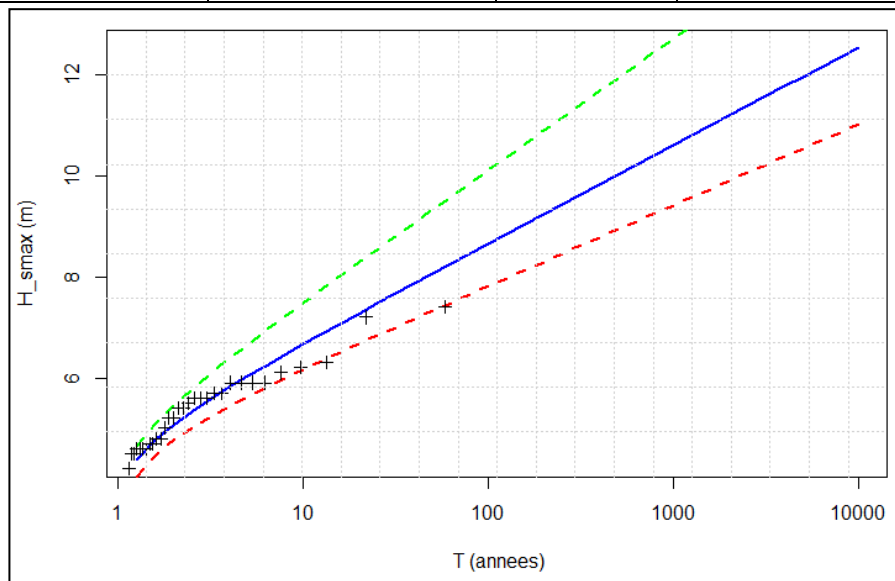


Figure II-5 : Représentation graphique de la loi Gumbel

### II.2.3 Choix de la meilleure distribution

Étant donné que les trois distributions sont adéquates, le paramètre qui peut juger la bonne méthode à choisir c'est le paramètre d'étalement qui estime le degré d'efficacité de la densité de probabilité.

Le paramètre d'étalement est défini par (Goda, 2004) comme le rapport entre la hauteur de période de retour de 50 ans sur celle de 10 ans équation (II-6). Le (Tableau II-7) présente les résultats sur les différentes lois.

$$\gamma_{50} = \frac{H_{50}}{H_{10}} = 1 + \frac{y_{50} - y_{10}}{y_{10} + x_0/\alpha} \quad (\text{II-6})$$

Où  $y_{50}$ ,  $y_{10}$  sont les variables réduites correspondant à des périodes de retour de 50 ans et 10 ans :

$$y = \frac{x - x_0}{\alpha} \quad (\text{II-7})$$

Tableau II-7 : résultat de paramètre d'étalement pour chaque loi

Loi	GEV	Log-normal	Gumbel
$\gamma_{50}$	1.117	1.147	1.210

Gencarelli et al.(2007a) concluent que sur la mer Méditerranée le paramètre d'étalement varie de 1.1 à 1.27. Nous allons prendre les résultats de la distribution de Gumbel car pour un nombre d'observation N=35, la distribution tende à avoir un intervalle de confiance qui est assez grand.

### II.3 Analyse statistique des houles extrêmes par direction

L'analyse précédente a inclu les hauteurs significatives enregistrées suivant toutes les directions. Nous allons maintenant traiter d'autres données du SIMAR pour estimer la hauteur significative suivant plusieurs directions. Ici on va utiliser la méthode de série de durées partielles ou peak over threshold, POT.

#### II.3.1 Présentation des données

Les données sont récoltées dans le site de **Puertos.es** géré par le ministère espagnol du développement qui a été montré précédemment dans (Figure I-3) qui représente la plateforme du site et la représentation des points SIMAR. Nous avons choisi le point 2120084 localisé à 37°00'00'' et 3°00'00'' se situant au large des côtes algéroise (Figure I-4).

#### II.3.2 Distribution des hauteurs et période significative suivant les directions

Les données recueillies sont des hauteurs significatives et des périodes significatives calculées chaque mois, avec la direction de la houle suivant la rose des vents

Un traitement fréquentiel des données de la houle du site de Puertos Del Estado sont représentées dans le tableau suivant (Tableau II-8). Avec l'histogramme de distribution des fréquences suivant les hauteurs significatives qui en résulte (Figure II-6).

Tableau II-8 : Fréquence d'apparition des houles significatives et leurs périodes de 1958 à 2019 (Puertos.es)

Efficacité : 99.60%		Ts (s)											
Années : 1958-2019		<=1.0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10.0	TOTAL
Hs (m)	<=0.5	---	0.084	2.336	5.451	6.513	4.436	1.332	0.407	0.125	0.021	0.008	20.713
	1	---	---	0.46	5.039	9.962	11.802	7.646	2.449	0.892	0.428	0.064	38.74
	1.5	---	---	---	0.099	4.52	6.617	5.211	3.049	1.228	0.803	0.298	21.826
	2	---	---	---	---	0.171	3.056	3.185	1.985	0.994	0.522	0.407	10.322
	2.5	---	---	---	---	0.002	0.261	1.531	1.451	0.698	0.328	0.284	4.556
	3	---	---	---	---	---	0.004	0.269	0.901	0.527	0.208	0.13	2.04
	3.5	---	---	---	---	---	---	0.018	0.287	0.41	0.168	0.08	0.963
	4	---	---	---	---	---	---	---	0.06	0.198	0.156	0.054	0.468
	4.5	---	---	---	---	---	---	---	0.003	0.048	0.106	0.048	0.205
	5	---	---	---	---	---	---	---	---	0.006	0.047	0.038	0.091
	> 5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.013	0.064	0.077
	TOTAL	---	0.084	2.796	10.59	21.167	26.176	19.192	10.592	5.127	2.8	1.476	100%

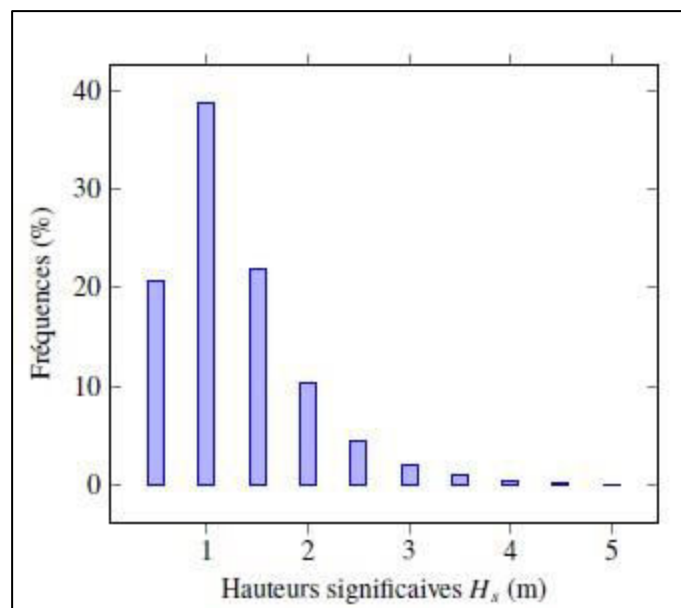


Figure II-6: Histogramme de distribution des fréquences suivant les hauteurs significatives (Puertos.es)

### II.3.3 Préparation des échantillons

Afin de préparer les séries d'enregistrement un classement par direction est nécessaire. Les rose des houles présentées dans le chapitre précédent, montrent que les directions les plus fréquentes sont :

- Direction Ouest : N = 297 valeurs observation sur 61 ans.
- Direction ENE : N = 171 valeurs observations sur 61 ans.
- Direction NNE : N = 92 valeurs observation sur 48 ans.

- Direction NE : N = 88 valeurs observation sur 49 ans.

On peut maintenant ajuster les données suivant la méthode du POT, Peak Over Threshold.

### II.3.4 La Méthode de Série des Durées Pareils ou POT

#### a. Choix du seuil

Le choix du seuil haut de censure des données demeure assez libre. Il existe un critère de choix par rapport au Bayesian Information Criterion développé par Akaike (1973). Mais ici nous allons choisir le seuil par rapport au nombre de dépassement.  $\lambda = (N/T)$  où N est le nombre d'échantillon et T représente les années d'observations.

Il faut garantir l'indépendance physique de l'échantillon, c'est-à-dire que les valeurs sont espacées d'au moins 24 heures entre chaque valeur. Ceci est vérifiable car les valeurs des hauteurs significatives sont des valeurs maximales pour chaque mois de l'année.

Ici on projette de fixer plusieurs seuils pour chaque direction et on choisira le seuil optimal selon le teste d'adéquation d'Anderson Darling et le test d'autocorrélation (indépendance) de Spearman.

#### b. 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 peut être approchée par la *distribution généralisée de Pareto (GPD)* Hamm, (2010) donnée par (II-9) :

$$F(y) = 1 - \left(1 + k \frac{y}{\alpha}\right)^{-\frac{1}{k}} : 0 < y < \infty \quad \text{(II-9)}$$

- $k$  et  $\alpha$  représentent les paramètres de forme et d'échelle de l'échantillon.

#### c. Période de retour

La définition de la période de retour en série de durées partielles, ne correspond pas à celle de la série des maximas annuels. La formulation de la période de retour  $T$  correspondant à cette définition quand une série de durée partielle est utilisée, est connue sous le nom de Langebin-Takeuchi et elle est donnée par (Meylan et al. 1999) et (Willems, 2000) :

$$T = \frac{1}{1 - \exp\left[-\frac{(1 - F_Y(y))}{\lambda}\right]} \quad \text{(II-10)}$$

$\lambda$  étant le nombre moyen de dépassements (au-delà du seuil  $\hat{H}$ ) annuels, cette définition de la période de retour correspond à la méthode d'échantillonnage des séries de durée partielle.

La différence entre les périodes de retour données par chaque relation des SMA et les SDP est très minime et peut être considérée comme négligeable pour des périodes de retour supérieures à 10 ans (Willems, 2000). Pour le cas particulier où  $\lambda=1$ , c'est-à-dire le nombre de valeurs considérées au-delà du seuil correspond au nombre d'années d'observation,

Koutsoyiannis et al. (1998) donnent l'approximation suivante  $T=T'+0,5$ , où  $T'$  est la période de retour sur des séries de durée partielle (SDP).

Après modification de la période de retour la relation du quantile devient :

$$a(T) = \hat{H} + \frac{\alpha}{k} (1 - T^{-k}) \quad (\text{II-11})$$

#### d. Résultat

Après traitement des données sur R avec le package nsRFA (Viglione et al, 2019), on a déterminé les paramètres de la loi GPD pour chaque seuil et nombre de dépassement. Les résultats des calculs des différentes périodes de retour  $T'$  est expliqué dans l'annexe B.

Dans le **Tableau II-9** sont reprises les distances d'Anderson Darling pour chaque échantillon classé (décroissant) et leur seuil approprié.

Tableau II-9 : valeur des distances d'Anderson Darling pour chaque seuil et nombre de dépassement

Directions	NNE (22.5°)	NE (45°)		ENE (67.5°)			O (270°)		
		1.2	1	2.8	2	1	3	2	1
Nombre de dépassements $\lambda = (N/T)$	1.79	1.2	1	2.8	2	1	3	2	1
Valeur du seuil $\hat{H}$ (m)	1.66	2.19	2.33	1.49	2.17	2.61	2.92	3.69	4.17
Distance d'Anderson-Darling	0.608	0.62	0.30	0.53	0.38	0.29	0.55	0.28	0.34

Après calcul des différents quantiles pour plusieurs périodes de retour en utilisant l'équation (II-9) et (II-10). Les figures de (Figure II-8) jusqu'à (Figure II-15) dans la feuille suivante, représente l'ajustement et le (Tableau II-9) résume les résultats.

Tableau II-10 : Hauteurs significatives extrêmes en fonction des périodes de retour et le nombre de dépassement pour chaque direction

	Directions	NNE (22.5°)	NE (45°)		ENE (67.5°)			O (270°)		
			1.2	1	2.8	2	1	3	2	1
	Nombre de Dépassement $\lambda=(N/T)$	1.79	1.2	1	2.8	2	1	3	2	1
Période De Retour	Biennale	3.98 m	3.0 1 m	3.07 m	3.29 m	3.31 m	3.32 m	5.11 m	5.01 m	5.09 m
	Quinquennale	4.92 m	3.7 2 m	3.75 m	3.84 m	3.81 m	3.79 m	5.87 m	5.85 m	5.81 m
	Décennale	5.50 m	4.3 8 m	4.38 m	4.17 m	4.14 m	4.11 m	6.46 m	6.44 m	6.38 m
	Vingtennale	5.97 m	5.1 4 m	5.10 m	4.44 m	4.44 m	4.39 m	7.05 m	7.00 m	6.95 m
	Cinquantennale	6.45 m	6.3 1 m	6.18 m	4.72 m	4.77 m	4.71 m	7.82 m	7.68 m	7.67 m
	Centennale	6.73 m	7.3 3 m	7.09 m	4.88 m	4.98 m	4.90 m	8.38 m	8.15 m	8.20 m

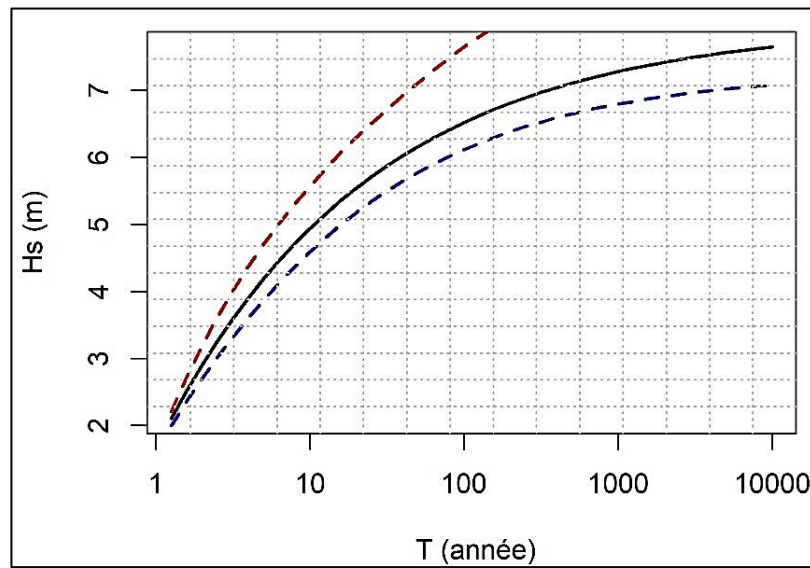


Figure II-7 : ajustement par la loi GPD direction NNE ( $22.5^\circ$ )  
 $\lambda=1.79$

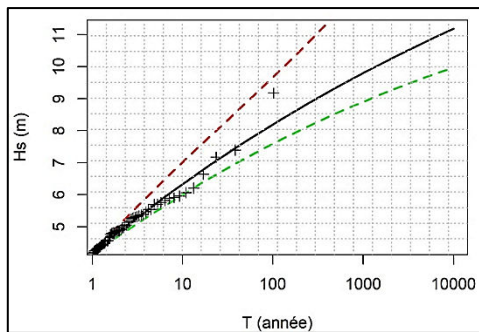


Figure II-8 : ajustement par la loi GPD direction O (270°)  $\lambda=1$

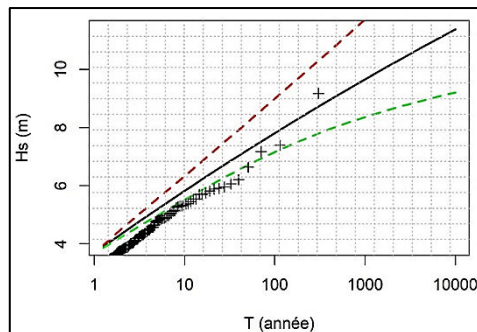


Figure II-9 : ajustement par la loi GPD direction ENE (270°)  $\lambda=2$

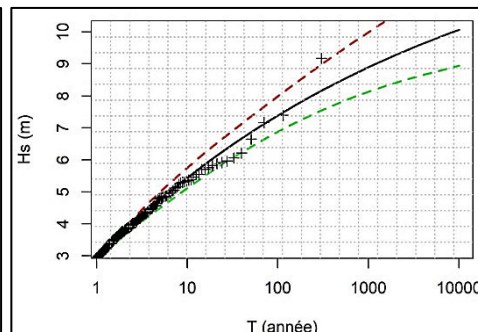


Figure II-10 : ajustement par la loi GPD direction O (270°)  $\lambda=3$

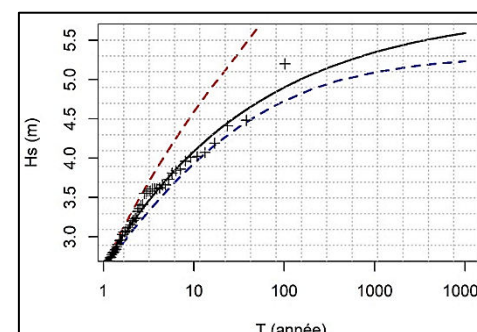


Figure II-11 : ajustement par la loi GPD direction O (67.5°)  $\lambda=1$

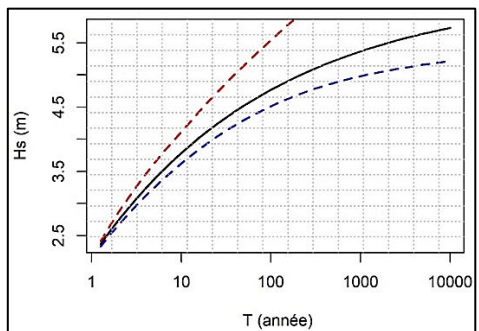


Figure II-8 : ajustement par la loi GPD direction ENE (67.5°)  $\lambda=2$

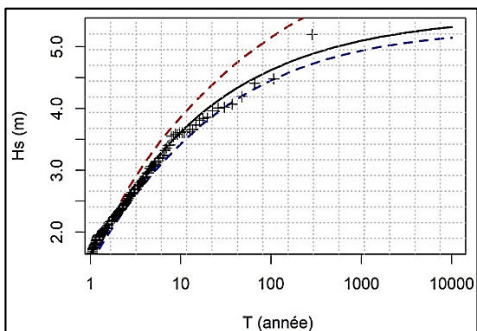


Figure II-11 : ajustement par la loi GPD direction NE (67.5°)  $\lambda=2.8$

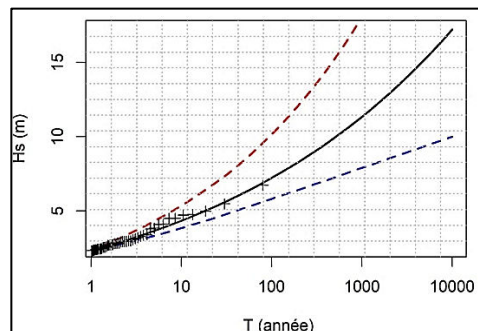


Figure II-10 : ajustement par la loi GPD direction NE (45°)  $\lambda=1$

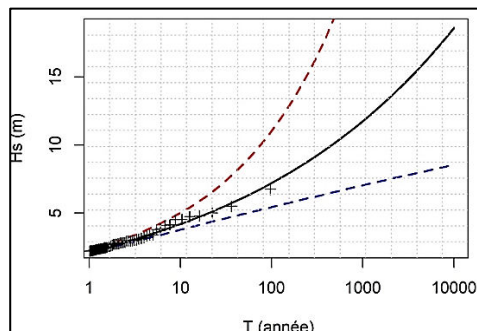


Figure II-9 : ajustement par la loi GPD direction ENE (45°)  $\lambda=1.2$

#### II.4 Choix de la période de retour

La période de retour est estimée par rapport au risque sur les pertes de vie potentielles dans la zone protégée et la capacité d'investissement du projet.

Le **TECHNICAL GUIDELINES ON SEA DIKE DESIGN** a classé les périodes de retour en fonction du type de région, représentée dans le **tableau II-11**.

Tableau II-11 : Période de retour pour zone de type 1 (technical guidelines of sea dike design, HOAI, 2011)

Caractéristique de la zone de protection	Période de retour (années)
Zone urbaine industrielle développée : - Surface >100 000 ha - Population >200 000 habitants	150
Les zones rurales ayant développé l'industrie et agriculture : - Surface : 50 000 ÷ 10 000 ha - Population 100 000 ÷ 200 000 habitants	100
Zone rurale et agricole développée : - Surface 10 000 ÷ 50 000 ha - Population 50 000 ÷ 100 000 habitants	50
Zone rurale et agricole moyennement développée : - Surface 5000 ÷ 10 000 ha - Population 10 000 ÷ 50 000 habitants	30
Petite zone rurale et agricole : - Surface < 5000 ha - Population < 10 000 habitants	10<T<30

Tableau II-12 : Classification des ouvrages de protection par leur période de retour, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011)

Classe de la digue	I	II	III	IV	V
Période de retour en années	150	100	50	30	10<T<30

Tableau II-13 : Classification des ouvrages selon la profondeur d'inondation, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011)

Profondeur d'inondation potentielle comparable à niveau d'eau de conception (m)	Classe de l'ouvrage
Supérieur à 3	I-II
Entre 2 et 3	II-III
Entre 1 et 2	III-IV
Inferieur a 1	V

Tableau II-14 : Durée de vie de l'ouvrage selon sa classification, technical guidelines of sea dike design, (HOAI, 2011)

Classe de la digue	Durée de vie de l'ouvrage (années)
I-II	100
III-IV	50
V	30

La commune d'El Mohammadia possède une population d'environ 10 000 habitants sur une superficie agricole et rurale d'environ 800 000 hectares (où 1 km<sup>2</sup> égale à 100 hectares). Il a été conclu que le choix logique de la période de retour est de **100 ans**.

- En suivant ce résonnement H<sub>s</sub>max qui correspond à la période de retour de **100 ans** est égal à **8.65 m** (pour la méthode SMA)
- Pour la méthode POT, les différent H<sub>s</sub> pris en compte sont celle du Tableau II-9 pour la période centennale.

#### II.4.1 La période significative :

Il existe plusieurs périodes pour déterminer la période significative attribué à H<sub>s</sub>. (**Callaghan et al, 2003**) ont donné une relation qui relie la hauteur significative à sa période en négligeant la vitesse des vents exprimer dans la formule de **Wilson, 1934**.

$$T_s = 3.3H_s^{0.63} \quad \text{(II-12)}$$

- Pour la valeur de H<sub>s</sub> trouvé par la méthode SMA :

Application numérique :

$$T_s = 3.3 \times 8.65^{0.63} = 12.84s$$

- Pour les valeurs trouvées dans la méthode POT, le Tableau II-15 résume les périodes T<sub>s</sub> trouvé :

Tableau II-15 : les périodes significatives de la houle suivant plusieurs directions

Direction	NNE (22.5°)			ENE (67.5°)			O (270°)		
Nombre de dépassement $\lambda=(N/T)$	1.79	1.2	1	2.8	2	1	3	2	1
H <sub>s</sub> (100ans) en (m)	6.73	7.33	7.09	4.88	4.98	4.90	8.38	8.15	8.20
T <sub>s</sub> (s)	10.97	11.57	11.34	8.96	9.07	8.98	12.60	12.38	12.42

#### Comparaisons avec le résultat du SSMO (*Summary of Synoptic Meteorological Observations*) :

En se référant aux résultats du SSMO (**Tableau II-16**) la houle extrême au large est plus ou moins inférieure à celle trouvé.

Tableau II-16: Les valeurs significatives des amplitudes en (m) de la houle au large (SSMO, 1980)

Direction périodes	N	NE	NO	O	Toutes directions confondues
Biennale	4.48	4.68	3.96	6.89	7.17
Quinquennale	5.16	5.4	4.62	7.87	8.02
Décennale	5.67	5.93	5.12	8.61	8.69
Vingtennale	6.18	6.47	5.62	9.35	9.34
Cinquantennale	6.85	7.18	6.28	10.33	10.21
Centennale	7.37	7.18	6.78	11.07	10.86

La période de retour est aussi en relation avec la durée de vie de l'ouvrage. **Borgmann, (1963)** a énoncé un concept de probabilité pour la sélection de la période de retour. La probabilité de rencontre (probabilité du dommage) que la structure subisse des tempêtes supérieures à la condition de conception pendant L'année est obtenue comme suit :

$$P_L = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad \text{(II-13)}$$

Où L : durée de vie de l'ouvrage.

Et si  $T > 10$  ans, on peut approcher la relation **(II-13)**, par :

$$P_L = 1 - \exp\left(-\frac{L}{T}\right) \quad \text{(II-14)}$$

**HOAI, (2011)** propose que le choix de la durée de vie de l'ouvrage de prendre la classe de l'ouvrage. Puisque nous avons choisi une période de retour  $T=100$  ans, et la hauteur d'inondation est entre 1 et 2 m (voir tableau de l'annexe B). Comme le montre le tableau des classifications, la classe de l'ouvrage est de III. Et la durée de vie est classé selon la classe de l'ouvrage on choisit donc une durée de 50 ans.

Tableau II-17: durée de vie de l'ouvrage selon sa classe, (HOAI, 2011).

Classe de l'ouvrage	Durée de vie de l'ouvrage (années)
I-II	100
III-IV	50
V	30

Application numérique dans l'équation II-11 :  $L=50$ ,  $T=100$ , donne :

$$P_L = 1 - e^{-\left(\frac{50}{100}\right)} = \mathbf{0.393}$$

Donc la probabilité du dommage pendant la durée de 50 ans est égale à 0.393 ce qui semble satisfaisant du point de vue technique.

## II.5 Analyse spectrale de la houle au large des côtes algéroises

Une surface de la mer d'aspect aléatoire peut être considérée comme la somme de nombreux trains de vagues simples. Une manière de formaliser cette notion est d'introduire le spectre des vagues. Un enregistrement de vagues peut être décomposé au moyen d'une analyse harmonique (ou d'une analyse de Fourier) en un grand nombre de vagues sinusoïdales de fréquences, de directions, d'amplitudes et de vitesses différentes. Chaque fréquence et chaque direction indiquent un élément de vagues et à chaque élément sont associées une amplitude et une vitesse, **(OMM, 1998)**.

### II.5.1 Le spectre de JONSWAP

Développé par (**Hasselmann et al. ,1973**), JOint North SeaWave Project est un projet initié par plusieurs laboratoires européens en analysant un grand nombre de mesures de houle effectuées en mer du nord. Le spectre de JONSWAP est une modification du spectre Pierson-Moskovitz e, développant les paramètres  $\alpha$  et  $f_p$  en fonction de la vitesse du vent dominant et la longueur du fetch. Et l'injection d'un facteur de pic  $\gamma$ . Le spectre devient la relation suivante :

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp[-1.25 \left(\frac{f_p}{f}\right)^4] \times \gamma^\alpha \quad (\text{II-15})$$

- $f$  : La fréquence de la houle en Hertz ou  $s^{-1}$
- $f_p$  : fréquence de pic qui correspond à  $1/T_p$  (période de pic)
- $g$  : accélération de la gravité en ( $m/s^2$ )
- $\alpha$  : coefficient adimensionnel en fonction de  $U_{10}$  et le Fetch  $\gamma$ : paramètre de pic
- $F$  : est la distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle, en mètre.
- $U_{10}$  : défini comme la vitesse dominante du vent, elle doit être mesurée sur une hauteur de 10 m par rapport au plan d'eau, sinon un ajustement de la valeur est envisageable. (m/s)

$$\alpha = 0.076 \left(\frac{gF}{U_{10}}\right)^{-0.22} \quad (\text{II-16})$$

$$f_p = \frac{3.5g}{U_{10}} \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{-0.33} \quad (\text{II-17})$$

$$\gamma = 7 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{-0.143} \quad : \quad 1 < \gamma < 7 \quad (\text{II-18})$$

$$\alpha = \exp\left[-\frac{f - f_p}{2\sigma^2 f_p^2}\right] \quad (\text{II-19})$$

- $\sigma$  : paramètre de forme tel que ;

$$\sigma = 0.07 \text{ quand } f < f_p$$

$$\sigma = 0.09 \text{ quand } f > f_p$$

Le spectre de JONSWAP est l'un des spectres usuels que le génie côtier utilise fréquemment. (**Douadi, 1990**) a prouvé que le spectre réel de la mer Méditerranée est beaucoup plus de type JONSWAP que de pierson-moskovitz donc les spectres méditerranéens qui est une mer presque fermée ressemble à la mer du nord qui est fermée. Ainsi le spectre de JONSWAP est exprimé avec trois données d'entrée :

- La fréquence de la houle correspondant à  $1/T$ .
- La vitesse des vents  $U_{10}$
- Le fetch.

Selon le guide d'enrochement, une sélection adéquate de la fréquence d'échantillonnage et de la longueur des enregistrements déterminent la précision de l'analyse : on recommande 2 à 4 Hz, avec une durée minimale de 20 min, de préférence 30 à 60 min.

Une sélection appropriée des limites  $f_{min}$  et  $f_{max}$  pour le calcul des moments spectraux doit être faite. Il est recommandé de choisir  $f_{min}$  inférieure ou égale à la moitié de la fréquence maximale ( $0.5 fp$ ) ou à 0.033 Hz lorsque l'on s'attend à une large bande de fréquences maximales, afin de séparer les composants de longues périodes des ondes courtes.  $f_{max}$  doit être inférieure à la fréquence de Ny qui est égale à la moitié de la fréquence d'échantillonnage mais supérieure à  $5 fp$  où 1 à 2 Hz, afin de pouvoir identifier la queue du spectre dans les hautes fréquences, (**Guide d'enrochement, 2009**).

### Les paramètres caractéristiques après analyse spectrale :

L'analyse spectrale a pour but la prévision, donc la détermination de  $H_s$  mais pour cela il faut d'abord calculer la variance ou bien le moment d'ordre 0, tel que :

$$m_0 = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f)df \quad (\text{II-17})$$

Donc  $m_0$  représente l'aire sous la courbe de  $S(f)$ . Cette relation est une simplification de la relation du moment générale d'ordre  $n$  :

$$m_n = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f)f^n df \quad (\text{II-18})$$

La hauteur significative de la houle calculée à partir du spectre devient :

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (\text{II-19})$$

On peut tirer aussi la période moyenne du spectre :

$$T_{m0} = T_{01} = \frac{m_0}{m_1} \quad (\text{II-20})$$

&, l'indice de largeur du spectre :

$$\varepsilon^2 = 1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4} \quad (\text{II-21})$$

## II.5.2 Présentation des données de départ :

### II.5.2.1 La vitesse des vents

Pour la caractérisation du vent dans la baie d'Alger, les données du point 2120084 (voir chapitre I). D'après la rose des vents (**Figure I-3**), (**Figure I-7**) les directions les plus fréquentes sont (Ouest, Nord-est, Est Nord Est), donc direction Ouest Sud-Ouest est exclue du calcul. Après recueil des données du SIMAR 44 nous avons pu regrouper les vitesses des vents selon leur direction. Ici on a pris la valeur maximale mensuelle pour chaque direction. Voir les figures de

(**Figure I-8**) à (**Figure I-12**) pour les valeurs maximales annuel. On va ajuster les valeurs par la loi de Gumbel car selon **Fallot et al. (2008)**, c'est la plus utilisé en météorologie.

### Ajustement des vents suivant la loi de Gumbel

Les directions prises en compte sont :

- Ouest : avec 60 observations sur 60 années.
- Nord-Est : avec 50 observations sur 50 années.
- Est Nord Est : avec 62 observations sur 62 années.
- Nord-Ouest : avec 31 observations sur 31 années.

Les valeurs prises en compte sont les maximales annuelles car on va utiliser la méthode d'ajustement SMA.

L'ajustement est suivant la loi de Gumbel (**II-5**). Les résultats de l'ajustement sont repris sur le (tableau II-18) et les représentations des lois sur les **Figures (II-16 ; 19)**.

Tableau II-18: Valeur des vitesses des vents extrême sur le point SIMAR 2120084 en (m/s)

Direction	O (270°)	NO (315°)	ENE (67.5°)	NE (45°)
Biennale	16.56	15.68	13.83	12.70
Quinquennale	18.83	17.50	15.25	14.82
Décennale	19.98	19.14	16.19	16.21
Cinquantennale	21.83	22.77	18.25	19.28
Centennale	22.39	24.30	19.12	20.57

Ces résultats viennent confirmer la conclusion sur les vents dans le chapitre I et la rose des vents **Figure II-9** soit les vents les plus fort sont de direction O et NE.

Le choix de la période de retour selon **Beniston et al., (2007)** est souvent de 50 ans.

#### Remarque :

La direction Ouest est ajustée par la loi GEV (**II-2**) car la distance d'Anderson-Darling est inférieur a la valeur critique (0.757) par rapport a celle de Gumbel

#### a. Le Fetch

Le fetch est suivant les directions des vents ; étant donné que les vents dominants sont ENE et NE, NO et O il est logique de choisir un fetch suivant ces mêmes directions.

Sont montré les valeurs des fetch suivant les directions choisies (**Figure II -22**).

Tableau II-19 : valeur du fetch pour chaque direction

Direction	O (270°)	NO (315°)	ENE (67.5°)	NE (45°)
Fetch (Km)	734	382	536	609

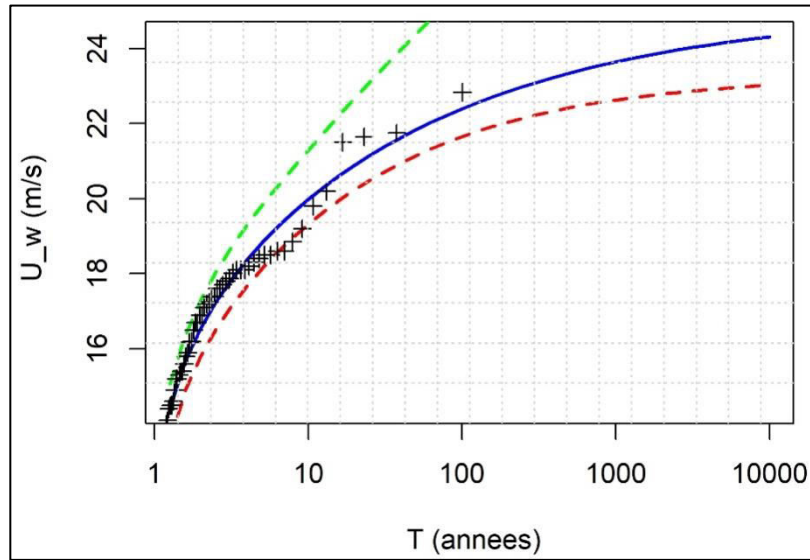


Figure II-12: ajustement par la loi de GEV direction O (270°)

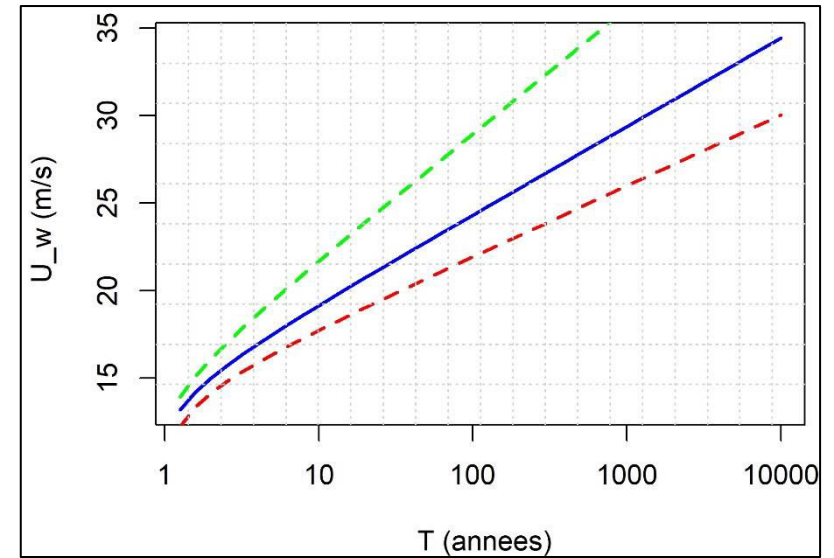


Figure II-13: ajustement par la loi de Gumbel direction O (270°)

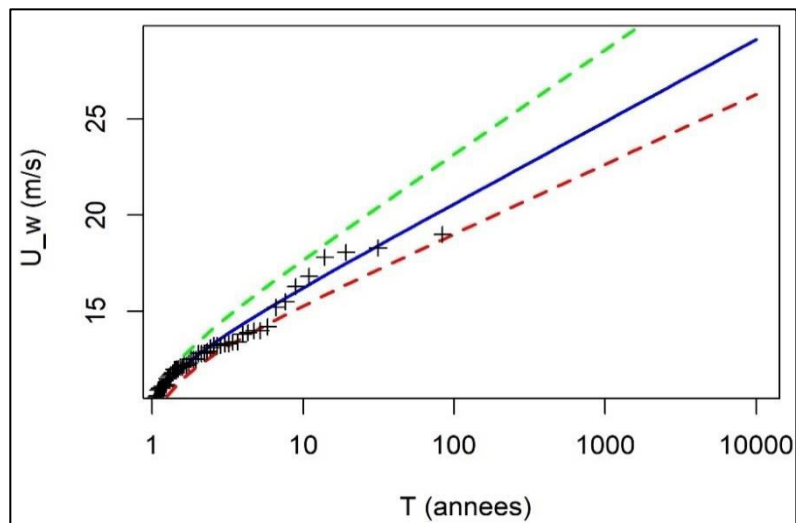


Figure II-15: ajustement par la loi de Gumbel direction O (45°)

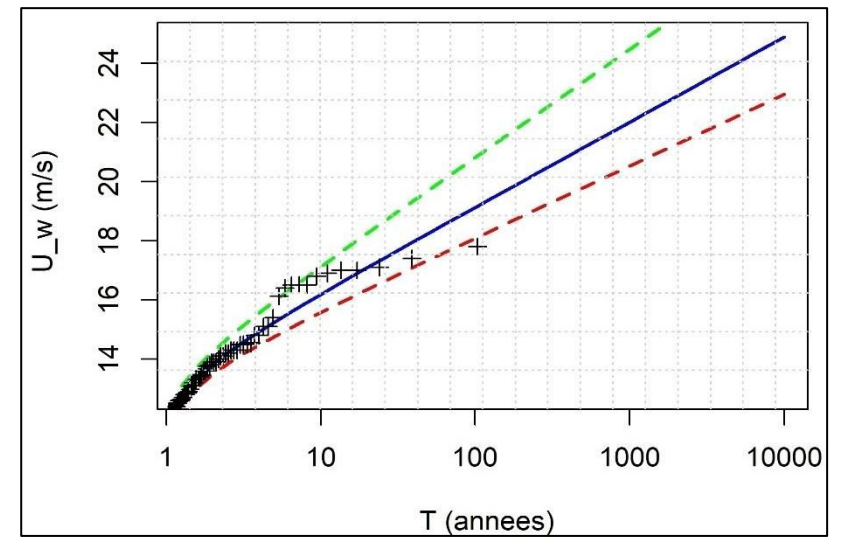


Figure II-14: ajustement par la loi de Gumbel direction NE (45°)



Figure II-20 : Les différents Fetch suivant les directions O, NO, ENE, NE (Google Earth Pro)

### II.5.3 Simulation du spectre JONSWAP sur Matlab

Une fonction de JONSWAP peut être créée sur le logiciel Matlab. Elle nécessite comme « input », le fetch, la vitesse du vent et la fréquence. Et comme « output », nous obtenons : le spectre d'énergie ( $m^2/s$ ) la hauteur significative  $H_s$  et la période significative  $T_s$ . Le script de la fonction est donnée en annexe B.

On peut appeler la fonction dans un fiché script comme ceci :

```
[S,Hs,Ts]=jonswapFU(fr,U,F) ;
```

On a défini les inputs :

- Valeur des fetch dans le **tableau II-18**
- Vitesse de période de retour  $T=50$  ans
- Fréquences : (forme de vecteur avec un pas de 0.001) tel que  $f_{min}=0$  et  $f_{max} 0.5$ . Nous remarquons au delà de 0.5, la fonction  $S(f)$  tends vers 0.

Les résultats sont résumés sur le **tableau II-20** et la **figure (II- 21 :24)**, suivants.

Tableau II-20 : résultat du programme JONSWAPFU sur Matlab

Direction	Paramètre de pic $\gamma$	Fréquence de pic $f_p$ (Hertz)	Moment $m_0$	Hauteur significative $H_s$ (m)	Période de significative $T_s$ (s)	Période de pic $T_p$ (s)	Période moyenne $T_m$ (s)	Indice de largeur du spectre $\epsilon^2$
O (270°)	1.767	0.066	7.35	10.84	13.81	14.31	12.25	0.59
NO (315°)	1.871	0.072	5.73	9.58	13.02	13.92	11.26	0.574
ENE (67.5°)	1.757	0.077	3.76	7.75	11.05	12.91	10.4	0.552
NE (45°)	1.752	0.072	4.77	8.74	12.66	11.18	11	0.57

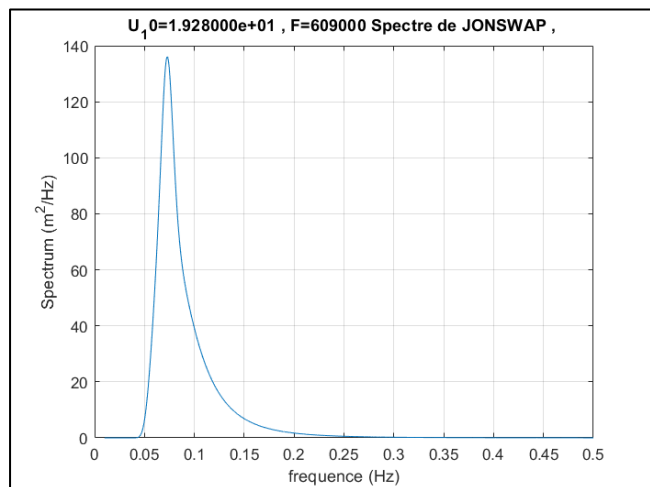


Figure II-20: Représentation du spectre JONSWAP pour la direction NE (45°).

