République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État
Filiére : Travaux publics
Spécialité : Infrastructure de base

Thème

ETUDE DE MODERNISATION ET EXTENSION DU PORT DE TENES DANS LA WILAYA DE CHLEF

Présenté par :

- **MANSOURI Ilham Fattouma.**
- **SOUDANI Nour El Houda.**

Encadré par :

-Mr. RAHMANI Douadi.
- Mr. MECHTI Nacereddine.

Promotion 2020/2021

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout premièrement à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour réaliser cette étude.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences tout au long de nos études.

On tient à remercier vivement toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à **Mr RAHMANI Douadi** a qui on doit notre profonde gratitude , reconnaissance et respect non seulement pour avoir encadré ce projet à l'ENSTP, mais aussi pour sa présence, sa disponibilité , ses orientations et encouragement , pour le temps qui a consacré pour les corrections et le suivi du projet du début jusqu'à la fin.

Nous tenons à remercier vivement **Mr MECHTI Nacereddine** pour avoir encadré ce travail au Laboratoire d'Etude Maritime pour ses multiples conseils judicieux pour nous, nous n'oublierons jamais sa disponibilité et son assistance, on lui exprime notre gratitude pour sa précieuse aide au moment du besoin malgré toutes ses responsabilités.

Nous tenons particulièrement à remercier Mr **ABDERRAHMANE Abdelghani** ingénieur au laboratoire d'études maritimes pour sa disponibilité, son aide précieuse, sa patience et ses encouragements permanents.

Nos remerciements à **Mr LEKEHAL** chef de service d'études maritimes et aériens de la DTP de la wilaya de Chlef pour son accueil, pour l'aide qu'il nous a apporté au cours de ce travail .

Nous remercions par avance aux membres du jury, qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier également tous les membres du département infrastructure de base pour leur aide et sympathie et à tous les enseignants de l'ENSTP et les ingénieurs du LEM pour leurs soutiens et leurs présences pour nous aider.

Dédicace :

Je dédie ce modeste mémoire à :

♣Ma très chère mère « MOUBARKA » qui a œuvré pour ma réussite par son amour, son soutien, tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

♣ Mon cher père « KOUIDER » qui m'a appris le sens de la responsabilité, qui a donné la confiance en soi face aux moments difficiles de la vie, tes conseils ont été toujours le secret de ma réussite.

♣ Ma sœur « Amina » et mes frères « Kamel, Samir, Fouad et Mohammed » qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de courage, persévérance et générosité.

♣ Mon oncle « Aissa »

♣ Ma Grand-Mère Zineb et mon grand-père Laid

♣ Mon binôme Ilhem et toute sa famille.

♣ Mes adarobale amies, Imene, Sabrina,Hinda,Faiza et Hadjer

♣ Tous mes amis et mes camarades à ENSH et à l'ENSTP.

♣ Mes tous professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire et du l'ENSTP

Nour El Houda

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- A Mes très chers parents : Aissa et Fatma El Zohra pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs tendresses et leurs soutiens tout au long de mes études, que dieu vous préserves et vous protège.
- A Mon cher frère : Younes.
- A Mes chères sœurs : Ibtissem , Nardjes et yasmine .
- A toute ma famille, mes tantes et mes oncles.
- A la mémoire de mes grands-parents, j'aurais souhaité leurs présences en ce moment pour partager ma joie, que dieu vous accueille dans son vaste paradis.
- A tous mes cousins et à toutes mes cousines.
- A vous Nour el houda , pour tous vos efforts et votre sérieux.
- A tous mes amis.
- A tous mes proches.
- A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Très sincèrement et du plus profond du cœur je vous dédie mon mémoire, et j'espère vous avoir honoré.

ILHEM

ملخص

في إطار الإعداد لمذكرة نهاية المشوار الدراسي اخترنا أداء تربصنا في مخبر الدراسات البحرية بالجزائر العاصمة
الموضوع الذي اقترح علينا هو دراسة تحديث وتوسيع ميناء تنس بولاية الشلف.
هذا العمل يهدف لمعالجة مختلف الجوانب التقنية والاقتصادية لتحديث وتوسيع الميناء ايضا حساب المنشآت البحرية من اجل القيام بذلك، وجب البحث عن مراجع تتعلق بإمكانية تطوير وتوسيع الموانئ ومنشآت الحماية والرسو من جهة وتحديد أبعادها من جهة اخرى.

كلمات مفتاحيه :ميناء، تحديد الأبعاد، منشآت الحماية، توسيع الموانئ، موجة، تحديث المين اء ..

RESUME :

Dans le cadre de l'élaboration de mémoire de fin d'étude nous avons effectué un stage auprès du Laboratoire d'Etudes Maritime d'Alger, dans le thème qui nous a été proposé est l'étude de modernisation et extension du port de TENES dans la Wilaya de Chlef.

Le présent travail a pour objet de traiter les différents aspects technico-économiques pour une modernisation et extension d'un port, ainsi que le calcul des ouvrages maritimes, pour cela une recherche de la documentation concernant d'une part la faisabilité d'aménagement et extension des ports, ouvrages de protection, d'accostage et d'autre part leurs dimensionnements.

Mots-clés : port, houle, extension, modernisation, pré-dimensionnement, digue mixte, trafics, réfraction...

ABSTRACT:

As part of the development of the end of study thesis, we did an internship with the maritime studies laboratory of Algiers, in the theme that was proposed to us is the modernization and extension study of the port of Tenes in the wilaya of chlef.

The purpose of this work is to deal with the various technical and economic aspects for a modernization and extension of a part, as well as the calculation of maritime works, for this a search for documentation concerning on the one hand the feasibility of development and extension of ports, protection and breathing works and on the other hand their dimensions.

Key words: port, swell, pre-sizing, mixed dyke, traffic, refraction…

Liste des notations et indices

Hb : Houle de projet.

Hs: Houle significative.

L : Longueur d'onde de la houle.

T : Période de la houle.

Kr : Coefficient de réfraction.

W : Poids des blocs de la carapace

γs : masse volumique du matériau.:

Γw: volumique de l'eau de mer.

KD : Coefficient de stabilité adimensionnel de Hudson.

α : Angle du talus de la digue par rapport à l'horizon.

n : Nombre de couches.

KΔ : Coefficient de couche.

e : Epaisseur de la couche de carapace.

P : Porosité.

φ : Angle de frottement interne du matériau.

γ′ : Poids volumique déjaugé.

C : Cohésion du matériau.

Tg Θ : pente du fond.

β : Angle d'incidence de la houle. hb : Profondeur d'eau à une distance de la digue égale à 5Hs .

hc : Hauteur du caisson par rapport au niveau d'eau.

hw : Hauteur du caisson.

hs : Profondeur total d'eau au pied de l'ouvrage.

U : Pression de la houle sous la base du caisson.

Pp.verticale : Pression de la houle sur la paroi verticale du caisson.
Mp.verticale : Moment due à la pression de la houle sur la paroi verticale du caisson.

Pp.inc.1 : Pression de la houle sur la partie inférieure de la face inclinée du caisson.

Pp.inc.2 : Pression de la houle sur la partie supérieure de la face inclinée du caisson.

Pc : Poids de la partie émergé du caisson.

P´c : Poids de la partie immergé du caisson.

Kv : Accélération verticale du séisme.

Kh : Accélération horizontale du séisme.

Ms : Moments stabilisants.

Mr : Moments renversants.

FV : Forces verticales.

FH : Forces horizontales.

FR : Facteur de sécurité du renversement.

FG : Facteur de sécurité du glissement.

Fp : Facteur de sécurité du poinçonnement.

Nγ,Nq,Nc : Termes de portance.

δ : Angle d'inclinaison de la résultante des forces globales.

$\bar{x}$: Bras de levier de la composante verticale des forces globales

E : Excentrement.

B ′ : Base effective.

D : Profondeur d'ancrage.

qlim : Capacité portante du sol.

σV : Contrainte verticale.

λ : Echelle du modèle.

N : Coefficient de stabilité.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC DES OUVRAGES

Tableau III.1 : Termes descriptifs en fonction de la hauteur des vagues (en mètres)..... 27

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER

Tableau IV. 1 : Fréquence des vents au large..... 36
Tableau IV. 2 : Fréquence des vents $<$ et $\geq$ 8 m/s. 36
Tableau IV. 3 : Houle au large/direction et période de retour. 37
Tableau IV. 4 : Statistiques de houle au large. 39
Tableau IV. 5 : Amplitude- Période de la houle au large..... 40
Tableau IV. 6 : synthèse des données de houle au large..... 41

CHAPITRE V : LE TRAFIC MARITIME ET LA CAPACITE DU PORT DE TENES

Tableau V. 1 : Répartition du trafic selon le mode de conditionnement (2012-2014) « Port de Ténès ».....46
Tableau V. 2 : : Nombre de navires (2005-2014) « Port de Ténès ». 46
Tableau V. 3 : Nombre de navires à l'entrée (année 2014) « Port de Ténès » 47
Tableau V. 4 : Les navires reçus au niveau du port de Ténès pour l'année 2014. 47
Tableau V. 5 : La répartition des navires selon le port en lourd (dwt) à l'entrée. 48
Tableau V. 6 : Les équipements actuels du port de Ténès..... 49
Tableau V. 7 : Les équipements actuels du port. 49

CHAPITRE VI : DONNEES GEOTECHNIQUE ET CARACTERISTIQUES DU SOLS DE FONDATION

Tableau VI. 1 : Sondage carotté n°01. Profondeur maximale 20 mètres..... 56
Tableau VI. 2 Sondage carotté n°02. Profondeur maximale 20 mètres..... 57
Tableau VI. 3 :Sondage carotté n°03. Profondeur maximale 20 mètres..... 58
Tableau VI. 4 : Sondage carotté n°04. Profondeur maximale 15 mètres..... 59
Tableau VI. 5 : Les résultats détaillés de ces essais sur les carottes prélevés..... 63
Tableau VI. 6 : Essais S.P.T 64

CHAPITRE VII : ETUDE DE REFRACTION

Tableau VII. 1 : Amplitude de la houle annuelle au large par direction et par période. 71

Tableau VII. 2 : Amplitude de la houle retenue par direction et par période 72

Tableau VII. 3 : Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle annuellepour la zone Est. 73

Tableau VII. 4 : Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle centennale pour la zone Est. 74

Tableau VII. 5 : : Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période de la houle annuelle à – 15 m pour la Zone Ouest. 75

Tableau VII. 6 : Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle centennale pour la zone Ouest. 75

Tableau VII. 7 : Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période..... 77

Tableau VII. 8 : Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle. 78

Tableau VII. 9 : Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période. . 78

Tableau VII. 10 : Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction f (α). 79

Tableau VII. 11 : Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction..... 79

Tableau VII. 12 : Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période..... 80

Tableau VII. 13 : Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle. 81

Tableau VII. 14 : Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période. 81

Tableau VII. 15 : : Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction f (α)..... 82

Tableau VII. 16 : Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction..... 82

CHAPITRE VIII : ETUDE D'AMENAGEMENT

Tableau VIII. 1 : Tableau des couts par section de chaque variante..... 95

Tableau VIII. 2 : Le rapport des coûts de réalisation des variantes 96

Tableau VIII. 3 : tableau comparatif 99

CHAPITRE IX : PREDIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION ET D'ACCOSTAGE

Tableau IX. 1 : les types de matériaux utilisés pour cet ouvrage 107

Tableau IX. 2 : Coefficient de sécurité 116

Tableau IX. 3 : : Données sismiques sur la zone d'étude..... 134

Tableau IX. 4 : poids propre du caisson 135

Tableau IX. 5 : les valeurs de ses efforts dans les deux sens X et Y 136

Tableau IX. 6 : stabilité vis à vis au renversement 138

Tableau IX. 7 : stabilité vis à vis au Glissement 139
Tableau IX. 8 : Cas d'une semelle circulaire dans le cas statique 140
Tableau IX. 9 : Cas d'une semelle circulaire dans le cas dynamique 140
Tableau IX. 10 : les résultats de calcul dans les deux cas statique et dynamique pour les deux sols (sol de fondation et sol support) 140
Tableau IX. 11 : Tableau de ferraillage 148
Tableau IX. 12 : les sollicitations agissantes sur la semelle en phase d'exploitation ... 150
Tableau IX. 13 : Les résultats de calcul ……154