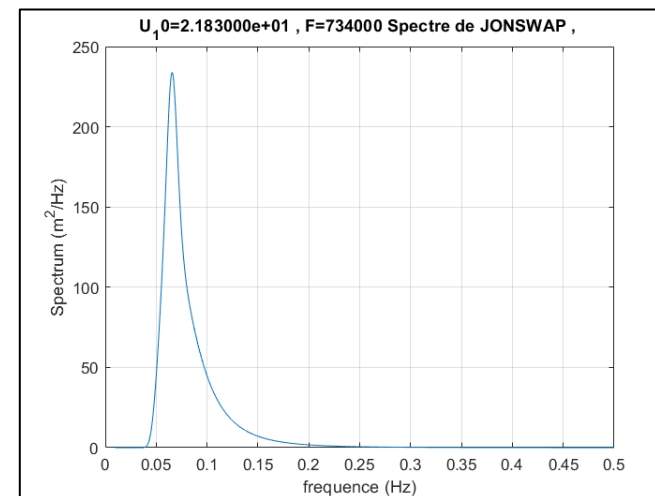


Figure II-17 : Spectre JONSWAP pour la direction O (270°)

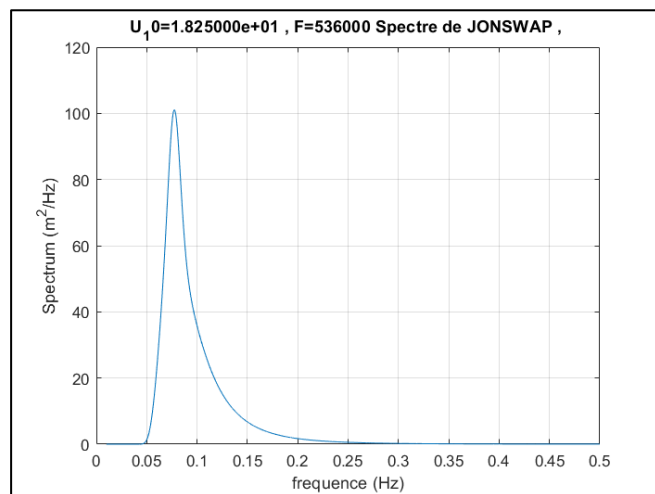


Figure II-19: Spectre JONSWAP pour la direction O (67.5°)

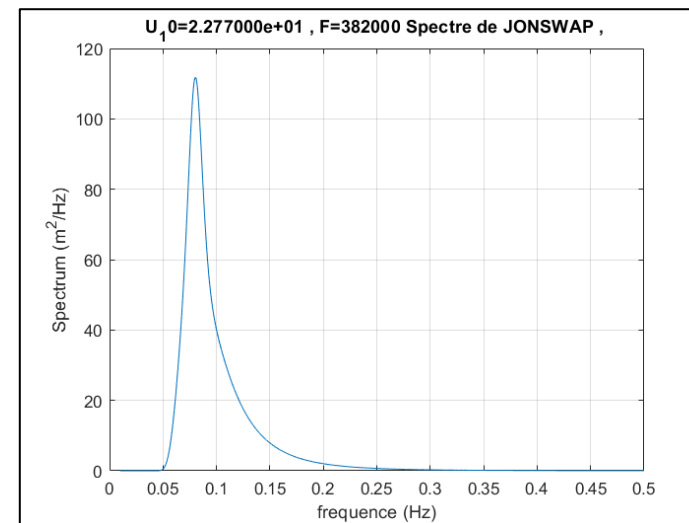


Figure II-18: Spectre JONSWAP pour la direction NO (315°)

## II.6 Prévision par des méthodes semi-empiriques

Dans cette partie, nous allons voir les quelques méthodes semi empiriques pour la prévision de Hs et Ts avec les même fetch et la même vitesse du vent que dans la section 5 de ce chapitre.

### II.6.1. Formules de Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) telles qu'elles ont été présentées dans le SPM (CERC, 1977)

Ces formules ont été proposées, à l'origine, par Sverdrup et Munk (1947), puis elles ont été réexaminées par Bretschneider (1954, 1970). Elles apparaissent dans la troisième édition du Shore Protection Manual, SPM (CERC, 1977). Elles permettent une estimation de la hauteur significative de la houle, Hs (m), et de la période significative de la houle, Ts (s). L'information nécessaire est la vitesse à 10 m au-dessus du niveau moyen de la mer, U10 (m/s), d'un vent qui souffle au-dessus d'un fetch de longueur, F (m), pour une mer complètement formée, c'est-à-dire si la durée de l'action du vent est supérieure à tmin (heures).

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0.283 \tanh\left(0.0125 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{0.42}\right) \quad (\text{II-22})$$

$$\frac{gT_s}{U_{10}} = 7.54 \tanh\left(0.077 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{0.25}\right) \quad (\text{II-23})$$

$$\frac{gt_{min}}{U_{10}} = 0.00183 \exp\left[\sqrt{(0.0161x^2 - 0.3692x + 2.2024)}\right] + 0.8798x : \text{ tel que}$$

$$x = \ln\left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right) \quad (\text{II-24})$$

### II.6.1 . Formules de Wilson (1965), revues par Goda (2003) :

Wilson (1965) a proposé une autre série de formules pour estimer la hauteur significative de la houle, Hs, la période significative de la houle, Ts et la durée minimale, tmin (heures), avec la même notation et convention pour les unités que ci-dessus.

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0.3 \left(1 - \left(1 + 0.04 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{1/2}\right)^{-2}\right)$$

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 8.61 \left(1 - \left(1 + 0.08 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{1/3}\right)^{-5}\right)$$

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0.01194 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{-0.27}$$

Le tableau II-21 présente les résultats trouvés pour les différentes directions :

Tableau II-21: Résultats des formules semi empiriques

		O (F =734 km)	NO (F=382km)	ENE (F=534km)	NE (F=609km)
Formule de Sverdrup- Munk- Brestschneider	$H_S$ (m)	8.4	7.16	5.95	6.68
	$T_P$ (s)	11.62	10.68	9.7	10.3
	$t_{min}$ (h)	12.65	7.05	13.1	13
Formule de Wilson modifié par Goda	$H_S$ (m)	8.02	7.02	5.67	6.38
	$T_P$ (s)	11.38	10.2	9.5	10.6
	$t_{min}$ (h)	29.87	18.18	25.78	27

## II.7 Discussions et choix des houles au large

Nous avons déterminé la houle au large par plusieurs approches. On estime que la méthode de POT est la plus fiable car elle repose sur la théorie des valeurs extrêmes. Le choix du seuil est selon le nombre de déplacement lui-même proportionnel au test d'Anderson-Darling, donc on choisit le test AD minimal. On peut prendre les valeurs des  $H_s$  et  $T_s$  pour la direction NE par le spectre de JONSWAP. Donc le résultat final pour les houles au large et qui seront prises en compte pour les calculs du chapitre 3 sont données dans le tableau II-22 :

Tableau II-22 : Valeurs des hauteurs et périodes significative au large

Direction	O (270°)	NO (315°)	ENE (67.5°)	NE (45°)
$H_S$ (m)	8.15	9.58	4.9	6.73
$T_P$ (s)	12.38	13.02	8.98	10.97

## Conclusion

On note que l'approche spectrale sur la prévision des houles est assez facile par rapport à la statistique des houles, cela est dû au manque de donnée de houle et de période de houle au fil des années. Cela étant dit, les deux méthodes présentent une cohérence est une convergence vers un résultat de hauteur significative. On a conclu que le volume 3 du SSMO contient des valeurs qui surestiment les cela est dû aux faibles nombres d'années.

Nous avons remarqué que la méthode d'ajustement statistique POT peak over threshold ou Série durée partielle est plus avantageuse que celle de SMA (série maxima annuels) car la méthode POT utilise les données exhaustives au fil des années, par contre la méthode SMA utilise les hauteurs maximales annuelles qui tendent à réduire la taille de l'échantillon. Le choix de la période de retour a été attribué a priori, suivant une attribution de l'ouvrage à des classes qui par la suite résulte d'une période de retour. Dans de nombreux modèles de structures maritimes, une période de retour de 50 à 100 ans est souvent utilisée pour évaluer une vague de conception la taille précise (Goda, 2010).

Dans ce chapitre, on a vu comment on peut déterminer la houle au large suivant des conditions météorologiques extrêmes. Le spectre de JONSWAP étant applicable dans la mer méditerranée, il suffit d'avoir la vitesse maximale des vents et aussi le fetch adéquat.

L'ajustement et l'approche spectrale ont pour but la détermination de la houle maximale au large, mais aussi l'optimisation pour le dimensionnement.

Ce chapitre avait pour but de savoir la houle significative au large, maintenant que cette procédure est faite, il faut observer le comportement de la houle quand celle-ci se rapproche aux côtes, c'est l'objet de la suit du travail, c.-à-d. la transformation et déformation de la houle près des côtes, et l'estimation de la houle incidente à l'ouvrage de protection.

---

## **Chapitre III : Campagne océanographique et étude bathy-sédimentologique**

---

## Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons faire une étude bathymétrique et sédimentologique de la zone d'étude pour mieux comprendre la répartition spatiale des sédiments dans la marina et déterminer les paramètres granulométriques qui permettent de classer les sédiments selon des différents critères.

### III.1 Travaux de la campagne océanographique

Nous avons effectué le 23 Aout 2020, au site d'étude Marina Bay d'Alger, avec une équipe de l'ENSSMAL, une campagne océanographique de reconnaissance comprenant

- Des levés bathymétriques.
- Des prélèvements de 60 échantillons de sédiments superficiels sur 60 stations différentes ont été prélevés, où 45 sont répartis à l'intérieur de la marina et 15 échantillons à l'extérieur
- Des mesures des vitesses et directions du courant
- Des coordonnées géographiques dont le système de coordonnées appropriés au GPS est le système de référence géodésique WGS84

#### III.1.1 Matériels utilisés

- Une embarcation pneumatique, **Photo III-1**
- Un courantomètre, **Photo III-2**
- Un GPS, **Photo III-3**
- Un eco-test, **Photo III-4**
- Une benne Ven-Veen attachée à un câble, **Photo III-5**



Photo III-1 : Une embarcation pneumatique (Marina Bay Alger)



Photo III-2 : Un courantomètre (ENSSMAL)



Photo III-3 : Un GPS (ENSSMAL)



Photo III-4: une eco-test (ENSSMAL)



Photo III-5 : Une benne Ven-Veen (ENSSMAL)

### III.1.2 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, le sédiment est récupéré dans des sacs en plastique étiquetés et numérotés, et rapportés au laboratoire pour une analyse détaillée. Les 60 échantillons prélevés sont représentés sur la **Figure III-1**, (les données courantologie et bathymétrie sont en **le tableau B-1 dans annexe B**).

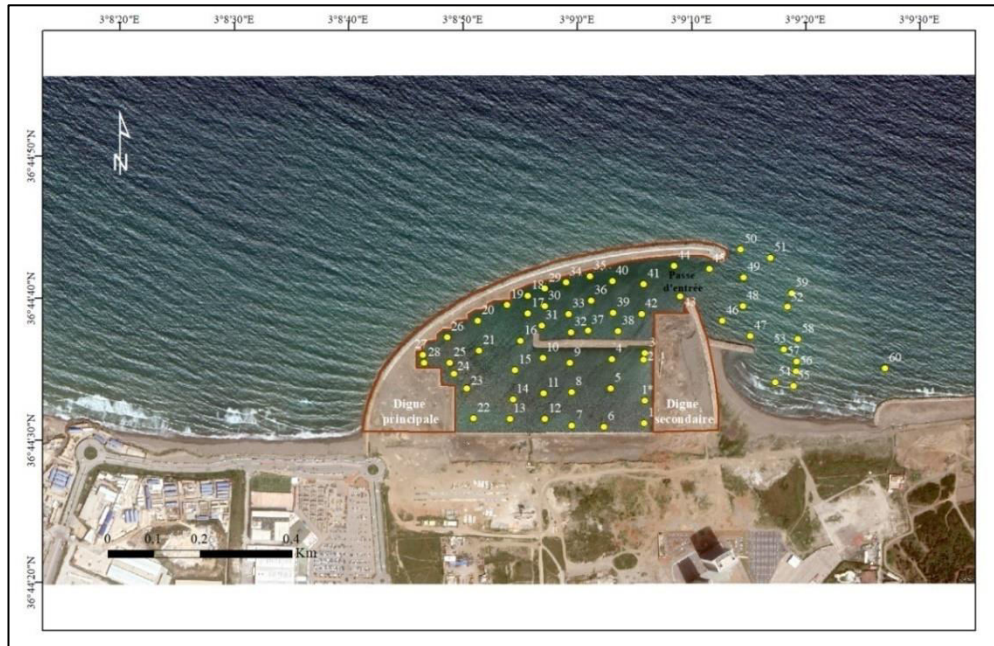


Figure III-1: Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer. (ArcGIS en ligne)

#### 1. Etude bathymétrique

Les levés bathymétriques réalisés avec l'éco-test lors de la sortie sont projetés sur une carte satellitaire à l'aide de l'outil ArcGIS par une interpolation de ces levés (**Figure III-2**).

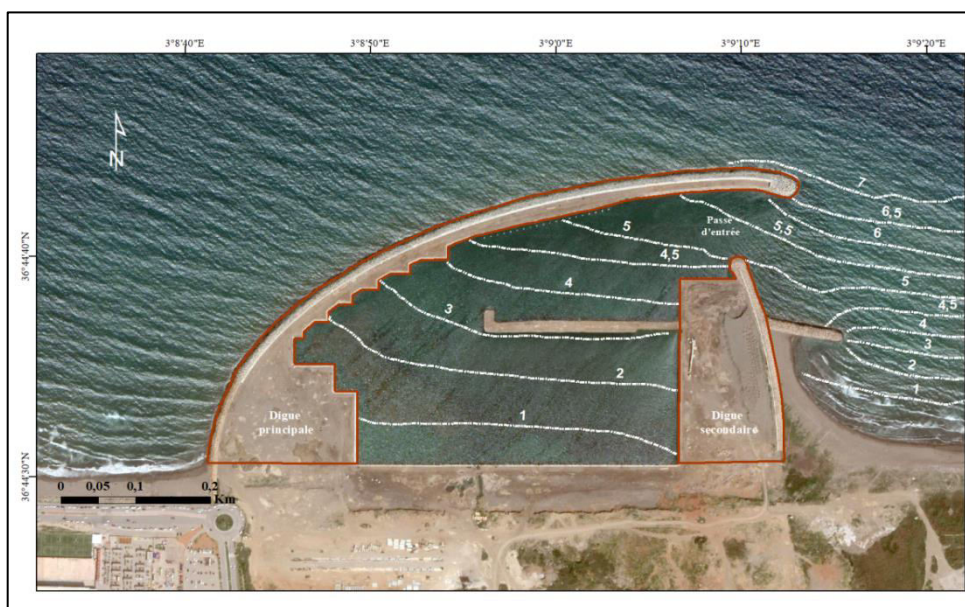


Figure III-2 : Carte bathymétrique réalisée sur la Marina Bay d'Alger (ArcGIS en ligne)

**Commentaire :**

La morphologie sous-marine de la marina Bay d'Alger semble régulière d'Est en Ouest avec une profondeur de 1 à 4m à l'intérieure du bassin. La passe d'entrée présente une profondeur plus ou moins importante (jusqu'à 6m). À l'extérieur de la marina, la bathymétrie est bien régulière de la côte vers le large.

**III.2 Etude sédimentologies**

L'objectif d'une étude sédimentologiques est la caractérisation des sédiments en mer, leur répartition spatiale et par conséquence leur modalité de mise en place. L'utilisation de l'analyse statistique des particules d'un sédiment meuble est maintenant pratique courante : les échantillons font l'objet d'une analyse granulométrique in vitro. Les résultats de cette analyse permettent d'établir la carte de répartition spatiale des sédiments.

L'étude granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

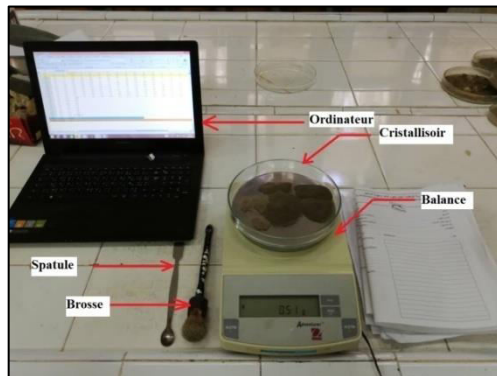
L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage (**Rivière, 1977**). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (**Rivière, 1977**).

**✓ Analyse au laboratoire****III.2.1 Matériels utilisés :**

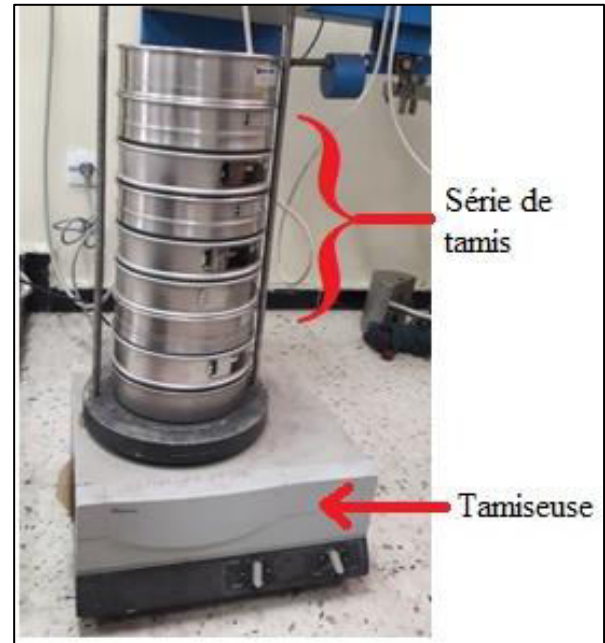
- Pour nos échantillons nous avons utilisé la série de tamis mentionnée dans le protocole **d'AFROR (P18-560) ; Photo III-6**
- Une étuve, élimine et sèche l'eau de l'échantillon à une très grande température après une dure de temps déterminée ; **Photo III-7**
- Une balance très précise (0.001g) ; **Photo III-8**
- Des cristallisoirs, ce sont des récipients que l'on pose 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 ; **Photo III-8**
- Une spatule : aide à séparer les échantillons, à enlever les grains qui sont restés 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.



**Photo III-7 : une étuve (Laboratoire de l'ENSSMAL)**



**Photo III-1 : matériels utilisés dans le pesage (Laboratoire de l'ENSSMAL)**



**Photo III-6 : une tamiseuse (Laboratoire de l'ENSSMAL)**

### III.2.2 Méthodologie de l'étude sédimentologie

Au laboratoire, chaque échantillon est mis dans le fond d'un cristallisoir,

Les échantillons de sédiments prélevés sont séchés, à l'étuve, à 105°C, pendant 24h ; on suit les étapes suivants :

- 1) Pesage de  $M_T = 150g$  de sédiment sec
- 2) Lavage des 150g de sédiments dans un tamis de 40 $\mu m$ , pour éliminer la fraction fine ;
- 3) Séchage de la fraction grossière, à l'étuve, à 105°C, pendant 24h ;
- 4) Pesage de la fraction grossière  $M_i$  ;
- 5) Détermination de la fraction fine. (La masse de la fraction fin =  $M_T - M_i$ )
- 6) Monter la série de tamis pour la fraction grossière par ordre décroissant et la placer sur la tamiseuse ;
- 7) Verser l'échantillon dans la série de tamis ;
- 8) Commence notre tamisage en allumant la tamiseuse à une fréquence de 50Hz, 10min ;
- 9) Peser les refus de chaque tamis et du fond après passer au calcul.
- 10) Noter les résultats des poids de chaque station dans un tableau EXCEL classé selon les dimensions des tamis ;
- 11) Monter la série de tamis pour la fraction fine par ordre décroissant
- 12) La placer sur la tamiseuse, verser le refus du fond dans la série de tamis pour la fraction fine et refaire les étapes à partir de (10).

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 et les pourcentages du sable pour chaque station (annexe C).

### III.2.3 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, et qui sont séparés comme suit (tableau III-1)

**Tableau III-1 : classification granulométrique des sédiments selon Falk, 1966 (Rivière, 1977)**

Class	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )
Sables très grossiers	>2000
Sables grossiers	500 - 1000
Sables moyen	250 – 500
Sables fins	40 - 250

#### III.2.3.1 Fraction fine

L'étude de la fraction fine (inférieure à  $40\mu\text{m}$ ) consiste d'abord à estimer sa valeur en pourcentage pour chaque échantillon dans un poids considéré et par la suite établir une carte des pélites représentant sa répartition dans notre zone d'étude.

#### III.2.3.2 Fraction grossière

##### a. Les paramètres de position

Les paramètres de position sont extraits à partir des courbes de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse logarithmique : les diamètres des tamis), qui permettent de calculer les différents indices

- **Les quartiles**

D 10 (10%) : diamètre de grain à l'ordre 10 % (décile)

Q1 (25%) : diamètre de grain à l'ordre 25 % (quartile)

D 50 (50%) : diamètre de grain à l'ordre 50 % (médiane)

Q3 (75%) : diamètre de grain à l'ordre 75% (quartile)

D 90 (90%) : diamètre de grain à l'ordre 90 % (décile)

- **Le mode granulométrique**

Correspond au point d'inflexion de la courbe cumulative. Il représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

Selon (Rivière, 1977), il existe trois groupes principaux de courbes cumulatives :

Unimodales : présentant un seul mode, elles indiquent une seule dynamique sédimentaire ;

Bimodales : présentant deux modes, indiquant l'existence d'un mélange de deux stocks donc deux dynamiques sédimentaires ;

**Plurimodales** : présentant plusieurs modes, révélant que la sédimentologie de la zone d'étude est très agitée c.à.d. que la zone connaît des mouvements sédimentaires mal disproportionnés.

### b. Les indices granulométriques

L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôts des particules sédimentaires (Bui et al. 1990 in - Cordier, 2007- ). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont : la taille moyenne des sédiments ( $Mz$ ), indice de tri ( $S_0$ ), l'indice de symétrie de la distribution ( $Sk$ ).

Les méthodes de calcul de ces paramètres sont celles les formules de Folk et Ward (1957) qui nécessitent l'élimination de la fraction coquillière de l'échantillon :

- **Indice central (diamètre moyen)**

Permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléo écoulement (Losson et Corbonnois, 2006) :

$$Mz = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \quad \text{(III-1)}$$

Où  $\phi = -\log_2(D)$  qui est le logarithme à base de 2 du diamètre  $D$  en millimètre

- **Indice de dispersion (indice de classement)**

Appelé aussi le tri, il donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley, 1987)

$$S_i = \left[ \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} \right] + \left[ \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \right] \quad \text{(III-2)}$$

- **Indice d'asymétrie (Skewness)**

Ce paramètre indique sur l'enrichissement en particules grossières (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines (asymétrie positive) ou s'il y'a une symétrie. Il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions du transport (Losson et Corbonnois, 2006).

$$Sk = \left[ \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} \right] + \left[ \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \right] \quad \text{(III-3)}$$

### c. Analyse modale

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment. La carte de répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origine différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

#### III.2.3.3 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 spatiale des différents diamètres.

### a. Courbes granulométriques

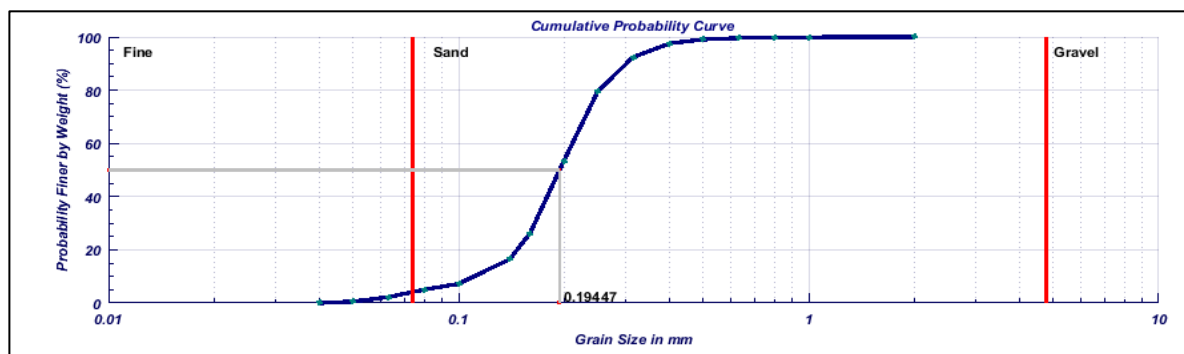


Figure III-3: Courbe granulométrique de la station 06 de Matlab

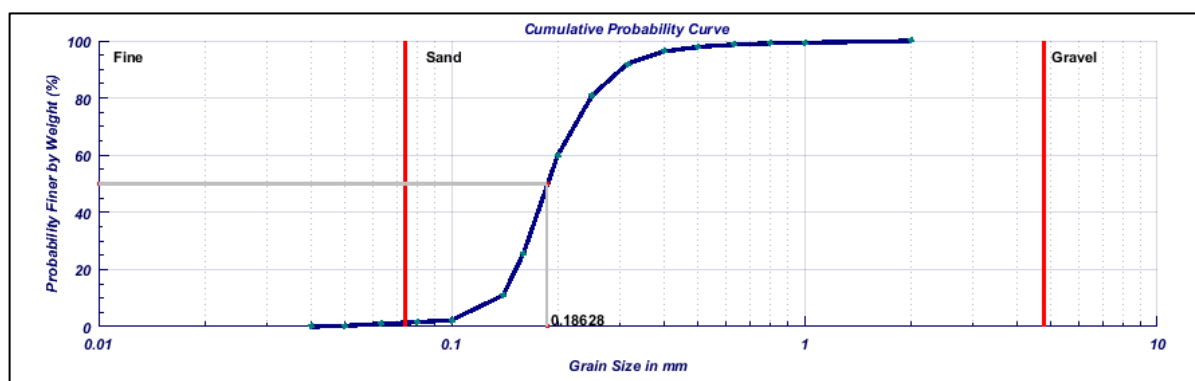
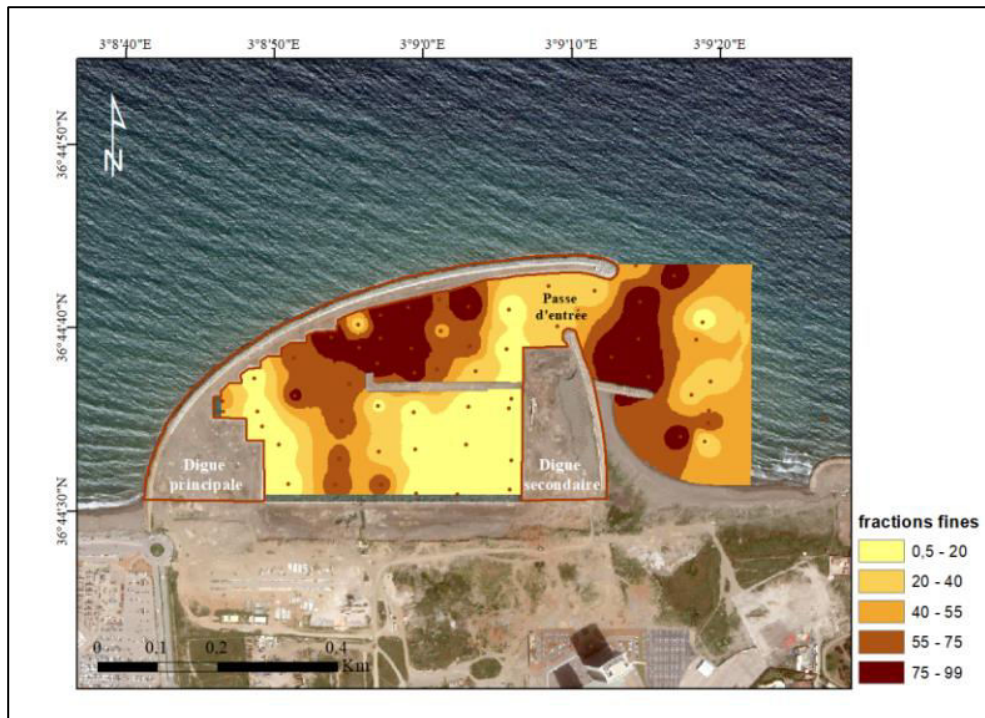


Figure III-4: Courbes granulométriques de la station 50 de Matlab

Les courbes granulométriques représentées sur le site d'étude sont presque toutes du même type, elles indiquent donc la présence d'un seul stock sédimentaire (le sable). On présente en figure III- et figure III-4 des courbes de quelques échantillons, regroupées par localisation et représentatives de l'ensemble. Ce type de courbes, largement répandu sur le site d'étude, montre une homogénéité des sédiments et donc la présence d'un seul stock de sédiment SP.

### b. Répartition spatiale de la fraction fine

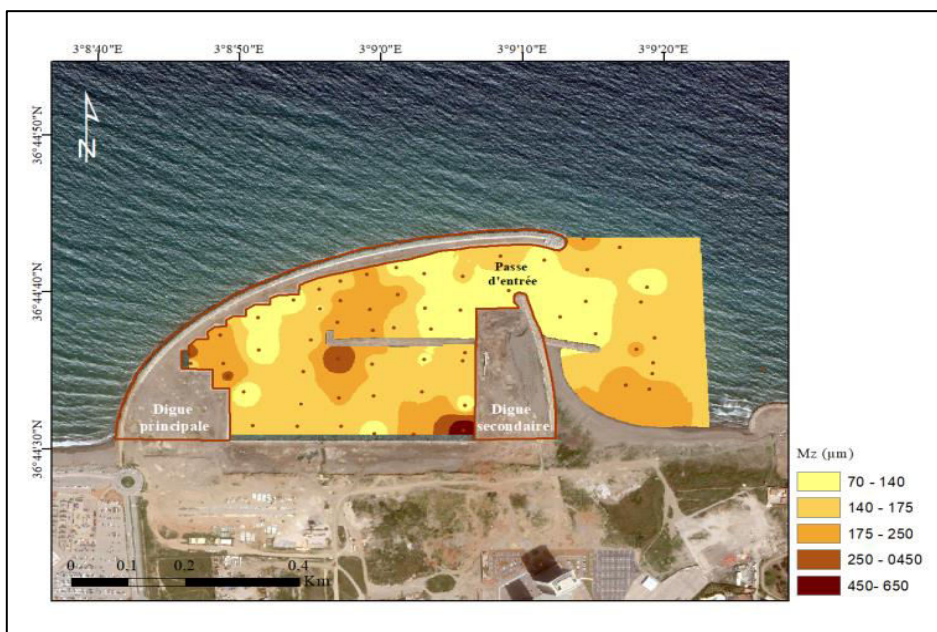
La figure III-5 montre que les échantillons situés au centre du premier bassin présentent des teneurs en pèlites entre 55 et 75%. Au centre du deuxième bassin, les teneurs sont entre 75 et 90%. A l'extérieure de la marina et près de l'épi, on trouve des teneurs supérieures à 75%. Cette distribution résulte du transit sédimentaire de l'Est vers l'Ouest et de l'agitation à l'intérieur de la marina.



**Figure III-5 : Répartition spatiale des pélites dans la marina Bay d’Alger (< 40µm). (ArcGis)**

**c. Répartition spatiale des parties grossières**

La carte décrit un zonage granulométrique décroissant de la digue principale vers le centre de marina, les particules grossières (entre 250 et 450µm) 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 140 et 250µm. Les sables les plus fins sont localisés dans la passe d’entrée (entre 70 et 140µm). Cette répartition répond à la circulation des courants à l’intérieure de la marina.



**Figure III-6 : Répartition spatiale de la fraction grossière Mz dans la marina Bay d’Alger. (ArcGis)**

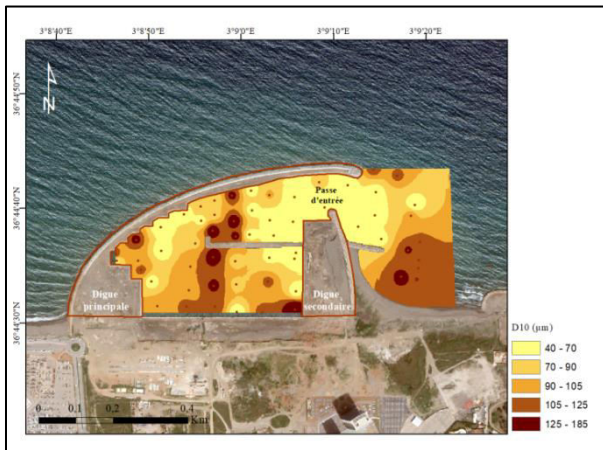


Figure III-7 : Répartition spatiale de D10 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis)

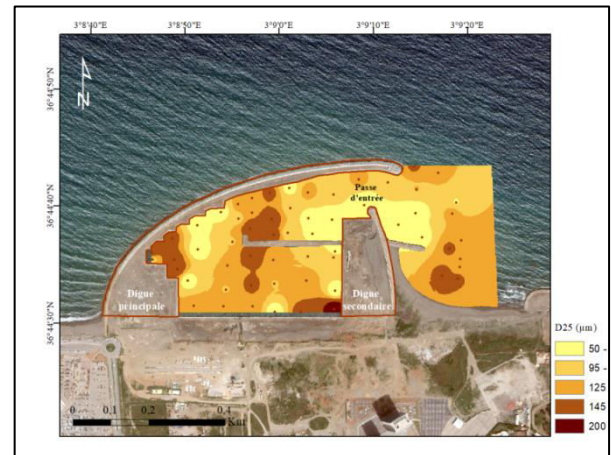


Figure III-8 : Répartition spatiale de Q1 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis)

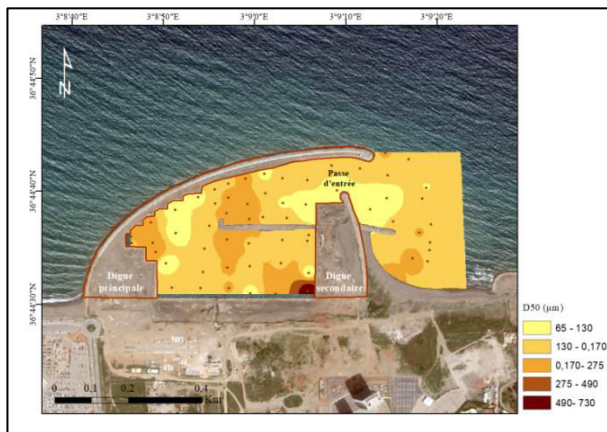


Figure III-9 : répartition spatiale de D50 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis)

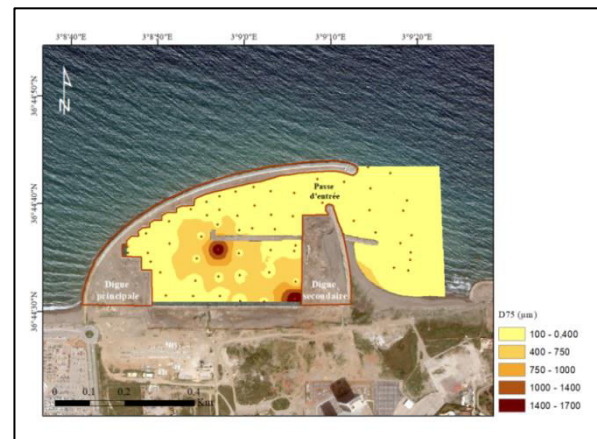
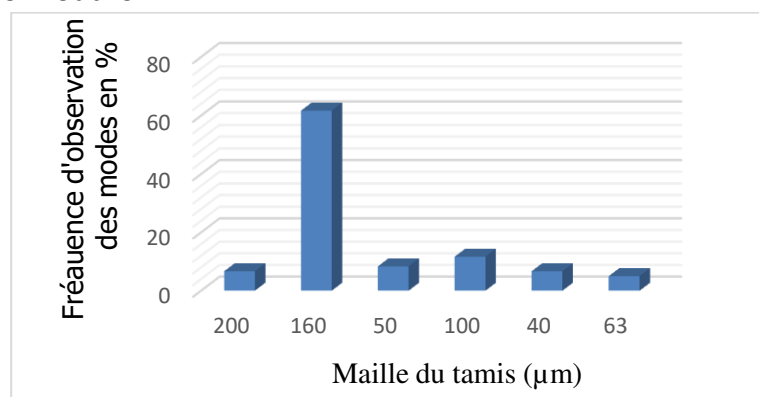


Figure III-10 : Répartition spatiale de Q3 dans la marina Baie d'Alger, (ArcGis)

**d. Analyse modale**



**Figure III-11 : fréquence des modes les plus représentatifs dans la marina.**

D'après l'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles des modes (figure III-11) les modes les plus fréquents sont en ordre décroissant : M1 de 160µm, M2 de 100µm, M3 de 50µm, M4 de 40µm, M5 de 200 et 63µm. Les échantillons sont constitués de 0 à 60% dont le diamètre est compris entre 40 et 200µm avec un mode dominant à 160µm et qui sont répartis sur la presque totalité du site.

**Conclusion**

La répartition spatiale des sédiments révèle une distribution conforme au schéma classique de la répartition des sédiments dans un port. L'étude de la fraction sableuse a conduit à définir sa répartition et ses différentes caractéristiques. La répartition granulométrique du diamètre moyen indique la dominance des sables fins (100 et 200 $\mu$ m). Cette répartition est confirmée par l'analyse modale montrant la prédominance du stock sédimentaire appartenant au mode M1. L'étude bathymétrique et sédimentologique a été faite pour nous permettre de quantifier la quantité de sédiment à draguer mais cette opération n'a pas pu se poursuivre.

---

# **Chapitre IV : Détermination numérique des caractéristiques de la houle au rivage et de l'hydro sédimentaire côtier**

---

## Introduction

Dans ce chapitre, nous allons montrer les étapes de réalisation de l'étude hydrodynamique sédimentaire, 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 de la dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger et la Marina Bay d'Alger.

### IV.1 Principe de la modélisation

Le principe général et les phases de la modélisation mises en œuvre pour étudier les mouvements sédimentaires dans la baie d'Alger sont :

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

En absence de mesure, la caractérisation des vagues au droit des sites d'étude n'est pas immédiate. C'est pourquoi, pour connaître les conditions de houle aux abords des sites submersibles, 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** la détermination des caractéristiques de houle (hauteur, période et direction) au large.
- **La deuxième phase** la condensation de la climatologie au large issues 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 annuel dans la zone d'étude.
- **La troisième phase** la détermination des taux de transport sédimentaire à partir des conditions climatologiques représentatives définies au cours de la deuxième phase. Cette phase se fait à l'échelle rapprochée au site d'étude afin de bien décrire les contraintes de radiations issues du déferlement des houles.

Les deuxièmes et troisièmes phases ont pour but de restituer le transport sédimentaire bidimensionnel annuel à partir d'un nombre restreint de conditions. Cette démarche est essentielle à la compréhension des mécanismes influençant le transport sédimentaire.

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.

### IV.2 Présentation du modèle

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI qui est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de Shoaling liés aux variations de bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur

le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier.

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre.

Ceci est effectué avec les modules suivants du logiciel **MIKE 21** :

- **SW** (le module de propagation de la houle spectrale),
- **HD** (le modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à la surface libre),
- **ST** (le modèle qui calcule le transport sédimentaire sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle),

MIKE21/3 FM (Le modèle couplé comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc...).

### **IV.3 Bathymétrie :**

#### **IV.3.1 Méthode de réalisation de la bathymétrie**

Dans cette partie nous avons résumé la méthode de Construction du modèle afin d'obtenir la bathymétrie qui va être utilisé dans les modèles ultérieurs

##### **a. Emprise du modèle Mike 21**

Couvre une zone s'étendant de Cap Matifou à l'est, jusqu'à la pointe-Pescade à l'ouest, sur la Baie d'Alger. L'extension géographique du modèle et la localisation des données bathymétriques sont illustrées sur les cartes.

##### **b. Collecte de donnée bathymétrie**

Les changements morphologiques du domaine marin et les migrations longitudinales et/ou transversales des corps sédimentaires ont pu être observés sur des cartes bathymétriques. Au total deux cartes bathymétriques ont été acquises, une carte de la baie d'Alger (données bathymétriques de navionics digitalisées avec ArcGIS) et une autre de la marina réalisée sur le terrain le 23 Août 2020. Cette base de données a été complétée par plusieurs levés au large réalisés par GEBCO, afin d'obtenir une carte globale de la région à partir de la ligne de cote jusqu'au large (plus de 1000 m de profondeur).

Les données bathymétriques de la marina proviennent de profils transversaux et longitudinaux. Lors de la sortie des profils transversaux ont été acquis à l'intérieur du port et à partir du rivage à une profondeur d'environ -2m jusqu'à -10m à la cote.

La création d'une bathymétrie est généralement divisée selon les phases suivantes : le choix du système de projection, le traitement des données bathymétriques XYZ, la génération du maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage.

Et pour cela nous avons utilisé Le module "*MeshGenerator*" qui génère un format souple de maillage (\*. MESH).

L'emprise et le maillage du modèle sont illustrés dans la Figure (Figure IV-1), (Figure IV-2).

##### **c. Maillage**

Le pas de maille varie de plus de 1000 m environ dans la zone offshore entre les isobathes -2000 à -100 m, après passe à l'ordre plus 100m dans la zone côtière comprise entre l'isobathe -20m et les terres.

La bathymétrie obtenue présente des valeurs comprises entre -80m et 0m par rapport au zéro hydrographique.

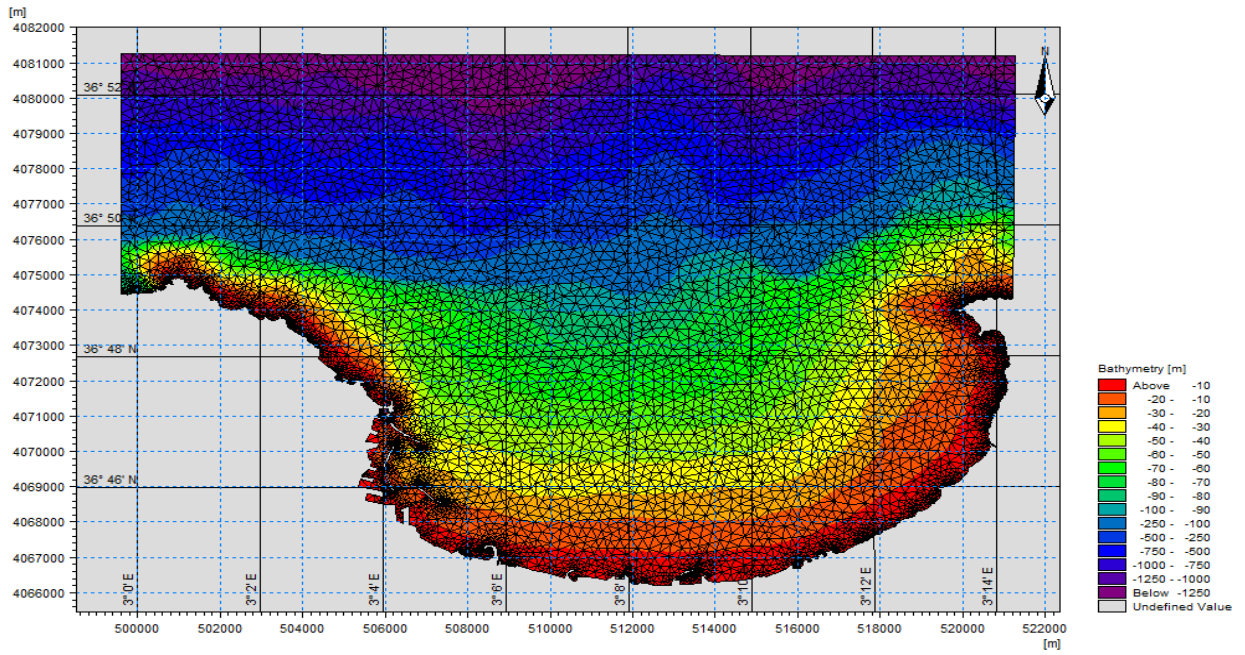


Figure IV-1 : Emprise et maillage du modèle côtier de la Baie d'Alger (Mike 21, données 2020)

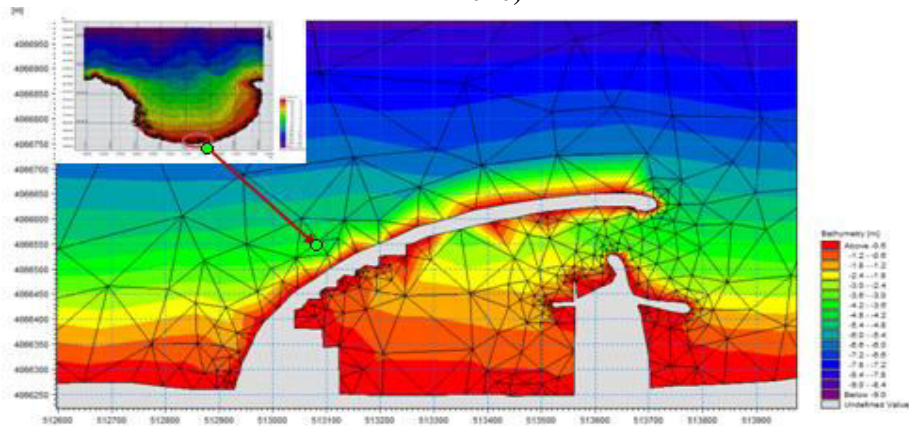


Figure IV-2 : Emprise et maillage du modèle côtier de la marina d'Alger (MIKE21, données 2020).

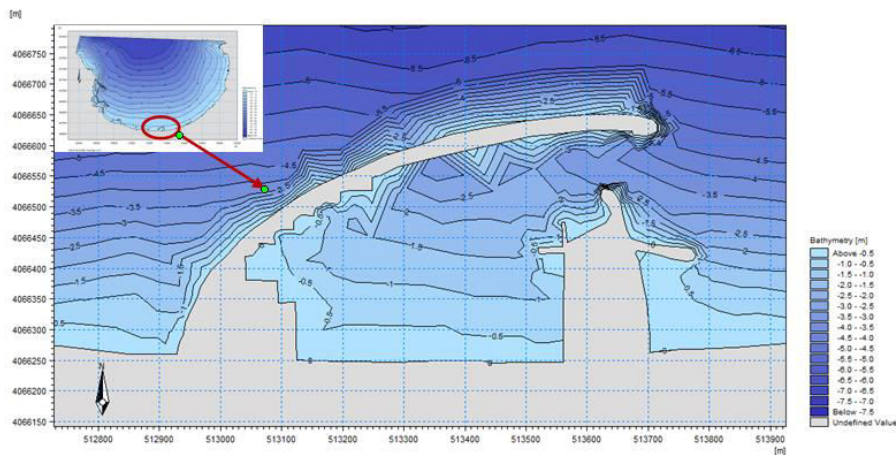


Figure IV-1 : Carte bathymétrique de la Marina Bay Alger (Mike 21, données 2020)

### IV.3.2 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

#### a. Bathymétrie de la Baie d'Alger (échelle globale)

Après avoir conçue la carte bathymétrique 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, nous avons pu constater que les deux zones morphologiques mises en évidence selon la répartition des isobathes sont les suivantes

- **Une zone au large** : montre des isobathes généralement régulières entre -20 et -100 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.
- **Une zone côtière** : montre des isobathes généralement hétérogènes bien serrés entre -1 et -20 m, et une morphologie particulière caractérisée par la présence de rides d'avant côte discontinue, cette irrégularité est due aux rapports de l'Oued el Harrach et l'implantation des ouvrages de protections (Sablette, fond de mer...). La zone Est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

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

#### b. Bathymétrie de la marina d'Alger (échelle centrale)

La carte bathymétrique de la marina d'Alger, (Figure IV-3) nous permettrons de faire les constatations suivantes

- **À l'intérieur du bassin** : entre la digue et contre digue, la carte montre des isobathes moyennement régulières et parallèles à la côte, entre 0.5 et 2 m, elles sont relativement espacées en carte traduisant ainsi un fond régulier et une pente douce en réalité. La présence des zones d'accumulation sédimentaire dans la partie centrale de la digue peut être due au dépôt de matériaux de construction de cette dernière.
- **À l'extérieur du bassin** : entre la plage Est et Ouest de la marina, aux parois externes de l'ouvrage, entre -2 et 5.5m, la carte montre des isobathes très serrées, en carte, traduisant une pente forte, en réalité, due au dépôt de matériaux de construction. À l'Est de la carte les isobathes sont relativement espacées, traduisant un fond régulier et une pente douce en réalité suite à l'apport sédimentaire qui est de l'est vers l'ouest et au piégeage de sédiment dû à l'épi. Nous observons une zone d'accumulation donc une formation d'une nouvelle plage. À l'ouest de la carte les isobathes sont espacées, traduisant ainsi un fond régulier et une pente douce en réalité suite à l'apport sédimentaire d'oued el Harrach qui a remplacé le piégeage de sédiment dans la plage est donc nous n'observant aucune érosion de la plage ouest.

#### IV.4 Simulation hydro-sédimentaire :

Se fait par les 3 modèles du logiciel cités au préalable qui vont générer les résultats des cartes pour chaque direction.

**Les conditions initiales Imposées dans le module SW** dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle. Dans ce travail on a pris trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle, et direction) comme montré dans le tableau VI-1 :

**Tableau IV-1 : les conditions initiales du modèle SW.**

Hs	Tp	Direction
3.14m	12.64s	45° N
3.14m	12.64s	360° N
3.14m	12.64s	315° N

#### IV.4.1 Méthode de réalisation

##### a. Modèle SW et HD

##### → Données d'entrée et calibration du model SW et HD

Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 SW . Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie ;
- Des Directions des houles dominantes ; ici les directions **Nord-Est, Nord et Nord-Ouest.**
- Des données sur le vent : on a choisi des valeurs constantes ; une vitesse de 12.4m/s et une direction a 315°.

Pour calibrer le modele Spectral Waves FM , nous choisissons le déferlement et le frottement du fond comme paramètres de calibration.

Pour calibrer le modèle Hydrodynamique deux facteurs on été pris en compte, la viscosité et la rugosité du fond (nombre de Manning).

La durée d'un effort de simulation varie dans le temps, selon la complexité des objectifs, des processus impliqués et de leur saisonnalité.

##### → Les données sortantes du model SW

Sélectionnées qui représentent le climat de houle à la côte sont les suivantes (tableau .1.) :

**Tableau IV-2 : Sortants du modèle SW.**

Nom	Symbole	Unité
Hauteur Significative	$H_{m0}$	Mètre
Période pic	$T_p$	Seconde
Direction moyenne	MWD	Degrés
Ecart-type	DSD	Degrés
Contraintes de radiation	$S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}$	$m^3/s^2$

→ **Les données sortantes du model HD****Tableau IV-3 : Les données sortantes du model HD.**

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

**b. Module ST**→ **Données d'entrée et configuration du model ST**

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, des tailles et de 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 (Hm0 – Tp – Dir) et HD (Vitesses et directions des courants) simulés pour les trois périodes précédentes sont utilisées dans le module ST.

→ **Données sortantes du modèle ST****Tableau IV-4 : Les données sortants du modèle ST.**

Name	Symbole	Unité
Total load-x- component	STx	M <sup>3</sup> /s/m
Total load-y- component	STy	M <sup>3</sup> /s/m
Total load - magnitude	ST	M <sup>3</sup> /s/m
Total load -direction	-	Degrés

**IV.4.2 Interprétation des Résultats de la simulation hydro-sédimentaire selon la direction**

Pour chaque simulation, il est alors 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.

**a. La direction Nord-Est (45°)**

Au large, ces houles de direction Nord-Est (45°) ne subissent aucune modification, ( $H_s=3.14s$ ) mais elle change ses caractéristiques, au fur et à mesure, lorsqu'elle commence à ressentir le fond. Dans la partie Est, la hauteur de la houle diminue considérablement pour atteindre les valeurs comprises entre 0.25 et 0.5m. Cette partie (Tamenfoust, Sidi El Hadj) est abritée par le Cap Matifou Le coefficient de Shoaling est compris entre (0.08 et 0.15) qui signifie que la houle a perdu la totalité de son énergie. Les orthogonales subissent une forte déviation suite à la diffraction et à la réfraction de la houle. C'est houle engendre un courant orienté d'Est en Ouest avec une vitesse varie entre 0.10 et 0.30 m/s et cela induit un fort courant. Ce champ de courant favorise un transport sédimentaire dirige de l'est vers l'Oust avec un débit varie entre 505 et 1135 m<sup>3</sup>/an/m.

Au fur et à mesure, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées comprises entre 0.5 et 0.75m. La partie centrale (Mazella, Pins Maritimes, la Sirène I, Sirène II et Verte Rive) est exposée aux houles obliques de ce secteur. Le coefficient de Shoaling est compris entre 0.4 et 0.9 cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord et qui reçoit l'énergie de la houle légèrement oblique. Les orthogonales se dévient uniquement sous l'effet du fond. Cette houle engendre un courant orienté d'Est en Ouest avec des vitesses comprise entre 0.15 et 0.175 m/s et cela induit un courant de dérive littorale parallèle à la côte. Les résultats du transport sédimentaire de cette zone sont qualitativement conformes à l'analyse des écoulements menée précédemment et la dérive diminue entre le nord et le sud ce qui aurait tendance à favoriser une accumulation de sable dans certaines plages et ouvrages maritimes abrités (Marina Bay d'Alger).

Au niveau de la marina, les houles arrivent avec des hauteurs comprises entre 1.25 et 2.75m. Ces houles engendrent un champ de courant de dérive littorale avec des vitesse de 0.04 et 0.05 m/s avec une faible agitation au niveau de la passe d'entrée et entre 0 et 0.01 m/s à l'intérieur du bassin ou la propagation du courant suit la digue principale tout en se déviant vers la contre digue. Le champ des courants favorise un transport du sédiment dirige vers la partie ouest du bassin intérieur de l'ouvrage en allant vers la contre digue avec un débit compris entre 315 et 378 m<sup>3</sup>/an/m. Ce transport favorise une accumulation de sédiment et formation de la plage Est de la marina Bay d'Alger.

La partie Ouest (au voisinage du port d'Alger, sablette,) est exposée à une action des houles frontale à la côte, arrivées avec des hauteurs comprises entre 3 et 3.25m, et qui sont très peu réfractées. Le coefficient de Shoaling compris entre (0.95 et 0.98), signifie que les houles de cette direction dominante gardent presque la totalité de leur énergie initiale. Ces houles peuvent générer des courants littoraux de 0.025 jusqu'à 0.1m/s où le débit du transport sédimentaire est compris entre -126 et -252 m<sup>3</sup>/an/m ce qui peut favoriser l'érosion côtière et entraine probablement les particules sédimentaires vers le large où la seule zone abritée dans cette partie est le port d'Alger.

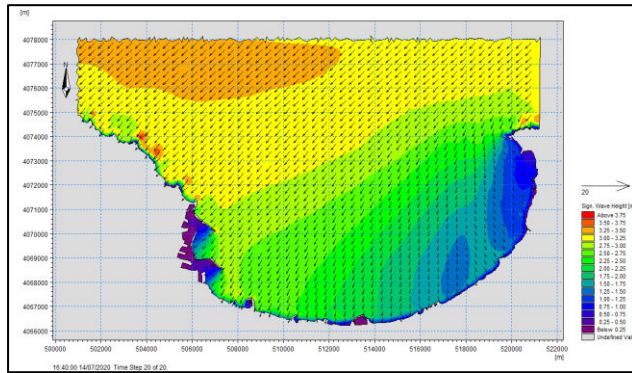


Figure IV-2 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21).

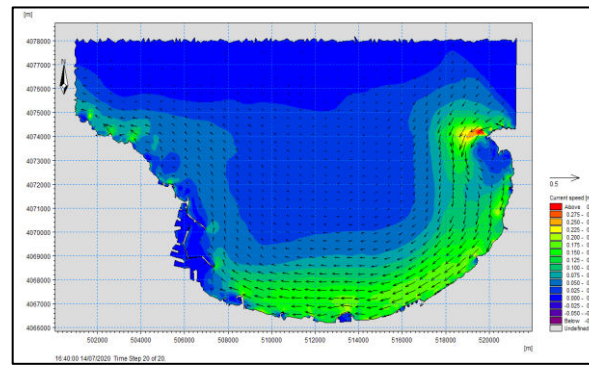


Figure IV-3 : Champs des courants dans la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21).

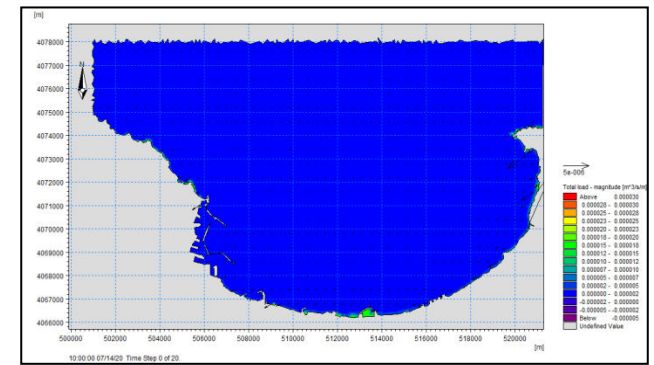


Figure IV-6 : Dynamique sédimentaire de la baie d'Alger MWD 45° (Mike 21).

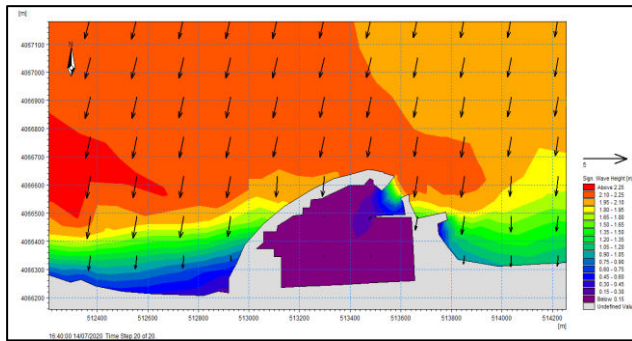


Figure IV-7 : Champs des houles dans la Marina Bay Alger MWD 45° (Mike 21).

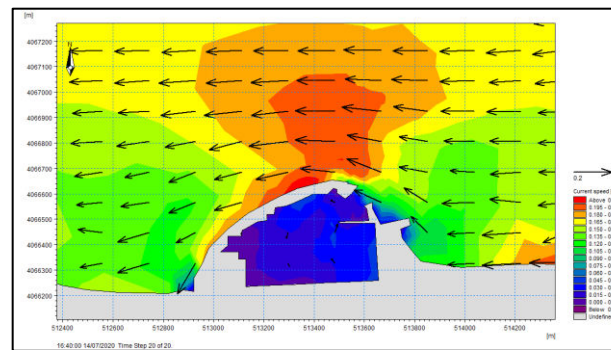


Figure IV-4 : Champs des courants dans la Marina Bay d'Alger MWD 45° (Mike 21).

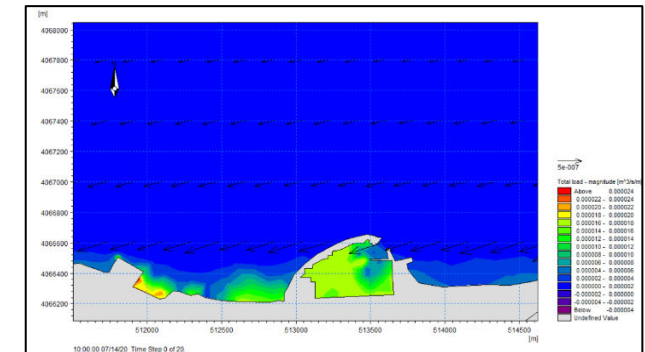


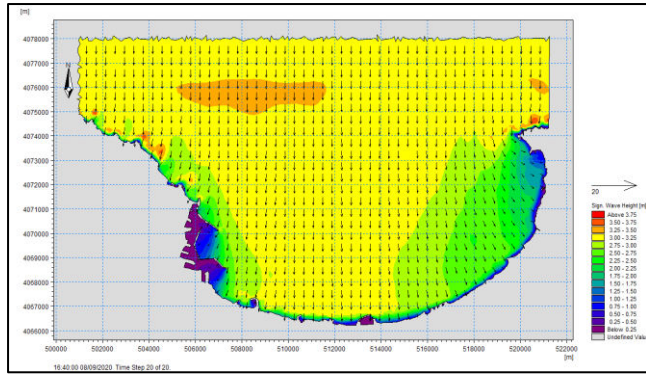
Figure IV-9: Dynamique sédimentaire de la Marina Bay d'Alger MWD 45° (Mike 21).

**b. Direction Nord (360°)**

La figure ci-après (figure 10) montre le plan de propagation de la houle à des profondeurs allant de 80 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord avec une hauteur significative de 3.14m.

D'après la carte, on remarque que les houles de secteur 360°N sont frontales sur toute la côte et ne dépassent pas le 1m. Cela est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nul, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux de Cap Matifou coté Est et le port d'Alger côté Ouest, et d'autre part cela est lié à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles. On observe une naissance des courants de dérive moins importants par rapport à la direction Nord Est, qui est dirigé vers le secteur Ouest dans la partie Est avec des vitesses comprises entre 0.08 et 0.16 m/s et dirigé vers le secteur Est dans la partie Ouest avec des vitesses variant entre 0.04 et 0.14 m/s, et entre 0 et 0.08m/s dans la partie centrale. Ces courants engendrent un courant de retour dans la partie centrale de la baie. On remarque aussi une circulation tourbillonnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages. Ces courants vont plutôt engendrer un transport par cette dérive, vers l'Ouest dans la partie Est et vers l'Est dans la partie Ouest et un transport vers le large dans la partie centrale suite au courant de retours dirigés vers le large avec un débit variant entre 252 et 630 m<sup>3</sup>/an/m.

Au niveau de la Marina Bay d'Alger, Les houles du Nord arrivent de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leur énergie initiale avec une hauteur comprise entre 2.2 et 3m où le coefficient de Shoaling est entre 0.7 et 0.95 donc la houle a conservé la totalité de son énergie. Ces houles engendrent un champ de courant de dérive littorale de l'Est vers le Ouest avec des vitesse de 0.006 et 0.06 m/s au niveau de la passe d'entrée et entre 0 et 0.018 m/s à l'intérieur du bassin où la propagation du courant suit le sens sénestre. Nous observons deux zones calmes au niveau de l'épi extérieur et dans la basse partie intérieure de la digue principale. Le champ des courants engendre un faible transport sédimentaire dirige vers la partie ouest du bassin intérieur de l'ouvrage suivant un sens sénestre où le débit est compris entre 505 et 630 m<sup>3</sup>/an/m Dans la basse partie extérieure de la digue principale, on observe un courant de dérive légèrement fort par rapport au courant adjacent (0.066 et 0.084m/s) de l'Est vers le Ouest. Dans la partie Ouest de l'ouvrage, le transport sédimentaire se propage de l'ouest vers l'Est et qui assure une accumulation et remplissage de sédiment dans la plage Ouest, perdu par les courants de dérive. L'origine de ces sédiments provient probablement Oued El Harrach. Dans la partie Est de l'ouvrage, le transport sédimentaire se propage de l'Est vers l'Ouest et qui assure une accumulation et remplissage de sédiment mené par les courants de dérive Littorale, et des sédiments qui proviennent probablement de Oued El Hamiz.



**c. Direction Nord-Ouest (315°)**

Au large, ces houles de direction Nord-Ouest (315°) ne subissent aucune modification.

Sous l'effet du fond, elles subissent de légères modifications tout au long de sa propagation où elles changent ses caractéristiques et elle atteint les côtes avec des hauteurs qui ne dépassent pas 1m. En effet dans cette localité les houles subissent une diffraction par les jetées du Port d'Alger, les jetées du rivage de la Sablette et la Marina Bay d'Alger entre 1.25 et 2.75m (Figure 16).

Par contre, la propagation semble se faire de façon quasi-frontale dans la partie Est. La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage. Ces données font de cette houle là plus menaçante pour la zone Est où on observe des hauteurs qui varient entre 1.75m et 2.5m. Ces houles dont le coefficient de Shoaling est entre 0.6 et 0.8, peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Des vitesses importantes plus de 0.3m/s ont été enregistrées dans la zone Ouest dues généralement à la diffraction de la houle et à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone. (Figure 17).

Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement opposée mais avec des vitesses nettement faibles dans la partie Est où les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.025m/s. Par conséquent, le climat de houles reste modéré au niveau de la côte sauf au niveau de la Sablette, la plage qui est abritée par des jetées orientées dans le sens opposé des crêtes de houles.

Sur la zone du Port d'Alger à l'Oued El-Harrach, le transport est assez uniforme et confirme ce qui a été observé en termes d'hydrodynamique. Les houles en provenance du Nord-Ouest vont engendrer une dérive littorale vers l'Est au voisinage de la côte, ses courants de dérives changent leurs directions vers le large et donnent naissance à des courants de retours.

Les houles de secteurs Nord-Ouest arrivent à la digue principale de la marina avec une hauteur entre 2.50 et 2.75m, ces houles sont obliques où le coefficient de Shoaling, entre 0.8 et 0.9, signifie que la houle a conservé son énergie initiale (figure19).

Ces houles engendrent un champ de courant de dérive littorale de l'Ouest vers l'Est avec des vitesses de 0.002 et 0.08m/s au niveau de la passe d'entrée et entre 0 et 0.004 m/s à l'intérieur du bassin où la propagation du courant suit le sens. Le champ des courants engendre un faible transport sédimentaire dirigé vers la partie ouest du bassin intérieur de l'ouvrage suivant un sens sénestre. Dans la basse partie extérieure de la digue principale, on observe un courant de dérive du l'Ouest vers l'Est. Dans la partie Ouest de l'ouvrage, le transport sédimentaire se propage de l'ouest vers l'Est est qui assure une accumulation et remplissage de sédiment dans la plage Ouest, perdu par les courants de dérive. L'origine de ces sédiments proviennent de Oued El Harrach. Dans la partie Est de l'ouvrage, le transport sédimentaire se propage de l'Ouest vers l'Est.

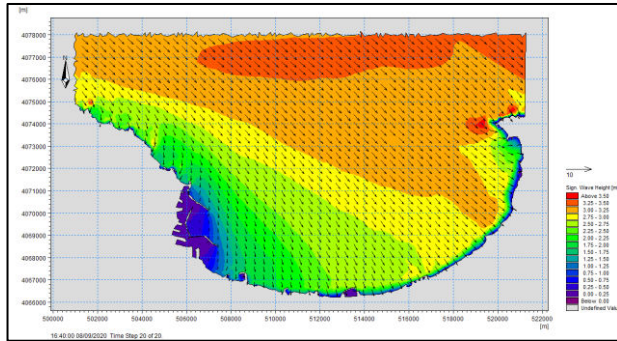


Figure IV-9 : Champs des houles dans la baie d'Alger MWD 315° (Mike 21).

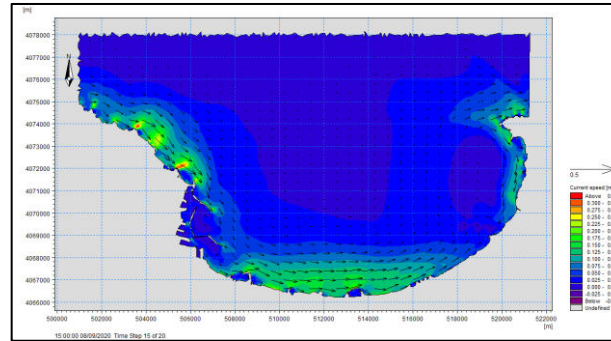


Figure IV-10 : Champs des courants dans la baie d'Alger MWD 315°(Mike 21).

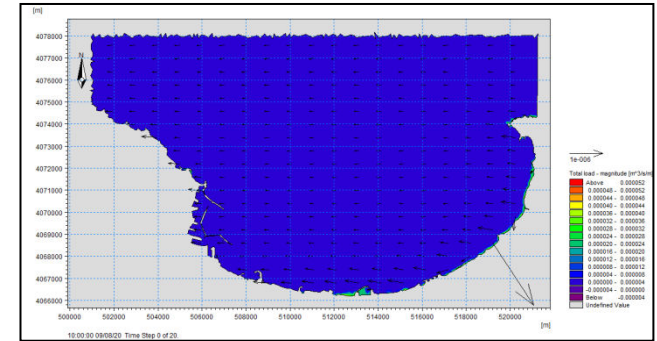


Figure IV-11 : Dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger MWD 315° (Mike 21).

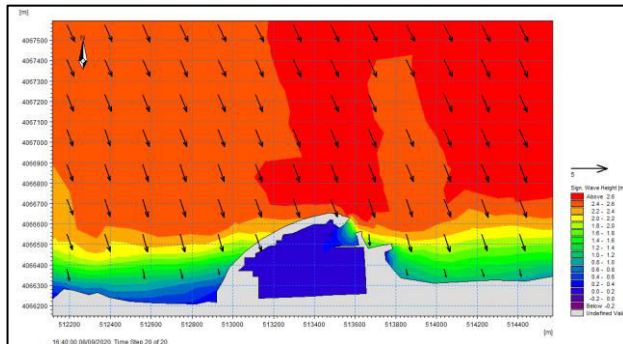


Figure IV-139 : Champs des houles dans la Marina Bay Alger 315° (Mike 21).

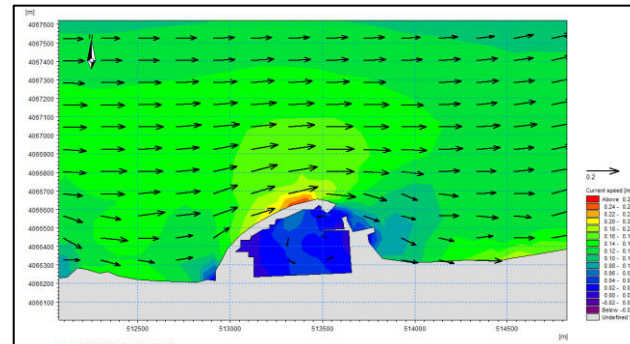


Figure IV-12 : Champs des courants dans la Marina bay d'Alger MWD 315° (Mike 21).

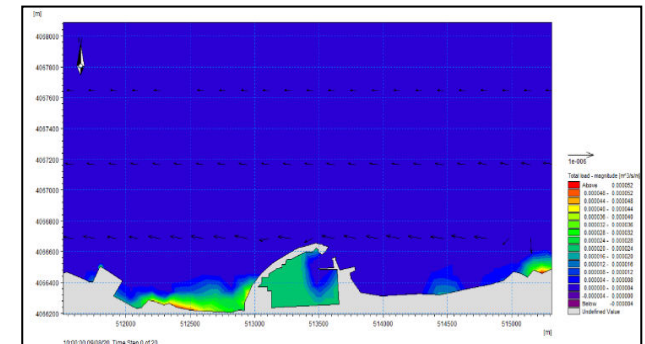


Figure IV-21 : Dynamique sédimentaire dans la Marina Bay d'Alger MWD 315° (Mike 21).

### **Conclusion**

La bathymétrie obtenue pour la baie d'Alger présente des valeurs comprises entre 0 m et -100 m. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques.

L'étude de la réfraction montre que la baie d'Alger est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

La faible agitation qui se trouve à l'intérieur du bassin près de la passe d'entrée se justifie par la digitalisation incomplète due au manque de finitions de l'ouvrage d'accostage sur chantier (quai en blocs).

La circulation des courants à l'intérieur de la marina explique exactement les endroits du dépôt des sédiments (dépôt dans la partie Est du premier bassin et dépôt dans la partie Ouest du deuxième bassin).

Le bilan sédimentaire est donc complexe et résulte donc de la contribution de chaque houle.

Les résultats de la simulation hydro-sédimentaire pour les trois directions Nord-Est (45°), Nord (360°), Nord-Ouest (315°) montrent que la marina Bay d'Alger a :

- Une houle de projet comprise entre 2.5 et 2.75m ;
- Les courants à l'intérieur du bassin sont faibles et répondent à l'exigence de l'ouvrage maritime (un bassin abrité et calme).

Les résultats de ce chapitre sont primordiaux pour la suite du travail concernant l'étude d'aménagement et le dimensionnement de l'ouvrage.

---

## **Chapitre V : Prédimensionnement des ouvrages de protection et d'accostage**

---

## Introduction

Ce chapitre porte principalement sur la conception et le dimensionnement de l'ouvrage de protection ainsi que la vérification des franchissements de la houle. Pour la réalisation des calculs, les données des houles utilisées sont détaillées dans le chapitre précédent et la méthode et formules d'HUDSON et de TERZAGHI.

### V.1 Généralité sur les ouvrages de protection et d'accostage

Un port est constitué de deux ouvrages de protection extérieurs, une jetée principale et une jetée secondaire ainsi de plusieurs ouvrages intérieurs, les quais et les appontements

Ces ouvrages de protection qui ont pour rôle la protection des zones de manœuvre et des portes d'opérations contre l'agitation causée par la houle. Ils assurent aussi le calibrage du chenal accès pour les ports intérieurs.

#### V.1.1 Les digues :

Ce sont des constructions de remblai longitudinal, naturel ou artificiel, protègent les ports contre les assauts des houles du larges et permettent (par réfraction / diffraction de la houle incidente) de réduire l'agitation intérieure à moins d'un mètre d'amplitude. Elles doivent résister à des vagues dont l'amplitude plus grande que la profondeur au pied de l'ouvrage (peut dépasser la dizaine de mètres). Selon (CETMEF, 2009a)

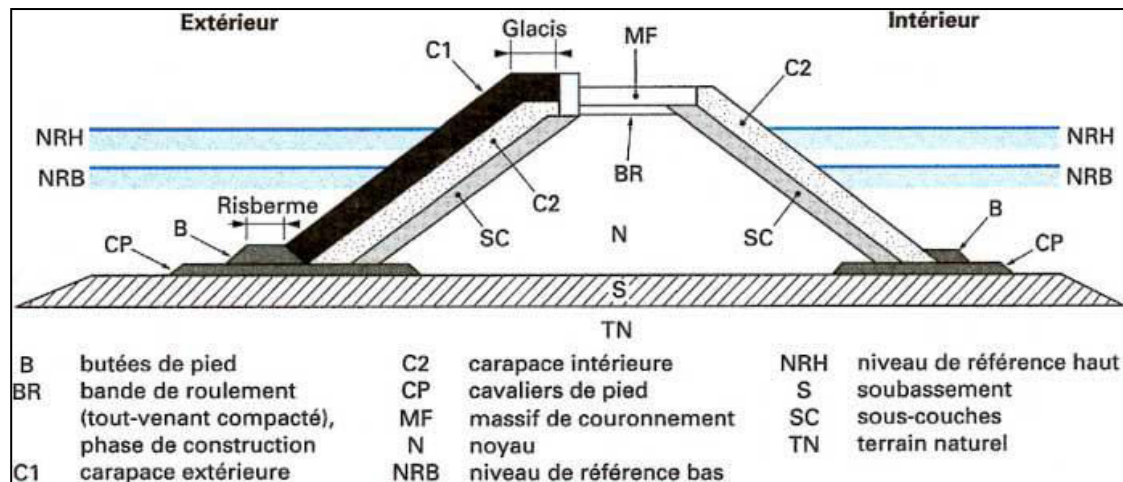
Nous distinguons trois structures de digues essentielles : Digue à talus, digues verticales, et digues mixtes. La houle résiduelle ou recréée derrière l'ouvrage sera composée :

- De la houle transmise à travers l'ouvrage ;
- De la houle qui franchira l'ouvrage soit par déversement

Au-dessus de celui-ci, soit par des paquets de mer jaillissant à plusieurs dizaines de mètres de hauteur et qui, poussés par le vent, retomberont derrière l'ouvrage (CAMINADE, 2012)

#### ➤ Les éléments constitutifs de la digue : Une digue à talus est composée **Figure V-1**

- D'une carapace, qui fait l'objet principal des études de dimensionnement, est de protéger la digue de l'action de la houle et donc la dissipation de l'énergie de la houle. Les matériaux utilisés en carapace peuvent être constitués : d'encrochements naturels ; de blocs Artificiels massifs en béton ;
- D'une sous couche, le filtre, que l'on désigne aussi comme sous-couche, doit réaliser un certain nombre de fonctions à l'intérieur de la digue comme : filtre granulométrique entre le noyau et la carapace, fondation pour la carapace externe, filtre hydraulique et dissipation de l'énergie de la houle après son passage à travers la carapace et protection du noyau pendant la construction de l'ouvrage ;
- D'un noyau (généralement construit en matériau de dragage ou d'abattage, de granulométrie étalée comme le tout-venant) protégé par des sous-couches. Son rôle est de minimiser la transmission de l'énergie des vagues à l'intérieur du bassin ;
- D'un soubassement et éventuellement d'un tapis de pied à la partie inférieure de la digue;
- Une butée de pied et une protection anti-affouillement du talus côté mer de la digue sont nécessaires pour maintenir la stabilité du talus en cas d'érosion du fond de la mer.
- De cavaliers de pied qui renforcent, si besoin, l'ouvrage en partie basse ;
- Enfin d'un couronnement en partie haute qui représente la voie de circulation de la digue. Selon (CAMINADE, 2012) et (CETMEF, 2009a)



**Figure V-1** : schéma représentatif des composantes principales d'une digue à talus  
(CAMINADE, 2012)

## V.2 Dimensionnement des ouvrages de protection (digue et contre digue) :

### V.2.1 Méthodes de dimensionnement :

Le dimensionnement des ouvrages extérieurs comprendra la jetée principale et la jetée secondaire, le dimensionnement de ces dernières comportera :

1. La détermination du poids de la carapace, de son épaisseur et le nombre de blocs dans un mètre carré.
2. La détermination du poids des filtres et leurs épaisseurs.
3. La détermination du poids du noyau.
4. La vérification des lois de Terzaghi.
5. Dimensionnement des butées de pied

Dans cette étape de dimensionnement, nous avons considéré trois profils :

- L'enracinement
- Le profil courant
- Le profil au musoir

### V.2.2 Formule utilisée pour l'utilisation du Cubipodes

#### Poids :

Pour garantir la stabilité de la digue face à l'attaque de la houle, de nombreuses méthodes empiriques d'estimation du poids des blocs ou des enrochements naturels plusieurs formules ont été en génie côtier : les travaux de recherche d'Iribarren (1938), Hudson (1953,1958), Hedar (1960,1986) et de Van Der Meer (1988).

Pour dimensionner la carapace, la méthode utilisée dans cette partie est celle élaborée par 'HUDSON' qui nous donne le poids des blocs constituant cette dernière définie dans le tableau suivant et selon les résultats obtenus dans le chapitre précédent la hauteur au pied de l'ouvrage définie est de 2.6 m.

**Tableau V-1 résumé des équations utilisé pour le calcul des paramètres des digues**

Formules	Variables
Formule d'HUDSON : $W = \frac{1}{K_D} \frac{\gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1\right)^3} \frac{H_b^3}{\text{Cotg}\alpha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W</math> : le poids des blocs de carapace,</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : Poids volumique des blocs utilisés</li> <li>• <math>\gamma_0</math> : Poids volumique de l'eau de mer,</li> <li>• <math>\text{Cotg}\alpha</math> : angle du talus,</li> <li>• <math>K_D</math> : Coefficient de stabilité adimensionnel de HUDSON, <math>K_D=2</math> (musoire), <math>K_D=4</math> (partie courante)</li> <li>• <math>H_b</math> : Houle de projet,</li> <li>• <math>W</math> : Poids d'un seul bloc,</li> <li>• <math>V</math> : Volume d'un seul bloc,</li> <li>• <math>D_n</math> : Diamètre nominale,</li> <li>• <math>n</math> : Nombres de couches,</li> <li>• <math>e</math> : Epaisseur de la carapace,</li> <li>• <math>N_s</math> : Nombre de blocs par unité de surface.</li> <li>• <math>K_\Delta</math> : coefficient de couche,</li> <li>• <math>P</math> : Porosité moyenne.</li> </ul>
Volume : $V = \frac{W}{\gamma_s}$	
Diamètre nominale : $D_n = \sqrt[3]{V}$ ,	
Epaisseur de la carapace : $e = nD_n \quad ; \quad e = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3}$	
Nombre de blocs par unité de surface : $N_s = \frac{n}{D_n^2} \quad ; \quad N_s = nK_\Delta (1 - p) \left(\frac{\gamma_s}{W}\right)^{2/3}$	

### V.2.3 Formule utilisé pour les filtres Dimensionnement du filtre du support et de transition

Formules	Variables
Filtre du support : $W_s = \frac{W}{10}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W</math> : Poids d'un seul bloc,</li> <li>• <math>n</math> : nombre de couches,</li> <li>• <math>K_\Delta</math> : coefficient de couche,</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : densité du matériau,</li> <li>• <math>e</math> : Epaisseur de la carapace.</li> <li>• <math>W_s</math> : Choix de la catégorie après correction du poids de 70% et 130%.</li> <li>• <math>W_t</math> : Choix de la catégorie après correction du poids de 50% et 150%.</li> <li>• <math>W_n</math> : Choix de la catégorie après correction du poids de 50% et 150%.</li> </ul>
Filtre de transition : $W_t = \frac{W}{200}$	
L'épaisseur des filtres avec la formule : $e = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3}$	
Poids du noyau : $W_n = \frac{W}{4000}$	

#### ○ Vérification des règles de TERZAGHI :

Entre le noyau et la deuxième sous-couche et afin de limiter l'entraînement des éléments fins vers les couches de matériaux plus gros, on utilise la règle de TERZAGHI.

$\frac{D_{15}(\text{filtre})}{D_{85}(\text{noyau})} < 5$	$4 < \frac{D_{15}(\text{filtre})}{D_{15}(\text{noyau})} < 20$	$\frac{D_{15}(\text{filtre})}{D_{50}(\text{noyau})} < 25$
--	---	---

Avec :

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{W_s}{4 \times \pi \times \gamma_s}\right)^{1/3}$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{W_i}{4 \times \pi \times \gamma_s}\right)^{1/3}$	$D_i = i(\phi_s - \phi_i) + \phi_i$
--	--	-------------------------------------

**V.2.4 Formule utilisé pour la butée de pied**

Formules	Variables
Poids de la butée :  $W = \frac{0.1}{K_D} \times \left( \frac{\gamma_s \times H_b^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1\right)^3 \cot \alpha} \right) \times \frac{H_b}{d}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• W : le poids des blocs de carapace,</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : Masse volumique des blocs utilisés (enrochements naturels),</li> <li>• <math>\gamma_0</math>: Masse volumique de l'eau de mer,</li> <li>• <math>Cot\alpha</math> : angle du talus,</li> <li>• <math>K_D</math>: Coefficient de stabilité adimensionnel de HUDSON,</li> <li>• <math>H_b</math> : Houle de projet.</li> <li>• d : profondeur au pied de l'ouvrage</li> <li>• e : Epaisseur de la butée,</li> <li>• l : Largeur de la butée,</li> <li>• n : nombre de couches,</li> <li>• <math>K_\Delta</math>: coefficient de couche,</li> <li>• <math>\gamma_s</math>: densité du matériau.</li> </ul>
Épaisseur et largeur de la butée :  $e, l = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3}$	

❖ **Dimensionnement de la jetée principale :**

➤ **Au niveau du profil d'enracinement de la digue :**

Applications numérique	Valeurs des variables
<b>V.2.5 Poids de la carapace :</b> $W = \frac{1}{2} \frac{2.65}{\left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3} \frac{2.6^3}{3/2} = 3.6t$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 1.026 \text{ t/m}^3</math> (enrochement naturel).</li> <li>• <math>\gamma_0 = 2.65 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha = 3/2</math>.</li> <li>• <math>K_D = 2.2</math> (Houle déferlante).</li> <li>• <math>H_b = 2.6</math> mètres.</li> <li>• <math>n = 3</math> (nombre de couches pour carapace) .</li> <li>• <math>K_\Delta = 1</math> (pour la carapace et filtre de transition).</li> <li>• <math>W = 3</math> (<math>W_{moy} = (2+4)/2</math>).</li> <li>• <math>n = 2</math>. (Nombre e couches pour les filtres de transitions)</li> <li>• <math>K_\Delta = 1.15</math> pour le filtre de support.</li> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3</math> (enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W_{f_{moy}} = 0.4</math> (<math>W_{moy} = (0.3+0.5)/2</math>).</li> <li>• <math>W_{t_{moy}} = 0.05W_{moy} = (0.0+0.1)/2</math>.</li> <li>• d : 2 mètres.</li> </ul>
<b>On prend une catégorie de [2-4] T.</b> Épaisseur de la carapace : $e = 3 \times 1 \times \left(\frac{3}{2.65}\right)^{1/3} = 3.10m$	
<b>On prend e = 3.10 m.</b> Poids du filtre du support : $W_f = \frac{W}{10} = \frac{3.6}{10} = 0.36$	
<b>Correction du poids</b> $70\% < W_f < 130\% \begin{cases} 0.3 \times 0.7 = 0.21 \text{ T} \\ 0.3 \times 1.3 = 0.39 \text{ T} \end{cases}$	
<b>On prend une catégorie de [0.3-0.5] T</b>	
<b>Épaisseur du filtre du support :</b> $e = 2 \times 1.15 \left(\frac{0.4}{2.5}\right)^{1/3} = 1.248m$	
<b>On prend e = 1.3 m.</b> <b>Poids du filtre de transition :</b> $W_t = \frac{W}{200} = \frac{3}{200} = 0.015T$	
Correction du poids : $50\% < W_f < 150\% \begin{cases} 0.015 \times 0.5 = 0.0075 \text{ T} \\ 0.015 \times 1.5 = 0.0225 \text{ T} \end{cases}$	
<b>On prend une catégorie de [0.0-0.1] T.</b>	
<b>Épaisseur du filtre de transition :</b>	

$e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543\text{m}$ <p>On prend <math>e = 0.55 \text{ m.}</math></p>	
<p><b>Poids du noyau :</b></p> $W_n = \frac{3}{4000} = 7.5 \times 10^{-4}$ <p>Correction du poids :</p> $70\% < W_f < 170\% \begin{cases} 7.5 \times 10^{-4} \times 0.7 = 5.25 \times 10^{-4}\text{T} \\ 7.5 \times 10^{-4} \times 1.7 = 1.27 \times 10^{-3}\text{T} \end{cases}$ <p>On prend une catégorie de [0.0-0.1] T.</p>	
<p>Poids de la butée :</p> $W = \left(\frac{0.1}{2}\right) \times \left(\frac{2.5 \times 2.6^3}{(1.026 - 1)^3 \times 1.5}\right) \times \left(\frac{2.6}{2}\right) = 0.64$ <p>En prend une catégorie de [0 – 0.1] t y a un tapis anti affouillement au lieu d'une butée au niveau de la fondation.</p>	

○ **Vérification des règles de TERZAGHI**

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1) t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

**Pour le filtre :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.726$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.3}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.612$
---	---

**Pour le noyau :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0$
<b>Diamètre (filtre/ Noyau)</b>	<b>Conditions de vérifications</b>
D15(filtre) = $0.15 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.629$	✓ $\frac{0.629}{0.361} = 1.742 < 5$
D50(filtre) = $0.50 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.669$	✓ $4 < \frac{0.629}{0.064} = 9.828 < 20$
D15 (noyau) = $0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	✓ $\frac{0.669}{0.212} = 3.155 < 25$
D50 (noyau) = $0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	Toutes les conditions sont vérifiées.
D85 (noyau) = $0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	

➤ Coupes type au niveau du profil d'enracinement

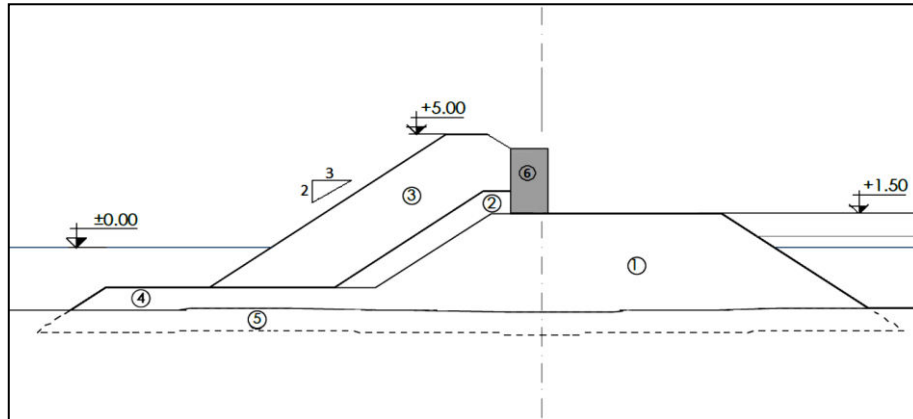


Figure V-2 : Coupes type au niveau du profil d'enracinement de la digue.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [300 –500] kg.
- 3) la carapace en enrochement naturel [2 –4] t.
- 4) Le tapis anti affouillement.
- 5) Pénétration tout-venant [0-100] kg.
- 6) Le mur de couronnement.