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau XI. 1 : : Textes législatifs et réglementaires complets régissant les études ... 169

ANNEXES

Tableau 2. 1 : Coefficient de stabilité par type de bloc proposé par SOGREAH 181
Tableau 2. 2 : coefficient d'épaisseur de la couche proposé par SOGREAH 182
Tableau 2. 3 : Tableau de termes de portance d'après CAQUOT KERISEL 182

LISTE DES FIGURES :

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES

Figure II. 1 : Image du port d'Annaba. 8
Figure II. 2 : Port de BEJAIA. 10
Figure II. 3 : schéma de principe d'un port. 13
Figure II. 4 : Plan de masse d'un port. 14
Figure II. 5 : Exemples de digues. 15
Figure II. 6 : Schéma d'une digue à talus. 16
Figure II. 7 : Schéma d'une digue verticale. 16
Figure II. 8 : Schéma d'une digue mixte 17
Figure II. 9 : Schéma d'un "duc d'Albe" en tubes métalliques 18
Figure II. 10 : Duc d'albe rigide (Port Alcudia Espagne) 18
Figure II. 11 : Duc d'Albe souple (Port de Marseille) 18
Figure II. 12 : Appontement vraquier de France Martinique. 19
Figure II. 13 : exemple d'un quai 19
Figure II. 14 : Quai en caissons en béton armé. 20
Figure II. 15 :Quai en blocs en béton armé. 20
Figure II. 16 : Quai en rideau plan de palplanches 20
Figure II. 17 : quai sur pieux 21
Figure II. 18 : Bassin de radoub. 22
Figure II. 19 : : Dock flottant. 22
Figure II. 20 : Ecluse maritime 22
Figure II. 21 : une cale d'halage 23

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER

Figure III. 1 : Les caractéristiques de la houle. 25
Figure III. 2 : phénomène de réfraction de la houle. 25
Figure III. 3 : diffraction des houles au pharo de Marseille. 26
Figure III. 4 : phénomène de déferlement 27
Figure III. 5 : La marée. 28
Figure III. 6 : description de l'initiation de ce phénomène ……..29

CHAPITRE IV : COLLECTE DE DONNEES DE BASE

Figure IV. 1 : photo région du port Ténès 31
Figure IV. 2 : Situation de TENES port par rapport à la ville CHELEF, ORAN et ALGER 31
Figure IV. 3 : Photo des postes à quai. 33
Figure IV. 4 : Vue en plan du port. 34
FigureIV. 5: Carte Bathymétrique de Ténès. 43

CHAPITRE VI : DONNEES GEOTECHNIQUE ET CARACTERISTIQUES DU SOLS DE FONDATION

Figure VI. 1 : : Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes, et coupe simplifiée sur la transversale de la grande Kabylie, d'après Durand-Delga et Fontboté (1980). 53
Figure VI. 2 : Carte classification sismique des wilayas D'ALGERIE (d'après CGS 2003)..... 54
Figure VI. 3 : implantation des points de sondage. 55
Figure VI. 4 : SONDAGE N°2 CAISSE N°01 60
Figure VI. 5 : SONDAGE N°01, CAISSE N°01 60
Figure VI. 6 : SONDAGE N°04, CAISSE N°01 60
Figure VI. 7 : SONDAGE N°03, CAISSE N°01 60
Figure VI. 8 : coupe lithologique des sondages carotte sc1..... 61
Figure VI. 9 : coupe lithologique des sondages carotte sc2..... 61
Figure VI. 10 : coupe lithologique des sondages carotte sc4..... 62
Figure VI. 11 : coupe lithologique des sondages carotte sc3..... 62
Figure VI. 12 : Coupe schématique d'une fondation superficielle. 64
Figure VI. 13 : Types de fondations superficielles, (Roger Frank, 2003). 65
Figure VI. 14 : Mécanisme typique de rupture du sol sous une semelle continue (Roger Frank, 2003). 65
Figure VI. 15 : Caisson circulaire. 67
Figure VI. 16 : Quai en blocs..... 68

CHAPITRE VII : ETUDE DE REFRACTION

Figure VII. 1 : Vue aérienne : source Google Earth. 72

CHAPITRE VIII : ETUDE D'AMENAGEMENT

Figure VIII. 1 : scenario n°1 85
Figure VIII. 2 : scenario n°2 86
Figure VIII. 3 : scenario n°3 87
Figure VIII. 4 : vue en Plan de la variante n°1 89
Figure VIII. 5 : vue en plan de la variante n° 2 91
Figure VIII. 6 : vue en plan de la variante n° 3 94

CHAPITRE IX : PREDIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION ET D'ACCOSTAGE

Figure IX. 1 : variante d'extention retenue du port de tenes 102
Figure IX. 2 : digue à talus 103
Figure IX. 3 : Principales dimensions d'une digue verticale 112
Figure IX. 4 : dimensions du caisson 114
Figure IX. 5 : diagramme des pressions théoriques 117
Figure IX. 6 : Diagramme des pressions "Takahashi et Hosoyamada". 119
Figure IX. 7 : : Couches stratigraphiques sous caisson. 126
Figure IX. 8 : : Coupe type d'un caisson 132
Figure IX. 9 : Galets du portique (cas le plus défavorable "en présence des vents 133
Figure IX. 10 : Diagrammes des contraintes dus à la poussée des terres 135
Figure IX. 11 : : Diagrammes des pressions et sous pressions 137
Figure IX. 12 : CAS STATIQUE 142
Figure IX. 13 : : CAS DYNAMIQUE 143
Figure IX. 14 : Modélisation de la structure avec ROBOT BAT 146
Figure IX. 15 : Schéma de répartition du ferraillage 149
Figure IX. 16 : Schéma de calcul 151
Figure IX. 17 : Poutre de couronnement 153
Figure IX. 18 : les charges agissantes sur la poutre de couronnement 154

CHAPITRE X: SIGNALISATION MARITIME

Figure X. 1 : Bâbord Gauche Balise rouge. 157
Figure X. 2 : Tribord Droite Balise verte 157
Figure X. 3 : Marque de chenal principal à tribord 158
Figure X. 4 : : Marque de chenal principal à bâbord 158
Figure X. 5 : Types de la Cardinale 159

Figure X. 6 : Marque cardinale Nord 159
Figure X. 7 : Marque cardinale Sud 160
Figure X. 8 : Marque cardinale Est. 160
Figure X. 9 : Marque Cardinale Ouest 160
Figure X. 10 : Marque danger isolé. 161
Figure X. 11 : Marque d'eaux saines 161
Figure X. 12 : Marque spéciale. 162
Figure X. 13 : Marque d'épave en cas d'urgence. 162
Figure X. 14 : le phare de cap-caxine. 164
Figure X. 15 : photos prises lors de la visite du phare cap-caxine 165
Figure X. 16 : Plan du balisage proposé 166

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Figure XI. 1 : schéma représente l'approche d'identification et d'évaluation l'étude d'impact. 171
Figure XI. 2 : localisation de la zone de dépôt côtier et d'immersion en eau libre 173

LES ANNEXE :

ANNEXE 1 : LES EPURES DE REFRACTION

Figure 1. 1 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N20° 177
Figure 1. 2 : : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N280° 179
Figure 1. 3 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N320° .. 180
Figure 1. 4 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N360° .. 181

ANNEXE 3 :

Figure 3. 1 :le plan de masse de la variante retenue 183

ANNEXE 4 : LES POFILS DE LA VARIANTE RETENUE

Figure 4. 1 : Profil A-A musoir_ Variante Retenue _ Echelle 1/400. 184
Figure 4. 2 : Profil B-B Partie courante_ Variante Retenue _ Echelle 1/400. 185
Figure 4. 3 : Profil C-C Pour la digue à talus _ Variante Retenue _ Echelle 1/700. 186
Figure 4. 4 : Profil D - D côté quai Garde de côtes_ Variante Retenue _ Echelle 1/400 187
Figure 4. 5 : Profil E - E enracinement de la jetée _ Variante Retenue _ Echelle 1/400. 188

Figure 4. 6 : Profil partie courante du prolongement du brise-lames existant côté extérieur _ Variante Retenue _ Echelle 1/500…… .**Erreur ! Signet non défini.**189

ANNEXE 6 : LES COUPES DE QUAI

Figure 5. 1 : vue en plan des caissons 190
Figure 5. 2 : Quai à -12.35 coupe A'-A' 191
Figure 5. 3 : Quai à -10.35 coupe B-B 192
Figure 5. 4 : quai à -10.35 coupe B-B 192
Figure 5. 5 : quai à -12.35 (coupe A'-A') 192
Figure 5. 6 : Quai à -12.35 coupe A-A 193
Figure 5. 7 : vue axonométrique 194

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résume

Liste des Notations et Indices

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale

CHAPITRE I : AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC DES OUVRAGES

I.1. Introduction 3

I.2. Reparation Des Ouvrages 3

I.3. Etablissement Du Diagnostic 4

I.3.1. Collecte Et Analyse Des Données Concernant L'ouvrage 4

I.3.2. Inspection Visuelle Et Reconnaissances Générales 4

I.3.3. Diagnostic De L'ouvrage 5

I.3.4. Auscultation Des Ouvrages Ou Parties D'ouvrages 5

I.4. Verification De L'etat De Conservation De L'ouvrage Et Etude De La Solution De Reparation 6

I.5. Projet De Reparation 6

I.6. Conclusion 7

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES

II.1. Introduction…… 8

II.2. Definition d'un port…… .. 8

II.3. Evolution et developpement des ports maritimes…… 9

II.3.1. Les ports de la première génération…… 9

II.3.2. Les ports de la deuxième génération…… 9

II.3.3.Les ports de la troisième génération…….9

II.3.4. Les ports de la quatrième génération…… 10

II.4. Les fonctions d'un port…….10

II.5. Type des ports…… 10

II.5.1. Les ports selon leurs activités……10

II.5.1.1. Ports de commerce…….10

II.5.1.2. Ports de pêche……11
II.5.1.3. Ports de plaisance..... 11
II.5.1.4. Les ports de travaux ……...11
II.5.1.5. Les ports militaires (ou, bases navales)……. 11
II.5.2. Les ports selon l'utilisation…… 11
II.5.2.1. Ports secs…….. 11
II.5.2.2. Ports de refuges…… 11
II.5.2.3. Ports militaires……12
II.5.3.Les ports selon leur nature……. 12
II.5.3.1. Les ports naturels…… 12
II.5.3.2. Ports aménagés……12
II.5.3.3. Ports artificiels……..12
II.6. Schema de principe d'un port maritime……12
II.7. Plan de masse d'un port…… 14
II.8. Les ouvrages portuaires……14
II.8.1. Les ouvrages extérieurs……..14
II.8.1.1. Le chenal d'accès…….....14
II.8.1.2. L'avant-port…… 15
II.8.1.3.Les digues…… 15
Les digues mixtes :…… 17
II.8.2. ouvrages intérieurs……18
II.8.2.1. bassins……18
II.8.2.2. les ouvrages d'accostage……18
les quais massifs …… 20
Quai pour fondation profonde ……..21
Les quais sur pieux ……...21
II.8.2.3. Les ouvrages de réparation……..22
II.9. Conclusion……23