### V.2.6 Au niveau de la section courante de la digue

Application numérique	Valeurs des variables
<p><b>Blocs de la carapace :</b></p> $W = \frac{1}{28} \frac{1.026}{\left(\frac{1.026}{2.4} - 1\right)^3} \frac{5^3}{3/2} = 2.974 \text{ T}$ <p>Donc c'est des blocs Cubipodes de de 3 tonnes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.4 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cotg\alpha: 3/2</math>.</li> <li>• <math>K_D: 28</math>.</li> <li>• <math>H_b: 5 \text{ mètres}</math>.</li> <li>• <math>W : 3 \text{ t}</math>.</li> <li>• <math>V : 1.25 \text{ m}^3</math></li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>D_n: 1.08 \text{ m}</math>.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1.15</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s: 2.5</math> (Enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W_{f\text{moy}}: 0.4</math> (<math>W_{\text{moy}} = (0.3+0.5) / 2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (Enrochement naturel).</li> <li>• <math>W : 0.05</math> (<math>W_{\text{moy}} = (0.0+0.1) / 2</math>).</li> </ul>
<p><b>Volume :</b></p> $V = \frac{3}{2.4} = 1.25$	
<p>Diamètre nominale :</p> $D_n = \sqrt[3]{1.25} = 1.08$	
<p><b>Épaisseur de la carapace :</b></p> $e = 2 \times 1.08 = 2.16$ <p>Donc on prend <math>e = 2.2\text{m}</math></p>	
<p><b>Nombre de blocs par unité de surface :</b></p> $N_s = \frac{2}{1.08^2} = 1.715$ <p>C'est-à-dire 172 blocs / 100m<sup>2</sup></p>	
<p><b>Poids du filtre du support :</b></p> $W_f = \frac{W}{10} = \frac{3}{10} = 0.3 \text{ t}$	

<p>Correction du poids :</p> $70\% < W_f < 130\% \begin{cases} 0.3 \times 0.7 = 0.21 \text{ T} \\ 0.3 \times 1.3 = 0.39 \text{ T} \end{cases}$ <p>On prend catégorie de [0.3-0.5] T</p>	
<p><b>Épaisseur du filtre du support :</b></p> $e = 2 \times 1.15 \times \left(\frac{0.4}{2.5}\right)^{1/3} = 1.248 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 1.3 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Dimensionnement du filtre de transition :</b></p> $W_t = \frac{W}{200} = \frac{3}{200} = 0.015 \text{ t}$ <p>Correction du poids :</p> $50\% < W_f < 150\% \begin{cases} 0.015 \times 0.5 = 0.0075 \text{ T} \\ 0.015 \times 1.5 = 0.0225 \text{ T} \end{cases}$ <p>On prend une catégorie de [0.0-0.1] t.</p>	
<p><b>Épaisseur du filtre du filtre de transition :</b></p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 0.55 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Poids du noyau :</b></p> $W_n = \frac{3}{4000} = 7.5 \times 10^{-4}$ <p>Correction du poids :</p> $70\% < W_f < 170\% \begin{cases} 7.5 \times 10^{-4} \times 0.7 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ T} \\ 7.5 \times 10^{-4} \times 1.7 = 1.27 \times 10^{-4} \text{ t} \end{cases}$ <p>On prend une catégorie de [0.0-0.1] t.</p>	

○ **Vérification des règles de TERZAGHI :**

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1) t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

**Pour le filtre :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.726$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.3}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.612$
---	---

**Pour le noyau :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0$
---	---

Diamètre (filtre/ Noyau)	Conditions de vérifications
$D_{15}(\text{filtre}) = 0.15 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.629$	$\checkmark \frac{0.629}{0.361} = 1.742 < 5$ $\checkmark 4 < \frac{0.629}{0.064} = 9.828 < 20$ $\checkmark \frac{0.669}{0.212} = 3.156 < 25$ <p>Toutes les conditions sont vérifiées.</p>
$D_{50}(\text{filtre}) = 0.50 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.669$	
$D_{15}(\text{noyau}) = 0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	
$D_{50}(\text{noyau}) = 0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	

$D85(\text{noyau}) = 0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	
Application numérique	Valeurs des variables
<p><b>Poids de la butée :</b></p> $W = \left(\frac{0.1}{4}\right) \times \left(\frac{2.5 \times 5}{(2.51.026 - 1)^3 1.5}\right)^3 \times \left(\frac{5}{4}\right) = 2.20$ <p>On prend une catégorie de [2 – 3] t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>\text{Cot} \alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD: 4</math> (Houle non déferlante)</li> <li>• <math>Hb : 5</math> mètres.</li> <li>• <math>d : 4</math> mètres.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (Enrochement naturel).</li> <li>• <math>W: 2.5</math> (<math>W_{\text{moy}} = (2+3) / 2</math>).</li> <li>• <math>n : 3</math>.</li> <li>• <math>W : 2.5</math> (<math>W_{\text{moy}} = (2+3) / 2</math>).</li> </ul>
<p><b>Épaisseur de la butée :</b></p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{2.5}{2.5}\right)^{1/3} = 2 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 2 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Épaisseur de la butée :</b></p> $e = 3 \times 1 \times \left(\frac{2.5}{2.5}\right)^{1/3} = 3 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 3 \text{ m}</math></p>	

➤ Coupes type au niveau de la section courante

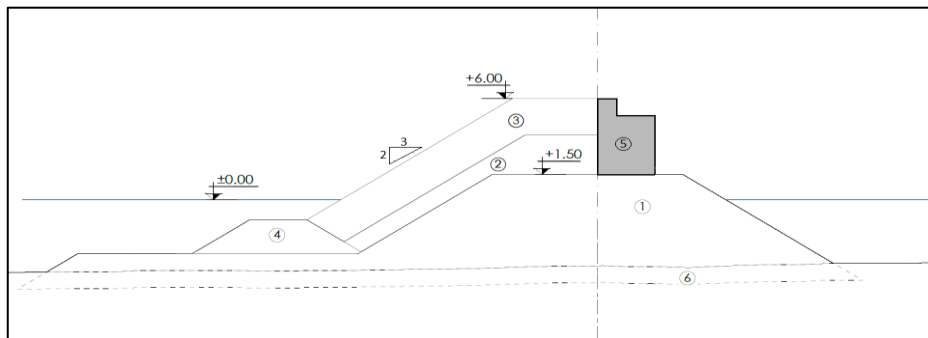


Figure V-3 : Coupes type au niveau de la section courante de la digue.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [300 –500] kg.
- 3) la carapace en Cubipod 3 t.
- 4) La butée de pied [2 –3] t.
- 5) Le mur de couronnement.
- 6) Pénétration tout-venant [0-100] kg.

### V.2.7 Au niveau du musoir de la digue

Application numérique	Valeurs des variables
<b>Enrochement blocs artificiels Cubipodes</b> $W = \frac{1}{7} \times \frac{1.026^3}{(1.026 \cdot 2.4 - 1)} \times \frac{5^3}{3/2} = \mathbf{11.896t}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.4 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>\text{Cot} \alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD : 7</math>.</li> <li>• <math>Hb : 5 \text{ mètres}</math>.</li> <li>• <math>W : 12 \text{ t}</math>.</li> <li>• <math>V : 5 \text{ m}^3</math>.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>Dn : 1.71 \text{ m}</math></li> <li>• <math>K\Delta : 1.15</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (Enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W_{\text{fimo}} : 1.5 (W_{\text{moy}} = (1+2)/2)</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (Enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W_{\text{tmo}} : 0.05</math> (<math>W_{\text{moy}} = (0+0.1)/2</math>).</li> </ul>
Donc c'est des blocs Cubipodes de de 12 tonnes	
<b>Volume :</b> $V = \frac{12}{2.4} = 5 \text{ m}^3$	
<b>Diamètre nominale :</b> $Dn = \sqrt[3]{5} = 1.71\text{m}$	
<b>Épaisseur de la carapace :</b> $e = 2 \times 1.71 = 3.42\text{m}$ On prend donc $e = 3.5\text{m}$	
<b>Nombre de blocs par unité de surface :</b> $Ns = \frac{2}{1.71^2} = 0.342$ C'est-à-dire 34 blocs par 100m <sup>2</sup>	
<b>Dimensionnement du filtre du support :</b> $Wf = \frac{W}{10} = \frac{12}{10} = 1.2\text{t}$ Correction du poids : $70\% < Wf < 130\% \begin{cases} 1.2 \times 0.7 = 0.84 \text{ t} \\ 1.2 \times 1.3 = 1.56 \text{ t} \end{cases}$ On Prend une catégorie de [1-2] t.	
<b>Épaisseur du filtre du support :</b> $e = 2 \times 1.15 \left(\frac{1.5}{2.5}\right)^{1/3} = 1.939 \text{ m}$ On prend une épaisseur de : $e = 2 \text{ m}$ .	
<b>Dimensionnement du filtre de transition :</b> $Wt = \frac{W}{200} = \frac{12}{200} = 0.06 \text{ t}$ <b>Correction du poids :</b> $50\% < Wf < 150\% \begin{cases} 0.06 \times 0.5 = 0.03\text{t} \\ 0.06 \times 1.5 = 0.09 \text{ t} \end{cases}$ On Prend une catégorie de [0.0-0.1] t.	
<b>Épaisseur du filtre du filtre de transition :</b> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543 \text{ m}$ On prend une épaisseur de $e = 0.55 \text{ m}$	

#### ○ Vérification des règles de TERZAGHI :

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1)t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

#### Pour le filtre :

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{2}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 1.152$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.914$
---	---

#### Pour le noyau :

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0$
---	---

Diamètre (filtre/ Noyau)	Conditions de vérifications
$D_{15}(\text{filtre}) = 0.15 \times (1.152 - 0.914) + 0.914 = 0.95$	$\checkmark \frac{0.95}{0.361} = 2.632 < 5$ $\checkmark 4 < \frac{0.95}{0.064} = 14.844 < 20$ $\checkmark \frac{0.95}{0.212} = 4.48 < 25$ Toutes les conditions sont vérifiées.
$D_{50}(\text{filtre}) = 0.50 \times (1.152 - 0.914) + 0.914 = 1.03$	
$D_{15}(\text{noyau}) = 0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	
$D_{50}(\text{noyau}) = 0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	
$D_{85}(\text{noyau}) = 0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	

Applications numériques	Valeur des variables
<b>Poids de la butée</b> $W = \left(\frac{0.1}{4}\right) \times \left(\frac{2.5 \times 5^3}{(2.51.026 - 1)^3 1.5}\right) \times \left(\frac{5}{4}\right) = 1.69$ On prend une catégorie de [2 – 3]t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD : 3.2</math> (Houle non déferlante)</li> <li>• <math>Hb : 5</math> mètres.</li> <li>• <math>d : 6.5</math> mètres.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (enrochement naturel).</li> <li>• <math>W : 2.5</math> (<math>W_{moy} = (2+3)/2</math>).</li> </ul>
<b>Épaisseur de la butée :</b> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{2.5}{2.5}\right)^{1/3} = 2 \text{ m}$ On prend $e = 2 \text{ m}$ .	
<b>Épaisseur de la butée :</b> $e = 3 \times 1 \times \left(\frac{2.5}{2.5}\right)^{1/3} = 3 \text{ m}$ On prend $e = 3 \text{ m}$ .	

**Coupes type au niveau du musoir**

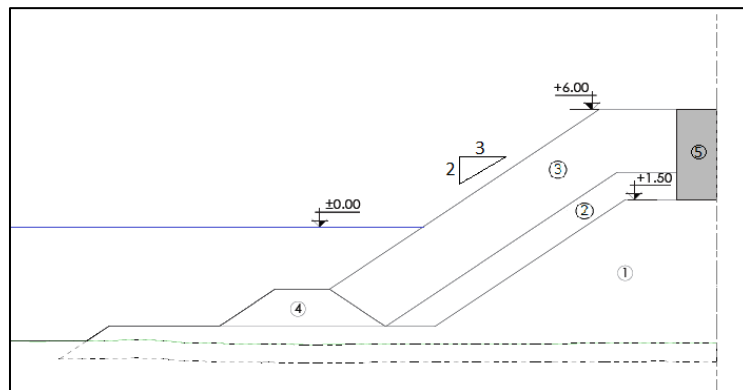


Figure V-4 : Type au niveau du musoir de la digue.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [1 –2] t.
- 3) La carapace en Cubipodes 12 t.
- 4) La butée de pied [2 - 3] t.
- 5) Le mur de couronnement.

### ❖ Dimensionnement de la jetée secondaire

La houle de dimensionnement de secteur NE extraite à partie du modèle numérique.

La hauteur de houle  $H_b = 2.60$  m est utilisé pour le dimensionnement de la partie courante et le musoir de la jetée secondaire.

La hauteur de houle  $H_b = 1.91$  m est utilisé pour le dimensionnement de l'enracinement en enrochements naturels.

Détail des formules utilisé dans

#### ○ Au niveau du profil d'enracinement de la contre digue

Application numérique	Valeur de la variable
$W = \frac{1}{2} \frac{1.026 \cdot 2.6 - 1}{(1.026 \cdot 2.6 - 1)^3} \frac{1.91^3}{3/2} = 1.552t$ <p><b>Donc on prend une catégorie de [1-2] t.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.65</math> t/m<sup>3</sup>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026</math> t /m.</li> <li>• <i>Cotga</i> : 3/2.</li> <li>• <i>KD</i>: 2 (Houle déferlante).</li> <li>• <i>Hb</i> : 1.91 mètres.</li> <li>• <i>n</i> : 2.</li> <li>• <i>KΔ</i> : 1.</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : 2.65 (Enrochement naturel).</li> <li>• <i>W</i> : 1.5 (<math>W_{moy} = (1+2)/2</math>).</li> <li>• <i>n</i> : 2.</li> <li>• <i>KΔ</i> : 1.</li> <li>• <i>P</i>: 37%.</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : 2.65 (Enrochement naturel).</li> <li>• <i>W</i> : 1.5 (<math>W_{moy} = (1+2) / 2</math>).</li> <li>• <i>n</i> : 2.</li> <li>• <i>KΔ</i> : 1.</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : 2.5 (Enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <i>W</i>: 0.4 (<math>W_{moy} = (0.3+0.5) / 2</math>).</li> <li>• <i>n</i> : 2.</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : 2.5 (Enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <i>W</i> : 0.05 (<math>W_{moy} = (0.0+0.1) / 2</math>).</li> </ul>
<p>Épaisseur du filtre du support :</p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{1.5}{2.65}\right)^{1/3} = 1.654m$ <p><b>On prend une épaisseur de : e = 1.65 m.</b></p>	
<p>Nombre de blocs par unité de surface :</p> $Ns = 2 \times 1 \times (1 - 0.37) \left(\frac{2.65}{1.5}\right)^{2/3} = 1.841$ <p><b>Ns=1.84/ m2 c'est-à-dire 184 blocs par 100 m2.</b></p>	
<p>Dimensionnement du filtre du support :</p> $Wf = \frac{W}{10} = \frac{1.5}{10} = 0.15$ <p><b>Correction du poids :</b></p> $70\% < Wf < 130\% \begin{cases} 0.15 \times 0.7 = 0.105 T \\ 0.15 \times 1.3 = 0.195 T \end{cases}$ <p><b>On Prend une catégorie de [0.1-0.3] T.</b></p>	
<p>Épaisseur du filtre du support :</p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.4}{2.5}\right)^{1/3} = 1.08 m$ <p><b>On prend e = 1 m.</b></p>	
<p>Dimensionnement du filtre de transition :</p> $Wt = \frac{W}{200} = \frac{1.5}{200} = 0.0075 t$ <p><b>Correction du poids :</b></p> $50\% < Wf < 150\% \begin{cases} 0.0075 \times 0.5 = 0.0038 T \\ 0.0075 \times 1.5 = 0.0113 T \end{cases}$ <p><b>On Prend une catégorie de [0.0-0.1] t.</b></p>	
<p>Épaisseur du filtre du filtre de transition :</p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543 m$ <p><b>On prend e = 0.55 m.</b></p>	
<p>Poids du noyau :</p> $Wn = \frac{1.5}{4000} = 5 \times 10^{-4}$ <p><b>Correction du poids :</b></p>	

$70\% < Wf < 170\% \begin{cases} 5 \times 10^{-4} \times 0.7 = 1.5 \times 10^{-4} \text{t} \\ 5 \times 10^{-4} \times 1.7 = 8.5 \times 10^{-4} \text{t} \end{cases}$ <p>On Prend une catégorie de [0.0-0.1] t.</p>	
--	--

○ **Vérification des règles de TERZAGHI :**

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1) t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

**Pour le filtre :**

$\phi_s = 2 \times \left( 3 \times \frac{0.3}{4 \times \pi \times 2.5} \right)^{1/3} = 0.612$	$\phi_i = 2 \times \left( 3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5} \right)^{1/3} = 0.424$
---	---

**Pour le noyau :**

$\phi_s = 2 \times \left( 3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5} \right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left( 3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5} \right)^{1/3} = 0$
---	---

Diamètre (filtre/ Noyau)	Conditions de vérifications
$D_{15}(\text{filtre}) = 0.15 \times (0.612 - 0.424) + 0.424 = 0.453$	$\checkmark \frac{0.629}{0.361} = 1.255 < 5$ $\checkmark 4 < \frac{0.629}{0.064} = 7.109 < 20$ $\checkmark \frac{0.669}{0.212} = 2.442 < 25$ <p>Toutes les conditions sont vérifiées.</p>
$D_{50}(\text{filtre}) = 0.50 \times (0.612 - 0.424) + 0.424 = 0.518$	
$D_{15}(\text{noyau}) = 0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	
$D_{50}(\text{noyau}) = 0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	
$D_{85}(\text{noyau}) = 0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	

Application numérique	Valeurs des variables
<p><b>Poids de la butée :</b></p> $W = \left( \frac{0.1}{2} \right) \times \left( \frac{2.5 \times 1.91^3}{(2.651.026 - 1)^3 1.5} \right) \times \left( \frac{1.91}{2} \right) = 0.19$ <p>En prend une catégorie de [0 – 0.1] t Il n'y a donc pas de butée de pied au niveau de la fondation, mais bien un tapis anti affouillement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD: 2</math> (Houle déferlante)</li> <li>• <math>Hb : 1.91</math> mètres.</li> <li>• <math>d : 2</math> mètres.</li> </ul>

➤ Coupes type au niveau du profil d'enracinement

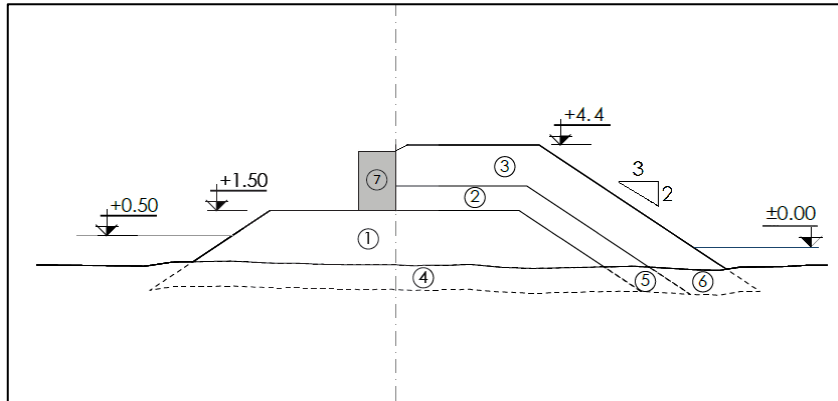


Figure V-5 : Coupes type au niveau du profil d'enracinement de la contre digue.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [100 –300] kg.
- 3) La carapace en enrochement naturel [1 –2] t.
- 4) Pénétration tout-venant [0-100] kg.
- 5) Pénétration enrochement [100 –300] kg.
- 6) Pénétration enrochement [1 –2] t.
- 7) Le mur de couronnement.

○ Au niveau de la section courante de la contre digue

Applications Numériques	Valeurs des variables
$W = \frac{1}{2} \frac{1.026}{(1.026 \cdot 2.6 - 1)^3} \frac{2.54^3}{3/2} = 3.650t$ <p>Donc on prend une catégorie de [2-4] t.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD: 2</math> (Houle déferlante).</li> <li>• <math>Hb : 2.54</math> mètres.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>W : 3</math> (<math>W_{moy} = (2+4)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>P: 37\%</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.65</math> (enrochement naturel).</li> <li>• <math>W : 3</math> (<math>W_{moy} = (2+4)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W: 0.4</math> (<math>W_{moy} = (0.3+0.5)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W : 0.05</math> (<math>W_{moy} = (0.0+0.1)/2</math>).</li> <li>•</li> </ul>
<p><b>Épaisseur du filtre du support :</b></p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{3}{2.65}\right)^{1/3} = 2.08 \text{ m}$ <p>On prend une épaisseur de : <math>e = 2 \text{ m}</math></p>	
<p><b>Nombre de blocs par unité de surface :</b></p> $N_s = 2 \times 1 \times (1 - 0.37) \left(\frac{2.65}{3}\right)^{2/3} = 1.16$ <p>C'est-à-dire 116 blocs par 100 m<sup>2</sup>.</p>	
<p><b>Dimensionnement du filtre du support :</b></p> $W_f = \frac{W}{10} = \frac{3}{10} = 0.3$ <p>Correction du poids :</p> $70\% < Wf < 130\% \begin{cases} 0.3 \times 0.7 = 0.21 \text{ T} \\ 0.3 \times 1.3 = 0.39 \text{ T} \end{cases}$ <p>On Prend une catégorie de [0.3-0.5] t.</p>	
<p><b>Épaisseur du filtre du support :</b></p> $e = 2 \times 1 \left(\frac{0.4}{2.5}\right)^{1/3} = 1.065 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 1 \text{ m}</math>.</p>	

<p><b>Dimensionnement du filtre de transition :</b></p> $W_t = \frac{W}{200} = \frac{3}{200} = 0.015 \text{ T}$ <p>Correction du poids :</p> $50\% < W_f < 150\% \begin{cases} 0.015 \times 0.5 = 0.0075 \text{ T} \\ 0.015 \times 1.5 = 0.0225 \text{ T} \end{cases}$ <p>On Prend une catégorie de [0.0-0.1]t.</p>	
<p><b>Épaisseur du filtre du filtre de transition :</b></p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543 \text{ m}$ <p>On prend <math>e = 0.55 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Poids du noyau :</b></p> $W_n = \frac{3}{4000} = 7.5 \times 10^{-4}$ <p>Correction du poids :</p> $70\% < W_f < 170\% \begin{cases} 7.5 \times 10^{-4} \times 0.7 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ T} \\ 7.5 \times 10^{-4} \times 1.7 = 1.27 \times 10^{-3} \text{ T} \end{cases}$ <p>On Prend une catégorie de [0.0-0.1] t.</p>	

➤ **Vérification des règles de TERZAGHI :**

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1)t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

**Pour le filtre :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.726$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.3}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.612$
---	---

**Pour le noyau :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0$
---	---

Diamètre (filtre/ Noyau)	Conditions de vérifications
$D_{15}(\text{filtre}) = 0.15 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.629$	$\checkmark \frac{0.629}{0.361} = 1.742 < 5$ $\checkmark 4 < \frac{0.629}{0.064} = 9.828 < 20$ $\checkmark \frac{0.669}{0.212} = 3.156 < 25$ Toutes les conditions sont vérifiées.
$D_{50}(\text{filtre}) = 0.50 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.669$	
$D_{15}(\text{noyau}) = 0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	
$D_{50}(\text{noyau}) = 0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	
$D_{85}(\text{noyau}) = 0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	

Application numérique	Valeurs des variables
<p><b>Poids de la butée :</b></p> $W = \left(\frac{0.1}{2}\right) \times \left(\frac{2.5 \times 2.54^3}{\left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3 \times 1.5}\right) \times \left(\frac{2.54}{3}\right) = 0.39$ <p>En prend une catégorie de [0 – 0.1] t. Il n'y a donc pas de butée de pied au niveau de la fondation, mais bien un tapis anti affouillement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD: 2</math> (Houle déferlante)</li> <li>• <math>Hb : 2.54</math> mètres.</li> <li>• <math>d : 3</math> mètres.</li> </ul>

➤ **Coupes type au niveau de la section courante**

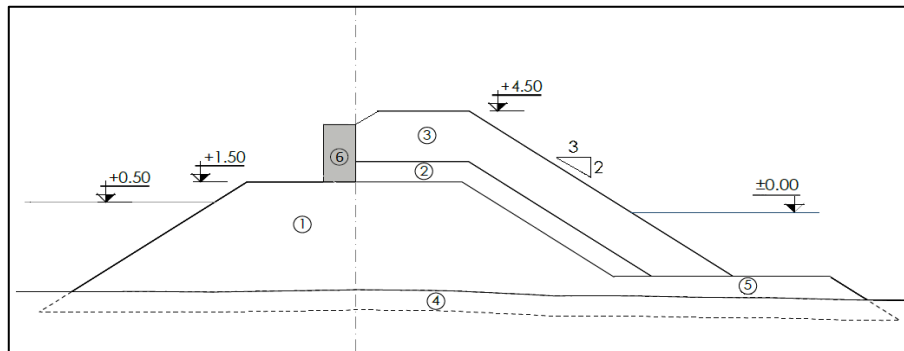


Figure V-6 : Coupes type au niveau de la section courante.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [300 –500] kg.
- 3) la carapace en enrochement naturel [2 –4] t.
- 4) Pénétration tout-venant [0-100] kg.
- 5) Le tapis anti affouillement.
- 6) Le mur de couronnement.

❖ **Au niveau du musoir de la contre digue :**

Applications numériques	Valeurs des variables
$W = \frac{1}{1.9} \frac{1.026}{\left(\frac{1.026}{2.6} - 1\right)^3} \frac{2.54^3}{3/2} = 3.842t$ <p>Donc on prend une catégorie de [4 - 5] t.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3</math>.</li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}</math>.</li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2</math>.</li> <li>• <math>KD: 1.9</math> (houle déferlante).</li> <li>• <math>Hb : 2.54</math> mètres.</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.65</math> (enrochement naturel).</li> <li>• <math>W : 4.5</math> (<math>W_{moy} = (4+5)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> <li>• <math>K\Delta : 1</math>.</li> <li>• <math>P: 37\%</math>.</li> <li>• <math>\gamma_s : 2.65</math> (enrochement naturel).</li> <li>• <math>W : 4.5</math> (<math>W_{moy} = (4+5)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2</math>.</li> </ul>
<p><b>Épaisseur du filtre du support :</b></p> $e = 2 \times 1 \times \left(\frac{4.5}{2.65}\right)^{1/3} = 2.386 \text{ m}$ <p>On prend une épaisseur de : <math>e = 2.4 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Nombre de blocs par unité de surface :</b></p> $N_s = 2 \times 1 \times (1 - 0.37) \left(\frac{2.65}{4.5}\right)^{2/3} = 0.885$ <p><math>N_s = 0.89 / \text{m}^2</math> c'est-à-dire 89 blocs par 100 m<sup>2</sup>.</p>	
<p><b>Dimensionnement du filtre du support :</b></p> $W_f = \frac{W}{10} = \frac{4.5}{10} = 0.45$ <p>Correction du poids :</p> $70\% < W_f < 130\% \begin{cases} 0.45 \times 0.7 = 0.315 \text{ T} \\ 0.45 \times 1.3 = 0.585 \text{ T} \end{cases}$ <p>On Prend une catégorie de [0.4-0.6] T.</p>	

<p><b>Épaisseur du filtre du support :</b>  <math>e = 2 \times 1 = 1.169 \text{ m}</math>                  On prend <math>e = 1.2 \text{ m}</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>K\Delta : 1.</math></li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W : 0.5</math> (<math>W_{moy} = (0.4+0.6)/2</math>).</li> <li>• <math>n : 2.</math></li> <li>• <math>K\Delta : 1.</math></li> <li>• <math>\gamma_s : 2.5</math> (enrochement naturel pour remplissage).</li> <li>• <math>W : 0.05</math> (<math>W_{moy} = (0.0+0.1)/2</math>).</li> </ul>
<p><b>Dimensionnement du filtre de transition :</b>  <math>W_t = \frac{W}{200} = \frac{4.5}{200} = 0.023 \text{ T}</math>                  Correction du poids :  <math>50\% &lt; Wf &lt; 150\% \begin{cases} 0.023 \times 0.5 = 0.0113 \text{ T} \\ 0.023 \times 1.5 = 0.0338 \text{ T} \end{cases}</math>                  On Prend une catégorie de [0.0-0.1] T.</p>	
<p><b>Épaisseur du filtre du filtre de transition :</b>  <math>e = 2 \times 1 \times \left(\frac{0.05}{2.5}\right)^{1/3} = 0.543 \text{ m}</math>                  On prend <math>e = 0.55 \text{ m}</math>.</p>	
<p><b>Poids du noyau :</b>  <math>W_n = \frac{4.5}{4000} = 12.5 \times 10^{-4}</math>                  Correction du poids :  <math>70\% &lt; Wf &lt; 170\% \begin{cases} 12.5 \times 10^{-4} \times 0.7 = 3.75 \times 10^{-4} \text{ T} \\ 12.5 \times 10^{-4} \times 1.7 = 2.13 \times 10^{-4} \text{ T} \end{cases}</math>                  On Prend une catégorie de [0.0-0.1] T.</p>	

○ **Vérification des règles de TERZAGHI :**

Rappelons que les deux catégories du filtre et du noyau sont identiques, (0-0.1)t donc il suffit juste de vérifier les conditions entre « filtre du support » et « le filtre de transition avec le noyau »

**Pour le filtre :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.6}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.771$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.4}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.674$
---	---

**Pour le noyau :**

$\phi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.1}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0.424$	$\phi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0}{4 \times \pi \times 2.5}\right)^{1/3} = 0$
---	---

Diamètre (filtre/ Noyau)	Conditions de vérifications
$D_{15}(\text{filtre}) = 0.15 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.688$	$\checkmark \frac{0.629}{0.361} = 1.908 < 5$ $\checkmark 4 < \frac{0.629}{0.064} = 10.81 < 20$ $\checkmark \frac{0.669}{0.212} = 3.405 < 25$ Toutes les conditions sont vérifiées.
$D_{50}(\text{filtre}) = 0.50 \times (0.726 - 0.612) + 0.612 = 0.722$	
$D_{15}(\text{noyau}) = 0.15 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.064$	
$D_{50}(\text{noyau}) = 0.50 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.212$	
$D_{85}(\text{noyau}) = 0.85 \times (0.424 - 0) + 0 = 0.361$	

Applications numériques	Valeurs des variables
<p><b>Poids de la butée :</b>  <math>W = \left(\frac{0.1}{1.9}\right) \times \left(\frac{2.5 \times 2.54^3}{(2.651.026 - 1)^3 1.5}\right) \times \left(\frac{2.54}{5.5}\right) = 0.22</math>                      En prend une catégorie de [0 - 0.1] t.                      Il n'y a donc pas de butée de pied au niveau de la fondation, mais bien un tapis anti affouillement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3.</math></li> <li>• <math>\gamma_0 = 1.026 \text{ t/m}.</math></li> <li>• <math>Cot\alpha : 3/2.</math></li> <li>• <math>KD: 1.9</math> (Houle déferlante)</li> <li>• <math>Hb : 2.54</math> mètres.</li> <li>• <math>d : 5.5</math> mètres.</li> </ul>

➤ **Coupes type au niveau du musoir**

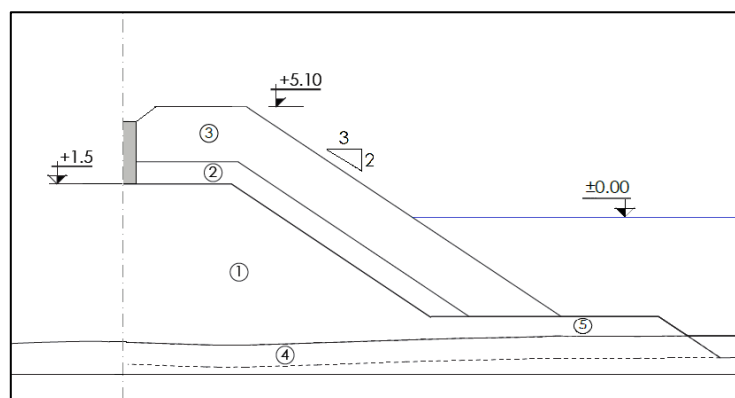


Figure V-7 : Coupes type au niveau du musoir de la contre digue.

- 1) Le noyau tout-venant [0-100] kg.
- 2) Le filtre de support en enrochement naturel [400 –600] kg.
- 3) la carapace en enrochement naturel [4 –5] t.
- 4) Pénétration tout-venant [0-100] kg.
- 5) Le tapis anti affouillement.

### V.2.8 Résumé des résultats

❖ **Jetée principale :**

Tableau V-2 tableau récapitulatif des caractéristiques de la digue principale

Caractéristique		Enrochement	Courant	Musoir
<b>La carapace</b>	Enrochement	Naturel	Cubipode	Cubipode
	Poids (tonnes)	[2-4]	3	12
	Épaisseur (mètres)	3.15	2.2	3.5
	Nbr Blocs/100m <sup>2</sup>	116	171	34
<b>Le filtre de support</b>	Poids (tonnes)	[0.3 –0.5]	[0.3 –0.5]	[1 - 2]
	Épaisseur (mètres)	1.3	1.3	2
<b>Le filtre de transition</b>	Poids (tonnes)	[0 –0.1]	[0 –0.1]	[0 –0.1]
	Épaisseur (mètres)	0.55	0.55	0.55
<b>Le noyau</b>	Poids (tonnes)	[0 –0.1]	[0 –0.1]	[0 –0.1]
<b>La butée de pied</b>	Poids (tonnes)	[0 –0.1]	[2 - 3]	[2 - 3]
	Épaisseur (mètres)	/	2	2
	Largeur (mètres)	/	3	3
<b>Le mur de couronnement</b>	Longueur (mètres)	3.5	4.5	4.5
	Largeur (mètres)	2	3	3

❖ **Jetée secondaire :**

Tableau V-3 tableau récapitulatif des caractéristiques de la digue secondaire

Caractéristique	Enrochement	Courant	Musoir
<b>La carapace</b>	Enrochement	Naturel	Cubipod
	Poids (tonnes)	[1-2]	[2 - 4]
	Épaisseur (mètres)	1.9	2
	Nbr Blocs/100m <sup>2</sup>	184	171
<b>Le filtre de support</b>	Poids (tonnes)	[0.1 - 0.3]	[0.3 -0.5]
	Épaisseur (mètres)	1	1
<b>Le filtre de transition</b>	Poids (tonnes)	[0 -0.1]	[0 -0.1]
	Épaisseur (mètres)	0.55	0.55
<b>Le noyau</b>	Poids (tonnes)	[0 -0.1]	[0 -0.1]
<b>La butée de pied</b>	Poids (tonnes)	[0 -0.1]	[0 -0.1]
	Épaisseur (mètres)	/	/
	Largeur (mètres)	/	/
<b>Le mur de couronnement</b>	Longueur (mètres)	2.4	2.4
	Largeur (mètres)	1.5	1.5

**V.2.9 Calcul du Run-Up (Méthode de CERC: Coastal Engineering Research Center)**

La méthode de calcul suivante sera basée sur des abaques extraits du manuel de C.E.R.C. (Costal Engineering Research Center)

**1.1. Jetée principale**

- **Au niveau de l'enracinement :**

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2.6}{9.81 \times 10^2} = 0.0027$$

- $H_b$ : Houle de Projet = 2.6 mètres
- T : La période de la houle = 10 secondes
- g : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>
- ✓ Avec  $m = 2\% = 0.02$  de l'abaque I [Annexe D, Abaques de CERC],
- ✓ On a  $\frac{H_b}{H'0} = 1.36 \Rightarrow \frac{H_s}{H'0} = \frac{3}{1.91} = 1.57$  et  $\frac{H'0}{gT^2} = 0.0019$
- $h_s$  : profondeur d'eau = 3m.

$0.8 < \frac{H_s}{H'0} = 1.57 < 2 \Rightarrow$  on fait une interpolation des deux abaques

$$H_s H'0 = 0.8 ; R H'0 = 4.2 \text{ et } \frac{H_s}{H'0} = 2 ; \frac{R}{H'0} = 3.1 \Rightarrow \text{Pour } \frac{H_s}{H'0} = 1.57 ; \frac{R}{H'0} = 3.49$$

$$R = H'0 \times 3.49 = 1.91 \times 3.49 = 6.68 \text{ mètres}$$

**Tg( $\alpha$ ) = 0.66 (Pente = 3/2)**, l'abaque a donné un coefficient de correction **K = 1.165**.

$$\mathbf{R \text{ (corrigé)} = 6.68 \times 1.165 = 7.78m.}$$

La côte d'arase :  $z = R \times r + NM = 7.78 \times 0.5 + 0.5 = 4.39 \text{ m}$

- r : coefficient de rugosité (0.5).
- NM : Niveau maximum de la marée (0.5m).

On prend donc  $z = 4.4$  mètres.

▪ **Au niveau du profil courant et du musoir :**

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{5}{9.81 \times 12,85^2} = 0.003$$

- $H_b$ : Houle de Projet = 5 mètres
- T : La période de la houle = 12.85 secondes
- g : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>
- ✓ Avec  $m = 2\% = 0.02$  de l'abaque I [Annexe E], on a  $\frac{H_b}{H'0} = 1.3$
- ✓  $\Rightarrow H'0 = 3.85. \Rightarrow \frac{H_s}{H'0} = \frac{6.5}{3.85} = 1.69$  et  $\frac{H'0}{gT^2} = 0.0024$
- $h_s$ : profondeur d'eau = 6.5m.

$0.8 < \frac{H_s}{H'0} = 1.69 < 2 \Rightarrow$  on fait une interpolation des deux abaques

$$\frac{H_s}{H'0} = 0.8 ; \frac{R}{H'0} = 4 \text{ et } \frac{H_s}{H'0} = 2 ; \frac{R}{H'0} = 3 \Rightarrow \text{Pour } \frac{H_s}{H'0} = 1.69 ; \frac{R}{H'0} = 3.18$$

$$R = H'0 \times 3.26 = 3.85 \times 3.18 = 12.25 \text{ mètres}$$

**Tg( $\alpha$ ) = 0.66 (Pente = 3/2)**, l'abaque a donné un coefficient de correction **K = 1.205**.

$$\mathbf{R \text{ (corrigé)} = 12.25 \times 1.025 = 14.76m.}$$

La côte d'arase :  $z = R \times r + NM = 14.76 \times 0.5 + 0.5 = 7.88 \text{ m}$

- r : coefficient de rugosité (0.5).
- NM : Niveau maximum de la marée (0.5m).

On prend donc  $z = 7.9$  mètres.

## V.2.10

### 1.2.Jeté Secondaire :

▪ **Au niveau de l'enracinement :**

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{1.91}{9.81 \times 10^2} = 0.002$$

- $H_b$ : Houle de Projet = 1.91 mètres
- T : La période de la houle = 10 secondes
- g : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>
- ✓ avec  $m = 2\% = 0.02$  de l'abaque I [Annexe E], on a

$$\frac{H_b}{H'0} = 1.52 \Rightarrow H'0 = 1.26.$$

$$\frac{H_s}{H'0} = 21.26 = 1.59 \text{ et } \frac{H'0}{gT^2} = 0.0013$$

- $h_s$ : profondeur d'eau = 2m.

$0.8 < \frac{H_s}{H'0} = 1.59 < 2 \Rightarrow$  on fait une interpolation des deux abaques

$$\frac{H_s}{H'0} = 0.8 ; \frac{R}{H'0} = 4.7 \text{ et } \frac{H_s}{H'0} = 2 ; \frac{R}{H'0} = 3.5 \Rightarrow \text{Pour } \frac{H_s}{H'0} = 1.59 ; \frac{R}{H'0} = 3.9$$

$$R = H'0 \times 3.9 = 1.26 \times 3.9 = 4.91 \text{ mètres}$$

**Tg( $\alpha$ ) = 0.66 (Pente = 3/2)**, l'abaque a donné un coefficient de correction **K = 1.165**.

$$\mathbf{R \text{ (corrigé)} = 4.91 \times 1.165 = 5.72m.}$$

La côte d'arase :  $z = R \times r + NM = 4.91 \times 0.5 + 0.5 = 3.36 \text{ m}$

- r : coefficient de rugosité (0.5).
- NM : Niveau maximum de la marée (0.5m).

On prend donc  $z = 3.4$  mètres.