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER

III1. Introduction 24
III.2. La houle 24
III.3. Les mouvements de la houle 25
III.3.1. La réfraction 25
III.3.2. La diffraction : 26
III.3.3. La réflexion 26
III.3.4. Le déferlement 26
III.4. Etat de la mer 27
III.5. La maree 27
III.6. Les courants 28
III.6.1. Types de courants 28
III.6.1.1. Courant généraux : 28
III.6.1.2. Courants côtiers ou de débris 28
III.6.1.3. Courants de houle 28
III.6.1.4. Courant de marée 28
III.7. Les seiches 28
III.8. Conclusion 29

CHAPITRE IV : COLLECTE DE DONNEES DE BASE

IV.1 Introduction : 30
IV.2 Situation géographique de la wilaya : 30
IV.3 Présentation du site du port actuel : 30
IV.4 Rôle et fonction : 32
IV.5 Plan général du port : 32
IV.5.1 Ouvrages de protection : 32
IV.5.2 Ouvrage intérieurs : 32
IV.6 Plan de masse du port : 34
IV.7 Données naturelles : 34
IV.7.1 Cadre géologique et géomorphologique : 34
IV.7.2 Calcaires du Cap TÈNÈS (Lias moyen) : 35
IV.7.3 Données météorologiques et océanographiques : 35
IV.7.4 Données hydrographiques : 42
IV.8 Conclusion : 44

CHAPITRE V : STATISTIQUES DU TRAFIC MARITIME ET CAPACITES ACTUELLES DU PORT

V.1. Introduction : 45
V.2. Le trafic maritime du port de tenes 45
V.2.1. Réflexion sur le trafic de ténès (1990_ 2014) 45
V.2.2. Trafic de marchandises (années 2012- 2014) : 46
V3. Types et tailles de navires 46
V.3.1. Evolution du nombre de navires 46
V.3.2. Types de navires 46
V.3.3. Répartition des navires selon le pavillon : 47
V.3.4. Taille des navires : 47
V.4.Capacites actuelles du port de tenes 48
V.4.1.Cnstallations et équipements actuels 48
V.4.2. Capacités de stockage : 49
V.4.3. Capacités des postes à quai : 49
V.5. Conclusion : 51

CHAPITRE VI : DONNEES GEOTECHNIQUE

VI.1 Introduction 53
VI.2 Geologie de la zone d'etude 53
VI.3 Sismicite de la zone d'etude 54
VI.1. Implantation des points de sondage 55
VI.4 Resultats et commentaires des reconnaissances et essais 56
VI.4.1 Caracteristiques mecaniques des terrains 56
VI.4.2 Resistance a la compression sur les carottes preleves 63
Résultats des essais SPT: 64
VI.5 Capacite portante des fondations superficielles 64
VI.5.1 Rappel d'une fondation superficielle 64
VI.5.2 Mecanisme de rupture du sol sous une fondation superficielle 65
VI.5.3 Calcul de la capacite portante a partir des resultats des essais de laboratoire 66
VI.5.3.1Calcul de la contrainte admissible : 67
VI.5.3.1.1Fondation type 1 : caisson circulaire : 67
VI.5.3.1.2 Fondation type 1 : quai en blocs : 68
VI.6 Conclusion et recommandation 69

CHAPITRE VII : ETUDE DE REFRACTION

VII.1 Introduction 70
VII.2 Principe de calcul de la refraction de la houle 70
VII.3 Donnees d'entree 71
VII.3.1 Donnees bathymetriques 71
VII.3.1.1 Données de houles au large : 71
VII.3.1.1.1 Houles annuelles : 71
VII.3.1.1.2 Houles pluri- annuelles : 71
VII.3.1.1.3 Résultats : 73
VII.3.1.1.3.1 Zone est : 73
VII.3.1.1.3.2 Zone ouest : 75
VII.3.1.1.4 Estimation du transite sédimentaire : 76
VII.3.1.1.4.1 Zone est : 77
VII.3.1.1.4.2 Zone ouest : 80
VII.4 Conclusion 83

CHAPITRE VIII : ETUDE D'AMENAGEMENT

VIII.1 Introduction 84
VIII.2 Principes d'établissement des variantes d'aménagement 84
VIII.3 Description des variantes d'aménagement 84
VIII.3.1 Variante n°1 : 87
VIII.3.2 Variante n°2 : 90
VIII.3.3 Variante n°3 : 92
VIII.4 Coût de réalisation des variantes 95
VIII.5 Avantages et inconvénients des variantes d'aménagement 96
VIII.6 Comparaison des variantes et recommandations 98
VIII.7 Conclusion 99

CHAPITRE IX : PREDIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION ET D'ACCOSTAGE

IX.1Introduction 100
IX.2Description de la variante d'aménagement (APS) 100
IX.3Dimensionnement de la jetée principale 102
IX.3.1Pré-dimensionnement de la digue à talus : 102
IX.3.1.1Généralités : 102
IX.3.1.2Mode de fonctionnement : 103
IX.3.1.3Méthode utilisée pour le dimensionnement des digues : 103
IX.3.1.4Carapac 104
IX.3.1.5Nombre de blocs par unité de surface : 105
IX.3.1.6Filtre : 105
IX.3.1.7Butée de pied : 105
IX.3.1.8Noyau : 106
IX.3.1.9Vérification des lois de Terzaghi : 106
IX.3.2 Application au projet : 107
IX.3.2.1Choix du type de matériau : 107
IX.3.2.2La carapace : 107
IX.3.2.3Nombre de blocs par unité de surface : 108
IX.3.2.4Dimensionnement des filtres : 108
IX.3.2.5Noyau : 109
IX.3.2.6Butée de pied : 109
IX.3.2.7Vérification des règles de Terzaghi : 110
IX.3.3 Digue verticale : 112
IX.3.3.1Généralités : 112
IX.3.3.2Modes de fonctionnement : 112
IX.3.3.3Conception de la digue : 113
IX.3.3.4Dimensionnement de la digue : 113
IX.3.3.5Présentation de l'option retenue : 113
IX.3.3.6Caractéristiques des matériaux de construction : 114
IX.3.3.7Caractéristiques géotechniques du sol de fondation : 115
IX.3.3.8Vérification de la stabilité du caisson : 115
IX.3.3.9Calcul des pressions selon GODA (pour une vague irrégulière): 116
IX.3.3.10 .....Calcul de pressions et sous pression selon la méthode de GODA-TAKAHASHI : 118

IX.3.3.11Calcul des forces et moments dus à la pression de la houle 120
IX.3.3.12Calcul des moments dus au poids du caisson 122
IX.3.3.13Conclusion : 130
IX.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ACCOSTAGE : 131
IX.4.1Evaluation des efforts agissants sur les caissons 131
Le schéma de caisson adopté ainsi que les couches de sol est le suivant: 131
IX.4.1.1Calcul des efforts 134
IX.4.2VERIFICATION DE LA STABILITE DU CAISSON (EN SERVICE) 136
IX.4.2.1Stabilité vis à vis au renversement 137
IX.4.2.2Stabilité vis à vis au Glissement 137
IX.4.2.3Stabilité vis à vis au poinçonnement 138
IX.4.3VERIFICATION AU FLOTTAISANT 141
IX.4.3.1Détermination de la profondeur X lors de la flottaison 141
IX.4.3.2Stabilité à la flottaison : 142
IX.4.4CALCUL DU FERRAILLAGE: 143
IX.4.4.1Vérification de l'épaisseur des parois du caisson: 143
IX.4.4.2Détermination du ferraillage 143
IX.4.4.3Ferraillage des parois 144
IX.4.4.4Ferraillage de la semelle 145
IX.4.4.5Ferraillage du mur de séparation 146
IX.4.4.6 Ferraillage Poutre de couronnement 147
IX.5Conclusion :..... 149

CHAPITRE X : SIGNALISATION MARITIME

X.1Introduction : 156
X.2Principales actions de signalisation maritime : 156
X.3 Les balises et les feux : 156
X.3.1 Marques latérales : 157
- Marque bâbord : 157
- Marque tribord : 157

X.3.2 Marque de chenal principal àtribord : 158
X.3.3 Marque de chenal principal à bâbord : 158
X.3.4 Marques cardinales : 159
- Cardinale Nord (passer au nord) : 159
- Cardinale Sud (passer au sud) : 159

X.3.5 Les autres marques : 160
- Cardinale Est (passer à l'est) : 160
- Cardinale Ouest (passer à l'ouest) : 160
- Marque spéciale : 161
X.4 Les phares : 162
X.5 Visite du phare cap-caxine à bainem : 163
X.5.1 Description du phare : 164
X.6 Caractéristiques du balisage PROPOSE pour l'extension du port de tenes : 166
X.6.1 Implantation du balisage : 166
X.7 Conclusion : 167

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1 Introduction : 168
XI.2 Objectif de l'étude : 168
XI.3 Cadre juridique : 169
XI.4 Identification des impacts potentiels : 170
XI.5 Les principales sources d'impact : 170
XI.6 Évaluation et description des impacts : 170
XI.6.1 L'évaluation des impacts : 171
XI.6.2 La description des impacts : 172
XI.7Etude d'impact sur l'environnement du dragage et déroctage et rejet en mer des sédiments du port de TENES –Wilaya CHLEF : 173
XI.8 Mesures de réductions et de compensation des impacts : 174
XI.9 Conclusion : 175
Conclusion générale
Références
Les Annexes

INTRODUCTION GENERALE :

Le processus et l'effet de la mondialisation et de la globalisation sont des facteurs qui ont accéléré l'ouverture économique dans le monde. L'évolution des pratiques d'exploitation commerciale a pratiquement marqué le domaine du transport maritime entre les différents continents.

Les ports en Algérie jouent un rôle primordial dans notre économie vue que c'est une partie intégrante des échanges commerciaux de notre pays et dont la quasi-totalité emprunte la voie maritime. Donc on peut dire qu'ils sont l'un des principaux outils industriels et commerciaux pour le développement économique et social du pays.

Le présent mémoire se rapporte à l'extension et à la modernisation du port de Ténès de la wilaya de Chlef.

Notre étude comporte un chapitre de recherche bibliographique sur l'auscultation des ouvrages plus dix chapitres concernant l'étude d'extension et modernisation du port qui sont les suivants :

Deux premiers chapitres exposants des notions de généralités sur les ouvrages maritimes et les mouvements de la mer, après le troisième chapitre qui porte sur la collecte des données de base et l'établissement des besoins du projet.

Quant au quatrième chapitre on a exposé le trafic maritime et la capacité du port de Ténès, puis le cinquième chapitre qui porte sur les données géotechniques et les caractéristiques du sol de fondation.

Sixième chapitre porte sur l'étude de réfraction et ensuite le septième chapitre sur l'étude d'aménagement.

Le huitième chapitre pour le pré dimensionnement des ouvrages de protection et d'accostage.

Pour conclure notre travail, on a consacré le neuvième chapitre à la signalisation maritime et le dixième à l'étude d'impact de notre projet sur l'environnement.

CHAPITRE I :

(RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE) AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC DES OUVRAGES

(ELEMENT DE BASE POUR UNE EXTENSION ET UNE MODERNISATION D'UN PORT EXISTANT)

PREAMBULE

Le souci de l'Ingénieur est de construire des ouvrages qui assurent le service auquel ils sont destinés, mais dans le coût soit le plus faible possible. Cet objectif ne doit pas être confondu avec le principe de l'utilisation optimale de la matière qui a essentiellement un caractère éthique mais pas nécessairement économique.

Et la sécurité d'un ouvrage doit être suffisante mais il est inutile qu'elle soit surabondante.

Cet objectif est plus facile à appliquer pour les nouvelles structures, mais quand est-il des anciens ouvrages ayant subi des dégradations et qui nécessitent une certaine réfection ou des structures qui doivent reprendre de nouvelles surcharges.

Dans de nombreux cas, les possibilités d'extension géographique sont actuellement très limitées, d'autre part, les conditions économiques que nous connaissons ne favorisent guère le financement de projets importants.

Il s'agit donc de savoir adapter les ouvrages existants aux nouvelles données plus contraignantes. Ce problème peut se poser en termes très variés :

- Renforcement d'un ouvrage appelé à supporter des charges d'exploitation plus fortes que celles qui ont présidé à son dimensionnement.

- Renforcement simplement destiné à prolonger la vie de l'ouvrage sans modifier les caractéristiques de son exploitation.

Ces objectifs ne peuvent être atteints qu'avec une auscultation minutieuse et un bon diagnostic, chose qui sera traite ci-après.

I.1. INTRODUCTION

Les causes possibles de désordres dans les constructions sont multiples mais peuvent se classer en un certain nombre de catégories bien distinctes :

- **Erreur sur les hypothèses de calcul** (estimation imparfaite des sollicitations de l'ouvrage en service, négligence des efforts liés à l'environnement ou à l'évolution même du matériau),
- **Erreur sur les hypothèses du sol** (absence et/ou insuffisance des reconnaissances),
- **Défaut de conception** résultant le plus souvent de la non-observation des prescriptions réglementaires (insuffisance ou mauvaise disposition des armatures passives, concentration exagérée d'efforts, assemblages défectueux,...),
- **Utilisation d'ouvrages** d'une manière non conforme à leur utilisation (surcharges de service dépassant les surcharges de calcul),
- **Imperfections d'exécution** (bétonnage en présence de circulation d'eau bétons délavés, pieux trop courts ou n'atteignant pas le substratum),
- **Causes accidentelles** (travaux de fouilles à proximité des ouvrages, incendies, explosion),
- **Insuffisance ou absence** de surveillance et d'entretien périodiques.

D'une manière générale, parmi les dégradations affectant les ouvrages, on distingue :

- **Les dégradations lentes** :

Dues essentiellement au vieillissement des matériaux et des structures, aux facteurs agressifs du milieu ambiant (corrosion, entraînement des matériaux, dissolutions physiques et chimiques), aux modifications par rapport aux conditions initiales (tassements, déplacements), aux conditions de mise en œuvre des matériaux (béton et armatures).

- **Les dégradations brutales** :

Qui ont un caractère accidentel (chocs de navires, tempêtes, incendies, séismes).

I.2. REPARATION DES OUVRAGES

- **Pourquoi réparer une structure ?**

Bien évidemment, parce que la structure en cause manifeste des signes de faiblesse plus ou moins graves et plus ou moins apparents. Aussi, la question devient-elle alors : **la structure est-elle réparable ?**

Pour y répondre, il faut donc commencer par dresser un état détaillé et précis des désordres qui sont apparus, s'efforcer d'en déterminer les causes, estimer l'intensité des charges que la structure est encore en état de supporter (dans le but notamment de prendre le plus rapidement possible d'éventuelles mesures de sécurité) et enfin procéder à l'étude des moyens propres à lui restituer ses caractéristiques de résistance.

- **Quels peuvent être ces désordres ?** Ils se ramènent en fait à deux catégories :

- Ceux que l'on peut mesurer, concernant essentiellement la géométrie de l'ouvrage ;

- Ceux que l'on constate, concernant l'état des matériaux constitutifs de l'ouvrage.

I.3. ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC

I.3.1. Collecte et analyse des données concernant l'ouvrage

- Recueil des dossiers relatifs aux études antérieures ainsi que toutes autres informations intéressant l'ouvrage,

- Analyse du projet d'origine et des conditions d'exécution des ouvrages : Il s'agira essentiellement de la recherche et de l'étude du projet d'origine ainsi que du déroulement des travaux : plans d'exécution et notes de calcul, plans de ferraillage, rapports de chantiers,

- Vérification des éléments du projet et recherche des éléments manquants : la seule possession du projet d'origine peut s'avérer insuffisante car bien souvent on ne dispose pas du dernier indice de plan, soit l'ouvrage n'a pas été réalisé conformément aux plans. Il s'agira donc de vérifier ou de rechercher les différents paramètres de l'ouvrage, notamment en ce qui concerne les incidents antérieurs éventuels (en service ou au moment de la construction).

Ces pièces une fois rassemblées permettent d'apporter des éléments susceptibles d'être pris en compte dans l'établissement du diagnostic.

I.3.2. Inspection visuelle et reconnaissances générales

L'inspection visuelle permet de donner un aperçu sur l'état général des différentes parties d'ouvrage, d'appréhender le type d'interventions à mener, de définir leurs natures ainsi que leurs consistances. Les résultats de cette mission serviront de base pour des investigations plus approfondies.

- Levé topographique : exécuté à une échelle appropriée (reproduira et précisera la nature, l'emplacement et le nivellement de toute installation existante).

- Levé géométrique : concerne la géométrie des ouvrages (permettra, sous réserve de l'absence et/ou de l'insuffisance du projet d'origine, la reconstitution des plans de l'existant).

I.3.3. Diagnostic de l'ouvrage

- **Consistance :**

- L'examen et l'analyse approfondie des dossiers relatifs aux études antérieures de construction, d'expertises, réparation et/ou de renforcement,

- L'auscultation minutieuse des différentes parties d'ouvrages afin d'apprécier l'état des matériaux en place (bétons, aciers) par le biais de sondages et d'essais appropriés

- **Objectif :**

- Détermination de la nature et de l'importance des désordres,

- Recherche des causes des désordres,

- Examen, si possible, au prix de certaines mesures à empêcher ces causes à continuer à agir,

- Recherche des actions de réparation, restauration, au besoin de renforcement et/ou de reconstruction et d'en estimer le coût,

- Si les dégradations sont assez importantes ou si l'ouvrage est vétuste, la comparaison de la solution de restauration ou de sauvetage de l'ouvrage avec le parti de l'abandon et du remplacement (partiel ou total),

- Examen le cas échéant si, sans risque pour la sécurité des usagers, la possibilité de différer certaines opérations (échelonnement des phases d'intervention).

I.3.4. Auscultation des ouvrages ou parties d'ouvrages

- Pièces métalliques

Exécution de sondages à l'ultra son et/ou prélèvement d'échantillons.

- Appréciation de la perte de métal (mesure d'épaisseurs de l'acier résiduel).

- Armatures pour béton armé

Exécution de sondages, essai mécanique.

- Détection et répartition des armatures dans le béton (pacomètre).

- Mesure de la résistance à la traction sur échantillons de barres prélevées.

➢ Matériau béton

Exécution de sondages à l'ultra son comme moyen pour :

- Apprécier l'homogénéité du béton.
- Localiser et apprécier l'importance d'un défaut.

- Donner une estimation de la résistance du béton.

➢ Prélèvement de carottes sur béton durci comme moyen pour :

- Identifier le matériau en place et évaluer ses propriétés,

- Servir de référence d'étalonnage ou comme point de comparaison avec les résultats tirés d'essais non destructifs ; les renseignements obtenus par écrasement ne pouvant être représentatifs de l'ensemble de l'ouvrage).

Note : le prélèvement d'échantillons ayant l'inconvénient majeur d'être partiellement destructif, par conséquent les échantillons extraits seront les plus petits possibles, en nombre limité au strict nécessaire et aux endroits les moins vitaux de la structure.

➢ Analyse chimique et minéralogique des bétons afin de :

- Nous renseigner sur la composition ainsi que sur les propriétés physico-chimiques,

- Déceler éventuellement les altérations qui ont pu s'y produire.

I.4. VERIFICATION DE L'ETAT DE CONSERVATION DE L'OUVRAGE ET ETUDE DE LA SOLUTION DE REPARATION

L'identification et l'analyse des causes des désordres permettent la vérification de l'état de conservation de l'ouvrage vis à vis de la stabilité et de la résistance (les résultats de cette vérification seront exploités aux fins de présenter éventuellement la ou les méthodes de réparation, de renforcement et/ou de reconstruction des ouvrages ou parties d'ouvrages en précisant les différentes étapes de préparation des zones concernées, les produits et matériaux à utiliser et leur mise en œuvre).

I.5. PROJET DE REPARATION

L'établissement du projet de réparation (et/ou de renforcement), lequel tiendra compte :

- De la faisabilité, c'est à dire, compte tenu de la présence de l'ouvrage existant, lequel restera éventuellement en service pendant les travaux,

- De la possibilité d'utiliser des procédés appropriés en fonction des conditions propres au site (accessibilité, existence d'éventuelles d'installations sensibles).

- L'estimation du coût de l'opération.

- L'élaboration d'un rapport technique détaillé décrivant la solution préconisée, la consistance et le quantitatif des travaux à entreprendre.

I.6. CONCLUSION

Une connaissance aussi précise que possible des mécanismes de dégradation des matériaux, et perte de performance ou de comportement des structures, sont dues à plusieurs facteurs qu'on ne peut maitriser qu'avec suivi et entretien juridique Ainsi la notion de la structure parfaitement durable est une notion irréalisable. Cette vulnérabilité des structures nous exige le recourt à une bonne technique de diagnostic et d'auscultation à travers le cycle de la vie d'ouvrage.

A cet effet la compréhension des mécanismes de dégradation nécessite la maitrise des méthodes de surveillance, de détection des causes et des pathologies.

CHAPITRE II :

GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES.

II.1. INTRODUCTION

La construction d'un port, son équipement, l'aménagement de ses accès, la protection du rivage contre l'action de la mer constituent un ensemble d'opérations complexes, h habituellement englobées sous la désignation de« Travaux maritimes ».

En fait, les travaux maritimes n'ont que très rarement une technique exclusive d'autres applications, leur caractère maritime provient essentiellement du site dans lequel ils sont réalisés ou du fait qu'ils sont destinés à la réception de navires dont la taille est devenue très importante.

Dans la phase actuelle d'expansion des échanges par mer, dont on peut observer un éventail largement ouvert des villes maritimes : les unes sont restées humbles et répondent à des besoins locaux limités ; les autres sont devenues puissantes et font face à de plus amples obligations. En outre le développement économique d'un pays et son rythme de croissance élevé entraîne un flux important de marchandises où la majorité de ce flux transite par les ports.

Le littoral de l'Algérie compte des dizaines de ports répartis sur les 14 wilayas côtières. Face au problème de la croissance du trafic de la marchandise beaucoup de port ont commencés à souffrir et afin d'améliorer la productivité de ces derniers, des projets d'aménagement et d'extension ont été lancés dans plusieurs wilayas. On s'intéresse dans notre projet à l'extension de l'ancien port de TENES.

II.2. DEFINITION D'UN PORT

Le port est l'ensemble des espaces terrestres, eaux maritimes ou fluviales, des infrastructures et des superstructures réunissant les conditions physiques et d'organisation physiques permettant l'accueil des navires pour qu'ils s'y abritent, y accostent.

Y effectuent les opérations d'embarquement et de débarquement des marchandises ou des passagers, s'y approvisionnent ou y effectuent des réparations.



Figure II.1 : Image du port d'Annaba.

II.3. EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT DES PORTS MARITIMES

Un port pour les pays qui disposent d'une façade maritime est un atout majeur pour le développement de leur commerce et donc de leur économie »[1]. Ainsi, ces pays ont fourni beaucoup d'effort afin que les ports maritimes puissent assurer pleinement leurs missions et contribuer au développement économique. Ceci ne peut être atteint qu'avec la modernisation des ports maritime qui doit être en ligne avec le développement de l'économie et du commerce extérieur. Le développement fonctionnel et spatial d'un port maritime passe donc par les évolutions suivantes:

II.3.1. Les ports de la première génération

Sert d'interface entre deux modes de transport. Il s'agit des ports de la période d'avant les années 60 qui recevait principalement des bateaux à vapeur. Ils se sont développés dans un environnement de colonisation, de montée en puissance des nations et d'une croissance rapide du commerce. Les fonctions portuaires de cette génération se limitaient au transbordement, à l'entreposage et au commerce. Cependant, les services portuaires étaient élémentaires et à faible valeur ajoutée. A cette époque, les ports ne représentaient qu'un point de transbordement dans la chaîne de transport.