▪ **Au niveau du profil courant et du musoir :**

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2.6}{9.81 \times 10^2} = 0.0027$$

- $H_b$ : Houle de Projet = 2.6 mètres
- $T$  : La période de la houle = 10 secondes
- $g$  : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>
- ✓ Avec  $m = 2\% = 0.02$  de l'abaque I [Annexe E], on a

$$\frac{H_b}{H'0} = 1.36 \Rightarrow H'0 = 1.91.$$

$$\frac{H_s}{H'0} = 51.91 = 2.61 \text{ et } \frac{H'0}{gT^2} = 0.0019$$

- $h_s$ : profondeur d'eau = 5m.

$$2 < \frac{H_s}{H'0} = 2.61 < 3 \Rightarrow \text{on fait une interpolation des deux abaques}$$

$$\frac{H_s}{H'0} = 2 ; \frac{R}{H'0} = 3.1 \text{ et } \frac{H_s}{H'0} = 3 ; \frac{R}{H'0} = 2 \Rightarrow \text{Pour } \frac{H_s}{H'0} = 2.61 ; \frac{R}{H'0} = 2.42$$

$$R = H'0 \times 2.42 = 1.91 \times 2.42 = 4.63 \text{ mètres}$$

**Tg( $\alpha$ ) = 0.66 (Pente = 3/2), l'abaque a donné un coefficient de correction  $K = 1.165$ .**

$$\mathbf{R \text{ (corrigé)} = 4.63 \times 1.205 = 5.40m.}$$

$$\text{La côte d'arase : } z = R \times r + NM = 5.4 \times 0.5 + 0.5 = 3.20 \text{ m}$$

- $r$  : coefficient de rugosité (0.5).
- $NM$  : Niveau maximum de la marée (0.5).

On prend donc  $z = 3.3$  mètres

### V.2.11 Modélisation physique

La variation de la forme, la taille et la disposition des blocs, ainsi que l'inclinaison du talus, a une incidence directe sur la rupture de la carapace et la perte de l'un des blocs.

Une fois ce design préliminaire a été fait, selon les recommandations de la (R.O.M 0.5-05), il a été procédé à l'étude de la coupe de la digue par son tronc dans le modèle physique 2D à l'Institut d'hydraulique Appliquée (Instituto de Hidráulica Aplicada, INHA) de Barcelone avec les objectifs suivants :

- Vérifier et analyser la stabilité des éléments de la carapace de la section.
- Vérifier la stabilité de la butée de pied.
- Enregistrer les débits de débordement sur la section afin de vérifier que les valeurs enregistrées sont inférieures des valeurs maximales permises par le client.
- Analyser les pressions et sous-pressions sur le mur de garde ainsi que les forces produites à la suite de la houle ayant une incidence sur le mur de garde.

Pour assurer une meilleure stabilité de la digue face aux effets destructifs de la houle extrême, le recours à l'essai sur canal à houle est primordial pour la vérification de la stabilité de l'ouvrage, ainsi que l'optimisation du poids des blocs et la vérification des franchissements de la houle.

Généralement pour d'une digue infranchissable, l'étude de franchissement mène à des hauteurs de crêtes très importantes. Dans notre cas, enivrent 8 m pour la jetée principale et 3.5m pour la jetée secondaire c'est pourquoi la cote d'arase doit être optimisée lors de l'étude en canal à houle.

### Description de l'essai :

Le programme prévu repose sur l'essai de la houle avec périodes de pic  $TP = \{6, 8, 10 \text{ y } 13 \text{ s}\}$  avec hauteurs de houle significantes  $HS =$  comprises entre 2.5 et 5.5 mètres au pied de la digue.

Pour la période de 13 secondes, la hauteur serait augmentée en échelons de 0.5 mètres jusqu'à arriver à la rupture de la coupe si possible. Ps : Un total de 44 essais a été réalisés, dont des essais de répétition. La vérification de la stabilité du mur de garde est effectuée par le contrôle des modes de défaut à glissement et renversement. L'analyse de pressions réalisée sur la coupe du tronc de la digue présentée précédemment, avec la digue fondée à la cote -6.50 m et le niveau de marée est +0.50 m sur le niveau de référence. Pour le calculs pressions et des efforts sur le mur de garde, 6 capteurs de pression ont été mis : trois à la base et trois au parement frontal. La distribution des capteurs de pression est montrée dans la figure ci-dessous.

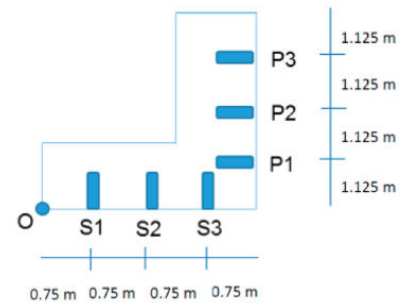


Figure V-8 schéma représentatif de distribution de capteurs

### Conclusions de l'essai :

Concernant la stabilité hydraulique de la structure, elle a réagi de manière stable pour tous les cas essayés, aussi bien pour la carapace de cubipodes bicouche que pour la risberme de pied.

Sur les photos suivantes l'état initial et l'état final de la digue sont montrés suite à la réalisation des essais correspondant à la période de pic la plus énergétique (13 secondes).



Figure V-11: Schéma de distribution de capteurs.

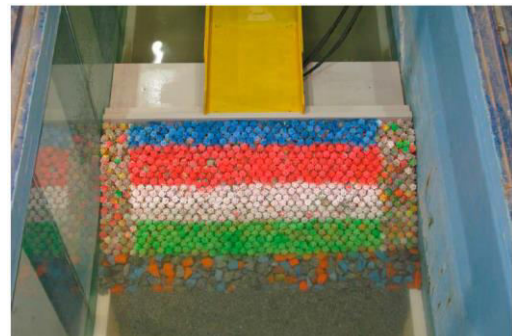


Figure V-9 : Coupe de la digue après de l'essai, TP=13 secondes.

Sur les photos ci-dessous, aucun déplacement des cubipodes n'est observé. De même, dans les essais, le phénomène de "rocking" n'est pas produit de manière remarquable.

Concernant le débordement, pour les valeurs de design ( $H_s = 2.7 \text{ m}$  et  $T_p = 8 \text{ s}$ ), la valeur qui s'obtient est autour  $0.05 \text{ l/s/m}$ , inférieure à la limite de  $0.1 \text{ l/s/m}$  établie.

Pour conclure, les deux tableaux suivants résument et récapitulent les différents résultats de calcul de la digue et de la contre digue.

### V.3 Dimensionnement Ouvrages d'accostages des quais

En gardant les critères principaux d'un quai :

- Se munit d'un dispositif d'appui pour permettre l'accostage et l'amarrage des navires.
- Assurer une liaison entre la terre et le navire à travers un terre-plein ou une dalle. Le dispositif de liaison supporte donc une partie ou tout le matériel de manutention servant à la réception et aux transports des voyageurs.
- Soutenir les terres à la limite de l'eau : ce soutien des terres peut faire intervenir l'ouvrage lui-même ou un ouvrage accessoire, par exemple un talus d'enrochement.

#### V.3.1 Quais envisagés dans ce projet

Devant une multitude de types de quais disponibles, le choix du type est dicté en premier par les moyens de réalisation et disponibilités des types de matériaux utilisés. **Figure V-12** On a opté pour deux types de quais :

- a) Quais en blocs (rouge).
- b) Quais sur pieux (vert).
- c) Quais fermeture en palplanche (jaune) : suite à un problème financier cette dernière a été remplacé par les blocs.

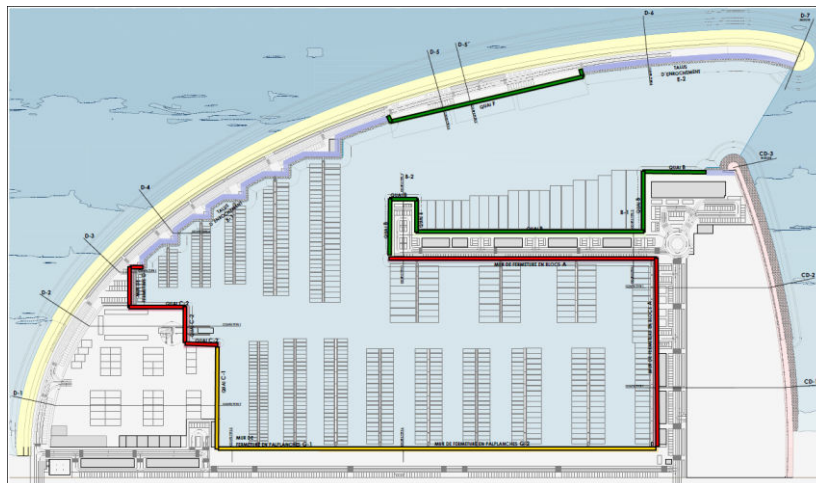


Figure V-12 : vue globale sur les quais de la marina

**V.3.1.1 Quais en blocs**

Au long du périmètre de la darse du port de Marina Baie d'Alger un quai composée des blocs en béton submergé, dans tous les cas la section type présente la même configuration, la seule différence entre elles étant la cote du terrain sur laquelle la butée de pied de l'enrochement est cimentée.

Le mur est composé d'un bloc en béton submergé HM-30 de 2.00 m de largeur et 1.50 m. de hauteur, appuyé sur une butée de pied tout-venant à épaisseur variable en fonction de la cote du fond et du poids 0-100 kg. Sur le couronnement, le bloc laisse une berme de 1.00 m. dans les deux côtés.

Sur le bloc en béton submergé, une poutre d'accostage en béton armé HA-35 est prévue, de section rectangulaire de 1 m. de largeur pour 1.30 m. de hauteur. La poutre présente une volée de 0.15 m sur le côté extérieur du bloc en béton submergé. Détail sur le béton utilisé dans l'annexe

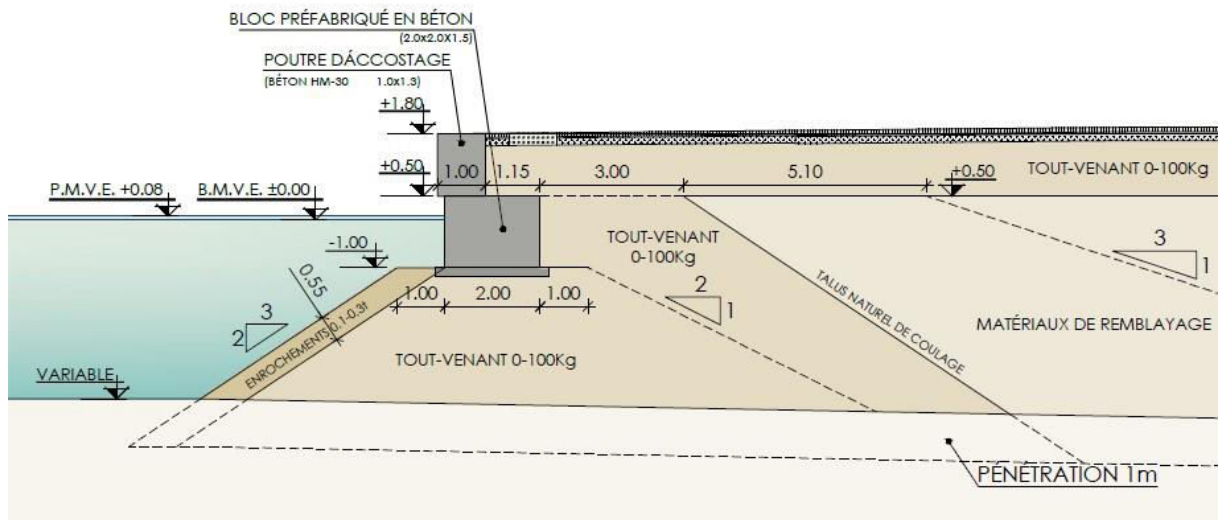


Figure V-13 : schéma du quai sur blocs.

- 1. Bloc submergé section 1.5x2.
- 2. Poutre d'accostage béton armé HA35 section 1.3x1.
- 3. Talus tout venant [0-100Kg].

**a. Calcul des actions**

✓ **Charges permanentes :**

Poids propre (PP) :

Tableau V-4 : Poids propre du quai en blocs.

	Poids spécifique (kN/m <sup>3</sup> )	Section (m <sup>2</sup> )	Poids (kN/m)	bras de levier (m)	Moment (kNm/m)
Poutre d'accostage	25	1.3	32.5	0.35	11.38
Bloc en béton submergé	23	3	69	1	69
Terre sur bloc	19.6	1.495	29.302	1.575	46.15
Total	/	/	130.80	0.97	126.53

Poussée hydrostatique et hydrodynamique (PHS & PHD) avec la théorie de WESTERGAARD.

✓ **Poussée hydrostatique :**

$$F_h = \frac{1}{2} \times \sigma \times (H + e)$$

Avec :

- ✓  $\sigma = \gamma_e \times e$
- ✓  $\gamma_e = 10.26 \text{ kN/m}^3$  : poids volumique de l'eau.
- ✓  $H$ : profondeur (m).
- ✓  $z$  : niveau de la marée (m).

**Poussée hydrodynamique (WESTERGAARD) :**

$$F_{hd} = \frac{7}{8} \times \alpha \times \gamma_e \times (H + e)^2$$

Avec :

- ✓  $\alpha = 0.25$ : accélération sismique.
- ✓  $\gamma_e = 10.26 \text{ kN/m}^3$  : poids volumique de l'eau.
- ✓  $H$ : profondeur (m).
- ✓  $e$ : niveau de la marée (m).

Tableau V-5 : Poussée hydrostatique et hydrodynamique (quai en blocs).

Poussées hydrostatique		Poussées hydrodynamique	
$\gamma_e (\text{kN/m}^3)$	10.26	Accélération sismique ( $\text{m/s}^2$ )	0.25
Niveau de la marée ( $\text{m}$ )	0.5		
Hauteur du bloc ( $\text{m}$ )	1		
$\sigma (\text{kN/m}^2)$	5.13		
Force ( $\text{kN/m}$ )	3.85	Force ( $\text{kN/m}$ )	5.05
Bras de levier ( $\text{m}$ )	0.75	Bras de levier ( $\text{m}$ )	0.5
Moment ( $\text{kNm/m}$ )	2.89	Moment ( $\text{kNm/m}$ )	2.52

Poussées des terres (PT & PTS) :

$$F_{PT} = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_{sol} \times h^2 \times \cos(\delta)$$

Avec :

- ✓  $K$ : coefficient de MONONOBÉ-OKABÉ.
- ✓  $\gamma_{sol} = 16.7 \text{ kN/m}^3$  : poids volumique du sol.
- ✓  $h$ : la profondeur du bloc.
- ✓  $\delta = \frac{2}{3} \times \varphi$ : angle d'action de la poussée.
- ✓  $\varphi = 40^\circ$ : angle de frottement du sol.

Tableau V-6 : Poussées de terres dans le cas exploitation et séisme (quai en blocs).

Poussées des terres		Poussées des terres en cas de séisme	
$K_a$	0.1998	$K_a$	0.3059
$\gamma_{sol} (\text{KN/m}^3)$	16.70	$\gamma_{sol} (\text{KN/m}^3)$	16.70
$\varphi (^\circ)$	40	$\varphi (^\circ)$	40
Hauteur de la poussée ( $\text{m}$ )	2.80	Hauteur de la poussée ( $\text{m}$ )	2.80
$\delta (^\circ)$	26.67	$\delta (^\circ)$	26.67

Force ( <i>KN/m</i> )	11.69	Force ( <i>KN/m</i> )	17.89
Bras de levier ( <i>m</i> )	0.93	Bras de levier ( <i>m</i> )	0.93
Moment ( <i>KNm/m</i> )	10.91	Moment ( <i>KNm/m</i> )	16.70

✓ **Charges variables :**

Surcharge (SC & SCS),

$$F_{sc} = \sigma * h$$

Avec :

- ✓  $\sigma = Kq * Q$  : la poussée due au chargement.
- ✓  $Kq = K$  : le coefficient de MONONOBÉ-OKABÉ.
- ✓  $Q = 10KN/m^2$  : la surcharge.
- ✓  $h$  : profondeur du bloc.

Tableau V-7: Calcul des poussées dues aux surcharges (quai en blocs).

surcharge		Surcharge en cas de séisme	
Charge ( <i>KN/m2</i> )	10	Charge ( <i>KN/m2</i> )	10
<i>Kq</i>	0.1998	<i>Kq</i>	0.3059
$\sigma$ ( <i>KN/m2</i> )	1.99	$\sigma$ ( <i>KN/m2</i> )	3.06
Force( <i>KN/m</i> )	5.59	Force( <i>KN/m</i> )	8.56
Bras de levier ( <i>m</i> )	1.4	Bras de levier ( <i>m</i> )	1.4
Moment ( <i>KNm/m</i> )	7.83	Moment ( <i>KNm/m</i> )	11.99

Action sismique (SIS) :

Tableau V-8 : Calcul de l'action sismique sur quai en blocs.

Action sismique	
Poids propre ( <i>KN/m</i> )	130.80
Accélération sismique ( <i>m/s2</i> )	0.25
Force( <i>KN/m</i> )	32.70
Bras de levier ( <i>m</i> )	1.41
Moment( <i>KNm/m</i> )	46.15

## b. Combinaison des actions

Après le calcul des actions on peut résumer les charges dans un tableau et établir les combinaisons ELU, des Etats Limites Ultime d'équilibre et Géotechnique qui permettent de combiner les charges afin de simuler au mieux les phénomènes qui peuvent se produire en prenant de la sécurité. C'est la limite maximum considérée pour les charges :

Cas d'exploitation :

Tableau V-9 : Résultats des efforts sur quai en blocs (exploitation).

	Force verticale ( <i>KN/m</i> )	Force horizontale ( <i>KN/m</i> )	Moment stabilisant ( <i>KNm/m</i> )	Moment renversant ( <i>KNm/m</i> )
Poids propre (PP)	130.8	0.00	126.53	0.00
Pression hydraulique (PHS)	0.00	3.85	0.00	2.89
poussées des terres (PT)	0.00	11.69	0.00	10.91
Surcharge (SC)	0.00	5.60	0.00	7.83
Séisme (SIS)	0.00	0.00	0.00	0.00

Combinaison :

ELU équilibre :  $0.9 \times PP + 1.1 \times PHS + 1.1 \times PT + 1.5 \times SC$

ELU géotechnique :  $1.0 \times PP + 1.0 \times PHS + 1.0 \times PT + 1.3 \times SC$

Tableau V-10 : Résultats des combinaisons de charge (exploitation).

	Force verticale ( <i>KN/m</i> )	Force horizontale ( <i>KN/m</i> )	Moment stabilisant ( <i>KNm/m</i> )	Moment renversant ( <i>KNm/m</i> )
<b>ELU équilibre</b>	117.72	25.49	113.87	26.93
<b>ELU géotechnique</b>	130.80	22.81	126.53	23.98

Cas séisme :

Tableau V-11 : Résultats des efforts sur quai en blocs (séisme).

	Force verticale ( <i>KN/m</i> )	Force horizontale ( <i>KN/m</i> )	Moment stabilisant ( <i>KNm/m</i> )	Moment renversant ( <i>KNm/m</i> )
Poids propre (PP)	130.80	0.00	126.53	0.00
Pression hydraulique (PHD)	0.00	5.05	0.00	2.52
Poussées des terres (PTS)	0.00	17.90	0.00	16.70
Surcharge (SCS)	0.00	8.57	0.00	11.99
Séisme (SIS)	0.00	32.70	0.00	46.16

Combinaison :

ELU équilibre :  $1.0 \times PP + 1.0 \times PHD + 1.0 \times PTS + 0.5 \times SCS + SIS$

ELU géotechnique :  $1.0 \times PP + 1.0 \times PHD + 1.0 \times PTS + 0.5 \times SCS + SIS$

	Force verticale ( <i>KN/m</i> )	Force horizontale ( <i>KN/m</i> )	Moment stabilisant ( <i>KNm/m</i> )	Moment renversant ( <i>KNm/m</i> )
ELU équilibre	130.80	59.93	126.53	71.38
ELU géotechnique	130.80	59.93	126.53	71.38

### c. Vérification de la stabilité au glissement :

Cet état est matérialisé par l'équilibre entre la force de frottement  $V * (\varphi)$  et les forces horizontales  $H$ . Le coefficient de sécurité s'écrit :

$$F = \frac{V \times tg(\varphi)}{H}$$

V: la force verticale (*KN/m*).

$\varphi$ : l'angle de frottement du sol.

H: la force horizontale (*KN/m*).

Les résultats :

Tableau V-12 : Stabilité au glissement du quai en blocs.

	V	H	$tg(\varphi)$	F	<b>Fref</b>	<b>F &gt; Fref</b>
ELU équilibre	117.72	25.49	0.839	3.88	1.5	Vérifié
ELU géotechnique	130.80	22.81	0.839	4.81	1.5	Vérifié
Séisme ELU équilibre	130.80	59.93	0.839	1.83	1.1	Vérifié
Séisme ELU géotechnique	130.80	59.93	0.839	1.83	1.1	Vérifié

- **Stabilité au renversement :**

Cet état est matérialisé par l'équilibre entre le moment stabilisant  $M_s$  et le moment renversant  $M_r$ . Le coefficient de sécurité s'écrit :

$$F = \frac{M_s}{M_r}$$

Avec :

- $M_s$ : moment stabilisant ( $KNm/m$ ).
- $M_r$ : moment renversant ( $KNm/m$ ).

Les résultats :

Tableau V-13 : Stabilité au renversement du quai en blocs.

	$M_s$	$M_r$	$F$	$F_{ref}$	$F > F_{ref}$
ELU équilibre	117.72	26.93	4.23	1.5	Vérifié
ELU géotechnique	130.80	23.98	5.28	1.5	Vérifié
Séisme ELU équilibre	130.80	59.93	1.77	1.1	Vérifié
Séisme ELU géotechnique	130.80	59.93	1.77	1.1	Vérifié

- **Stabilité au poinçonnement :**

Cet état est matérialisé par l'équilibre entre la résistance limite du sol de fondation  $\sigma_{sol}$  et la contrainte verticale  $\sigma_v$  transmise au sol par le bloc.

Le coefficient de sécurité s'écrit :

$$F = \frac{\sigma_{sol}}{\sigma_v}$$

- $\sigma_v = \frac{V}{B}$ : la contrainte transmise par la force verticale.
- $\sigma_{sol} = \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \times (1 - \frac{\delta}{\varphi})$ , relation de TERZAGHI.
- $\gamma = 16.7KN/m^3$ : poids volumique du sol de fondation.
- $B = 2m$ : la largeur du bloc.
- $N\gamma = 113$ : terme de portance d'après la table de CAQUOT ET KERISEL [tableau au début].
- $\varphi = 40^\circ$ : angle de frottement du sol de fondation.
- $\delta = \frac{2}{3} \times \varphi = 26.7^\circ$ : angle d'action des poussées sur la fondation

Les résultats :

Tableau V-14 : Vérification au poinçonnement du quai en blocs.

	$\sigma_{sol}$	$\sigma_v$	$F$	$F_{ref}$	$F > F_{ref}$
ELU équilibre	209.68	58.86	3.56	1.5	Vérifié
ELU géotechnique	209.68	65.40	3.21	1.5	Vérifié
Séisme ELU équilibre	209.68	65.40	3.21	1.5	Vérifié
Séisme ELU géotechnique	209.68	65.40	3.21	1.5	Vérifié

### 2.11. Dimensionnement de la poutre d'accostage

L'élément supérieur au mur en blocs, qui agit comme poutre d'accostage est fabriqué en béton armé HA-35.

Cette poutre n'est soumise à aucune charge, donc on mettra en place une armature transversale minimale de  $\varnothing 10$  et un espacement du cadre de 25 cm, aussi bien de l'armature longitudinale de  $\varnothing 20$ .

#### Conclusion

Les deux types de quais calculés dans ce chapitre répondent au besoin d'exploitation de la marina et à l'exigence structurelle (résistance, stabilité)

#### 1. Quais sur pieux

Au long du périmètre de la darse du port de la Marina Baie d'Alger, deux zones d'accostage sont prévues de type quai sur pieux, la première est localisé contigu à la digue principale et permet l'accostage longitudinal des bateaux de jusqu'à +70 m. de longueur. La deuxième zone, est placée dans une autre marge du canal principal d'accès, conçu pour les bateaux de taille supérieure à 25 m.

Pour le point de vue du géomètre de conception de quais contigu à la digue l'espacement transversal entre les pieux est de 6.45 m, pour l'espacement longitudinal est de 8.2m avec des pieux en acier de 0.8m de diamètre et 10mm d'épaisseur.

Les dimensions diffèrent du premier quai, pour le deuxième on a un espacement transversal de 4.6m, longitudinal de 8.2 avec le même type de pieux. Pour l'accostage on a prévu une poutre en béton armé HA-35 de section 1.0x0.95m qui relis les pieux d'avant, pour les pieux derrière on a prévus une poutre en béton armé HA-35 de section 0.7x0.95m. Pour finir une dalle de 0.35m d'épaisseur serra construite qui nous garantit un couronnement de +1.8m

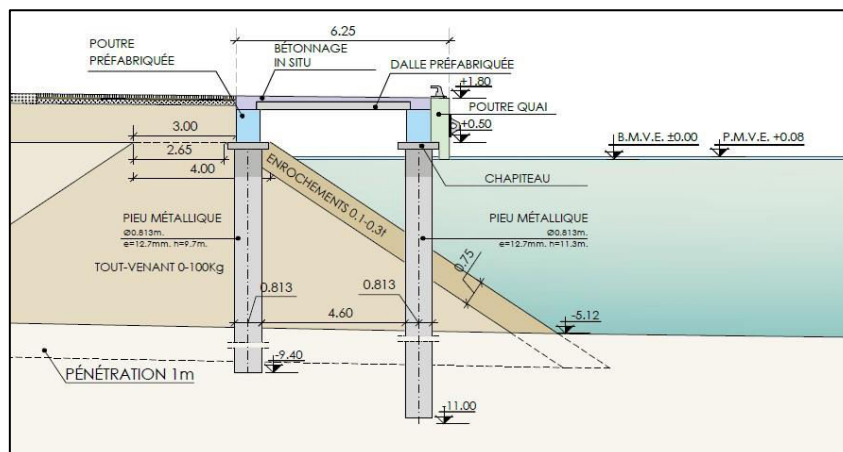


Figure V-14 : schéma du quai sur pieux

1. Pieux avant acier 360 diamètre 0.8m.
2. Poutre arrière béton armé HA35 section 0.95x 0.7.
3. Poutre avant béton armé HA35 section 0.95x 1.
4. Pieux arrière acier 360 diamètre 0.8m.
5. Dalle béton armé HA35 épaisseur 0.35m.
6. Enrochement [100-300Kg].

Conformément à la procédure visée dans le R.O.M. 0.5-05, les types de défaillance à vérifier étant les suivants :

- Enfouissement et enracinement des pieux.
- Rupture horizontale du terrain.
- Érosion du talus.
- Glissement superficiel du talus.

## V.4 Dimensionnement des appontements

### V.4.1 Introduction

L'objet de cette section du chapitre est la définition de tous les éléments d'accostage et amarrage à disposer dans les installations conçues, qu'on appelle appontement.

Les bateaux au port Marina Baie d'Alger sont amarrés à des appontements placés en perpendiculaire avec les fermetures du périmètre de la darse, fixées par des pieux métalliques fonnés. Par conséquent, ils ne transmettent pas des charges à ces fermetures.

Dans tous les cas, les appontements sont formés ont une largeur de 2,8 m avec une structure en aluminium avec des différentes coupes et flotteurs en béton. En fonction du poste d'accostage (longueurs), la typologie de la structure en aluminium choisie est la suivante :

- ASE 900: A, B, C, D, G, H, I.
- ASE 1100 : E, F, J, K.
- ASE 2000 : O, P, Q, R.

Remarque : ASE : Aluminium Structure European.

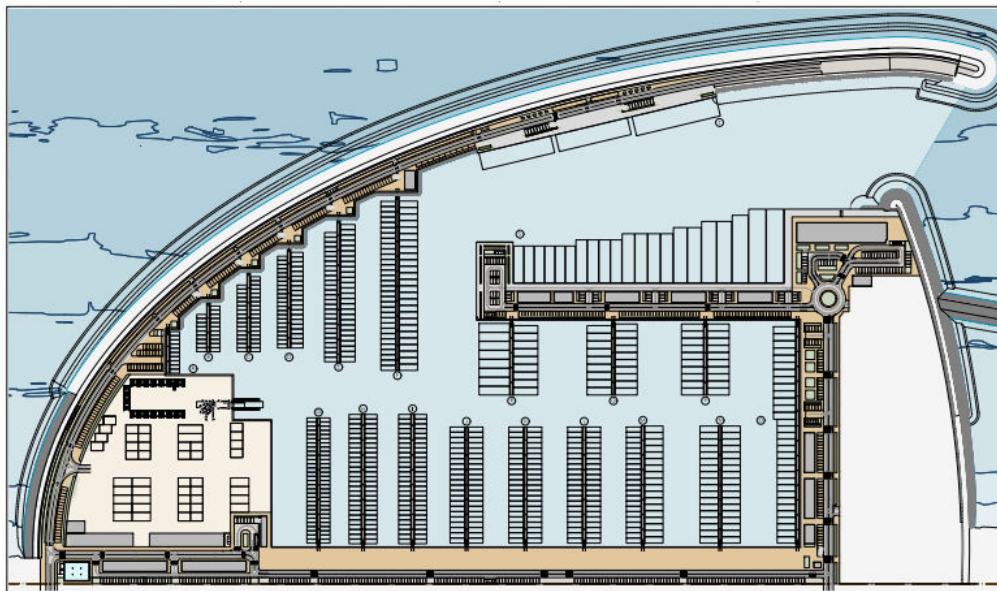


Figure V-15 : Dénomination et emplacement de jetées flottantes

### V.4.2 Présentation des trois typologies choisies

Le châssis est élaboré avec des profils en alliage en aluminium, qualité marine 6005 (A-SG0, 5), soudé sous gaz neutre argon par système MIG, tandis que la structure de l'appontement est composée par :

type	ASE 900	ASE 1100	ASE 2000
Caractéristiques techniques	<p>Profil de 175 mm de hauteur et 123 mm de largeur, équipé de deux languettes, une languette supérieure pour la fixation du couvercle de la galerie technique, et une autre languette inférieure pour l'encastrement des rebords des flotteurs. En plus, elle a cinq rails type Halfen distribués par son contour pour la fixation des différents accessoires d'ancrage, service, jonctions, etc., sans avoir besoin de soudures ou de trous.</p>	<p>Conceptuellement, sa structure est la même avec ASE 900. La différence entre eux réside dans le type de profil qui a de 176 mm de hauteur et 123 mm de largeur</p>	<p>profil de 215 mm de hauteur et 152 mm de largeur, équipé de deux languettes, une languette supérieure pour la fixation du couvercle de la galerie technique, et une autre languette inférieure pour l'encastrement des rebords des flotteurs. En plus, elle a cinq rails type Halfen distribués par son contour pour la fixation des différents accessoires d'ancrage, service, jonctions, etc., sans avoir besoin de soudures ou de trous</p>
Schémas			

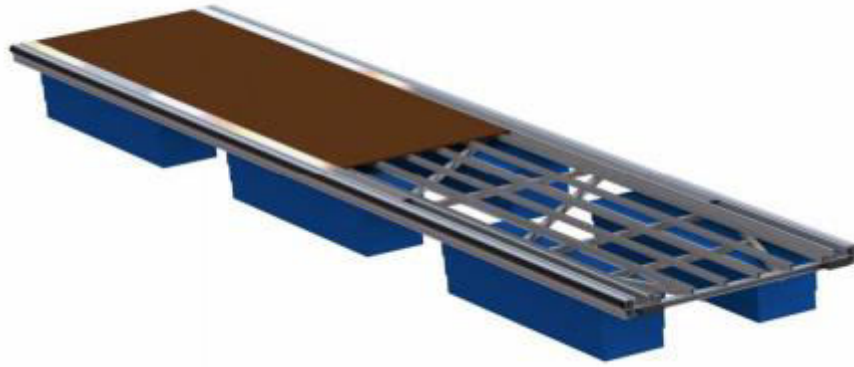


Figure V-16: Configuration générale jetée type ASE 900.

- ✓ Les pieux de fixation sont en acier avec diamètre de 510 mm, avec une longueur variable en fonction du tirant d'eau où ils se trouvent, obtenue de la manière suivante :

$$L (\text{PIEU}) = L (\text{FONÇAGE}) + \text{Tirant d'eau} + \text{Hauteur de marée météorologique} + 1.5$$

Où les valeurs adoptées sont les suivantes :

- L(FONÇAGE)
- Tirant d'eau : Variable entre 2.5 m à  $\approx$  3 m
- Hauteur de marée météorologique 0.8 m.

L'accès aux jetées se fait à travers des passerelles, d'1.3 m de largeur et 5 m de longueur de coupe. Elles sont équipées de rampes et avec des finitions superficielles égales à celles des appontements.

La jonction entre pieux et jetée est réalisée à l'aide des anneaux, de forme trapézoïdale, qui embrasent le pieu et se glissent au long de ce dernier à l'aide de rouleaux.

Les rouleaux de glissement sont construits en polyéthylène de grande élasticité et résistance à l'abrasion.

- ✓ Les taquets

Les taquets sont des éléments construits en fonte d'aluminium norme technique UNE (équivalent espagnol à la norme CEN, Comité Européen de Normalisation) L 2560 moulé. Elle a une forme adéquate pour rendre facile l'amarrage des cordages. Les taquets sont placés sur le profil latéral de l'appontement, en rendant facile leur pose en tout point au long du profil longitudinal.

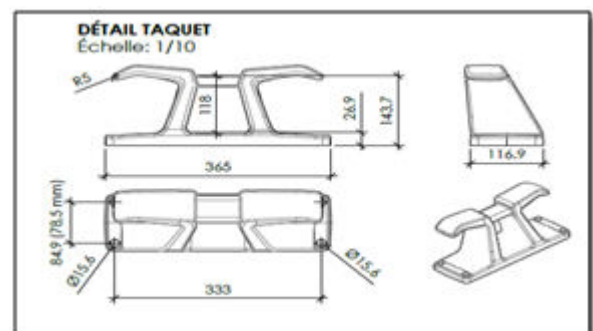


Figure V-17: détail du taquet.

Sur les appontements, des bollards pour l'accostage des embarcations sont disposés avec la distribution suivante :

- Taquet type I avec un tir nominal supporté de 4t, pour les bateaux de longueur 8, 10, 12, 15, 18 et 20 mètres

Taquet type II avec un tir nominal supporté de 6 t, pour les bateaux de longueur 25 mètres

La distribution et la distance entre les taquets est selon la longueur des bateaux prévu pour l'amarrage dans l'appontement, elle se répartit comme suit :

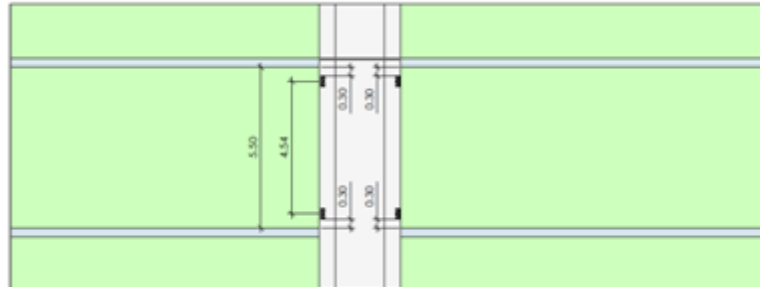


Figure V-18: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 8 et 10m

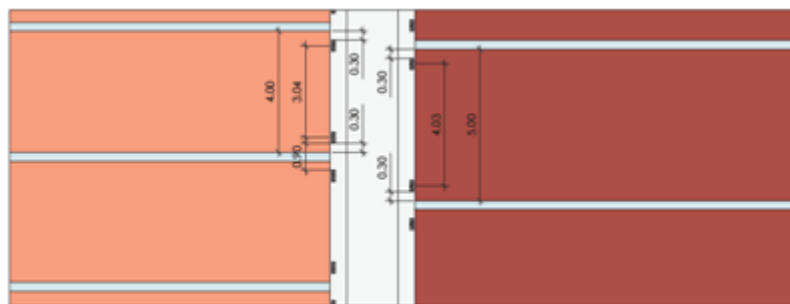


Figure V-19: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 8m.

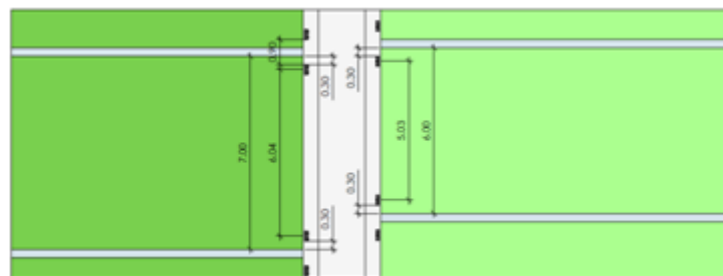


Figure V-20: Détail d'implantation des taquets pour les embarcations de longueur 20/25m.

#### V.4.3 Calcul du poids propre des appontements

Le calcul du poids propre des appontements sera divisé en quatre parties qui sont :

1. Poids propre de la structure en aluminium.
2. Poids propre des flotteurs.
3. Poids propre du revêtement.
4. Poids propre de la défense du quai.

Et ceci pour les trois typologies de la structure ; ASE-900, ASE-1100, ASE-2000, mise a part le poids propre de la structure en aluminium le reste est le même pour les trois typologies on ne le calculera donc qu'une seule fois.

##### a. Poids propre de la structure en aluminium pour les trois typologies :

Tableau V-15 : Poids propre de la structure en aluminium.

Les profils	Poids / ml			ml			Poids		
	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000
Profil principal	9.11	11.36	18.43	23	23	23	209.53	261.28	423.89
Tube 63x63x3 transversal	1.87	1.87	3.17	12.8	12.8	12.8	23.936	23.936	40.576
Tube 63x63x3 diagonal	1.87	1.87	3.17	19.49	19.49	19.49	36.4463	36.4463	61.7833
Profil U	3.45	3.45	6.18	5.12	5.12	5.12	17.664	17.664	31.6416
Profil clip	0.79	0.79	0.79	7.02	7.02	7.02	5.5458	5.5458	5.5458
Galerie technique	1.35	1.35	1.35	24	24	24	32.4	32.4	32.4
Couvercle galerie technique	1.53	1.53	1.53	24	24	24	36.72	36.72	36.72
Guide de flottation	1.05	1.05	1.05	24	24	24	25.2	25.2	25.2
Guide de flottation	0.94	0.94	0.94	15.3	15.3	15.3	14.382	14.382	14.382
Total	401.8241		453.5741	672.1387					

**b. 2. Poids propre des flotteurs :**

Tableau V-16 : Poids propre des flotteurs.

Type	Surface	Épaisseur	Densité	Poids
Le béton	19.26	0.03	2350	1357.83
Le polystyrène	6.345	0.65	15	61.86375
Nombre				4
Total				5678.775

**c. Poids propre du revêtement**

Tableau V-17 : Poids propre du revêtement.

Revêtement	Volume	Densité	Nombre	Poids
Horizontal	0,00592	1350	80	639.36
Vertical	0.0049	1350	36	238.14
Total =				877.5

**d. Poids propre de la défense du quai.**

Tableau V-18 : Poids propre de la défense du quai.

Longueur	Volume	Densité	Nombre	Poids
24	0.11	0.02	1350	7128

**e. Poids total selon le type :**

Tableau V-19 : Poids total des appontements.

	Poids propre de la structure en aluminium	Poids propre des flotteurs	Poids propre du revêtement	Poids propre de la défense du quai	Poids total (kg)
ASE-900	672,13	5678,77	877,5	71,28	7029,40
ASE-1100	672,13	5678,77	877,5	71,28	7081,15
ASE-2000	672,13	5678,77	877,5	71,28	6422,19

#### V.4.4 Calculs de la flottabilité

Capacité totale de charge :

$$C = \frac{N_f \times V_f \times \gamma}{L \times l} \quad \text{[2]}$$

- $N_f$  : Nombre de flotteurs = 4
- $V_f$  : volume d'un flotteur = 4.124 m<sup>3</sup>
- $\gamma$  : Masse volumique de l'eau de mer = 1026 kg/m<sup>3</sup>
- $L$  : Largeur de l'appontement = 2.8 m
- $l$  : Longueur de l'appontement = 11.5 m

A.N:

$$C = \frac{4 \times 4.124 \times 1026}{2.8 \times 11.5} \quad \text{[2]} = 525.6 \text{ Kg/m}^2$$

Hauteur totale :  $H = H(\text{Flotteurs}) + H(\text{Structure}) = 650 + 192 = 842 \text{ mm}$

Hauteur de la section submergé h :

$$H = \frac{P_p \times 10^3}{L \times l \times N \times \rho}$$

- $P_p$  : poids propre de toute la structure (Kg), (+150Kg/m<sup>2</sup> dans le cas chargé).
- $L$  : longueur du flotteur.
- $l$  : Largeur du flotteur.
- $N$  : nombre des flotteurs.
- Masse volumique de l'eau de mer = 1026 kg/m<sup>3</sup>.

Calcule du franc-bord = Hauteur totale - hauteur submergé (Dans les deux cas)

Tableau V-20: Résultats des calculs de la flottabilité.

	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000
Hauteur submergé (vide)	270	272	280
Hauteur submergé (chargé)	455	457	466
Franc-bord (vide)	572	570	562
356 mm < Franc-bord (vide) < 609mm	=> vérifié	=> vérifié	=> vérifié
Franc-bord (chargé)	387	385	376
Franc-bord (chargé) > 254mm	=> vérifié	=> vérifié	=> vérifié

#### V.4.5 Étude de la stabilité

Un corps flottant est stable en rotation si son métacentre est au-dessus du centre de gravité, donc pour être stable, il est faut que le bras de stabilité « d » sois supérieur à zéro, pour une surcharge de 100Kg/m<sup>2</sup>.

✓ **Calcul du centre de gravité de l'appontement pour les trois typologies :**

Pour le calcul du centre de gravité, le théorème de Varignon est utilisé :

$$R \times Y_c = \sum \text{Moment} \Rightarrow Y_c = \frac{\sum \text{Moment}}{R}$$

- $R$  : la résultante des forces de toutes les composantes
- $Y_c$ : la position du centre de gravité par rapport à la base

Tableau V-21 : Calcul du poids, bras de levier, moment.