II.3.2. Les ports de la deuxième génération

Les ports de la deuxième génération se sont développés après les années soixante où des évènements comme la pétrochimie, la prospérité structurelle, l'industrialisation se sont étendus. En plus du transbordement, l'entreposage et le commerce, les fonctions portuaires touchaient même l'industrie. Les services portuaires sont devenus combinés et leurs valeurs ajoutées se sont améliorées. Quant à la zone portuaire, elle s'est développée pour avoir une meilleure extension et des infrastructures plus modernes. Dans les ports de la deuxième génération, une approche plus globale des fonctions d'un port maritime est obtenue par la coordination de l'Etat, des autorités portuaires et des prestataires de services portuaire. Les ports de la deuxième génération sont devenus des centres qui assurent le transport, les activités industrielles et les activités de commerce.

II.3.3. Les ports de la troisième génération

A partir des années 1980 et jusqu'aux années 2000, les ports de la troisième génération ont vu le jour dans un monde où la mondialisation et les entreprises multinationales ont envahi le monde. En plus des fonctions traditionnelles des ports, ces derniers ont occupé même la fonction de la distribution. Aussi, la conteneurisation au sein de ces ports et la disponibilité des infrastructures ont largement augmenté la valeur ajoutée des ports. Durant cette période, les ports ont connu une orientation commerciale et sont devenus des centres logistiques. Le transport est devenu intégré au sein des ports. En plus, des services logistiques et des services de distribution sont assurés par les ports qui doivent assurer également la fonction marketing pour atteindre une meilleure performance portuaire.

[1] Amour Zinsou. « La gestion de la sécurité dans l'enceinte du port autonome de Cotonou ». Neptunus revue électronique. Centre de droit maritime et océanique. Université de Nantes. Vol. 16. 2010. P.1

II.3.4. Les ports de la quatrième génération

A partir des années deux milles, les ports sont devenus des Centres et des réseaux intégrés de transport, de logistique et d'information. En effet, c'est avec la globalisation, qui en ouvrant les portes à un vaste commerce internationale, et l'informatisation, qui a facilité le flux physique et d'information, que la logistique portuaire a pris toute son envergure dans la supply Chain.

II.4. LES FONCTIONS D'UN PORT

D'une manière générale, les ports permettent d'assurer quatre fonctions importantes :

- **Administrative :** (En veillant à ce que les intérêts juridiques, socio-économiques et politiques de l'État et des autorités internationales maritimes soient protégés).
- **Développement** : (Ports principaux promoteurs et instigateurs d'un pays et de l'économie régionale).
- **Industrielle :** (Grandes industries traiter les marchandises importées ou exportées dans un port).
- **Commerciale :** (Les ports sont les points de jonction du commerce international où les différents modes de transport échangent; chargement, du déchargement, de transit des marchandises).

II.5. TYPE DES PORTS

II.5.1. Les ports selon leurs activités

Selon leurs activités et les types de bateaux accueillis, on distingue au moins quatre type de ports, commerce, pèche, plaisance et les ports militaires, il est fréquent qu'un même port combine plusieurs activités.

II.5.1.1. Ports de commerce

Sont réputés ports de commerces et classés dans cette catégorie, les ports destinés à assurer dans les meilleures conditions économiques et de sécurité, toutes les opérations d'embarquement et de débarquement de personne, de marchandise et d'animaux vivants transitant du mode maritime au mode terrestre de transport et inversement ainsi que toutes les opérations liées à la navigation maritime.



Figure II.2 : Port de BEJAIA.

II.5.1.2. Ports de Pêc

Sont classés dans cette catégorie, les ports destinés à recevoir les navires armés à la pêche et assurer la satisfaction des besoins et le développement de cette activité.

II.5.1.3. Ports de plaisance

Sont classés dans cette catégorie les ports aménagés pour permettre la satisfaction des besoins de la navigation de la plaisance et le développement de cette activité.





Figure II. 3 : port de sidi Fredj.

II.5.1.4. Les ports de travaux

Enfin certains ports doivent être créés pour l'exécution de grands travaux afin de servir à abriter les engins flottants.

II.5.1.5. Les ports militaires (ou, bases navales)

Accueillent les navires de guerre. Certains ports sont ouverts (Portsmouth), mais d'autres, notamment les bases de sous-marins, sont fermés et interdits au public pour des raisons de sécurité. Un port militaire peut inclure un arsenal, une école navale, un chantier de réparation, des moyens de ravitaillement, de logement et d'entraînement pour les équipages.

Certains navires militaires, notamment les patrouilleurs, peuvent être basés dans d'autres types de ports.

II.5.2. Les Ports selon l'utilisation

II.5.2.1. Ports secs

Le code de maritime algérien classe les ports en trois catégories : les ports de commerce, les ports de pêche et les ports de plaisance. Cette classification est opérée en fonction de l'activité qui est exercée dans chaque catégorie de port. En revanche certains passages du code maritime, énoncent :

- Des zones d'extension du port comme dépendance du domaine public portuaire.
- Des zones extra –portuaires.
- Des zones de dégagement et aires de dédouanement.

Ces dispositions n'identifient pas de manière précise les ports secs et n'en définit pas les particularités qui les distinguent des trois catégories de ports identifiés, mais elles évoquent des ‘’zones extra- portuaires’’, sans en définir le rôle et les missions, auxquelles peut être rattachée la notion ou l'idée de port. Une première définition du port sec peut être en relation avec la notion d'« une zone extra –portuaire » ayant les mêmes fonctions qu'un port de commerce, à l'exception de celles ayant trait à la réception des navires. En d'autres termes, il s'agit d'une zone aménagée pour « la réception, le pointage et la reconnaissance à terre des

marchandises embarquées ou débarquées, ainsi que leur gardiennage, jusqu'à leur embarquement ou leur délivrance au destinataire ».

II.5.2.2. Ports de refuges

Les Ports refuges ont pour seule vocation de fournir un abri temporaire aux bateaux par gros temps. Parfois, les capitaines des navires cherchent un refuge à cause du mauvais temps ou des conditions météorologiques extrêmes (tempetes..). Dans d'autres circonstances, la recherche d'un port de refuge est due à des incidents de navigation imprévisibles qui nécessitent un arrêt momentané du navire.

II.5.2.3. Ports militaires

Les Ports militaires Sont dotés des mêmes infrastructures que les ports de commerce. En plus, ils disposent d'équipements spécialisés dans le stockage et la logistique des munitions.

II.5.3. Les ports selon leur nature

La classification qu'on propose ci-dessous regroupe les ports selon les abris qu'ils disposent (natures, aménagés et artificiels).

II.5.3.1. Les ports naturels

Sont des ports qui bénéficient d'un abri naturel. La plupart des grands ports naturels ont, dans une certaine mesure, connue des aménagements comme l'assainissement des canaux pour permettre aux navires à fort tirant d'eau pénétrer. Le cas du port de New York est un exemple parfait qui demeure un des plus beaux abris naturels au monde. Ainsi, la présence des ports naturels a souvent déterminé l'emplacement d'une ville portuaire et d'un port. Ce fut le cas de Rouen et de Londres.

II.5.3.2. Ports aménagés

Contrairement aux ports naturels, les ports aménagés nécessitent des travaux complémentaires pour construire un abri adéquat. Sachant que la topographie naturelle du site détermine les travaux nécessaires pour l'aménagement. A Venise, par exemple, des jetées ont aidé à construire un canal d'entrée vers le bassin. De nombreux ports qui se situent dans des baies ou des bassins connaissent l'ensablement ou l'envasement de leur canal d'entrée entre les jetées, ce qui entraine un dragage permanent. Dans certains cas, l'ensablement naturel du canal d'entrée au port a eu comme conséquence l'abandon systématique du site.

II.5.3.3. Ports artificiels

Sur les rivages sans un abri naturel, on construit des ports en délimitant un plan d'eau avec des digues, afin de former une baie artificielle et l'on creuse des darses, comme à Cherbourg ou à Dunkerque.

Les plans des ports artificiels sont très variés, mais tous ont en commun l'existence d'au moins deux digues entres lesquelles se trouve l'entrée du port. Le port de Buffalo, installé sur le lac Erié aux USA, est l'un des plus grands ports entièrement artificiels. Dans cette catégorie, il faut encore citer les ports de Marseille, Port –Saïd, Casablanca, Naples et Trieste.

II.6. SCHEMA DE PRINCIPE D'UN PORT MARITIME

Pour entrer dans le port, ou en sortir, le navire emprunte un **chenal balisé (A**), aidé dans sa circulation par le radar du VTS (Visual Traffic System) et par les feux d'alignement.

L'avant-port (D) est protégé de la houle par des digues (C). Le navire peut y effectuer des manœuvres "d'évitage" (c'est à-dire tourner sur lui-même de 180°), de façon à pouvoir être amarré à son poste d'opérations cap vers la sortie (ce qui facilite grandement l'abandon du poste en cas de nécessité).

Les postes d'accostage (conçus sous forme de quais, d'appontements ou de ducs d'Albe) sont établis en bordure :

- **de bassins de marée (E)** en liaison directe avec l'avant-port
- **ou de 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, voies navigables (G, H) et équipés de terre-pleins permettant le stockage des cargaisons.

Lorsque l'agitation due à la houle n'est pas trop forte, les navires transportant des cargaisons liquides ou en vrac peuvent être reçus à des **postes non protégés (B).** Ils chargent ou déchargent 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 entre ce point et les installations de stockage établis à terre s'effectue par des canalisations fixes posées sur le fond marin.

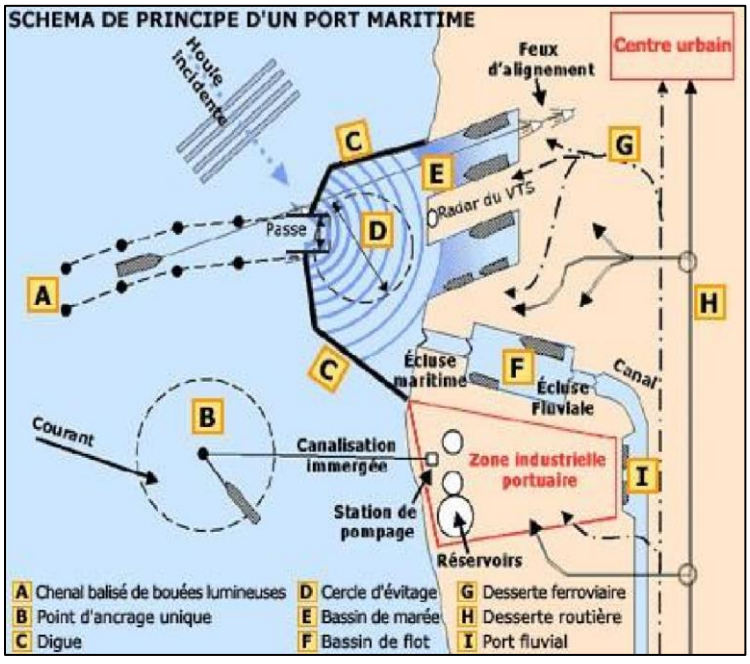


Figure II. 4 : schéma de principe d'un port.

II.7. PLAN DE MASSE D'UN PORT

Le plan de masse d'un port est un schéma destiné à montrer une vue d'ensemble de ce dernier.

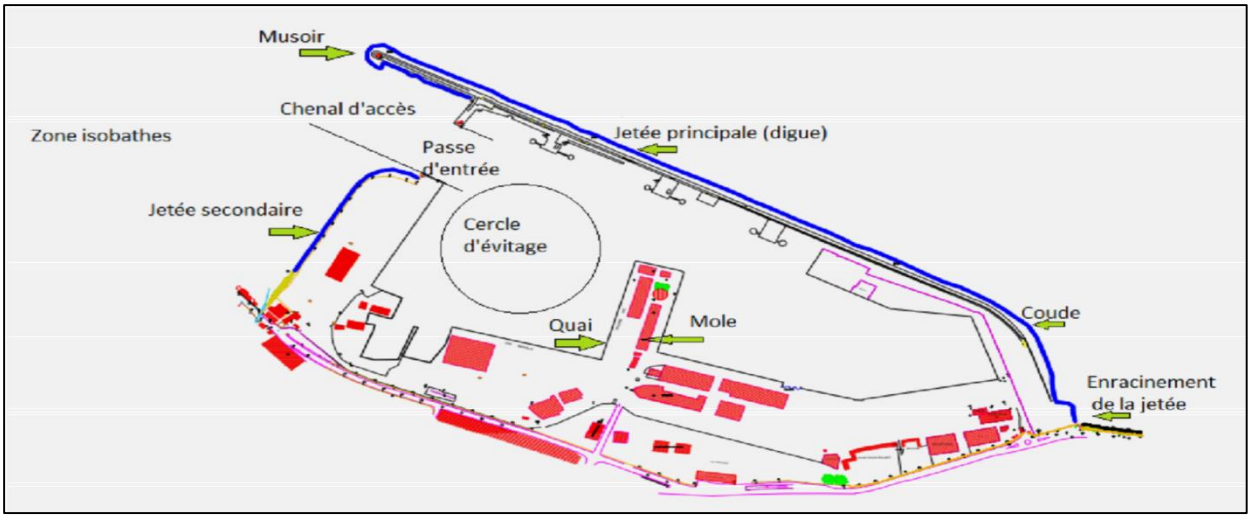


Figure II. 5 : Plan de masse d'un port.

II.8. LES OUVRAGES PORTUAIRES

Les Ouvrages qui constituent un port sont regroupés en deux catégories :

- **Les ouvrages extérieurs :** chenal d'accès, digues de protection contre la houle et avant-port.
- **Les ouvrages intérieurs :** qui permettent au port de tenir son rôle : darses, quais, appontements, écluses, les ouvrages de réparation, ponts mobiles ; Mais aussi les ouvrages servant à la navigation tels que phares, balises, feux des musoirs.

II.8.1. Les ouvrages extérieurs

II.8.1.1. Le chenal d'accès

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

Sa largeur est de l'ordre de grandeur de la longueur du plus grand navire (ou de 6 à 9 fois la largeur maximale du navire) qui doit être reçu au port.

Pour éviter tout risque de heurt du navire contre le fond (par suite des mouvements qui lui sont imposés par la houle – lesquels font varier son tirant d'eau par rapport celui constaté en eau calme) la profondeur est de 10 à 15 % supérieure au tirant d'eau du plus grand navire.

II.8.1.2. L'avant-port

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

navire dispose de propulseurs d'étrave. L'agitation dans l'avant-port ne doit pas excéder 1,20 m, et de préférence, être limitée à moins de 1 m.

II.8.1.3. Les digues

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

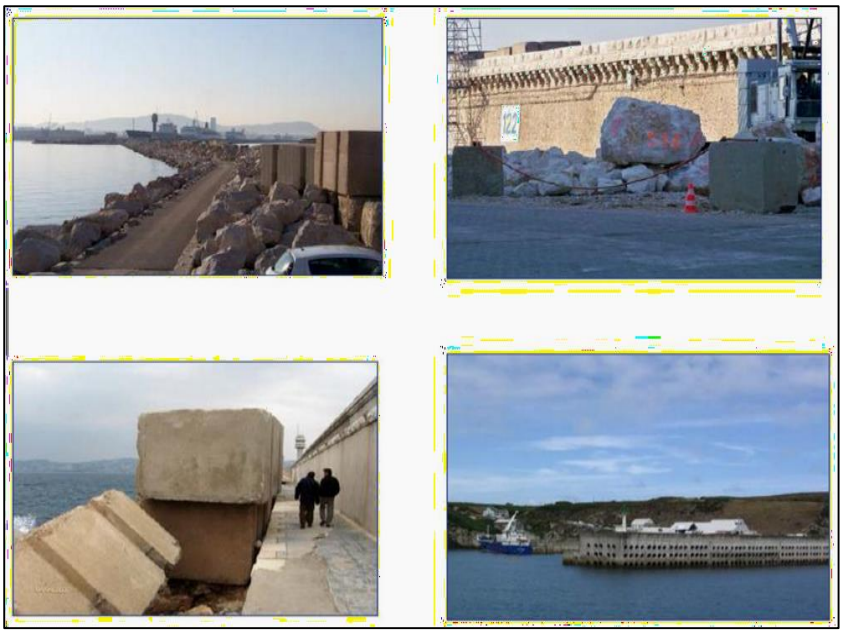


Figure II. 6 : Exemples de digues.

Trois types d'ouvrages sont utilisés :

- **La digue à talus :**

Sont constituée par un noyau de petits enrochements, recouvert par des couches de blocs de plus grande taille, et du côté mer par une carapace en gros blocs naturels ou artificiels (en béton), capable de résister aux efforts imposés par le déferlement des houles sur le talus. L'ouvrage est couronné par une structure massive en béton, arasée à un niveau assez élevé au-dessus de celui de la mer pour éviter son franchissement par les houles déferlantes.

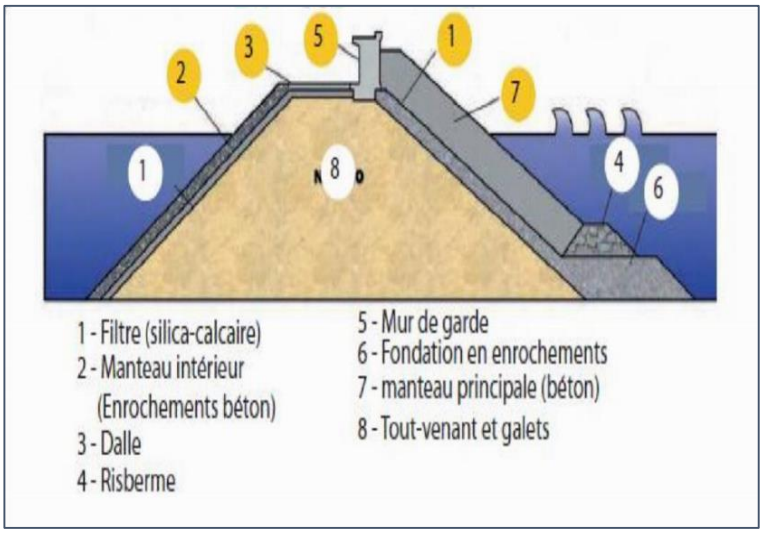


Figure II. 7 : Schéma d'une digue à talus.

- **Les digues verticales :**

Une digue verticale est essentiellement composée d'un mur vertical monolithique ou constitue des éléments assemblés entre eux destinés à renvoyer l'énergie de la houle par réflexion quasi-totale. Ces digues sont conseilles en eau profonde (≥ 15m), vu la demande importante en matériaux rocheux dans le cas d'une digue à talus.

Elles sont constituées par une muraille de grande hauteur, faite de gros blocs de béton (supérieurs à 100 tonnes) empilés et liaisonnés par des puits verticaux emplis de béton légèrement armé, ou par des caissons de béton armé remplis de béton maigre ou d'enrochements. Cette muraille est fondée sur un massif d'enrochements. Ses dimensions doivent en assurer la stabilité et éviter qu'elle soit franchie par la houle qui, en se réfléchissant sur la paroi, forme un clapotis d'amplitude double.

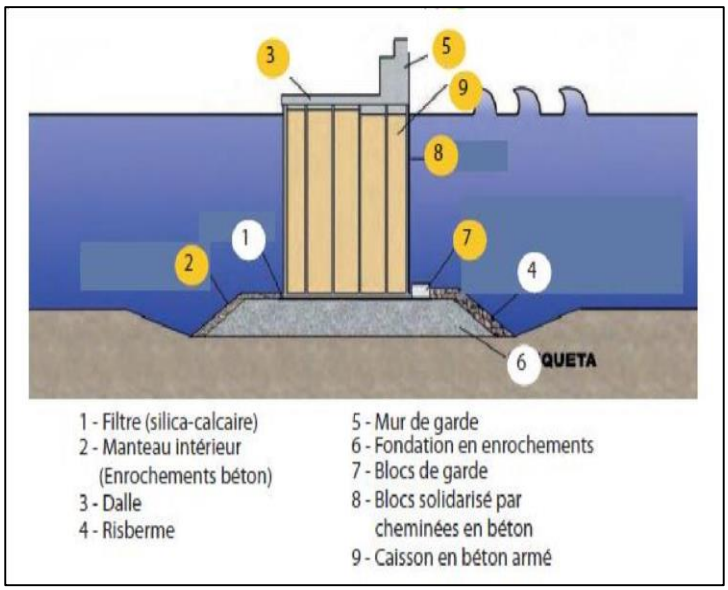


Figure II. 8 : Schéma d'une digue verticale.

- **Les digues mixtes :**

Une digue mixte reprenne certains principes des digues à talus et des digues verticales, elle comporte une muraille reposant sur un massif de fondation en enrochement ou sur un fond dur. C'est une combinaison entre les deux types de digues, pour cites ; généralement marée basse, elle se comporte comme digue à talus et marée haute comme les digues verticales.

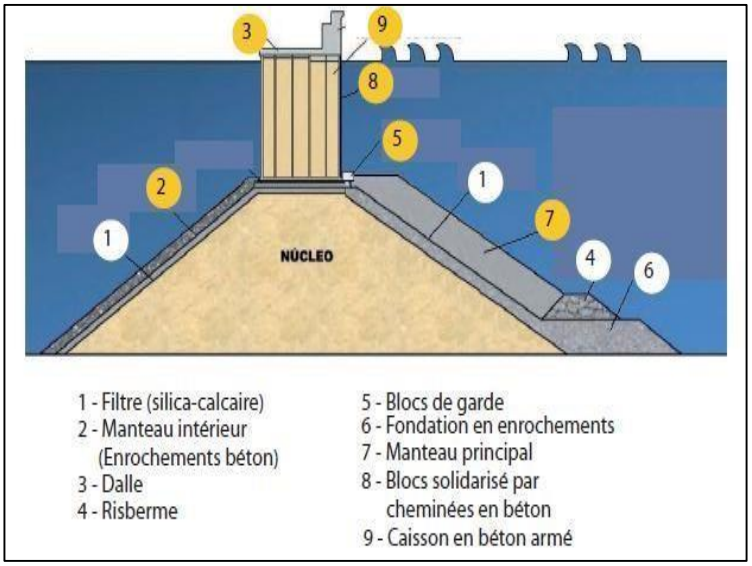


Figure II. 9 : Schéma d'une digue mixte.

II.8.2. Ouvrages intérieurs

II.8.2.1. Bassins

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

La profondeur du bassin et celle du poste d'opération sont égales à la somme :

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

Si le marnage est important, il peut être plus économique de réduire la hauteur des postes d'opération, en maintenant le niveau dans le bassin, à celui de la pleine-mer : il faut pour cela que la communication entre l'avant-port et le bassin (dit à flot) s'effectue par une écluse.

II.8.2.2. Les ouvrages d'accostage

Les ouvrages d'accostage désignent l'ensemble des équipements d'un port qui permettent de :

- Fournir aux navires un dispositif assurant son immobilisation, en permettant son accostage et son amarrage.

- Réaliser la liaison entre le navire et la terre.
- Soutenir les terres à la limite du plan d'eau en excluant des installations très particulières.

On distingue parmi les ouvrages d'accostage :

- Les ducs d'albe.
- Les appontements.
- Les quais.