Elément	Poids			Bras de levier			Moment		
	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000
Profil principal	209.53	261.28	423.89	0.75	0.75	0.75	157.15	195.96	317.92
Couvercle galerie technique	32.4	32.4	32.4	0.71	0.71	0.71	23.00	23.00	23.00
Tube diagonal	60.39	60.39	102.36	0.69	0.69	0.69	41.67	41.67	70.63
Profil U	17.66	17.66	31.64	0.69	0.69	0.69	12.19	12.19	70.63
Guide de flottation	41.27	41.27	41.27	0.65	0.65	0.65	26.83	26.83	26.83
Couvercle galerie technique	35.19	35.19	35.19	0.8	0.8	0.8	28.15	28.15	28.15
Profil clip	5.55	5.55	5.55	0.76	0.76	0.76	4.22	4.22	4.22
Flotteurs	5677.37	5677.37	5677.37	0.33	0.33	0.33	1873.53	1873.53	1873.53
Revêtement	639.36	639.36	639.36	0.81	0.81	0.81	516.90	516.90	516.90
Revêtement Vertical	238.14	238.14	238.14	0.77	0.77	0.77	170.27	170.27	170.27
La défense	71.28	71.28	71.28	0.77	0.77	0.77	54.89	54.89	54.89
Total	7028.4	7028.4	7299.69	/	/	/	2923.31	2962.12	3122.68

	Surcharge (kg)	Moment du a la surcharge	Moment total	Poids total	Centre de gravité $Y_c$ (m)
ASE- 900	1610	2962.4	5885,7	8638,4	0.681
ASE-1100	1610	2962.4	5924.52	8638,4	0.682
ASE- 2000	1610	2962.4	6085.08	8909.69	0.683

Tableau V-22 : Calcul du centre de gravité de l'appontement.

Alors D qui est le volume d'eau déplacé = Poids total de l'appontement chargé /  $\rho_0$

u = Distance du centre de gravité au centre de flottation = a – b

- a : Distance du centre de gravité à partir de la base
- b : Distance du centre de flottation à partir de la base
- e = Distance du méta centre au centre de flottation = I/D
- d = Bras de stabilité = e – u

	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000
D (Volume d'eau déplacé) (m <sup>3</sup> )	8.42	8.47	8.68
u (Distance du centre de gravité au centre de flottation) (m)	0.454	0.455	0.450
e (Distance du méta centre au centre de flottation) (m)	1.83	1.82	1.776
d (Bras de stabilité)	1.377	1.365	1.326
d > 0	=> Vérifier	=> Vérifier	=> Vérifier

#### V.4.6 Calcul de l'angle d'agitation

On cherche à calculer l'angle d'agitation maximal, qui devrait être inférieur à 8° selon les recommandations du R.O.M.

- ✓ Moment de renversement enduit par l'exploitation de surcharge de l'axe d'inertie, c'est le moment de force quand un corps (sur un plan horizontal) basculera.

$$M_s = \cos \alpha \times l/4 \times f$$

f : poids de la surcharge

l: la largeur de l'appontement

- ✓ Moment produit par la poussée de l'axe d'inertie :  $M = \sin \alpha \times \overline{GM} \times F$

G : centre de gravité

M : Métacentre : Point d'intersection de l'axe longitudinal de l'appontement et de la verticale passant par le centre de poussée, lorsque l'appontement est incliné.

$\overline{GM}$ : Distance entre G et M.

F : poids du corps.

**La limite de stabilité est atteinte lorsque :  $M_s = M$ .**

$$\sin \alpha \times \overline{GM} \times F = \cos \alpha \times l/4 \times f$$

$$\tan \alpha = \frac{l/4 \times f}{\overline{GM} \times F} \Rightarrow \text{En déduit } \alpha$$

En résumé, les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau V-23 : Résultats de la stabilité des appontements.

	ASE-900	ASE-1100	ASE-2000
Franc-bord (vide)	572	570	562
Franc-bord (chargé)	387	385	376
Bras de stabilité	1.377	1.365	1.326
Angle d'agitation	5.37°	5.43°	5.48°
<b>tan α &lt; 8</b>	=> Vérifier	=> Vérifier	=> Vérifier

## V.5 Calcul des pieux

### V.5.1 6.1. Charges de conception des pieux

Pour calculer les charges de conception il faut d'abord déterminer l'action du vent selon les directions les plus dominantes.

Tableau V-24 : action du vent selon la direction NW/NE et W.

Jetée	Longueur (m)		Fl(t)		Ft(t)		Fl(t/m)		Ft(t/m)	
	NW/NE	W	NW/NE	W	NW/NE	W	NW/NE	W	NW/NE	W
A	33.7	33.7	1.5	0.5	0.52	0.00	0.04	0.01	0.02	0.01
B	33.1	33.1	1.65	0.56	0.69	1.11	0.04	0.01	0.02	0.03
C	60.9	60.9	2.7	0.91	0.94	1.82	0.04	0.01	0.02	0.03
D	80.62	80.62	4.05	1.41	1.26	3.22	0.05	0.02	0.02	0.04
E	112.48	112.48	7.26	2.89	2.02	4.49	0.06	0.03	0.02	0.04
F	141.93	141.93	11.14	4.73	3.13	5.67	0.08	0.03	0.02	0.04
G	102.4	102.4	4.51	1.51	1.39	6.14	0.04	0.01	0.01	0.06
H	105.25	105.25	5.47	1.91	1.73	7.36	0.05	0.02	0.02	0.07
I	105.25	105.25	5.47	1.91	1.73	8.42	0.05	0.02	0.02	0.08
J	95	95	6.14	2.44	2.06	8.55	0.06	0.03	0.02	0.09

K	95	95	6.14	2.44	2.06	10.45	0.06	0.03	0.02	0.11
L	95	95	6.14	2.44	2.06	11.40	0.06	0.03	0.02	0.12
M	95.8	95.8	7.71	3.27	2.42	12.45	0.08	0.03	0.03	0.13
N	95.8	95.8	7.71	3.27	2.77	13.41	0.08	0.03	0.03	0.14
O	180.84	180.84	15.86	3.45	3.01	14.46	0.09	0.02	0.02	0.08
P	58.41	58.41	5.93	2.22	2.74	15.18	0.1	0.04	0.05	0.26
Q	58.41	58.41	6.19	2.22	2.88	15.77	0.11	0.04	0.05	0.27
R	58.41	58.41	6.82	2.42	3.28	16.93	0.12	0.04	0.06	0.29

Maintenant il faut déterminer le cas le plus défavorable :

Tableau V-25 : action du vent le plus défavorable.

Jetée	F(t)	F(t/m)	Direction du Vent
A	1.5	0.04	NW/NE
B	1.65	0.04	NW/NE
C	2.7	0.04	NW/NE
D	4.05	0.05	NW/NE
E	7.26	0.06	NW/NE
F	11.14	0.08	NW/NE
G	6.14	0.06	W
H	7.36	0.07	W
I	8.42	0.08	W
J	8.55	0.09	W
K	10.45	0.11	W
L	11.40	0.12	W
M	12.45	0.13	W
N	13.41	0.14	W
O	15.86	0.09	NW/NE
P	15.18	0.26	W

Q	15.77	0.27	W
R	16.93	0.29	W

Les charges sont distribuées entre le nombre de pieux établis pour l'ancrage de chacun des appontements flottants, donc les charges par unité de pieu sont:

Tableau V-26: charges sur les pieux d'appontements.

Jetée	Longueur	F(t)	F(t/m)	N° pieux	m/pieux	Tir pieu H(t)
A	33.7	1.50	0.04	0	/	/
B	37.1	1.65	0.04	2	18.55	0.83
C	60.9	2.70	0.04	3	20.3	0.90
D	80.62	4.05	0.05	4	20.16	1.01
E	112.48	7.26	0.06	6	18.75	1.21
F	141.93	11.14	0.08	9	15.77	1.24
G	102.4	6.14	0.06	5	20.48	1.20
H	105.25	7.36	0.07	6	17.54	1.17
I	105.25	8.42	0.08	6	17.57	1.33
J	95	8.55	0.09	6	15.83	1.50
K	95	10.45	0.11	6	15.83	1.67
L	95	11.40	0.12	6	15.83	1.83
M	95.8	12.45	0.13	6	15.97	2.00
N	95.8	13.41	0.14	6	15.97	2.17
O	180.84	15.86	0.09	0	/	/
P	58.41	15.18	0.26	4	14.6	3.75
Q	58.41	15.77	0.27	4	14.6	4.00
R	58.41	16.93	0.29	4	14.6	4.25

## 6.2. Dimensionnement des pieux d'ancrage



$$D\varepsilon = \Delta + \left\{ \frac{\left[ 9 \times c + \gamma \times (L - \Delta) \times \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) \right] \times (L - \Delta)}{\left[ 18 \times c + 3 \times \gamma \times (L - \Delta) \times \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) \right]} \right\}$$

Si "H" est dégagée de la première équation d'équilibre et elle est introduit dans la seconde équation, une équation avec une seule inconnue, "R" est obtenue pour résoudre :

$$H \times \left( e + L - \frac{\Delta}{2} \right) = E \times \left( d\varepsilon - \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$(E - R) \times \left( e + L - \frac{\Delta}{2} \right) = E \times \left( d\varepsilon - \frac{\Delta}{2} \right)$$

Cette équation, une fois les expressions E, D y de  $d\varepsilon$  sont introduites, est reçue itérativement à partir de la longueur de fonçage supposée, L.

### Applications numériques :

#### Donnée du terrain :

- Cohésion = 0 kg / m<sup>2</sup>
- Angle de frottement = 30° (0.52 rad)
- Poids spécifique = 0.9 t / m<sup>3</sup>

#### Donnée des pieux :

Les pieux sont tous identiques c'est la profondeur du fonçage qui diffère.

- Diamètre = 508 mm
- Epaisseur = 10.3 mm
- Type d'acier = X-52
- Limite d'élasticité =  $f_y = 3600$  kg / cm<sup>2</sup>
- Résistance maximale à la traction =  $f_u = 4600$  kg / cm<sup>2</sup>

Afin de nous faciliter le travail nous allons simplifier les formules on remplaçant ce qui est connu et général pour tous les pieux, ensuite nous allons déterminer et vérifier la profondeur des pieux des 16 appontements.

$$\Delta = \frac{R}{[9 \times 0 + 3 \times 0.9 \times L \times (2.9752)] \times 0.508} = \frac{R}{4.080779 \times L}$$

$$E = \frac{9 \times 0 \times 0.508 + [9 \times 0 + 3 \times 0.9 \times (L - \Delta) \times 2.9752] \times 0.508}{2} \times (L - \Delta)$$

$$E = 2.04039 \times (L - \Delta)^2 = 2.04039 \times \left( L - \frac{R}{4.080779 \times L} \right)^2$$

$$d\varepsilon = \Delta + \left\{ \frac{[9 \times 0 + 0.9 \times (L - \Delta) \times 2.9752] \times (L - \Delta)}{[18 \times 0 + 3 \times 0.9 \times (L - \Delta) \times 2.9752]} \right\}$$

$$d\varepsilon = \frac{R}{4.080779 \times L} + \frac{(L - \frac{R}{4.080779 \times L})}{3} = \frac{2R}{4.080779 \times L} + \frac{L}{3}$$

Ensuite on remplace avec L supposé et on obtient :

$$\begin{aligned} & (2.04039 \times (L - \frac{R}{4.080779 \times L})^2 - R) \times (e + L - \frac{R}{8.161558 \times L}) \\ &= (2.04039 \times (L - \frac{R}{4.080779 \times L})^2 \times (\frac{2R}{4.080779 \times L} + \frac{L}{3} - \frac{R}{8.161558 \times L})) \end{aligned}$$

e : en fonction de la profondeur

On calcul pour H pour tous les pieux, il faut que la condition suivante soit vérifiée :

$$H_{cal}/H_{ext} = Csh > 2$$

### Résumé des résultats :

Le **Tableau V-29**, Représente le résumé des résultats des profondeurs de pieux et tous les paramètres de calcul

Tableau V-28: Résumé des résultats des profondeurs des pieux.

App	P (m) Profondeur (m)	Nm (m) Niveau marin	H (m) Hauteur entre le niveau d'eau et la fixation du pieu (m)	e (m)= (p + Nm + He) Distance du niveau d'eau au point d'application	L (m) Longueur de fonçage supposé	Lt Longueur totale	Hext (t) tire horizontal	R(t)	$\Delta$ (m)	D <sub>e</sub> (m) centre de pression	E (t)	H calculé (t)	$\frac{H_{cal}}{H_{ext}}$	Validation $\frac{H_{cal}}{H_{ext}} > 2$
B	-4.00	1.3	0.5	5.83	3.5	10.83	0.83	38.1463	1.558	3.039	40.260	2.1140	2.520	Vérifie
C	-4.00	1.3	0.5	5.83	3.5	10.83	0.90	38.1463	1.558	3.039	40.260	2.4622	2.348	Vérifie
D	-5.00	1.3	0.5	6.83	4.0	12.33	1.01	37.8424	1.546	3.030	40.486	2.6432	2.617	Vérifie
E	-5.00	1.3	0.5	6.83	4.0	12.33	1.21	37.8424	1.546	3.030	40.486	2.6432	2.184	Vérifie
F	-5.00	1.3	0.5	6.83	4.0	12.33	1.24	37.8424	1.546	3.030	40.486	2.6432	2.131	Vérifie
G	-2.50	1.3	0.5	4.33	3.5	9.33	1.20	37.6734	1.539	3.026	40.611	2.9377	2.369	Vérifie
H	-2.50	1.3	0.5	4.33	3.5	9.33	1.17	37.6734	1.539	3.026	40.611	2.9377	2.369	Vérifie
I	-2.50	1.3	0.5	4.33	4.0	9.83	1.33	37.6248	1.537	3.024	40.647	3.0225	2.272	Vérifie
J	-2.75	1.3	0.5	4.58	4.0	10.08	1.50	37.3911	1.527	3.018	40.821	3.4302	2.280	Vérifie
K	-2.75	1.3	0.5	4.58	4.0	10.08	1.67	37.9311	1.527	3.018	40.821	3.4302	2.054	Vérifie
L	-2.75	1.3	0.5	4.58	4.5	10.58	1.83	36.7004	1.499	2.999	41.338	4.6374	2.534	Vérifie
M	-3.00	1.3	0.5	4.83	4.5	10.83	2.00	36.6911	1.499	2.999	41.345	4.6537	2.326	Vérifie
N	-3.00	1.3	0.5	4.83	4.5	10.83	2.17	36.6911	1.499	2.999	41.345	4.6537	2.144	Vérifie
P	-3.50	1.3	0.5	5.33	6.0	12.83	3.75	34.1537	1.395	2.930	43.270	9.1167	2.431	Vérifie
Q	-3.50	1.3	0.5	5.33	6.0	12.83	4.00	34.1537	1.395	2.930	43.270	9.1167	2.279	Vérifie
R	-3.75	1.3	0.5	5.58	6.0	13.08	4.25	34.2801	1.400	2.934	43.170	8.8851	2.090	Vérifie

## V.6 Vérification structurale du pieu

La vérification structurale du pieu a deux parties différentes :

- La résistance de la coupe face à la flexion simple dérivée de l'effort tranchant produit par la force horizontale et le moment maximal sur la partie enterrée du pieu seront vérifiés.
- le déplacement du pieu en tête sera vérifié.

### V.6.1 Vérification de la coupe à flexion simple :

La vérification structurale du pieu est faite selon les normes techniques UNE (équivalent espagnol à la norme CEN, Comité Européen de Normalisation -EN 1993-1-1.

La coupe la plus défavorable est vérifiée à flexion plus défavorable, compte tenu de sa partie enterrée. Une fois les sollicitations de calcul déterminées, il est vérifié premièrement que L'effort tranchant de calcul  $V_{Ed}$  soit plus petit que la résistance des coupes à tranchant,  $V_c$ , qui, en absence de torsion, sera égale à la résistance plastique :

$$V_{pl, Rd} = A_v' \times \frac{F_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Avec :  $A_v = 2 \times (A/\pi)$  pour des coupes circulaires creuses.

En plus, si l'effort tranchant de calcul est plus grand que la moitié de la résistance de la coupe à tranchant, le moment de flexion de calcul sera vérifié face au moment résistant obtenu selon:

$$M_V = W_{pl} (1 - \rho) \times f_{yd}$$

#### ➤ Résumé des résultats de la vérification des pieux à la flexion simple

Re (m) : Rayon extérieur.  $Re = 0.256m$ .

E(mm) : Epaisseur.  $E = 10.3mm$ .

Ri (m) : Rayon intérieur.  $Ri = 0.2437$ .

$I_x$  (m<sup>4</sup>) : Moment d'inertie.  $I_x = 4.99 \times 10^{-4} m^4$ .

(m<sup>3</sup>) : Moment élastique.  $W_{el} = 0,00196 m^3$ .

$W_{pl}$ (m<sup>3</sup>) : Moment plastique.  $W_{pl} = 0,002551 m^3$ .

$\varepsilon$  : Facteur de réduction.  $\varepsilon = 0.8079$ .

Ra (kg/m<sup>2</sup>) : Résistance de calcul de l'acier.  $Ra = 34,28 \times 10^{-6} kg/m^2$ .

$V_{ed}$  (Kg) : effort tranchant de calcul

e (m) : Le point d'application

$$\text{Vérification 01 : } \frac{V_{ed}}{V_{pl, rd}} < 50\%$$

$$\text{Vérification 02 : } C_{se} = \frac{M_{v, Rd}}{M_d} > 1$$

### V.7 Le déplacement du pieu en tête :

Le déplacement en tête du pieu est calculé en le considérant comme une poutre encastrée. L'expression du déplacement en tête est donnée par la formule suivante :

$$dx = \frac{H L^3}{E I_x}$$

- H (Kg) : le tir horizontal.
- L (m) : Longueur des pieux (non encastré).
- E (kg/m<sup>2</sup>) : Module d'élasticité.
- I<sub>x</sub> (m<sup>4</sup>) : Moment d'inertie.

En général, des déplacements relatifs de l'ordre L / 50 sont acceptables étant donné que la seule limitation fonctionnelle existante est l'entretien de la verticalité pour que les bagues puissent glisser correctement sur les pieux.

#### ➤ Résumé des résultats de vérification des déplacements en tête des pieux

H (kg) : Tir horizontal.

L (m) : Longueur des pieux (non encastré)

E (GPa) : Module d'élasticité (acier)

I<sub>x</sub>(m<sup>4</sup>) : Moment d'inertie.  $I_x = \frac{\pi}{4} (R_e^4 - R_i^4)$

dx (m) déplacement en tête

L/50 (m) : déplacements relatifs

Les vérifications à la flexion simple sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-29: Résumé de la vérification des pieux à la flexion simple.

App	$\varepsilon$	Ra (kg/m <sup>2</sup> )	A <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>pl,Rd</sub>	M <sub>V</sub>	Ved (Kg)	e (m)	Md (kg/m)	Vérification 01	Vérification 02	Validation
B	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	830	5.83	4838.9	0.008	18.08	Vérifie
C	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	900	5.83	5247	0.009	16.67	Vérifie
D	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1010	6.83	6898.3	0.010	12.68	Vérifie
E	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1210	6.83	8264.3	0.012	10.59	Vérifie
F	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1240	6.83	8469.2	0.012	10.33	Vérifie
G	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1200	4.33	5196	0.012	16.84	Vérifie
H	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1170	4.33	5066.1	0.011	17.27	Vérifie
I	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1330	4.33	5758.9	0.013	15.19	Vérifie
J	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1500	4.58	6870	0.015	12.73	Vérifie
K	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1670	4.58	7648.6	0.016	11.44	Vérifie
L	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	1830	4.58	8381.4	0.018	10.44	Vérifie
M	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	2000	4.83	9660	0.020	9.06	Vérifie
N	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	2170	4.83	10481.1	0.021	8.35	Vérifie
P	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	3750	5.33	19987.5	0.037	4.38	Vérifie
Q	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	4000	5.33	21320	0.039	4.10	Vérifie
R	0.8079	34,28×10 <sup>-6</sup>	0.00518	102537.4	87487.84	4250	5.58	23715	0.041	3.69	Vérifie

Les résultats du déplacement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-30 : Résumé des résultats de vérification des déplacements en tête des pieux.

Appontement	H (kg)	L (m)	E (GPa)	$I_x (m^4)$	Le(m)	dx (m)	L/50 (m)
B	830	7.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	5.131	0.011	0.146
C	900	7.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	5.131	0.012	0.146
D	1010	8.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	5.831	0.019	0.166
E	1210	8.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	5.831	0.023	0.166
F	1240	8.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	5.831	0.023	0.166
G	1200	5.83	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.081	0.008	0.116
H	1170	5.83	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.081	0.008	0.116
I	1330	5.83	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.081	0.009	0.116
J	1500	6.08	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.256	0.011	0.121
K	1670	6.08	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.256	0.012	0.121
L	1830	6.08	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.256	0.013	0.121
M	2000	6.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.431	0.017	0.126
N	2170	6.33	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.431	0.018	0.126
P	3750	6.83	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.781	0.039	0.136
Q	4000	6.83	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.781	0.042	0.136
R	4250	7.08	210	$4.99 \times 10^{-4}$	4.956	0.049	0.141

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons d'abord affiché tous les ouvrages qui ont pour fonction la protection et la gestion du trait de côte. Et après nous avons projeté des ouvrages qui sont techniquement faisables, mais aussi économiquement réalisables.

La majorité des formules utilisées sont obtenus de résultats d'expériences en laboratoire à partir d'essais sur modèles réduits avec une analyse de sensibilité pour comparer entre les formules. On a utilisé la formule d'HUDSON car elle est adéquate au type de donnée que nous avons pu avoir. Le prédimensionnement des ouvrages se fait sur plusieurs critères notamment l'interaction entre la houle et l'ouvrage, où se produisent des phénomènes physiques tels que la diffraction, réflexion et autres phénomènes de transformation.

Puisqu'on a dimensionné, il est impératif de projeter les ouvrages sur modèle réduit pour remarquer visuellement les phénomènes et corriger les erreurs. Maintenant que le dimensionnement est fait et que la variante est choisie, on passe vers la phase finale, c'est-à-dire à préparer l'organisation de chantier, et c'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.

---

## **Chapitre VI : Etude d'aménagement**

---

## Introduction

Le style du port projeté est envisagé sur la base d'un design esthétique, paysagiste et de bas impact et intrusion visuelle. Dans cette idée, les travaux extérieurs d'abri sont projetés en bas de cote de couronnement et peuvent être dépassés dans des situations d'orages extrêmes. La digue d'alignement courbe, ainsi que la contre-digue, permettent un accouplement avec la baie, ce qui donne à l'installation une parenté avec l'environnement le plus adéquat avec le lieu de la réalisation. Et les éléments intérieurs telle que les quai et appontement servent comme support des éléments constituant du port intérieur

Dans ce présent chapitre nous allons faire une étude d'aménagement qui sera basée sur les résultats des reconnaissances générales topographiques, bathymétriques et étude géotechnique et bien évidemment le Prédimensionnement de la variante choisie, qui sont énoncés dans le chapitre précédent Qui nous permet d'étudier les critères de conception du port avec sa capacité d'accueil,

### VI.1 Critères de conception

D'un point de vue fonctionnelle des futurs usagers du port, la distribution de la surface de terre pour l'usage commercial se place adossés au quai de rive, en offrant une image propre et sans obstacles de la nappe d'eau, et séparé de la zone de la cale de halage, qui reste placée dans le départ de la digue. Ainsi, les bâtiments propres de l'administration du port, et les autres services seront placés à côté de la contre-digue.

L'objectif est de définir les paramètres à tenir en compte dans la conception du plan de l'ouvrage conformément à la législation en vigueur, règlements et recommandations.

Les exigences des tirants d'eau et hauteur des quais et darses sont décrites, ainsi que leur longueur. la largeur nécessaire pour l'embarcation qui feront usage de la darse. De même, les dimensions des zones de manœuvre sont définies, ainsi que la largeur des voies de navigation, en tenant compte de la disponibilité de la place nécessaire pour garantir la manœuvrabilité des bateaux dans la zone abritée, ainsi que le passage à travers l'embouchure. En plus, il a été essayé à tout moment de regrouper les embarcations avec les mêmes caractéristiques (longueurs).

#### ✓ Capacité du port :

Une fois étudiées les caractéristiques des ports de plaisance similaires placés en Méditerranée, il peut être conclu que :

- La majorité des ports de plaisance méditerranéens possèdent des capacités de 200 à 800 places ;
- Les ports de plus de 1000 places sont des pôles extrêmement touristiques (Antibes, Marseille) et restent relativement rares ;
- La plupart des ports qui bénéficient d'un certain agrément touristique sans faire partie des grands axes de plaisance comportent de 500 à 800 places.

Lorsqu'on s'intéresse plus particulièrement à quelques marinas à vocation comparable à celle de la Marina Baie D'Alger, elles comportent toutes de 400 à 7001 places, ce qui semble être un objectif raisonnable pour la marina baie d'Alger dans un premier temps. De plus, il apparaît au regard de l'analyse du port d'Hammamet (Tunisie) qu'il convient de réserver 80% des places du port aux petites unités (moins de 10m), et 20% aux grandes unités (jusqu'à 30 m). **Figure VI-1**



Figure VI-1 : Plan de la marina et distribution des amarrages. (BTP, 2016)

Par conséquent, la capacité choisie pour la Marina Baie d'Alger est de 705 embarcations d'entre 8 et 70 mètres de longueurs, et avec une distribution où 72.7% des bateaux dont la longueur est inférieure à 15m, distribués comme indiqué ci-dessous :

Selon **Tableau VI-1** tous les amarrages prévus y tiennent, 18 appontements flottants s'installent, d'une longueur comprise entre 33 m et 142 m, où les embarcations d'une longueur comprise entre 8 m et 18 m puissent bien s'amarrer. Les embarcations d'une longueur supérieure ont leur amarrage dans les quais Quai B (longueurs entre 30m et 60m) et Quai F (longueurs entre 60m et 70m).

**Tableau VI-1 : Caractéristiques des embarcations. (BTP)**

Longueur (m)	Nbr Unité	Longueur perpendiculaire (m)	LPP	Largueur B(m)	Tirant d'eau (m)	D	Section transversale (m2)	AT	Section longitudinal AL(m2)
8	146	6.6		3.1	1.5		5		16
10	155	8.5		3.6	1.6		7		22
12	212	10		4	1.9		11		29
15	99	12.5		5	2.2		12		45
18	43	15.2		5.5	2.4		22		64
20	18	17		6	2.7		24		76
25	8	21.2		6.9	2.7		30		95
30	6	25		8	2.9		45		120
35	4	29.8		8.9	3		54		167
40	4	34		10	3		78		213
45	2	39		11	3.3		85		264
50	2	43		12	3.5		90		285
55	1	47		12.7	3.5		133.6		355.7
60	4	51		14	3.5		160.4		413.6
68	0	65		114.1	3.3		218		518
70	1	60		15	3.8		222.1		542.1

## VI.2 Ouverture maritime

### VI.2.1 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 qu'ils reçoivent.

### VI.2.2 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'atteindre un tirant d'eau légèrement supérieur à 5m. La longueur totale de la contre-digue est de 283,43m, elle est divisée.

## VI.3 Dimensionnement de l'embouchure

L'orientation de l'embouchure doit être étudiée conformément aux plans de houle, afin d'éviter la propagation de la houle à l'intérieur, plus elle sera étroite, meilleures seront les conditions qu'offrira le port par rapport aux conditions de remuement à son intérieur.

Il y a plusieurs critères pour dimensionner la largeur de l'embouchure, selon le ROM 3.1-99, cette largeur doit être suffisante pour inscrire un chenal principal de navigation, il est recommandé aussi que la largeur nominale de l'embouchure du port soit égale ou supérieure de la 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.

## VI.4 La surface de la lame d'eau et la surface des services à terre

Il existe différents standards pour la détermination de la valeur minimale de la surface de la lame d'eau, ainsi que pour la détermination de la relation entre la surface de la lame d'eau et la surface des services à terre. Citons quelques exemples :

- ✓ Régulations and Design Guidelines for Marinas and Small Craft Harbours,(United Arab Emirates, Dubaï, 2007): ce standard prescrit une surface minimale d'eau de 10.000 m<sup>2</sup> pour chaque 50 embarcations, donc pour ce cas, avec une flotte de 705 bateaux, il faudra au moins 141,000 m<sup>2</sup>.
- ✓ Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), la formulation suivante est employée :
 
$$S_a = 3.2 \times N \times M \times E$$
  - $S_a$  : Surface du miroir d'eau, m<sup>2</sup>
  - $N$  : Nombre d'embarcations : 705
  - $M$  : Largeur du bateau moyen : 4,5 m.
  - $E$  : Longueur du bateau moyen, 13 m.

On obtient une valeur de 131.976 m<sup>2</sup> pour la lame d'eau.

Pour la détermination de la zone de terre, les différents règlements donnent des valeurs très variables qui se trouvent dans une fourchette d'entre 50-80% de la surface de la lame d'eau.

On ce qui concerne notre conception on a un miroir d'eau de 148.664 mètres carrés, avec une surface de terre d'environ 104.251 m<sup>2</sup>, ce qui est tout à fait acceptable par les règlements car la

surface de la lame d'eau (148.664 m<sup>2</sup>) est supérieure à 141,000 m<sup>2</sup> et 131.976 m<sup>2</sup> et la surface de service à terre (104.251 m<sup>2</sup>) représente environs ( $\approx 70,1\%$ ) de la surface de la lame d'eau.

## VI.5 Voies de navigation

### VI.5.1 Chenal principal et secondaire

Pour le dimensionnement des chenaux de navigation, les critères définis par Del Moral dans le manuel Manual de Puertos (1980) seront adoptés :

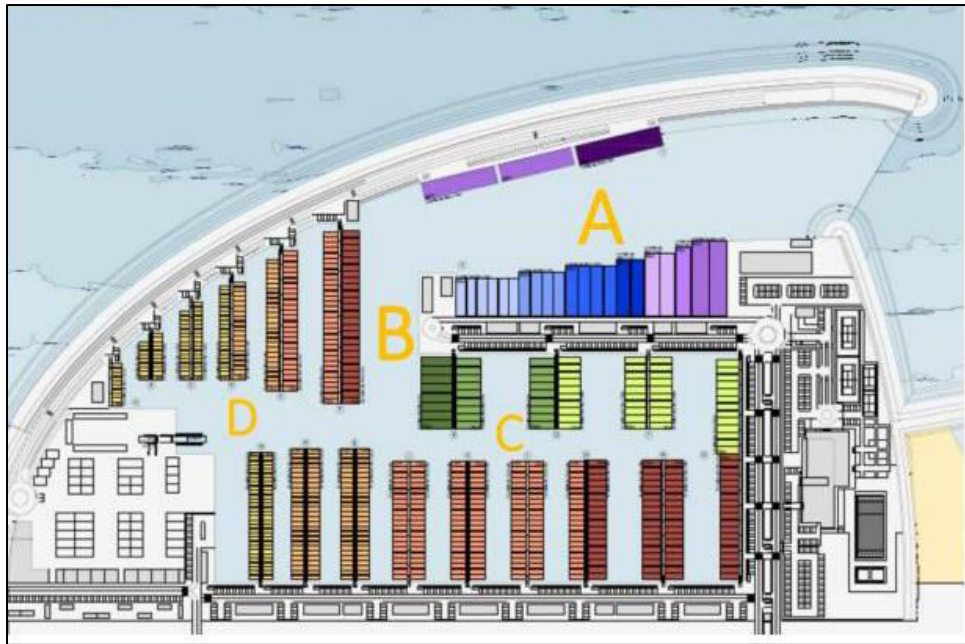
- ✓ Voie principale : Sa largeur doit permettre trois voies de navigation, chacune d'elles d'une largeur minimale 2 fois la largeur du bateau maximum qui l'utilise plus de 2 m de marge de chaque côté. Le bateau type pour ce dimensionnement est de 25 m de longueur.
- ✓ Branches secondaires : Il y a deux voies de navigation pour permettre des manœuvres de croisement ou dépassement des bateaux, avec une largeur minimale de 2 fois la largeur du bateau qui l'utilise, plus 1 m de marge de chaque côté.

À partir des considérations exposées précédemment, les largeurs nécessaires pour la navigation de chacune des embarcations qui accosteront aux installations projetées sont obtenues dans **Tableau VI-2**

**Tableau VI-2: Définition des largeurs minimales de voies de navigation en fonction de la longueur (BTP)**

Longueur (m)	Largeur (m)	Chenal principal	Chenal secondaire
8	3.1	30.6	16.4
10	3.13.6	33.6	18.4
12	4.4	38.4	21.4
15	5	42	24
18	5	45.6	26.4
20	6	48	28
25	6.9	53.4	31.6
30	8	60	36
35	8.9	65.4	39.6
40	10	72	44
45	11	78	48
50	12	84	52
55	12.7	88.2	54.8
60	14	96	60
68	14.1	96.6	60.4
70	15	102	64

Dans la darse, quatre voies de navigation peuvent être distinguées en fonction de leur usage, elles sont montrées dans la **Figure VI-2** et **Tableau VI-3**



**Figure VI-2 : Triage des voies de navigation. (BTP)**

Tableau VI-3 : Triage des voies de navigation. (BTP)

Nombre	Type de voie de navigation	Longueur embarcation type (m)	Largeur minimale (m)	Largeur disposée (m)
A	Principale	25	53.4	58.69
B	Secondaire	25	31.6	47.81
C	Secondaire	20	26.4	26.40
D	Secondaire	12	21.6	36.25

### VI.5.2 Canal d'accès aux amarrages

Afin de déterminer la largeur minimale du canal d'accès aux amarrages, le système d'amarrage d'accostage en pointe est désigné. Pour cette condition requise, la spécification établie à la R.O.M. 3.1-99 est adoptée, selon laquelle la largeur doit être égal à  $1.75 * L$  pour des bateaux design avec une longueur totale (L) qui ne dépasse pas 12 mètres et  $2.00 * L$  pour des bateaux avec une longueur supérieure aux 12.00 mètres. Voir **Tableau VI-4**

Tableau VI-4 : Définition des largeurs minimales de canaux d'accès à amarrage en fonction de la longueur.

Longueur (m)	Largeur minimale (m)	Largeur disposée (m)
8	14	14.0
10	17.05	17.5
12	21	21.0
15	30	30.0
18	36	36.0
20	40	40.0
25	50	50.0

## VI.6 Largeur et longueur des appontements

Les longueurs des quais seront déterminées en fonction des dimensions maximales des bateaux prévus d'opérer dans des différents postes d'amarrage, en laissant une marge à chaque côté du bateau.

Les embarcations de longueur supérieure ou égale à 25 mètres par pointe en quai. Les restes des embarcations seront amarrés dans des appontements flottants.

Selon la ROM 3.1-99 et focalisant dans les conditions de la géométrie en plan qui a été définie pour le projet, les recommandations suivantes seront suivies :

- **Longueur des appontements**

Puisque les embarcations sont amarrées par pointe, la longueur des appontements est définie en fonction du nombre de bateaux prévus pour accoster, étant leur largeur celle qui détermine la longueur totale de la jetée nécessaire pour chaque accostage, ce qui fait que la R.O.M 3.1-99 n'établit pas une recommandation spécifique pour ce type d'accostage, et pour embarcations de moins de 20 mètres de longueur on prévoit une marge de 0.30 à 0.50 m de chaque côté de l'embarcation. (ROM 2.0-08). Pour ce projet, une séparation de 0,30 m a été choisie.

Selon les indications de la R.O.M 3.1-99, la largeur des appontements recommandée, dans l'hypothèse où la circulation des véhicules ne soit pas permise, sera comprise entre 1,20 m et 2,50 m en fonction de la taille des bateaux et du nombre de jetées d'accostage dans chaque jetée principale ; dans l'hypothèse où la circulation de véhicules légers est admise, une largeur adéquate à leurs Caractéristiques avec une valeur minimale de 2,50 m sera adoptée. À cet égard, aussi bien Régulations and Design Guidelines for Marinas and Small Craft Harbours (Civil Engineering Department, Dubaï, United Arab Emirates, 2007) que Guidelines for design of marinas (Australian Standard AS 3962-2001), établissent en tant que critère :

- Longueur de la jetée < 100 m. Largeur > 1.5 m
- Longueur de la jetée de 100 à 200 m. Largeur > 1.8 m
- Longueur de la jetée > 200 m. Largeur > 2.4 m

Pour des appontements en dessous de 100 m comme celles de notre projet sans prévision d'accès à des véhicules légers, des largeurs d'au moins 1,5 m seraient admissibles.

## VI.7 Zone de manœuvre

Le dimensionnement de ces zones dépend notamment de la taille, dimensions et caractéristiques des bateaux les plus défavorables prévus d'accéder à ces zones, le climat maritime existant dans la zone, la disponibilité ou non des remorqueurs et de leurs caractéristiques, etc...

Dans notre cas l'aide de remorqueurs n'est pas nécessaire vue que la taille des embarcations prévues dans un port de plaisance n'est pas importante.

La zone de manœuvre est un cercle de rayon «  $R_{sr}$  » comme le montre la figure 8.32 de la ROM 3.1-99 ci-jointe. Ce rayon sera calculé par l'expression :

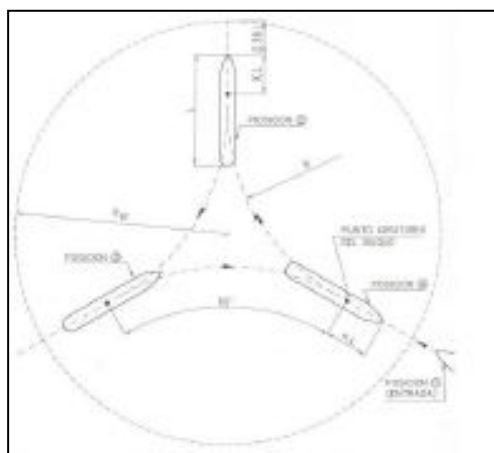


Figure VI-3: zone de manœuvre (BTP)

$$Rsr = R \times tg(30) + K \times L + 0.35 \times L \quad (\text{VI-1})$$

**L**= Longueur de l'embarcation.

**R** = Rayon minimum de la trajectoire du bateau en marche avant ou arrière, il est en fonction de la profondeur de l'eau et le tirant d'eau du bateau dans notre cas on le prend

$R = 5.Lpp$  avec  $Lpp$  la longueur entre perpendiculaires.

**K** = Distance du point pivotant à la poupe du bateau (ou à la proue si elle est plus grande), exprimée en fraction de la longueur totale du bateau ( $L$ ). Pour des embarcations Sportives et de loisir  $K = 1$  Lorsque tous ces paramètres sont saisis dans la formule précédente, les rayons de manœuvre sont montrés dans le **Tableau VI-5**

**Tableau VI-5 : Rayons de manœuvre en fonction de la longueur. (BTP).**

Longueur (m)	Lpp (m)	Rsr (m)
8	6.6	29.85
10	8.5	38.04
12	10	45.07
15	12.5	56.33
18	15.2	68.18
20	17	76.07
25	21.2	94.94
30	25	112.66
35	29.8	133.27
40	34	152.14
45	39	173.33
50	43	191.63
55	47	209.92
60	51	228.22
68	65	279.43
70	60	267.70

Vue les résultats importants du rayon du cercle de manœuvre pour les embarcations du projet, ainsi que les dimensions du port de plaisance, il a été choisi de déplacer la zone de manœuvre vers l'extérieur de l'enceinte portuaire, avec le but de maximiser le profit de la lame d'eau protégée, comme il se fait généralement dans la conception de ports de plaisance.

### VI.8 Profondeur d'eau nécessaire aux pieds des quais

La distribution des postes d'amarrage conçue, où les bateaux de plus grande dimension sont placés dans les côtés du canal principal, dans la zone où le tirant d'eau naturel de la nappe protégée est plus grand, aide à minimiser la dimension des travaux nécessaires pour la dotation de tirant d'eau du port.

Cependant, selon les nécessités minimales de tirant d'eau établies par le règlement, dans la moitié interne de la darse, la réalisation de travaux de dragage est nécessaire puisque la profondeur naturelle varie entre 0 et 3 m.

### VI.9 Dragage

La distribution des postes d'amarrage conçue, où les bateaux de plus grande dimension sont placés dans les côtés du canal principal, dans la zone où le tirant d'eau naturel de la nappe protégée est plus grand, ce qui aide à minimiser la dimension des travaux nécessaires pour la dotation de tirant d'eau du port nécessaire. Cependant, selon les nécessités minimales de tirant

d'eau établies par le règlement, dans la moitié interne de la darse, la réalisation de travaux de dragage est nécessaire car la profondeur naturelle varie entre 0 et 3 m. **Tableau VI-6**

**Tableau VI-6 : Tirant d'eau nécessaire par longueurs des bateaux. (BTP)**

Longueur ( m )	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
ha (m)	2.34	2.43	2.78	3.06	3.22	3.59	3.59	3.9	3.94	4.94	4.22	4.43	4.43	4.43	4.74

Les dragages seront effectués de manière à ce que les profondeurs minimales exigées dans toutes les zones du bassin soient obtenues, conformément aux documents du projet et aux indications de la Direction des Travaux. En vue des sondages effectués, il est prévu que le matériau à draguer soit formé par des sables lâches sur toute l'épaisseur à draguer.



**Figure VI-4 : Profondeur existante et profondeur suite au dragage. (BTP)**

### Conclusion

Après avoir dimensionné les différents ouvrages intérieurs et extérieurs du projet l'étude d'aménagement vient compléter l'étude et lier entre ses ouvrages afin d'avoir un bon fonctionnement et voir si la variante répond au but et objectif de notre étude.

Et selon cette étude la marine Bay d'Alger répond parfaitement au but et objective établie au préalable ou cette étude nous a permis d'organiser le plan d'eau pour pouvoir accueillir 1000 unités et assuré son déplacement en toute sécurité.

---

**Chapitre VII : L'Etude d'impact  
environnemental (l'E.I.E.)**

---

## **Introduction**

L'étude d'impact environnemental, a pour but d'intégrer le projet de la marina dans les meilleures conditions possibles et sans pour autant avoir un impact néfaste sur l'environnement, la société et l'économie. Ainsi, sert à orienter les choix d'aménagement en fonction des contraintes du milieu et des caractéristiques générales de notre projet. Elle va éclairer le décideur sur le sens de la décision à prendre et informer le public sur les incidences du projet sur l'environnement.

Ce chapitre fait la synthèse de l'étude sous des enjeux juridiques environnementaux et socio-économiques.

### **VII.1 Cadre juridique et institutionnel**

L'étude d'impact est réalisée conformément à la législation Algérienne en vigueur c'est-à-dire la loi n° 03-10, du 19 Joumada El Oula 1424, correspondant au 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Article 1er. — La présente loi a pour objet de définir les règles de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Art. 15. — Les projets de développement, infrastructures, installations fixes, usines et autres ouvrages d'art et tous travaux et programmes de construction et d'aménagement, qui par leurs incidences directes ou indirectes, immédiates ou lointaines sur l'environnement et notamment sur les espèces, les ressources, les milieux et espaces naturels, les équilibres écologiques ainsi que sur le cadre et la qualité de la vie, sont soumis au préalable, selon le cas, à une étude d'impact ou à une notice d'impact sur l'environnement.

Les modalités d'application de cet article sont précisées par voie réglementaire.