➢ **Les ducs d'albe** : Ce sont des ouvrages en pilotis ancrés dans le fond du bassin, ils jouent le rôle d'appui pour les navires, et permettent seulement leurs amarrages.

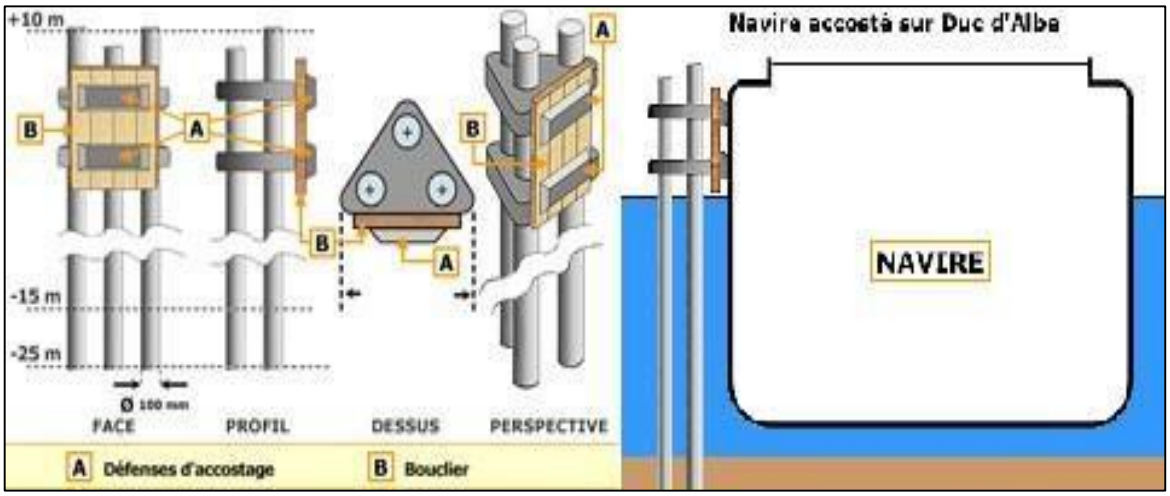


Figure II. 10 : Schéma d'un "duc d'Albe" en tubes métalliques



Figure II.11 : Duc d'Albe souple (Port de Marseille)



Figure II.12 : Duc d'albe rigide (Port Alcudia Espagne)

- **Les appontements** : Sont des ouvrages permettant l'accueil et le stationnement des navires mais n'assurant pas une liaison directe avec les parties terrestres. Ils peuvent cependant servir à l'approche ou au dépôt de la marchandise.

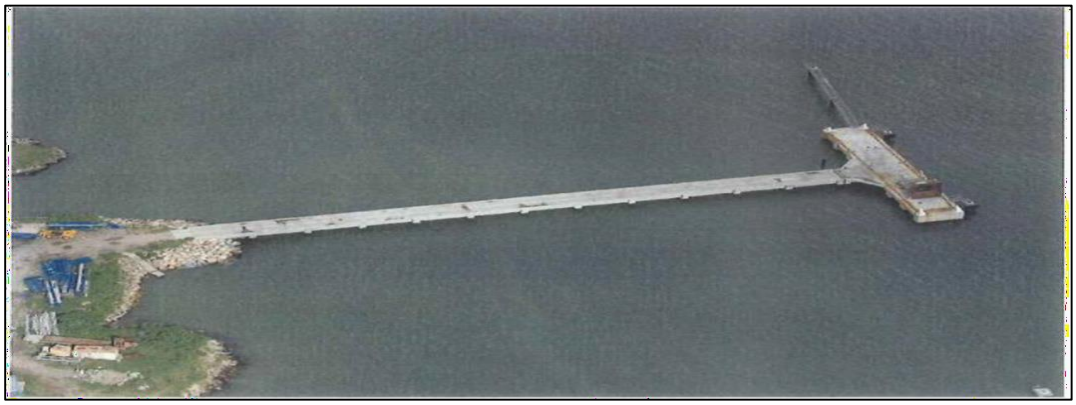


Figure II. 12 : Appontement vraquier de France Martinique.

- **Les quais :** En outre que l'amarrage et l'accostage des navires, les quais assurent une liaison directe entre le navire et les infrastructures terrestres du port. Les quais comportent une variété selon le mode de conception et le sol support.



Figure II. 13 : exemple d'un quai.

On distingue Trois grands types de quai :

- **Les quais massifs :**

Les quais massifs sont des quais dont la stabilité est assurée par leur propre poids, ils reposent sur une fondation superficielle. On retrouve dans ce type de quai :

- Les quais en blocs.
- Les quais en caissons.
- Les quais en gabions.

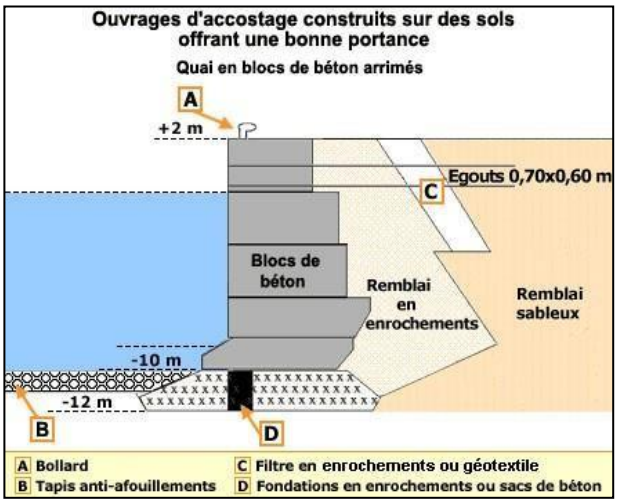


Figure II. 15 : Quai en blocs en béton armé.

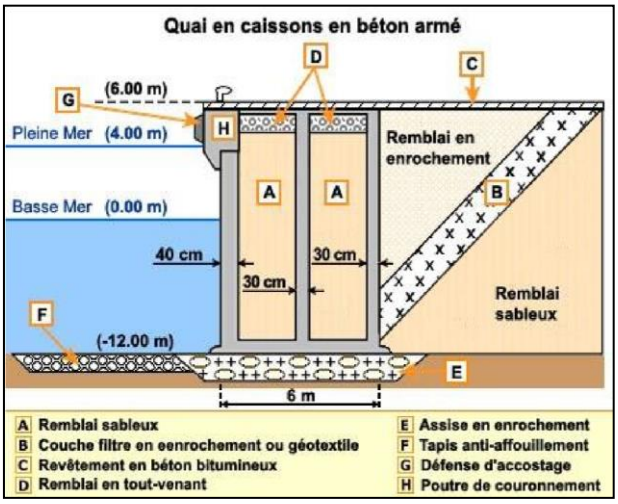


Figure II. 14 : Quai en caissons en béton armé.

- **Quai pour fondation profonde :**

Les quais constitués par une paroi moulée en béton ou par un rideau de palplanches métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas des sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes.

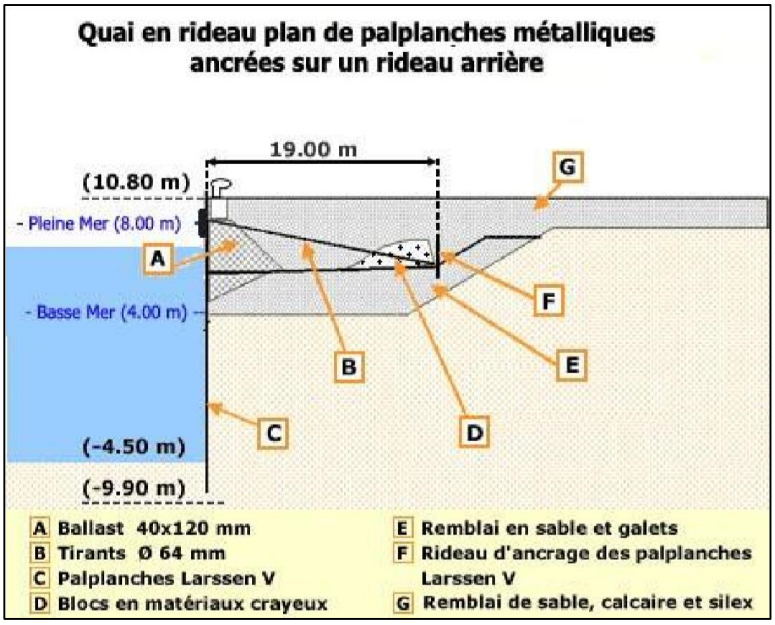


Figure II. 16 : Quai en rideau plan de palplanches Métalliques ancrées.

- **Les quais sur pieux :**

Les quais constitués par une plate-forme en béton armé supportée par des pieux (ou piles) en béton ou en acier, sont utilisés quand le terrain naturel est constitué d'une couche de mauvaise qualité sous laquelle existe une couche de terrain de portance suffisante à une profondeur pas trop importante. Des pieux inclinés et la butée offerte par la partie supérieure du remblai permettent de mobiliser une force horizontale suffisante pour équilibrer l'effort engendré par l'accostage et l'amarrage des navires) Ce sont les quais reposant sur des pieux.

On distingue :

- Les quais pleins.
- Les quais creux.

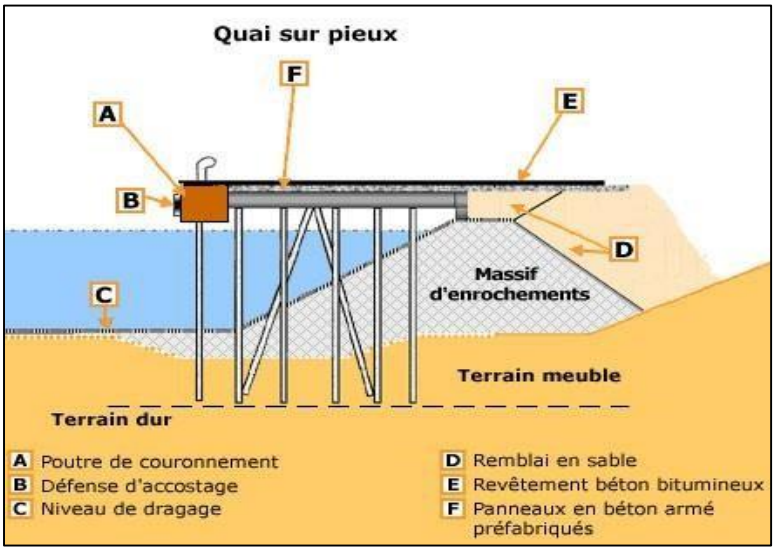


Figure II. 17 : quai sur pieux.

II.8.2.3. Les ouvrages de réparation

Ce sont les ouvrages dont le rôle est la réparation et l'entretien des navires et bateaux. Ils se répartissent en :

1. Forme de radoub.
2. Cale de halage.
3. Docks flottants.

Bassin de radoub

Bassin destiné pour la réparation et l'entretien des navires. • On ne commence les travaux qu'après avoir asséché l'intérieur de la forme • A l'aide de la technique des tins * on introduit le navire dans la cale sèche

* Pièces de bois servant à soutenir la quille du navire.



Figure II. 18 : Bassin de radoub.

Docks flottants

Le dock flottant est une structure particulière servant principalement à la réfection (réparation) des bateaux. Contrairement à une cale sèche (bassin asséché dans lequel on répare les navires) il s'agit d'une superstructure qu'on immerge pour y faire entrer les bâtiments, puis qu'on élève au-dessus de l'eau pour mettre le navire à sec.