Art. 16. — Le contenu de l'étude d'impact est déterminé par voie réglementaire et comprend au minimum :

- Un exposé de l'activité envisagée ;
- Une description de l'état initial du site et de son environnement qui risque d'être affectés par l'activité envisagée ;
- Une description de l'impact potentiel sur l'environnement et sur la santé humaine de l'activité envisagée et des solutions de remplacement proposées ;
- Un exposé des effets sur le patrimoine culturel de l'activité envisagée et de ces incidences sur les conditions socio-économiques ;
- Un exposé des mesures d'atténuation permettant de réduire, supprimer et si possible, compenser les effets nocifs sur l'environnement et la santé.
- Sont également déterminés par voie réglementaire :
- Les conditions dans lesquelles l'étude d'impact est rendue publique ;
- Le contenu de la notice d'impact ;
- La liste des ouvrages qui, en raison de l'importance de leur impact sur l'environnement sont soumis à la procédure de l'étude d'impact ;
- La liste des ouvrages qui en raison de leur faible impact sur l'environnement sont soumis à la procédure de la notice d'impact.

### **Des prescriptions de protection environnementale**

Art. 39. — La présente loi institue les prescriptions de protection :

- De la diversité biologique ;
- De l'air et de l'atmosphère ;

- De l'eau et des milieux aquatiques ;
- De la terre et du sous-sol ;
- Des milieux désertiques ;
- Du cadre de vie.

### **Protection de la mer**

Art. 52. — Nonobstant les dispositions législatives en vigueur relatives à la protection de l'environnement marin, sont interdits le déversement, l'immersion et l'incinération dans les eaux maritimes sous juridiction algérienne, de substances et matières susceptibles :

- De porter atteinte à la santé publique et aux écosystèmes marins ;
- De nuire aux activités maritimes, y compris la navigation, l'aquaculture et la pêche ;
- D'altérer la qualité des eaux maritimes du point de vue de leur utilisation ;
- De dégrader les valeurs d'agrément de la mer et des zones côtières et de porter atteinte à leur potentiel touristique.

La liste des substances et matières visées dans cet article est précisées par voie réglementaire.

## **VII.2 Données générales de l'ouvrage**

### **Identification de l'ouvrage :**

- Nom de l'ouvrage : Marina Bay d'Alger.
- Adresse : Pins Maritimes - Mohammedia -16211 – Alger.
- Raison sociale : Touristique.
- Promoteurs : Dahli SPA.
- Expérience : le tourisme et les installations hôtelières.
- Bureau d'étude : Laboratoire des études maritimes, LEM.
- Expérience : les études des ouvrages et infrastructures maritimes.

### **Emplacement de l'ouvrage :**

Le port de plaisance Marina Bay d'Alger est placé dans le centre de gravité de la Baie d'Alger, à peu de kilomètres de la capitale du pays, à côté de l'hôtel Hilton et du Palais d'Expositions.

## **VII.3 Impacts sur le paysage**

Le style du port projeté est envisagé sur la base d'un design esthétique, paysagiste et de bas impact et intrusion visuelle. Dans cette idée, les travaux extérieurs d'abri sont projetés en bas cote de couronnement et peuvent être dépassés dans des situations d'orages extrêmes. La digue d'alignement courbe, ainsi que la contre-digue, permettent un accouplement avec la baie, ce qui donne à l'installation une parenté avec l'environnement le plus adéquat avec le lieu de la réalisation.

## **VII.4 Milieu physique**

Cette partie traite les données physiques collectées dans le chapitre précédent qui incluent : la climatologie (précipitation, température et vent), marées, houle extérieure, courant et dérive littoral, géologie, géomorphologie, géotechnique, géophysique, sismologie tsunamis, topographie et bathymétrie hydrologie, hydrogéologie du site et hydrodynamique sédimentaire

## **VII.5 Milieu naturel**

Le résultat de cette étude nous a permis de conclure :

### **a. Impact sur la faune et la flore**

Autrefois couvrant une large frange côtière de la wilaya d'Alger sur les fonds meubles situés entre 1 et 35 mètres de profondeur, la flore sous-marine de la wilaya a connu une régression importante sous l'effet conjugué des pollutions marines et des aménagements côtiers avec leur corollaire la modification du transit sédimentaire. La flore de la baie d'Alger a perdu au cours de ces 40 dernières années 80 % de leur surface originelle réduisant ainsi la production biologique de l'écosystème côtier algérois, notamment avec des implications négatives à moyen et long terme sur les activités halieutiques. En ce qui concerne la marina, elle a été équipée de plusieurs dispositifs afin de réduire au maximum son impact sur tout ce qui touche à l'aspect naturel tel que des aspirateurs d'huile de bateaux etc...

### **b. Qualité du milieu marin**

Le degré de pollution des sédiments a été estimé par rapport aux recommandations Algériennes. Les concentrations en métaux lourds des sédiments sont, d'une manière générale, hétérogènes et varient selon le métal. Nos résultats restent en dessous des recommandations Algériennes. Pour les hydrocarbures totaux, les concentrations sont pratiquement homogènes dans le site d'étude avec des teneurs toujours inférieures aux recommandations Algériennes. Le niveau de pollution des sédiments par la matière organique est relativement faible au niveau de la zone d'étude. Nous pouvons retenir que la pollution des sédiments n'est pas alarmante étant donné qu'aucun échantillon de sédiment ne révèle une concentration en polluant supérieure aux recommandations Algériennes. Au vu de ces résultats d'analyses chimiques des sédiments de dragage, nous pouvons en disposer librement suivant l'utilisation la plus adéquate de ces derniers, dans le cas de « Marina Bay », les sédiments issus du dragage seront utilisés comme remblais des nouveaux terre-pleins.

## **VII.6 Milieu humain**

### **a. Impact sur l'emploi**

D'un point de vue socio-économique, le projet marina bay d'Alger va créer de nouveaux postes de travail directs, lié à la gestion et au fonctionnement de la nouvelle structure, ainsi que de nouvelles opportunités génératrices de revenus notamment à travers des emplois indirects ou aussi des emplois temporaires de main d'œuvre de chantier, ce qui aura des répercussions positives.

### **b. Impact sur l'économie locale**

L'impact lié à l'activité économique locale est jugé très positif, la mise en place de la marina induira la création d'emplois directs et la mise en valeur des potentialités locales, tels que la restauration, hôtellerie, activités sportives et de loisir, commerce et services etc...

### **c. Impact sur la santé et la sécurité**

Lors de la mise en œuvre, des équipements de protection nécessaires sont tous prévus, ainsi les ouvriers sont protégés de tout ce qui peut constituer un danger pour eux, une signalisation et une surveillance adéquate des lieux permettront d'assurer la sécurité de la population, tous les codes, les normes et des règlements relatifs à la santé et à la sécurité du travail sont respectés pour l'ensemble du projet est une mesure qui permet de réduire les risques d'accidents.

## **VII.7 Identification des déchets générés par l'ouvrage et prévision des opérations de réutilisation**

Les déchets générés par l'ouvrage sont ceux indiqués ci-dessous (classés conformément au Code Européen de Déchets établi à l'Ordre Ministériel MAM/304/2002)

Les matériaux qui ne dépassent pas 1m<sup>3</sup> ne sont pas pris en compte puis qu'ils ne s'avèrent pas dangereux, c'est-à-dire, ils n'ont pas besoin d'un traitement spécial.

### **a. Déchets de construction et de démolition : Niveau I (Déchets de nature pierreuse)**

Consistant déchets de sable et d'argile, terres et cailloux de l'excavation, Béton, Briques, carrelages et d'autres matériaux céramiques. S'ils ne sont pas utilisés pour remblai dans le chantier ils seront transportés soit à une décharge ou Usine de recyclage déchets de construction et de démolition

### **b. Déchets de construction et de démolition : Niveau II (Déchets de nature non pierreuse)**

Consistent l'asphalte, Mélanges bitumineux contenant du goudron, Goudron et produits goudronnés

### **c. Plastique, Bois, Métaux, Verre et Papier**

Ce sont des déchets non dangereux donc ils seront recyclés par un récupérateur agréé de déchets non dangereux.

### **d. Déchets potentiellement dangereux et autres**

#### ➤ Ordures : Déchets biodégradables

Déchets municipaux en mélange

#### ➤ Potentiellement dangereux et autres

- Mélanges ou fractions séparées de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses
- Matériaux d'isolation autres que ceux visés aux rubriques
- Absorbants, matériaux filtrants (y compris les filtres à huile non spécifiés ailleurs), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses
- Piles alcalines (sauf rubrique 16 06 03)
- Piles contenant du mercure
- Emballages contenant des résidus de substances dangereuses ou contaminés par de tels résidus
- Déchets de peintures et vernis contenant des solvants organiques ou d'autres substances dangereuses
- Autres solvants et mélanges de solvants
- Autres combustibles

Ces déchets subiront des traitements différents, ils auront été recyclé ou traité ensuite déversé d'une manière sécurisée.

### **e. Recyclage et récupération**

Dans la mesure du possible, les déchets générés (par exemple les terres excavées des travaux) seront utilisés et recyclés dans cet ouvrage (remplissages) ou sur un autre ouvrage, même si l'efficacité finale dépendra de la capacité de séparation des déchets récupérables des autres déchets du processus, de leur pollution, de la concentration du matériau récupérable, etc...

## f. Les réseaux installés

### ➤ Réseau d'approvisionnement en eau

Un réseau d'eau avec tuyauterie en polyéthylène de haute densité entre 20 et 200 mm est projeté. Le réseau montre la distribution du réseau d'approvisionnement en eau potable et contre l'incendie, en indiquant le diamètre de la tuyauterie pour chaque cas, ainsi que l'emplacement des raccords et regards de visite pour robinet d'arrêt.

### ➤ Réseau d'assainissement d'eaux usées

Le réseau d'assainissement a été projeté comme un système séparatif, en rendant indépendant les eaux pluviales des eaux usées, avec les caractéristiques et conditions techniques définies sur les plans et dans le cahier de conditions techniques. Après les calculs pour le dimensionnement des tuyauteries de réseaux des eaux usées, un réseau d'assainissement a été prévu, composé par des canalisations formées par tuyauteries en polyéthylène haute densité (PEAD) ondulé de 400 mm et 630 mm de diamètre.

### ➤ VRD (Voiries et Réseaux Divers)

Les VRD désignent tous les travaux et ouvrages en rapport avec la voirie et les réseaux divers dans le cadre de la réalisation de travaux d'aménagement. Ils concernent autant la viabilisation de terrains privés afin de pouvoir y réaliser des travaux publics par les collectivités. C'est pourquoi les interventions qui relèvent des voiries et réseaux divers sont très larges.

## VII.8 Le suivi et la surveillance continue

L'étude d'impact sur l'environnement sera couronnée par la mise en place d'un programme de suivi et de surveillance environnemental, faisant foi d'un cahier de charges environnementales dont les clauses doivent être respectées par le maître d'ouvrage dès la phase étude et qui veillera à leur application par l'entreprise chargée de la réalisation des travaux et aussi pendant l'exploitation de l'ouvrage à la fin de sa réalisation.

### → Durant l'étude de projet :

Cela concerne tout ce qui est en rapport avec la phase étude du projet à savoir les études techniques d'ingénierie et de conception, le bon choix de site, étude sur modèles réduits de la stabilité des ouvrages de protection, essais sur canal etc...

### → Durant la période de construction :

Contrôle des équipements de protection et de sécurité des travailleurs, contrôle de la qualité des matériaux mis en œuvre, réception des installations de lutte anti-pollution et de protection de l'environnement, contrôle de l'organisation du chantier évitant tout impact sur l'environnement.

### → Durant la période de l'exploitation :

Contrôle de la qualité des eaux du bassin (contrôle bactériologique), et nettoyage en cas de nécessité, suivi des dégradations des ouvrages et de leur environnement dues à la nature (fortes tempêtes, séisme...).

Ce programme de suivi permet de vérifier l'efficacité des mesures de protection prévues dans le contexte de l'étude d'impact. Et pour la nature des impacts appréhendés relativement à l'ajout des appontements flottants sur le site de la marina, aucun programme de suivi environnemental n'est requis à ce dernier, puisque leurs impacts sont de faibles intensités, le programme de surveillance se limite à s'assurer de leur bonne mise en œuvre.

## VII.9 La matrice d'impacts

La matrice de l'ensemble des impacts site au préalable est synthétisée comme suite **Tableau**

### VII-1

Tableau VII-1 : Matrice de l'EIE de la Marina Bay d'Alger

Composantes du projet (sources d'impact)		Composante du milieu (éléments sensibles)											
		Milieu physique					Milieu naturel				Milieu humain		
		Qualité de l'air	Qualités des aquifères	Sismicité & Tsunami	Bathymétrie	Hydrodynamisme	Dynamique sédimentaire	Faune et Flore terrestres	Faune et Flore marines	Qualité des eaux & sédiments marins	Emploi	Economie locale	Santé / sécurité
Phase de travaux	Prospections préliminaires												
	Signalisation												
	Installation du chantier												
	Présence de la base de vie et sa démobilisation												
	Transport matériaux & circulation engins												
	Dragage												
	Remblais des terre-pleins												
	Travaux de génie civil												
	Remise en état et intégration paysagère												
Phase d'exploitation	Présence en état & intégration paysagère												
	Déchets solides, liquides et gazeux												
	Trafic généré par la Marina Bay												
	Entretien et réparation												

**Conclusion**

L'évaluation environnementale de la zone d'étude révèle un site en état de pollution dans les normes régionales (acceptables) aux vues des résultats d'analyses tous en delà du seuil arrêtés au niveau de la réglementation Algérienne. Par ailleurs, l'état bioécologique delà Marina Bay d'Alger témoignerait d'une instabilité du milieu dû à l'enrichissement en matières organique des effluents d'Oued El Harrach et des activités anthropique de la ville d'Alger. Ce milieu est également en perpétuel remaniement du sédiment dû à l'influence des courants méditerranéens et le brassage des eaux au niveau du futur site d'implantation de la Marina Bay. Par ce fait, et après la prise en compte des mesures compensatoire proposées et leur bonne application ainsi que l'exigence d'un suivi et surveillance environnementale au cours des travaux et phase d'exploitation, cela s'avère être acceptable du point de vue environnement.

---

## **Chapitre VIII : Organisation de chantier et phasage de construction**

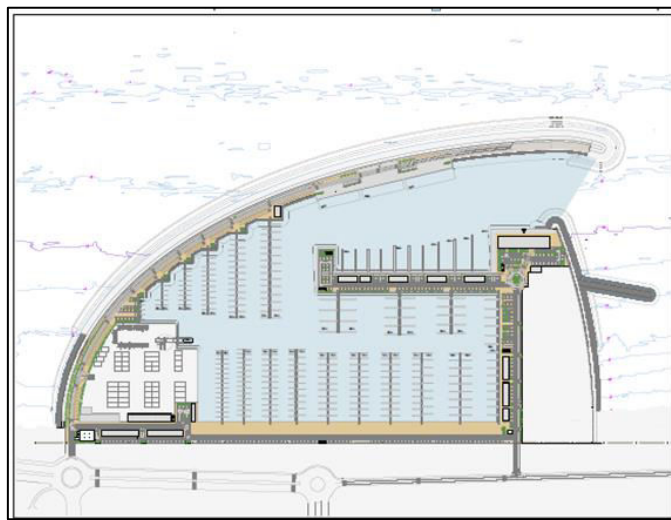
---

## Introduction

Dans les chapitres précédents, il a été mis en œuvre les différentes étapes essentielles à une étude d'aménagement d'une marina, une connaissance de la région, une collecte d'information et données nécessaire à l'étude de phénomènes physiques qui peuvent se produire.

Dès que le Prédimensionnement des ouvrages est fait, il est important de faire passer l'ouvrage à des essais sur modèle réduit pour vérifier si notre calcul est juste ou bien une révision des dimensions et la stabilité de l'ouvrage s'imposent.

Après que le dossier d'exécution, fourni par le maître d'ouvrage est attribué par l'entreprise de réalisations, on commence à préparer le terrain et organiser le chantier de réalisation. C'est ce qu'on va voir sur ce chapitre, où on décrit les étapes d'organisation, les phases de travaux construction, des ouvrages d'abris et de certains de ses composantes internes telles que les quais et le terrain de chantiers **Figure VIII-1**.



**Figure VIII-1 : Plan globale de la marina Bay d'Alger (BTP)**

### VIII.1 Les acteurs principaux du projet

#### VIII.1.1 Le maître d'ouvrage

C'est le propriétaire et le gestionnaire de l'ouvrage après réalisation et le principal financeur du projet. Qui est dans notre cas le **groupe DAHLI**.

#### VIII.1.2 Le maître d'œuvre et l'entreprise

Le maître d'œuvre est la personne morale responsable de l'étude. D'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres et d'estimation du devis quantité. L'entreprise de réalisation et d'exécution du projet. Qui est dans notre cas c'est la même qui est **BTP infraestructuras**.

#### VIII.1.3 Assistant technique :

Il est pour objectif l'assistance technique de l'administration dans le suivi et le contrôle des travaux de la réalisation de la marina. Qui est le Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM) dans un délai global de 24 mois

#### VIII.1.4 Laboratoire de contrôle de qualité des matériaux :

Elle aura pour missions : Exécution des essais de résistance à la compression du béton, Exécution des essais relatifs aux matériaux de carrière, ainsi que ceux demandés par le maître d'ouvrage conformément au cahier des prescriptions spéciales CPS, Vérification des essais

présentés par le maître d'ouvrage. Le contrôle de la qualité sera assuré par une équipe du laboratoire (INZAMAC) pris en charge par une convention entre celui-ci et " DAHLI. Spa ".

## VIII.2 Travaux de réalisation

### VIII.2.1 Installation du chantier

L'installation du chantier doit être d'un point de vue stratégique non seulement, par rapport à la pose des baraques où les ouvriers se recueillent et le stationnement des engins, mais aussi par rapport à l'aire de stockages des enrochements et blocs artificiels. Elle comprend l'aménagement des accès, l'installation de la centrale à béton et l'aménagement de la plateforme de la préfabrication des blocs Cubipodes, blocs de quai, prédalles. Photo de préfabrication en **Annexe D**.

En ce qui concerne le chapitre V, les quantités totales d'enrochement et TVC est presque 1 000 000 Tonnes. Ce qui se définit selon (CETMEF, 2009) comme étant un grand projet. Pour une telle quantité de matériaux, on doit envisager une aire de stockage de 4 hectares (**Photo 1**), qui s'est adaptée à cette quantité de matériaux, (**Photo 2**), fournie de deux carrières localisées à Keddara, (**Photo 3**). Concernant les blocs artificiels qui sont fabriqués par un béton produit dans la centrale de DAHLI spa, la production est gérée par l'entreprise Lafarge Algérie, les composants du béton se résument dans le ciment, les adjuvants et les granulats détaillés dans **annexe D**. Une deuxième centrale de secours située à Mohammadia gérée également par Lafarge, elle rentre en production à la demande du Client et/ou le cas d'arrêt de la centrale principale. **Photo 2**.



Photo VIII-3: Aire de stockage des prédalles, blocs de Cubipodes et de quai.



Photo VIII-2 : Centrale et stockage du béton.



Photo VIII-1 : Fourniture de TVC et d'enrochements.

## VIII.3 Réalisation de l'ouvrage portuaire

La réalisation de la Marina Bay d'Alger se fait sur plusieurs phases rationnelles pour le bon fonctionnement de l'ouvrage définies dans le plan de Gantt (**Annexe D**), réalisé par le logiciel Gantt Project. Les principales tâches réalisées au niveau du site des travaux sont détaillées comme suit

### VIII.3.1 Réalisation des ouvrages de protection

L'exécution presque similaire de la jetée principale (**figure 3**) et (**photo 4**), secondaire (**figure 4**) et (**photo 5**) et du contre épi (**photo 6**), commence par le dépôt de noyau par voie terrestre à la cote, en utilisant le déversement directement du TVC ; La couche filtre exécuter par pelle mécanique ; Le tapis anti affouillement exécuter par déversement de TVC en mer à l'aide d'une grue équipée d'une benne et GPS ; La butée par une grue sur chenille équipée d'un GPS. Et au finale la réalisation de la carapace par la pose des blocs Cubipodes qui est faite également par grue équipé d'un GPS en respectant la maille de pose détaillée (x, y). La transition a été exécutée entre les blocs musoir 12T et partie courante 3T en forme de « V » conformément au plan de transition.

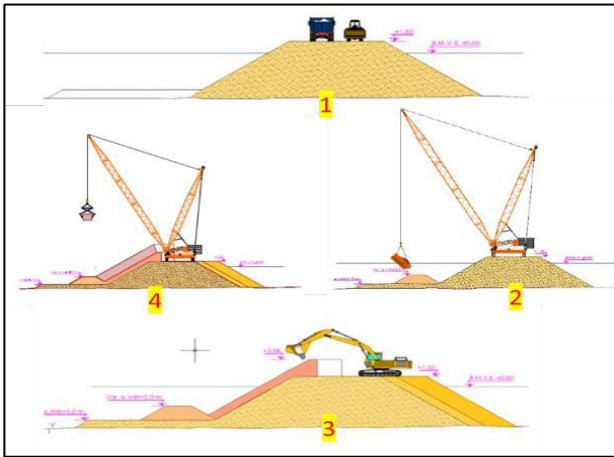


Figure VIII-3 : les étapes d'exécution des ouvrages de protection, jetée principale (BTP)

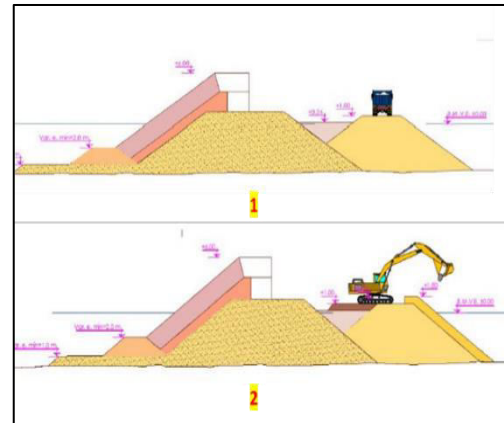


Figure VIII-2 : la suite des étapes d'exécution des ouvrages de protection, partie interne, jetée secondaire (BTP)



Photo VIII-5 : jetée principale



Photo VIII-6 : Jetée secondaire



Photo VIII-4 : Contre épi

### Mure de garde

Le mur de garde a été adopté suite à la recommandation de l'assistance technique LEM, il est en dorme de T renversé constitué d'un voile de 2,40m de hauteur fondée sur une semelle de 1,60 de longueur, voir étapes **photo 7, 8, 9**.

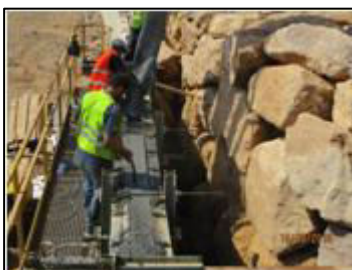


Photo VIII-7: Bétonnage de la semelle et voile.



Photo VIII-9: Coulage du plot.



Photo VIII-8 : Clavage de couche filtre.

### VIII.3.2 Réalisation des ouvrages d'accostage

#### a. Quai sur pieux

Avant l'opération de battage des pieux, on envisage un dragage du pied de talus de la digue de côté bassin dans le but de récupérer le TVC débordé sur la limite acceptée par rapport au positionnement des pieux, cette opération exécutée à l'aide d'une pelle à bras long ; le vibrofonçage de 48 pieux en utilisant une grue sur chenilles, **photo10** un vibreur, un group hydraulique et deux stations totales; exécution du talus amortissant du quai et couche de protection en enrochement Cette opération a été faite par pelle mécanique en adoptant une méthode de mise en place de TVC par godet de la pelle autour de pieu afin d'éviter toutes forces ou poussés qui peut entraîner la déformation ou l'inclinaison de la tête de pieu ; le dragage du bassin entamé afin de garantir les fonds admissibles les différentes unités qui seront abriter dans la marina ; L'opération de remblai de talus de quai a été faite avec une méthode validée auparavant, **photo 11** elle consiste à l'utilisation de la benne comme moyen de diversement de TVC autour de chaque pieu afin de créer un genre de cône en remblai autour de chaque pieu jusqu'à la cote -2.00 m, le diversement de TVC entre les pieux a été fait avec beaucoup d'attention afin de garder le pieu dans position initiale. Coulage des chapiteaux permet à l'équipe sur place de bien maîtriser les différentes étapes de son exécution, coffrage, ferrailage et coulage de béton sur place. Avant de débiter l'exécution de ces éléments, les 48 pieux du quai "F" ont fait l'objet d'un remplissage en sable jusqu'à la limite inférieure de coulage des chapiteaux, ensuite la partie supérieure du sable a été colmaté par des sacs du jute en béton Mise en place de croulier pour supporter le coffrage final de chapiteau sur la partie tête de pieu. Le façonnage et assemblage de la cage de chapiteau a été réalisé en seul élément avant de le posé à l'intérieur de pieu. Le coulage de chapiteau a été exécuté sur place après pompage de l'eau à l'intérieur du pieu, au final les prédalles préfabriqués ont été déposées et fixées **photo 12**. Résumé des étapes en **Figure 5**.

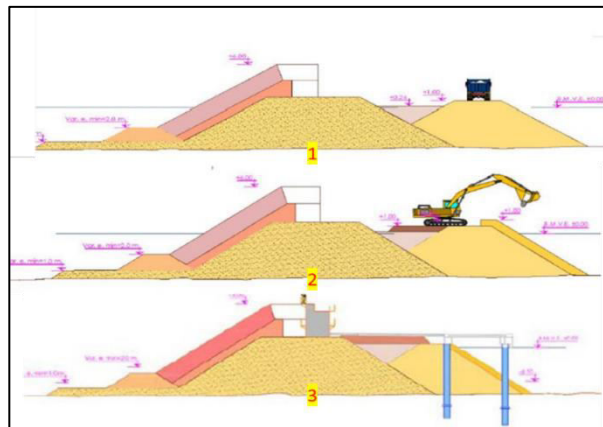


Figure VIII-5 : Les étapes d'exécution des pieux



Photo VIII-12 : Vibrofonçage des pieux.



Photo VIII-11 : Remblai du talus de quai.



Photo VIII-10 : Pose des prédalles.

### b. Quai sur blocs

Ils sont composés de blocs en béton submergé de dimension (2.00 x 2.00x 1.50m). leur exécution commence par la pose des blocs sur une butée de pied de tout-venant, **Photo 13**, arasée à la cote -1m est assurée par plongeur et manœuvre assisté à leur tour par le topographe en permanence, ce dernier est équipé d'un appareil topographique doté de laser ; Avant de remblayer le vide derrière les blocs posés, les ouvertures entre blocs font l'objet de colmatage avec des sacs du jute en béton, cette tâche est exécutée à l'aide de plongeur et dans le but de protéger le départ des fines de remblai en TVC vers le bassin ; Le coulage de béton sous l'eau se fait au début en utilisant le tube plongeur de la pompe à l'extrémité du plot où le pompage du béton a été fait jusqu'à la cote supérieure demandé, au fur et à mesure on fait avancer le tube de la pompe en chassant l'eau de mer (**Photo 14**) ; Après la pose de blocs du quai, la poutre d'accostage a été exécuter le long du quai, cette poutre est composée de béton de masse avec les dimensions de (1m de largeur x 1.30m de hauteur). La mise en œuvre de béton est faite directement par un coulage sur place à l'aide de camions malaxeurs, chaque couche de béton coulé est vibrée jusqu'à la partie supérieure de la poutre, (**Photo 15**).



Photo VIII-15 : Pose des blocs de quai



Photo VIII-13 : Bétonnage des vides



Photo VIII-14 : construction de la poutre d'accostage

### VIII.4 Pontons flottants et matériel de mouillage

Pour les embarcations de longueur inférieure à 30 m, l'accostage se fait le long des 18 pontons flottants de longueurs variables (varie entre 33 m et 180 m).

### VIII.5 Dragage

Cette section comprend tous les travaux de dragage des souilles de l'exécution des quais et le dragage d'approfondissement du bassin.

### VIII.6 Equipements et appareils

Cette section consiste en l'installation des équipements de défenses et bollards de tous les quais achevés

### VIII.7 Revêtements des terre-pleins

Le revêtement des terre-pleins est exécuté avec la mise en place de pavés en béton sur une couche débrase en grave concassée (0-40mm)

### VIII.8 Installations (Réseau VRD)

Qui consiste l'installation de Réseau AEP, Réseau assainissement, Drainage, Réseau électrique (éclairage public + télécommunication).

### VIII.9 Divers

Qui consiste l'installation de Mobilier urbain, Espace vert (jardinage), Contrôle d'accès., Signalétique horizontale, verticale et maritime.

### Conclusion

Les critères généraux du projet sont établis à partir de la définition du caractère général et opératif du quai analysé et les phases du projet et leur durée. Les facteurs du projet sont décrits en partant des états à considérer selon les paramètres géométriques, les caractéristiques du terrain, les matériaux de construction et de l'environnement physique et des agents et actions. Les modes de défaut à considérer sont décrits, les facteurs du projet sont rangés et combinés et les équations de vérification sont envisagés.

---

## **Conclusion générale**

---

## Conclusion

Les études d'aménagement des ouvrages portuaire est une des études les plus complexe vu l'instabilité du milieu, la nécessité d'une multitude de connaissances combinée entre les connaissances scientifique, technique et plusieurs études préliminaires ; et la difficulté d'acquisition des bibliographies et documents de référence ajoutant à cela l'instabilité du milieu marin. Notre étude a pris comme exemple l'aménagement de Marina Bay d'Alger qui a concrétisé nos connaissances et pouvoir les appliqués dans l'étude suivant.

Nous avons dans un premier temps effectué une synthèse sur la zone d'étude ou nous avons effectué plusieurs sorties sur chantier et une recherche bibliographique bien détaillé et profonde, qui a permis d'effectuer des études préliminaire (topo-bathymétrique, sédimentologique et géotechnique) fait par des ingénieurs du domaine côtier. Et selon BTP, le résultat de ces études a permis d'affirmer que la base de l'infrastructure est sûre pour la construction. Nous avons aussi utilisé ses données acquises, pour la réalisation de l'étude d'impact environnemental, l'E.I. E révèle l'évaluation environnementale de la zone d'étude qui soit avérée acceptable du point de vue environnemental. Après étude sur le comportement de la houle au large par deux méthodes différentes statique et spectrale, et une comparaison avec les données SSMO nous avons pu déterminer les caractéristiques de la houle au large et la période de retour des houles extrême. Nous avons utilisé ces dernières plus les données collectées en compagnie océanographique dans l'étude de propagation de la houle en utilisant la méthode numérique nous avons pu avoir la houle de projet utilisé dans la partie dimensionnement des ouvrages de protection cette étude nous a permis en premier lieu d'étudier le transport sédimentaire, qui nous a permis de déduire la dérive littorale et qui contrôle la morphologie des plages et détermine en grande partie l'érosion, l'accrétion/ensablement ou bien la stabilité de la côte et du plan d'eau portuaire. Par la suite, Nous avons pré dimensionner la variante d'ouvrage envisageable en utilisant  $H_s$  prédéfinie. Malgré l'étude poussée du dimensionnement, dans l'optique de l'optimisation et l'efficacité, une étude sur modèle réduit est envisageable. Cette démarche consiste à simuler réellement les phénomènes physiques et l'ouvrage projeté grâce à un prototype. Une seule simulation a été établie sur fond fixe pour simuler l'interaction houle-ouvrages. Ce travail de mémoire se voulait principalement technique, il serait pertinent de procéder à une étude sur modèle réduit des ouvrages projetés qui investirait des champs tels que la stabilité. Selon les digues composantes de l'ouvrage son stable. Nous avons aussi étudié l'aménagement des bassins interne de la Marina et voir la capacité d'accueil de cette dernière ...qui a atteint son objectif défini au préalable.

En final nous avons pu comprendre et assisté à des parties importantes d'excursions sur chantier tel que le battage de pieux, positionnement des blocs de quai, le bétonnage entre les vides des blocs et la construction de la poutre supérieures des quais, réaliser sous des phases de construction suivant un plan organisé

Ce mémoire avait pour ambition d'expliquer les étapes d'aménagement des marinas et d'avoir un modèle de référence qui résume les démarches à suivre pour les études d'aménagement future.

---

## **Bibliographie**

---

- BENISTON, M. et al., (2007).** Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projection. *Climatic Change*. T. 81, no 1, 71-95 p. ISSN1573-1480. [en ligne]. [Consulté le: 15/03/2020]. Disponible sur le site Web : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-006-9226-z>
- BONNEFILLE, R. (2010).** Mouvements de la mer et leurs risques. Techniques de l'ingénieur Les aménagements des voies de transport [en ligne]. T. base documentaire : TIB550DUO. No ref. Article : c4610. Publisher : Editions T.I. Type. [Consulté le: 20/03/2020]. Disponible sur le site Web : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/les-amenagements-des-voies-de-transport-42550210/mouvements-de-la-mer-et-leurs-risques-c4610/>
- BORGMAN, LEON, E. (1963).** Risk Criteria. *Journal of the Waterways and Harbors* [en ligne]. *Division*.89, no 3, 1-36 p. Publisher: ASCE. [Consulté le: 30/03/2020]. Disponible sur le site Web : [https://scholar.google.com/scholar?q=BORGMAN,+LEON,+E.+\(1963\).+Risk+Criteria.+Journal+of+the+Waterways+and+Harbors&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=BORGMAN,+LEON,+E.+(1963).+Risk+Criteria.+Journal+of+the+Waterways+and+Harbors&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- BRETSCHNEIDER, C. (1970).** Wave forecasting relations for wave generation [en ligne]. Look Lab, Hawaii. T. 1, no 3. [Consulté le: 20/03/2020]. Disponible sur le site Web : [https://scholar.google.com/scholar?q=BRETSCHNEIDER,+C.+\(1970\).+Wave+forecasting+relations+for+wave+generation&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=BRETSCHNEIDER,+C.+(1970).+Wave+forecasting+relations+for+wave+generation&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- CALLAGHAN, D, P. et al., (2008).** Statistical simulation of wave climate and extreme beach erosion. *Coastal Engineering* [en ligne]. T. 55, no 5, 375-390 p. ISSN 0378-3839. [Consulté le: 17/03/2020]. Disponible sur le site Web : [https://scholar.google.com/scholar?q=CALLAGHAN,+D,+P.+et+al.,+\(2008\).+Statistical+simulation+of+wave+climate+and+extreme+beach+erosion.+Coastal+Engineering&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=CALLAGHAN,+D,+P.+et+al.,+(2008).+Statistical+simulation+of+wave+climate+and+extreme+beach+erosion.+Coastal+Engineering&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- CAMINADE, D. (1995).** Ouvrages de protection contre la houle. Techniques de l'ingénieur Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau. TIB617, no ref. Article : c4631. Publisher : Editions T.I. [en ligne]. [Consulté le: 18/03/2020]. Disponible sur le site Web : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/ingenierie-des-transports-th14/infrastructures-environnement-et-transport-par-voie-d-eau-42617210/ouvrages-de-protection-contre-la-houle-c4631/>
- CAULET, J et al. (1972).** Les sédiments organogènes du pré continent algérien. CERC, 1984. Shore protection manual, Dept of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center [en ligne]. [Consulté le 01/05/20]. Disponible sur le site Web : <https://luk.staff.ugm.ac.id/USACE/USACE-ShoreProtectionManual1.pdf>
- CETMEF. (2009).** Conception des ouvrages à la mer, in : *Guide Enrochement* : L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock manual (2e édition). Compiègne ; Pays-Bas ; Londres : Centre d'études techniques maritimes et fluviales (France). [en ligne]. [Consulté le 29/09/20]. Disponible sur le site Web : [https://www.researchgate.net/publication/269145860\\_Utilisation\\_des\\_enrochements\\_dans\\_les\\_ouvrages\\_hydrauliques\\_-\\_Un\\_nouveau\\_guide\\_technique\\_europeen](https://www.researchgate.net/publication/269145860_Utilisation_des_enrochements_dans_les_ouvrages_hydrauliques_-_Un_nouveau_guide_technique_europeen)

- CETMEF. (2009).** Guide Enrochement : L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock manual (2e édition). Compiègne ; Pays-Bas ; Londres : centre d'études techniques maritimes et fluviales (France). [en ligne]. [Consulté le 19/09/20]. Disponible sur le site Web [https://www.researchgate.net/publication/269145860\\_Utilisation\\_des\\_enrochements\\_dans\\_les\\_ouvrages\\_hydrauliques\\_-\\_Un\\_nouveau\\_guide\\_technique\\_europeen](https://www.researchgate.net/publication/269145860_Utilisation_des_enrochements_dans_les_ouvrages_hydrauliques_-_Un_nouveau_guide_technique_europeen)
- CHAPON, J. (1971).** Travaux maritimes, Les ouvrages intérieurs des ports maritimes. Dégagement des accès et plans d'eau des ports Eyrolles. Cours de l'Ecole nationale des ponts et chaussées. [en ligne]. [Consulté le 09/08/20]. Disponible sur le site Web : <https://www.worldcat.org/title/travaux-maritimes-tome-ii-les-ouvrages-interieurs-des-ports-maritimes-degagement-des-acces-et-plans-deau-des-ports/oclc/489127337/editions?referer=di&editionsView=true>
- COLES, S, BAWA, et al., P. (2001).** An introduction to statistical modeling of extreme values [en ligne]. [Consulté le 09/09/20]. Disponible sur le site Web : [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-17512019000200143](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-17512019000200143)
- FALLOT, J-M, HERTIG, J-A. (2008).** Détermination des vents extrêmes à l'aide d'analyses statistiques et de modélisations numériques dans une topographie accidentée en Suisse. Bulletin de la Société géographique de Liège. T. 51, 31-47 p. ISSN 0770-7576. [en ligne]. [Consulté le 17/09/20]. Disponible sur le site Web : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/les-amenagements-des-voies-de-transport-42550210/mouvements-de-la-mer-et-leurs-risques-c4610/>
- FEYISA, G, L, et al., (2014).** Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. T. 140,23-35 p. ISSN 0034-4257. [en ligne]. [Consulté le 02/09/20]. Disponible sur le site Web : <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
- GENCARELLI, R, TOMASICCHIO, G. R, VELTRI, P. (2006).** Wave height long term prediction based on the use of the spread parameter. In: Coastal Engineering 2006, 701-713 p. [en ligne]. [Consulté le 02/10/20]. Disponible sur le site Web: [https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812709554\\_0060](https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812709554_0060)
- GENT, M. (2001).** Wave Run-Up on Dikes with Shallow Foreshores [en ligne]. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-ASCE - J WATERW PORT COAST OC-ASCE. T. 127. [en ligne]. [Consulté le 12/06/20]. Disponible sur le site Web: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-950X%281998%29124%3A2%2873%29>
- GODA. (2003).** Revisiting Wilson's Formulas for Simplified Wind-Wave Prediction [en ligne]. Journal of waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. T. 129, no 2, 93-95 p. Publisher: American Society of Civil Engineers. [en ligne]. [Consulté le 12/09/20]. Disponible sur le site Web: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2003\)129:2\(93\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-950X(2003)129:2(93))
- GODA, Y. (1975).** Irregular Wave Deformation in the Surf Zone. Coastal Engineering in Japan [en ligne]. T. 18, no 1, 13-26 p. [en ligne]. [Consulté le 22/07/20]. Disponible sur le site Web: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05785634.1975.11924196>
- GODA, Y. (2004).** Spread parameter of extreme wave height distribution for performance-based design of maritime structures [en ligne]. Journal of waterway, port, coastal, and ocean

engineering. T. 130, no 1, 29-38 p. Publisher: American Society of Civil Engineers. [en ligne]. [Consulté le 22/09/20]. Disponible sur le site Web: [https://scholar.google.com/scholar?q=GODA,+Y.+\(2004\).+Spread+parameter+of+extreme+wave+height+distribution+for+performance-based+design+of+maritime+structures&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=GODA,+Y.+(2004).+Spread+parameter+of+extreme+wave+height+distribution+for+performance-based+design+of+maritime+structures&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

**GODA, Y. (2010).** Random Seas and Design of Maritime Structures. World Scientific [en ligne]. [Consulté le 12/06/20]. Disponible sur le site Web: [https://scholar.google.com/scholar?q=GODA,+Y.+\(2010\).+Random+Seas+and+Design+of+Maritime+Structures.+World+Scientific&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=GODA,+Y.+(2010).+Random+Seas+and+Design+of+Maritime+Structures.+World+Scientific&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

**GRARE, L. (2009).** Étude des interactions océan-atmosphère à proximité immédiate de L'interface : application aux vagues de vent et aux vagues extrêmes [en ligne]. Thèse de doctorat. Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II. [en ligne]. [Consulté le 22/08/20]. Disponible sur le site Web: [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00454511/file/These\\_Grare\\_070509.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00454511/file/These_Grare_070509.pdf)

**GUMBEL, E, J. (1953).** Statistics of extremes. Courier Corporation. Réconcilier théorie et pratique dans la détermination des houles extrêmes. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. T. 14, 127-148 p. [en ligne]. [Consulté le 12/08/20]. Disponible sur le site Web: <http://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Waves/Hamm-REGCE-2010.pdf>

**HASSELMANN, K et al. (1973).** Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North SeaWave Project (JONSWAP) Deut. Hydrogr. Z. T. 8, 1-95 p. [en ligne]. [Consulté le 25/07/20]. Disponible sur le site Web: [https://www.researchgate.net/publication/256197895\\_Measurements\\_of\\_wind-wave\\_growth\\_and\\_swell\\_decay\\_during\\_the\\_Joint\\_North\\_Sea\\_Wave\\_Project\\_JONSWAP](https://www.researchgate.net/publication/256197895_Measurements_of_wind-wave_growth_and_swell_decay_during_the_Joint_North_Sea_Wave_Project_JONSWAP)

**HOAI, T. Q. (2011).** Technical guidelines in sea dike design. *Vietnamese standards 14TCN 130-2002*. Publisher: Ministry of Agriculture and Rural Development. [en ligne]. [Consulté le 25/03/20]. Disponible sur le site Web: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aaf6d5b157-b7d5-47f2-8a74-6e794b052e65>

**HUDSON, R, Y. (1959).** Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. Reprint of the original paper as published in the Journal of the Waterways and Harbors Division of ASCE, proceedings paper 2171. Publisher : Citeseer. [en ligne]. [Consulté le 05/08/20]. Disponible sur le site Web: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A918e0ba3-eb25-420b-b9ba-83b0b058b99b>

**IRIBARREN, R, NOGALES, C. (1950).** Généralisation de la Fórmula para el Cálculo de los Diques de Escollera y Comprobación de sus Coeficientes. *Revista de Obras Públicas. Madrid*, 239-277 p. [en ligne]. [Consulté le 08/08/20]. Disponible sur le site Web: [http://ropdigital.ciccp.es/detalle\\_articulo.php?registro=16598&anio=1950&numero\\_revista=282](http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16598&anio=1950&numero_revista=282)  
1

**KAMPHUIS, J, W. (2003).** Introduction to coastal engineering and management. World Scientific. [en ligne]. [Consulté le 25/07/20]. Disponible sur le site Web: [https://scholar.google.com/scholar?q=KAMPHUIS,+J,+W.+\(2003\).+Introduction+to+coastal+engineering+and+management.+World+Scientific&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=KAMPHUIS,+J,+W.+(2003).+Introduction+to+coastal+engineering+and+management.+World+Scientific&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

- KOUTSOYIANNIS, D, KOZONIS, D, MANETAS, Alexandros. (1998).** A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*. T. 206, no 1-2, p. 118-135. [en ligne]. [Consulté le 30/03/20]. Disponible sur le site Web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169498000973>
- KROON, A, MASSELINK, G. (2002).** Morpho dynamics of intertidal bar morphology on a macro tidal beach under low-energy wave conditions, North Lincolnshire, England. *Marine Geology*. T. 190, no 3, 591-608 p. ISSN 0025-3227.. [en ligne]. [Consulté le 05/05/20]. Disponible sur le site Web: [https://www.researchgate.net/publication/222571719\\_Morphodynamics\\_of\\_intertidal\\_bar\\_morphology\\_on\\_a\\_macrotidal\\_beach\\_under\\_low-energy\\_wave\\_conditions\\_North\\_Lincolnshire\\_England](https://www.researchgate.net/publication/222571719_Morphodynamics_of_intertidal_bar_morphology_on_a_macrotidal_beach_under_low-energy_wave_conditions_North_Lincolnshire_England)
- LAURIOL, B. (1979).** GUILCHER A. (1979) : Précis d'hydrologie marine et continentale, 2e éd., Paris, Masson. Publisher : Les Presses de l'Université de Montréal. [en ligne]. [Consulté le 25/06/20]. Disponible sur le site Web: <https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/1980-v34-n3-gpq1496525/1000430ar/>
- LEM. (2017).** Dossier d'exécution d'étude d'impact sur l'environnement du projet d'aménagement de la Marina Bay d'Alger. Document non publié. Alger. L.E.M.
- MAOUCHE, S. (1987).** Mécanisme hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse de doctorat. Univ. Grenoble. Mathworks.[en ligne]. [Consulté le 25/05/20]. Disponible sur le site Web: <https://fr.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47248-wind-rose>
- MEYLAN, P, FAVRE, A-C, MUSY, A. (2008).** Hydrologie fréquentielle : une science prédictive. PPUR presses polytechniques. ISBN 978-2-88074-797 8. [en ligne]. [Consulté le 25/06/20]. Disponible sur le site Web: <https://www.epflpress.org/produit/434/9782880747978/hydrologie-frequentielle>
- MICHE, M. (1944).** Mouvements ondulatoires de la mer en profondeur constante ou décroissante. *Annales de Ponts et Chaussées*, 1944, 26-78 p. (2)270-292, (3) 369-406. Publisher : École nationale des ponts et chaussées. [en ligne]. [Consulté le 25/03/20]. Disponible sur le site Web: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A6fcee55-d71b-4e3e-a94f-98ff17cb8f91>
- MIHOUBI, M, K. (2017).** Hydrodynamique et Aménagement côtiers. No 5753. ISBN 978.9961.0.2010.4. [en ligne]. [Consulté le 15/04/20]. Disponible sur le site Web: [https://scholar.google.com/scholar?q=MIHOUBI,+M,+K.+\(2017\).+Hydrodynamique+et+Am%C3%A9nagement+c%C3%B4tiers&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com/scholar?q=MIHOUBI,+M,+K.+(2017).+Hydrodynamique+et+Am%C3%A9nagement+c%C3%B4tiers&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart)
- MUNK, W, H. (1949).** The solitary wave theory and its application to surf problems. *Annals of the New York Academy of Sciences*. T. 51, no 3, 376-424 p. [en ligne]. [Consulté le 25/05/20]. Disponible sur le site Web : <http://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx> .
- RABEHI, W, GUERFI, M., (2018).** Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. Approche socio-économique et physique de la côte. Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Méditerranéen geography*. ISSN 0025-8296. Publisher : Presses Universitaires de Provence. [en ligne]. [Consulté le 25/10/20]. Disponible sur le site Web: <https://journals.openedition.org/mediterranee/8625>

**RAHMANI, D. (1990).** Analyse du régime de houle sur le littoral Algérien, ressource Textuelle, sauf manuscrits : étude expérimentale des digues à talus. Alger, Magister. Ecole Nationale Polytechnique. [en ligne]. [Consulté le 26/03/20]. Disponible sur le site Web: <http://www.entp.edu.dz/revue/files/article/00/article%208.pdf>

**R.O.M. 0.1 (2001).** General procedure and requirements in the design of harbor and maritime structures. Part1, Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 25/03/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-01%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-01%20(EN).pdf)

**R.O.M. 0.0 (2001).** Recommandation de Procédure générale et bases de calcul dans le projet des travaux maritimes et portuaires. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 10/04/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-00%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-00%20(EN).pdf)

**R.O.M. 2.0 (2011).** Recommandations pour le projet et exécution dans des travaux d'accostage et amarrage. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 22/04/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%201.0-01%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%201.0-01%20(EN).pdf)

**R.O.M. 0.2 (1990).** Actions dans le projet de travaux maritimes et portuaires. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 28/04/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-02%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-02%20(EN).pdf)

**R.O.M. (0.3-1991).** Recommandations pour des actions climatiques I : houle. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 29/04/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-03%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-03%20(EN).pdf)

**R.O.M. 0.4 (1995).** Recommandations pour des actions climatiques II : Vent. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 05/05/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-04%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.0-04%20(EN).pdf)

**ROM 4.1 (1995).** Recommandations pour des travaux maritimes. Projet et construction de chaussées portuaires. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 06/05/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.4-01%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.4-01%20(EN).pdf)

**R.O.M 0.5-(2005).** Recommandations géotechniques pour le projet de travaux maritimes et portuaires. Minister de transport espagnol.[en ligne].[Consulté le 10/05/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-05%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.0-05%20(EN).pdf)

**R.O.M. 3.1 (1999).** Recommandations pour le projet de la configuration maritime des ports ; voies d'accès et zones de flottaison. Minister de transport espagnol. [en ligne].[Consulté le 15/05/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.3-01%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%199.3-01%20(EN).pdf)

**R.O.M. 2.0 (2011).** Recommandations pour le projet et exécution des travaux d'accostage et amarrage, Minister de transport espagnol. Minister de transport espagnol [en ligne].[Consulté le

22/09/20]. Disponible sur le site web : [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%201.2-00%20\(EN\).pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%201.2-00%20(EN).pdf)

**RPA 99. (2003).** Règles Parasismiques Algériennes (DTR BC 2-48)”, publié par le Centre National de Recherche Appliquée en génie-Parasismique, Ministère de L’Habitat. [en ligne].[Consulté le 12/09/20]. Disponible sur le site web : <https://www.fichier-pdf.fr/2011/05/06/regles-parasismiques-algeriennes-rpa99-version-2003/>

**SEELIG, W, N, AHRENS, J, P, (1981).** Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments, and breakwaters. Fort Belvoir, Va.: U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.[en ligne].[Consulté le 02/010/20]. Disponible sur le site web : <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a101879.pdf>

**SORENSEN, R, M. (1997).** Coastal Engineering.SORENSEN, Robert M. (éd.). Basic Coastal Engineering. Boston. [en ligne]. [Consulté le 22/09/20]. Disponible sur le site Web: <https://www.springer.com/gp/book/9781475726657>

**SSMO. (1980).** Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) vol 3 Area 11. Document non publié.Alger. L.E.M.

**VAN DER MEER, JW. (1988).** Stability of cubes, tetrapods and accropode. In: *Conference Breakwaters88*, p. 71-80. [en ligne]. [Consulté le 22/08/20]. Disponible sur le site Web: [https://scholar.google.com/scholar?q=VAN+DER+MEER,+JW.+\(1988\).+Stability+of+cubes,+tetrapods+and+accropode.+In:+Conference+Breakwaters&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=VAN+DER+MEER,+JW.+(1988).+Stability+of+cubes,+tetrapods+and+accropode.+In:+Conference+Breakwaters&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

**VERHAGEN, H, J, BOS, J, P, V. (2017).** Breakwater design. Colledictaat CIE5308 (draft edition). Publisher: TU Delft, Department Hydraulic Engineering. [en ligne]. [Consulté le 22/04/20]. Disponible sur le site Web: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A312f5a93-5a0a-406e-b697-a2798c75e3b5>

**VIGLIONE, A, et al., (2020).** nsRFA: Non-Supervised Regional Frequency Analysis. [en ligne]. [Consulté le 10/04/20]. Disponible sur le site Web: <https://CRAN.R-project.org/package=nsRFA>.

**WILLEMS, P. (2000).** Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. *Journal of Hydrology*. T. 233, no 1, p. 189-205. ISSN 0022-1694. Disponible [en ligne]. [Consulté le 15/04/20]. Disponible sur le site Web: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00233-X).

**WMO. (2000).** Guide de l’analyse et de la prévision des vagues. ISBN 978-92-63-22702-7. OCLC : 1018482756. [en ligne]. [Consulté le 22/10/20]. Disponible sur le site Web: [https://library.wmo.int/?lvl=notice\\_display&id=7701](https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=7701)

---

## **ANNEXE A**

---

Tableau I- 00-1 : Hauteurs significatives maximales de 1958 à 2001, SIMAR 44, (Puertos Del Estado)

Année	Hs (m)	Tp(s)
1958	5.6	12.3
1959	6.1	11.2
1960	6.3	11.2
1961	5	11.2
1962	5.7	11.2
1963	3.5	9.2
1964	4.8	10.1
1965	6.2	11.2
1966	4.6	10.1
1967	7.2	13.5
1968	5.7	12.3
1969	5.4	10.1
1970	3.9	9.2
1971	3.9	9.2
1972	5.9	11.2
1973	4.6	11.2
1974	4.7	9.2
1975	5.9	11.2
1976	4.5	10.1
1980	7.4	13.5
1981	4.6	9.2
1982	4.8	9.2
1983	4.6	10.1
1984	5.5	12.3
1991	3.4	9.2
1992	4.5	10.1
1993	4.2	12.3
1994	5.9	12.3
1995	5.9	12.3
1996	5.2	10.1
1997	5.6	11.2
1998	5.2	11.2
1999	5.6	10.1
2000	4.7	9.2
2001	5.4	10.1

Après avoir téléchargé le fichier WindRose du site officiel Matlab nous avons créé ce scripte pour la création des roses des houles et vents les résultats obtenus (**figure I-3 : I-12**)

### Script de la fonction WindRose sur Matlab

```
clc ; clear ; close all ;
T = readtable('wind data.txt');
%lecture de fichier de données du vent
% OUNIS Faiza Sabrina 5ème année ENSMAL
% sabrinafaizaounis@gmail.com

M = T{:, :}; %Création de la matrice des données Vent
Wdir = M(:,1); %le vecteur de la direction des vents en degrés (°)
Wspd = M(:,2); %le vecteur de la vitesse des vents en metres par secondes
(m/s)

mycolormap = [0 0 1; 0 1 1; 0 1 0; 1 1 0; 1 0 0]; % Blue, Cyan, Green,
Yellow, Red

[figure_handle,count,speeds,directions,Table] = WindRose(Wdir,Wspd, 'labels',
{'North', 'NNE', 'NE', 'ENE', 'East', '', 'SE', 'SSE', 'South', 'SSW',
'SW','WSW', 'West', 'WNW', 'NW', 'NNW'},'FreqLabelAngle','auto','AngleNorth',
0, 'AngleEast', 90,'nSpeeds', 5, 'cMap',mycolormap);
```

### Script de la fonction WaveRose sur Matlab

```
clc ; clear ; close all ;
T = readtable('wave data.txt');
%lecture de fichier de données de houle
% OUNIS Faiza Sabrina 5ème année ENSMAL
% sabrinafaizaounis@gmail.com

M = T{:, :}; %Creation de la matrice des données Vent
Vdir = M(:,1); %le vecteur de la direction des vents en degrés (°)
Vspd = M(:,2); %le vecteur de la vitesse des vents en metres par secondes
(m/s)

mycolormap = [0 0 1; 0 1 1; 0 1 0; 1 1 0; 1 0 0]; % Blue, Cyan, Green,
Yellow, Red

[figure_handle,count,speeds,directions,Table] = WindRose(Vdir,Vspd,'labels',
{'North', 'NNE', 'NE', 'ENE', 'East', '', 'SE', 'SSE', 'South', 'SSW',
'SW','WSW', 'West', 'WNW', 'NW', 'NNW'},'FreqLabelAngle',335,'AngleNorth', 0,
'AngleEast', 90,'nSpeeds', 5, 'cMap',mycolormap,'TitleString', {'Wave
Rose';''}, 'LabLegend', 'Significant Heights in (m)', 'LegendVariable', 'Hs')
```

## Script de la fonction JONSWAP sur Matlab

```
function [S,Hs,Ts] = jonswapF(fr,U,F)
%JONSWAPFU Summary of this function goes here
% fonction qui traite le spectre de jonswap sur les houles
% une approche par le fetch et la vitesse du vent au large
% OUNIS Faiza Sabrina 5ème année ENSMAL
% sabrinafaizaounis@gmail.com

%input
%fetch en m et U en m/s

g=9.81; %accélération de la gravité m/s

f_pic=3.5*(g/U)*(g*F/U^2)^(-0.33); %peak frequency

alpha= 0.076*(g*F/U^2)^(-0.22); %facteur alpha

gamma=7*(g*F/U^2)^(-0.143); %facteur gamma

if fr<f_pic
    sigma=0.07;
else
    sigma=0.09;
end

a=exp(-((fr-f_pic).^2)/((2*(sigma^2)*f_pic^2))); %puissance a en fonction de
la frequence

S=(alpha*g^2/(2*pi)^4)*fr.^(-5).*exp(-1.25*(f_p./fr).^4).*gamma.^a;
%spectre d'énergie

plot(fr,S);
figure
    plot(fr,S)

xlabel('frequence (Hz)');
ylabel('Spectrum (m^2/Hz)');
grid;

m_0=trapz(fr,S); %moment m0
Hm=4*sqrt(m_0);
disp(Hm);

Y_m1=fr.*S;
m_1=trapz(fr,Y_m1); %moment m1
disp(m_1);

T_01=m_0/m_1;

Y_m2=(fr.^2).*S;
```

```

m_2=trapz(fr,Y_m2);%moment m2

T_02=sqrt(m_0/m_2);

Ym_m1=(fr.^(-1)).*S;
m_10=trapz(fr,Ym_m1);

T_E=m_10/m_0;

neta=((m_0*m_2)/m_1^2)-1; %largeur du spectre netacarré

Y_m4=(fr.^(4)).*S;
m_4=trapz(fr,Y_m4);

epsilon=1-(m_2^2/(m_0*m_4));

% on suppose qu'on est en eau profonde
Hs=Hm;

T_m=T_02;
T_ptheo=T_m/0.87;

Ts=0.90*T_ptheo;

ti1=sprintf('U=%d \t, ', U);
ti2 = sprintf('F=%d \t', F);
ti3=('Spectre de JONSWAP , ')
title([ti1,ti2,ti3]);

Tp=1/f_pic;
fprintf('la periode de pic \n Tp=%d ', Tp);
fprintf('la periode theorique \n T_ptheo=%d ', T_ptheo);

fprintf('The default values: \n f_p=%d \n alpha=%d \n gamma=%d \n m_0=%d \n
m_1=%d ', f_pic, alpha, gamma, m_0, m_1)
fprintf('\n m_2=%d, \n m_10=%d \n neta=%d \n epsilon=%d \n T_01=%d \n
T_02=%d \n T_E=%d \n m_4=%d \n T_ptheo',m_2,
m_10,neta,epsilon,T_01,T_02,T_E,m_4,T_ptheo)
end

```

---

## **ANNEXE B**

---

Tableau II-01: Données collectées lors de la sortie

Station	Log	Lat	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vitesse (m/s)	Direction
1	321517	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
58	3,1553	36,7446	513871,6828	4066442,8013	-3	0,232	12
59	3,1562	36,7446	513861,0997	4066546,3177	-4,3	0,115	34
60	3,1575	36,7429	514062,2587	4066367,3112	-2,8	0,192	29

---

## **ANNEXE C**

---

### Présentation de l'encrochement artificiel utilisé Cupipode:

Des chercheurs du Laboratoire de Ports et Côtes de l'Université Polytechnique de Valence ont conçu un nouvel élément pour la construction de digues inspiré sur les éléments cubiques ou parallélépipèdes traditionnels, mais capable de surmonter certains inconvénients.

Conçue à partir du bloc traditionnel, elle possède une grande robustesse structurelle et une stabilité hydraulique beaucoup plus grande que celle du bloc traditionnel de carapace des digues à talus. Toutes ces caractéristiques ont été vérifiées par différents essais développés dans le cadre du Projet **CUBIPOD (2007-2009)**, dont : les essais de chute de prototypes, les essais physiques de stabilité hydraulique en 2D et 3D des musoirs et des troncs en une et deux couches, les essais physiques de débordement, etc...

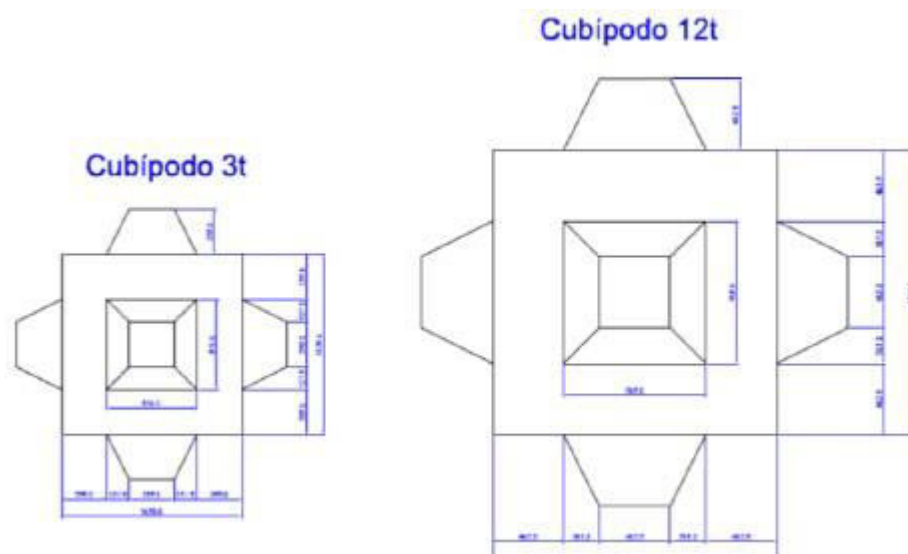


Figure 01 : Schéma illustratif d'un bloc de cubipode 3t et 12t

Design $K_D$ and global safety factors					Initiation of Damage (IDa)		Initiation of Destruction (IDe)	
Section	CAU	$K_D$	# layers	slope	SF(IDa5%)	SF(IDa50%)	SF(IDE5%)	SF(IDE50%)
Trunk	Cube	6.0	2	3/2	0.67	0.86	1.05	1.35
	Cubipod*	28.0	2	3/2	0.82	0.99	1.09	1.40
	Cubipod*	12.0	1	3/2	1.06	1.27	1.31	1.64
	Accropode™	15.0	1	4/3	0.93 a 1.24	1.15 a 1.38	1.05 a 1.40	1.26 a 1.51
	Xbloc*	16.0	1	4/3	1.17	1.32	1.17	1.68
Round-head	Cube	5.0	2	3/2	0.88	1.13	1.17	1.40
	Cubipod*	7.0	2	3/2	0.99	1.18	1.19	1.36

Figure 02: Caractéristique des blocs selon leur type (guide d'encrochement,)

# Les abaque CERC

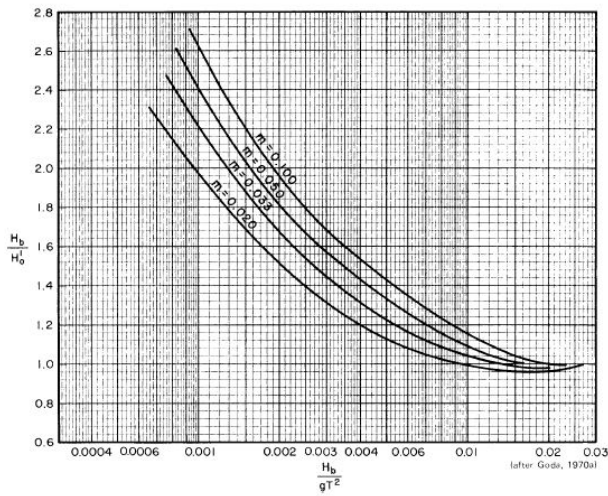


Figure 03 : correction du au poids selon la méthode de CERC

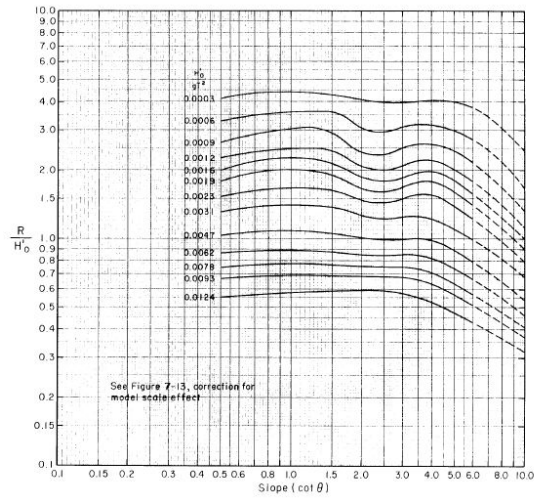


Figure 04 : Ascension des lames sur un talus lisse et imperméable,  $ds/H_0 = 0$  (Pente de la plage devant l'ouvrage : 1/10).

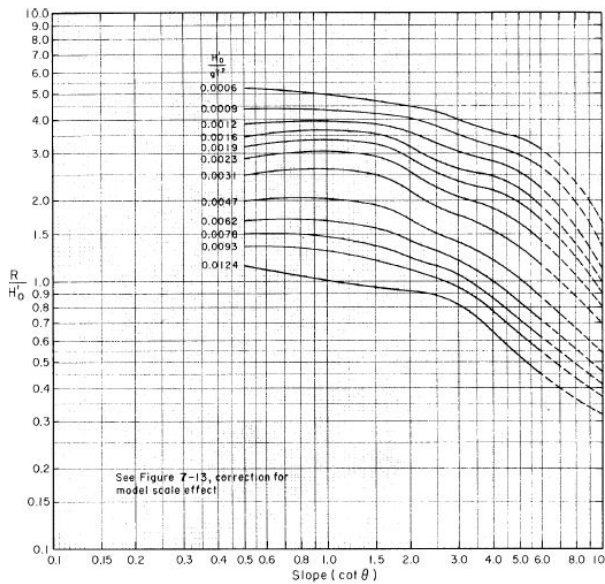


Figure 05 : Ascension des lames sur un talus lisse et imperméable,  $ds/H_0 = 0.45$  (Pente de la plage devant l'ouvrage : 1/10).

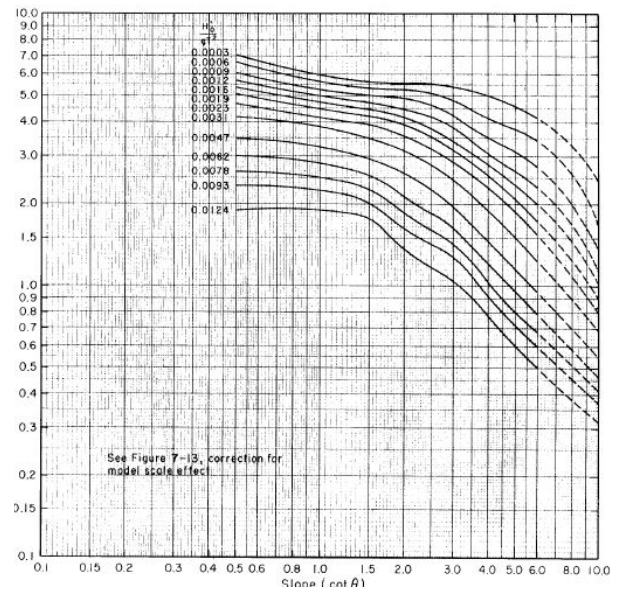


Figure 06 : Ascension des lames sur un talus lisse et imperméable,  $ds/H_0 = 0.80$  (Pente de la plage devant l'ouvrage : 1/10).

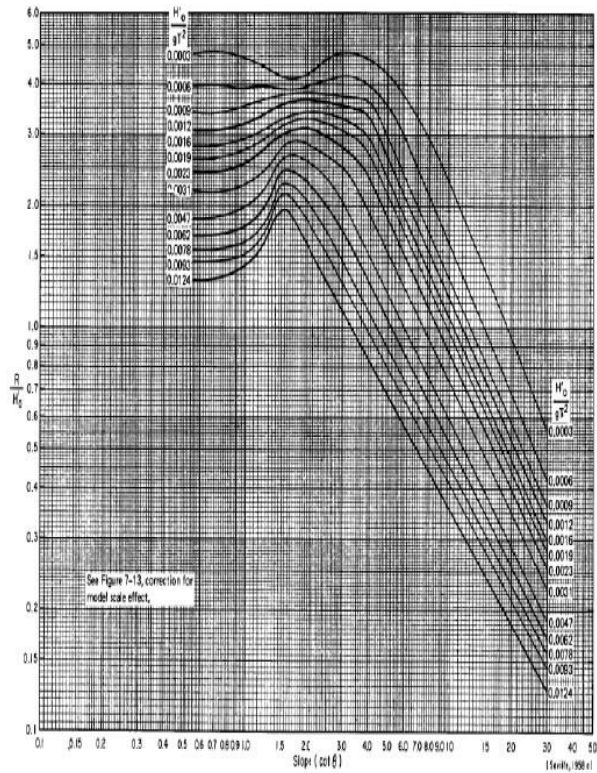


Figure 08 : Ascension des lames sur un talus lisse et imperméable,  $ds/H_0 = 2.00$  (Pente de la plage devant l'ouvrage : 1/10).

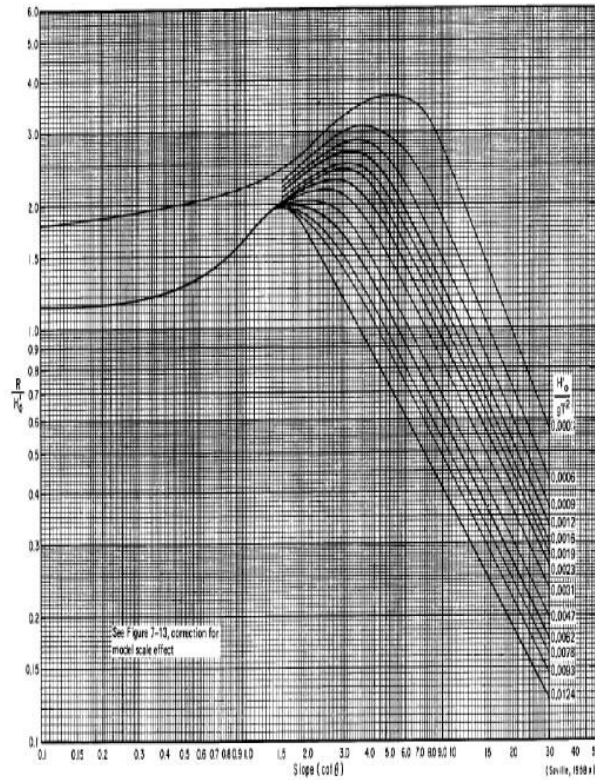


Figure 09: Ascension des lames sur un talus lisse et imperméable,  $ds/H_0 > 3.00$  (Pente de la plage devant l'ouvrage : 1/10).

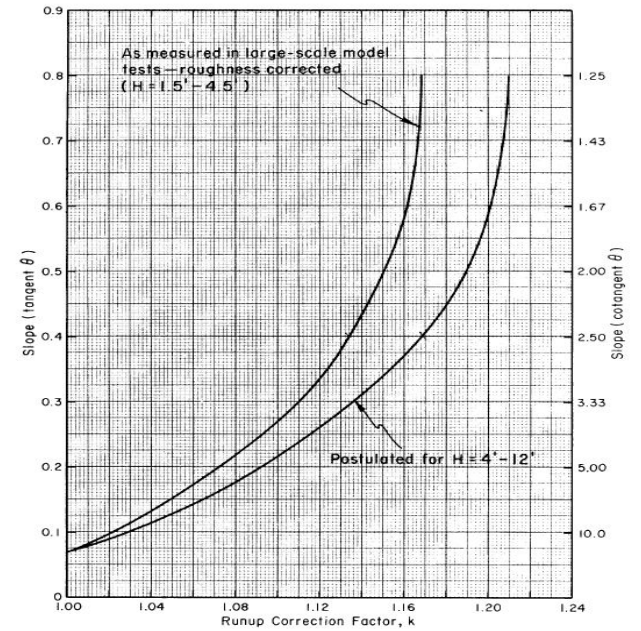


Figure 07 : Coefficient de correction  $k$  permettant de tenir compte de l'effet d'échelle pour le calcul de l'ascension des lames à partir des abaques de I à V.

---

## **ANNEXE D**

---

Les travaux qui seront lancés pour la réalisation de la Marina Bay d'Alger sont indiqués ci-dessous :

**a. Préfabrication des blocs Cubipodes**



Photo 01: Plate-forme de coffrage.



Photo 03: Préfabrication des blocs 3T/12T



Photo 02: Zone de stockage des blocs 12T

**b. Préfabrication des blocs du quai**



Photo 05: Démoulage des blocs.



Photo 04 : Mise en stock des blocs.

**c. Préfabrication de poutres du quai**



Photo 06 : Coffrage de la poutre



Photo 07 : Décoffrage

**d. Préfabrication de prédalles du quai "F"**



Photo 010 : Assemblage de coffrage métallique.



Photo 08: Bétonnage des dalles.



Photo 9 : Mise en stocks des blocs

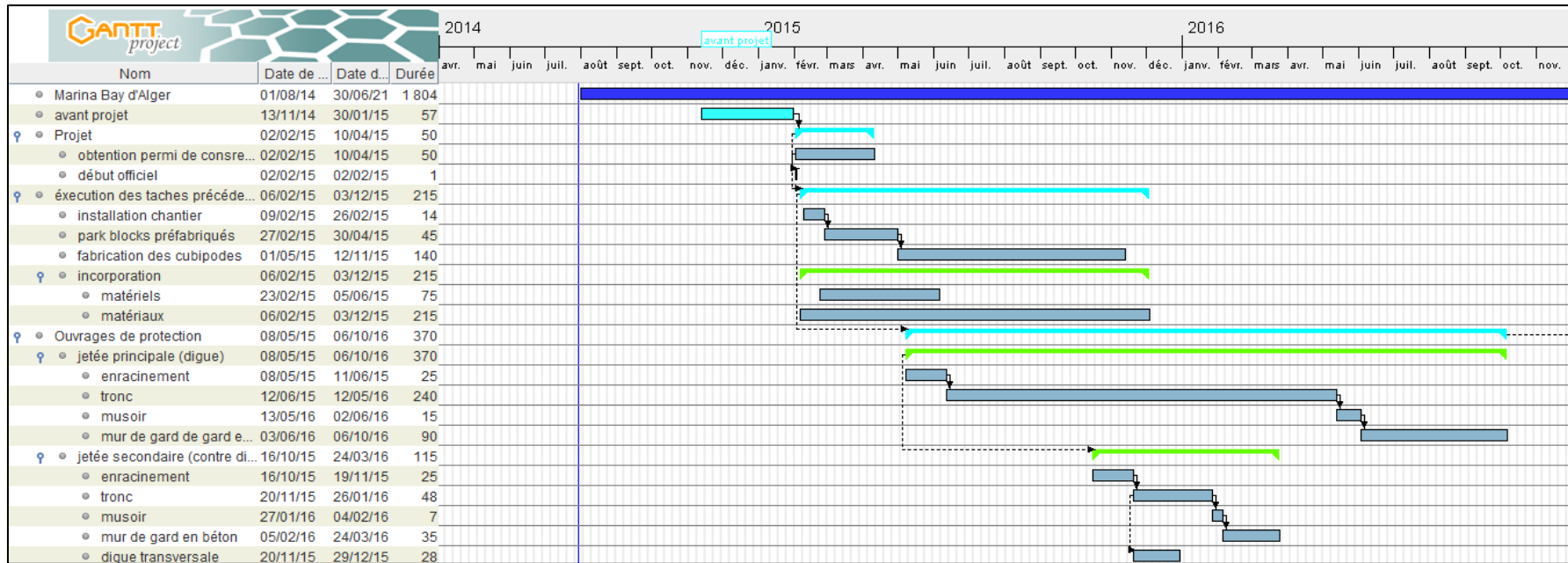


Figure 01: le diagramme de Gantt sur GanttProject (Partie 1)

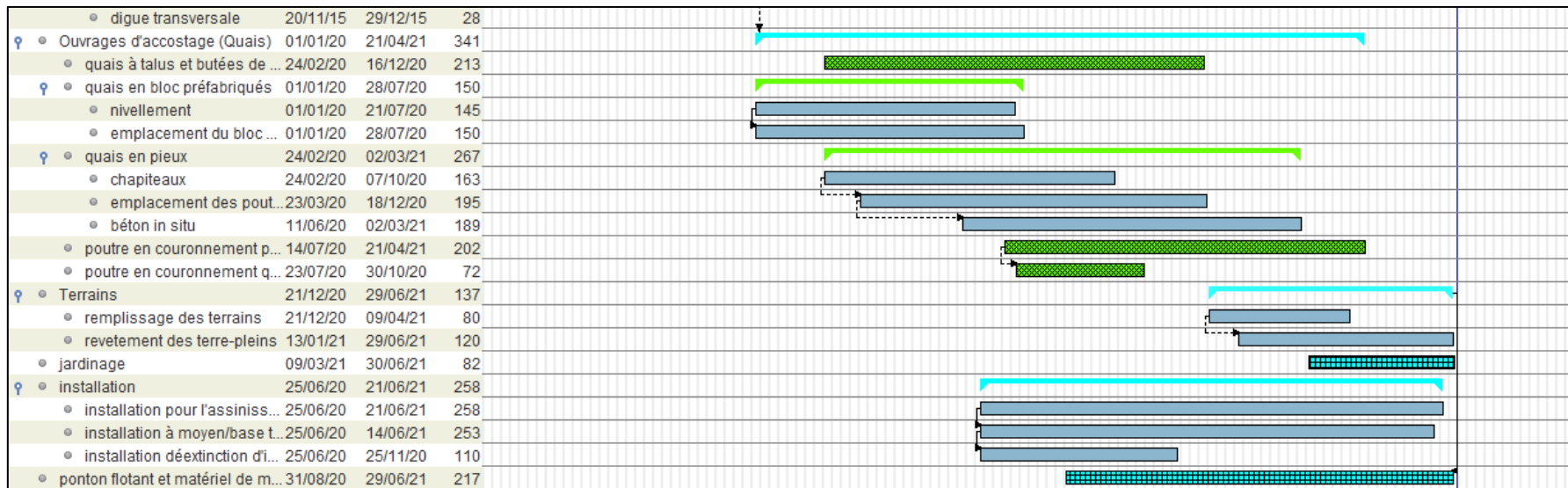


Figure 02 : le diagramme de Gantt sur GanttProject (Partie 2)

## RAPPORT BETON

### 1. Fourniture du béton

Le ciment utilisé dans les travaux d'exécution des ouvrages de la Marina est de type CRS, le béton employé dans les différentes structures est classé en 05 types :

- ✓ Béton pour l'exécution de : Eléments préfabriqués des ouvrages d'accostage,
- ✓ Béton pour l'exécution de : Blocs Cubipodes, mur de garde, blocs et poutres de quai
- ✓ Béton pour l'exécution de : Structures du réseau VRD
- ✓ Béton pour l'exécution de : Revêtement
- ✓ Béton pour l'exécution de : Béton de propreté, corps morts

#### 1.1. Constituants du béton

Le béton utilisé

##### Ciments

Pour la composition des bétons, les ciments utilisés sont :

- CHF-CEM III/A 42.5 N-ES – ACC– Lafarge Ciments
- CEM II 42,5 N-ACC– Lafarge Ciments

##### Adjuvants

L'adjuvant retenu dans les formulations de béton est :

- Tempo 12 – SIKA
- Omega 182-Chryso

##### Granulats

Les granulats utilisés pour la fabrication des bétons sont :

Tableau 01: Tableau des granulats utilisés pour la fabrication des bétons

Agrégats Principale		Agrégats de secours	
0/1	Bousaada	0/1	Bousaada
0/4 C	Kaf Azrou	0/4 C	Kaf Azrou
8/15 C	Kaf Azrou	8/15 C	Si-Mustapha
15/25 C	Kaf Azrou	15/25 C	Si-Mustapha

#### 7.2.3. Formulation du béton des blocs Cubipodes

La formulation utilisée pour la production du béton destiné à la préfabrication est la suivante :

Tableau 00-2 : La formulation utilisée pour la production du béton destiné à la préfabrication

ESSAI DECONVENANCE									
Projet:MARINA-Alger							Date :25/05/2016		
Client : DAHLI									
Classederésistance: Chronolia12HC30/37 D25S4CHF									
Désignation	Quantitég/m3	Provenance		Temps	Durée minute	Slump test mm	T° béton	T° Air	
Sable0/1	200	Boussaâda			Initial	200	22	28	
Sable0/4	720	KafAzrou			15min				
Gravier8/15	720	KafAzrou			60min				
Gravier15/25	310	KafAzrou			90min				
Ciment : CEMIII/A42,5-ES	350	ACC							
VescocrèteTempo12	4,20	SIKA			E/C		0,46		
Eau	160	AEP			G/S		1,12		
							Densité théorique m/cm <sup>3</sup>		2,46
							Densité fraîche gm/cm <sup>3</sup>		2,43
A/Essai décompression :									
N°desérie	Cubes\Cylindre	Poids (gm)	Densité (gm/cm <sup>3</sup> )	Charge (kn)	R/C (Mpa)	R/C Moy. (Mpa)	âge (Jours)	Date D'écrasement	Observation
1	15x30	12,70	2,40	254,30	14,4	14,00	12H	25/05/2016	
2	15x30	12,70	2,40	241,90	13,7				
3	15x30	12,80	2,42	244,70	13,8				
4	15x30	12,70	2,40	634,80	35,9	37,70	7j	01/06/2016	
5	15x30	12,70	2,40	675,40	38,2				
6	15x30	12,80	2,42	689,30	39,0				
4	15x30	12,80	2,42	853,90	48,3	46,90	28j	22/06/2016	
5	15x30	12,70	2,40	832,10	47,1				
6	15x30	12,70	2,40	797,60	45,1				

## ملخص

في هذا العمل المتواضع لمشروع نهائية الدراسات للحصول على درجة مهندس دولة في تهيئة وحماية الساحل اخترنا مشروع مارينا في خليج الجزائر العاصمة كموضوع نتناول فيه المراحل الأساسية لدراسة المرسى. لذلك قمنا بتحليل مفصل لعدة معطيات منها المعطيات حول عرض البحر كاتكسار وانعكاس اتجاه الأمواج والمعطيات المناخية كاتجاه الرياح ... بالإضافة إلى ذلك الدراسات الجيوتقنية والطوبوغرافية لمعرفة خصائص الأرض المخصصة للمشروع. بعد ذلك وبناء على هاته المعطيات نقوم باقتراح تصميم وبالتالي نقوم بدراسة الهياكل الداخلية حسب عدة عوامل كسطح الحوض وطول الأحواض والرصيف بحيث يتم تكييفها مع متطلبات المشروع. تحصلنا بعدها على تصميم مينائي يحتوي على سدين، السد الأول وهو الرئيسي طوله 988 مترا والثاني 283.43 مترا وثلاثة أنواع من الأرصفة لرسو السفن منها من هي عبارة عن كتل من الخرسانة المسلحة ومنها من تركز على أعرضه دائرية من الحديد مع تتويج بالخرسانة المسلحة والأخيرة تتكون من صفائح حديدية مع تتويج بالخرسانة فيما يخص الهياكل الداخلية ثم اختيار أرصفة عائمة بطول إجمالي قدره 1612.3 متر.

بعدها قمنا بكل الحسابات المفصلة من أجل تحجيم للهياكل الداخلية والخارجية أنهينا عملنا بدراسة تأثير المشروع على البيئة وذلك بالنظر في الإطار القانوني والتأثيرات الاجتماعية الجزائرية والأثر البيئي للمشروع على البيئة وسبل الحد منه.

**الكلمات الرمزية:** خليج - الضعف - مناطق ساحلية - التلوث - خط الساحل - نظام المعلومات الجغرافية - مؤشر الضعف الساحلي

## 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 d'une étude d'aménagement maritime. Pour faire, nous avons commencé par une 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. ainsi qu'une étude géotechnique et topographique afin de connaître parfaitement le terrain de l'implantation. Ensuite, et à base de ces données une conception est proposée et une étude d'aménagement intérieur est faite ainsi on pourra déterminer plusieurs paramètres, comme la surface du bassin, la longueur des digues et leur géométrie, projection des ouvrages d'accostage et appontement, pour pouvoir ainsi les adapter aux exigences du client. Nous avons obtenu une infrastructure portuaire qui se compose essentiellement de deux digues comme ouvrage de protections, la principale fait 988 m et la secondaire 283,43 m, ainsi que des quais en palplanche avec couronnement en béton armé, des quais sur pieux métallique avec une poutre d'accostage en béton armé, des quais en monoblocs sur talus et couronnement en poutres béton armé et des appontements flottant avec un total de linéaire de 1612.3 mètres comme ouvrages intérieurs.

Ensuite Nous avons détaillé le dimensionnement des différents ouvrages extérieurs et intérieurs de l'infrastructure, procédé aux vérifications nécessaires tels que le canal à houle, et clôturer notre projet avec une étude d'impact sur l'environnement afin de prendre en considération le cadre juridique Algérien, les influences sociales et environnementales l'impact du projet sur son environnement et des solutions pour le réduire.

**Mots clés :** Houle, côte, port, quai, digue, appontement.

## Abstract

In this modest project study design study for the diploma of coastal management and protection, we chose the marina bay of Algiers as a theme and treatise on the main stages of a study of a port of pleasure. In order to do this, we started with an analysis of oceanographic and climatic data, wave propagation, wave reflection and reflection, wind direction, etc., followed by a geotechnical and topographic study in order to know the terrain implantation. Then, and on the basis of these data, a design is proposed and an interior design study is in fact more parameters, such as the surface of the basin, the length of the dikes and their geometry, projection of berthing structures and wharf, to thus be able to adapt to the requirements of the customer. We obtained a port infrastructure consisting essentially of two dikes as a protective structure, the main one being 988 m and the secondary 283.43 m, as well as sheet piles with reinforced concrete caps, docks on metal piles with one Reinforced concrete docking beam, monoblock docks on embankment and coronation in reinforced concrete beams and floating apartments with a total of 1612.3 meters as internal structures. Then we detailed the dimensioning of the various external and internal structures of the infrastructure, carried out the necessary checks to ensure that the channel to the swell, and close our project with an environmental impact study in order to take into consideration The Algerian legal framework, social and environmental influences, the impact of the project on the environment and solutions to reduce it.

**Keywords:** Port, dock, swell, pier, coast