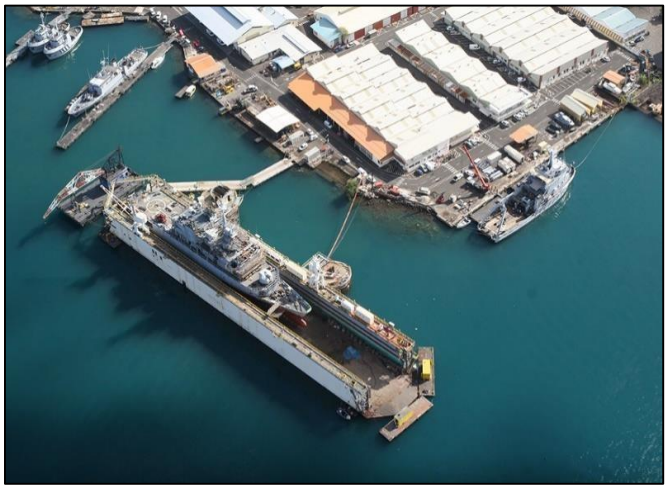


Figure II. 19:dock flottant.

Une cale d'halage :

Est un plan incliné sur lequel on hale le navire après l'avoir fait reposer sur un chariot appelé ber ou berceau, roulant sur une voie.



Figure II. 21 : une cale de halage.

II.9. CONCLUSION

La revue bibliographique ainsi réalisé permet d'enrichir les connaissances théoriques en matière des travaux maritimes d'une façon générale, et servir aussi de donnée de base afin de concevoir les différents types de ports, et notamment ce projet.

CHAPITRE III :

GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER.

III.1. INTRODUCTION

La zone côtière marine et son littoral sont de natures très variées (lagons, baies, embouchures de rivières, falaises, plages, mangroves…etc…) et présentent des géométries associées très variables.

La mer est un milieu liquide toujours agité dont le mouvement est la résultante d'ondulations de diverses périodes et de courants généraux plus au moins uniformes.

Un mouvement ondulatoire est tout mouvement caractérisé par une période, une amplitude, une célérité et une longueur d'onde, parmi ces mouvements on retrouve : la houle, réfraction, diffraction, réflexion, déferlement.

III.2. LA HOULE

La houle est engendrée par le vent, elle est définie par une Suite d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent d'une façon sensiblement uniforme sans grande déformation vers la côte ou le rivage. Ces ondulations s'appellent des vagues ou des lames. Leur ensemble s'appelle la houle et l'a caractérise par :

- **Hauteur de houle H** : la dénivellation (moyenne ou maximale) entre les crêtes et les creux.

- **Longueur d'onde L :** la distance moyenne entre deux crêtes ou deux creux consécutifs.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh[\frac{2\pi d}{L}]$$

- **Période T** : l'écart de temps moyen entre le passage de deux crêtes successives au même point.

- **Une amplitude a** : la dénivellation de la crête (ou du creux) par rapport au niveau de la mer, **a= H/2**

- **Vitesse de propagation ou célérité** : la vitesse moyenne de propagation des crêtes vers la côte.

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh[\frac{2\pi d}{L}]$$

- **Cambrure δ** : le rapport entre l'amplitude et la longueur d'onde.

δ = **H** /L

- **Direction des lames** : la direction perpendiculaire aux crêtes, dans le sens de la propagation.

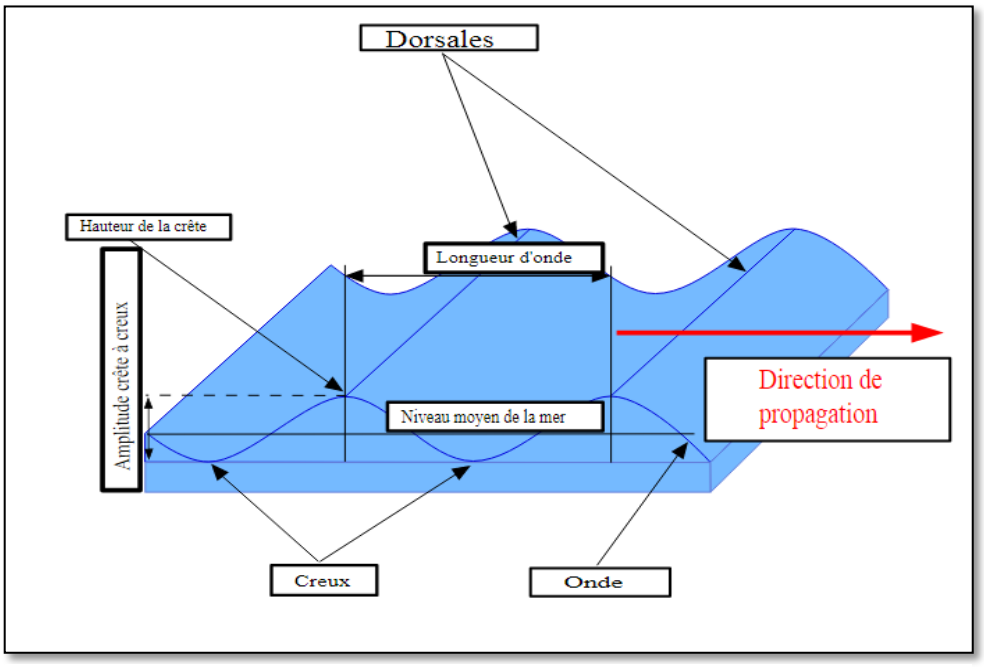


Figure III. 1 : Les caractéristiques de la houle.

III.3. LES MOUVEMENTS DE LA HOULE

III.3.1. La réfraction

Lors de sa progression sur des fonds de profondeurs variables, la houle subit une modification de certaines de ses caractéristiques, notamment son amplitude et sa célérité, sa période étant conservée. Cette modification, due à la variation de la profondeur, houle", et elle est prédominante surtout loin de la côte (zone de shoaling). Plus précisément, la réfraction agit de façon à ce que les lignes des crêtes tendent à rétablir le parallélisme avec les lignes de niveau



Figure III. 2 : phénomène de réfraction de la houle.

III.3.2. La diffraction :

Ce phénomène se manifeste par la concentration ou la divergence des lignes de houle lors de l'affrontement d'un cap, d'une baie, d'un musoir, d'une passe ou d'autres géométries rendant valable l'hypothèse de la propagation de l'énergie selon les normales aux crêtes, admise généralement pour la réfraction.



Figure III. 3 : diffraction des houles au pharo de Marseille.

III.3.3. La réflexion

La rencontre de deux ondes sinusoïdales de même amplitude se propageant en sens inverse conduit, selon le principe de superposition, à une onde résultante ayant une amplitude double, et à la formation de nœuds stationnaires. Ceci est valable dans le cas d'une houle monochromatique et diffère peu de ce qu'on obtiendrait quand la houle entre en choc contre un mur vertical par exemple.

La réflexion se produit aussi quand la houle rencontre un obstacle incliné, mais l'étude mathématique du phénomène sera compliquée par le déferlement.

Une des conséquences importantes de la réflexion est l'apparition du "clapotis".

On définit le **"clapotis"** comme étant le mouvement de l'eau résultant de la rencontre de deux houles identiques se propageant en sens inverse.

III.3.4. Le déferlement

Quand une vague atteint la pente critique, elle déferle. Différents types de déferlement sont observés. D'une part, le déferlement au large causé soit par une barre au niveau de laquelle le fond remonte brusquement, soit en hauts-fonds avec deux vagues se superposant, soit par le vent (moutons). Et d'autre part, le déferlement lorsque la houle arrive sur la cote.

Ce dernier peut être décomposé en trois types :

- Le déferlement glissant ou déversant par pente faible ;
- Le déferlement plongeant par pente plus forte ;
- Le déferlement gonflant ou frontal par pente forte.

La puissance du déferlement et d'autant plus impressionnant que la houle est plus haute et la pente du plateau continental plus abrupte.



Figure III. 4 : phénomène de déferlement

III.4. ETAT DE LA MER

Termes descriptifs en fonction de la hauteur des vagues (en mètres).

Tableau III. 1 : Termes descriptifs en fonction de la hauteur des vagues (en mètres).

Termes descriptifs	Hauteurs
Petite houle	Vagues < 2 m
Houle modérée	2 m < vagues < 4 m
Grande houle	Vagues > 4 m

III.5. LA MAREE

C'est la variation de la hauteur du niveau des mers, causée par l'effet conjugué des forces de gravitation dues à la Lune et au Soleil, et de la force d'inertie due à la révolution de la Terre autour du centre de gravité du système Terre-Lune.

Le niveau le plus élevé atteint par la mer au cours d'un cycle de marée est appelé pleine mer (ou couramment « marée haute »). Par opposition, le niveau le plus bas se nomme basse mer (ou « marée basse »).

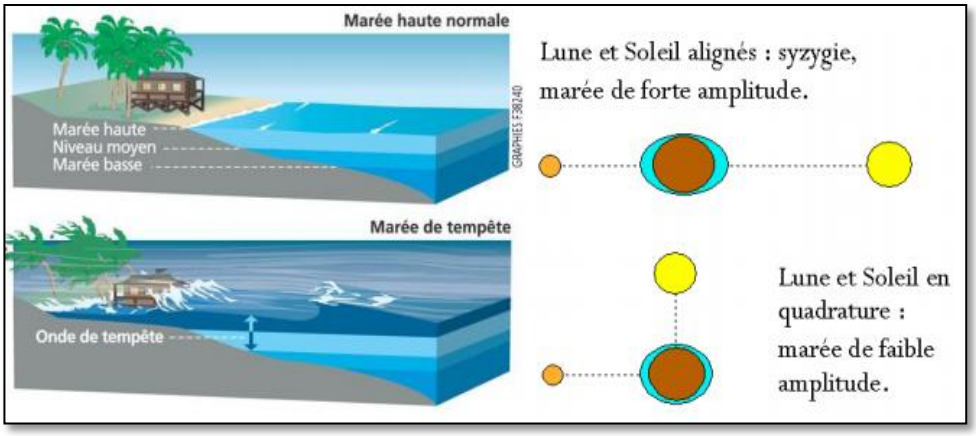


Figure III. 5 : La marée.

III.6. LES COURANTS

Un courant marin est un déplacement de l'eau de mer caractérisé par sa direction, sa vitesse et son débit, il est casé par l'action des forces internes (pesanteur, pression), et externes (vent, attraction des astres) A ces forces s'ajoutent les effets des forces induites (frottement interne du fluide et force de Coriolis due à la rotation de la terre).

III.7. TYPES DE COURANTS

III.7.1. Courant généraux :

Ce sont les courants océaniques à caractère pratiquement permanent et uniforme. Ils sont dus aux variations de pression et de pesanteur en divers points des océans, elles-mêmes liées aux variations de température, de densité etc.

III.7.2. Courants côtiers ou de débris

Ils ont pour origine les vagues, les vents et les irrégularités du sol.

III.7.3. Courants de houle

Sont alternatifs et très forts lors des tempêtes (plusieurs mètres par seconde). Ils affectent surtout la tranche d'eau située près de la surface (de 5 à 10 mètres d'épaisseur) ; leur importance décroit avec la profondeur.

III.7.4. Courant de marée

Les courants de marée constituent, au large, le phénomène primitif de la marée. L'action combiné de la houle, dont les grandes vitesses arrachent les matériaux du fond et les mettent en suspension, et des courants de marée qui assurent le transport de ces masses de matériaux, conditionne le modèle des fonds et le tracé des rivages.

III.8. LES SEICHES

Les seiches se sont des ondes qui se propagent dans certain port par exemple ALGER, CASABLANCA, CAP TOWN, ces ondes sont caractérisées par des lentes oscillations du plan d'eau et dont la période est comprise entre 1 et 10 min aussi que la longueur d'onde est de plusieurs centaines de mètres mais dont l'amplitude ne dépasse pas quelques décimètres. L'origine de ces ondes de seiches est mal connue, plusieurs auteurs les considèrent comme des oscillations forcées dues au déferlement des trains de houle des tempêtes sur les plages qui réfléchissent une certaine énergie sous forme d'onde très longues.

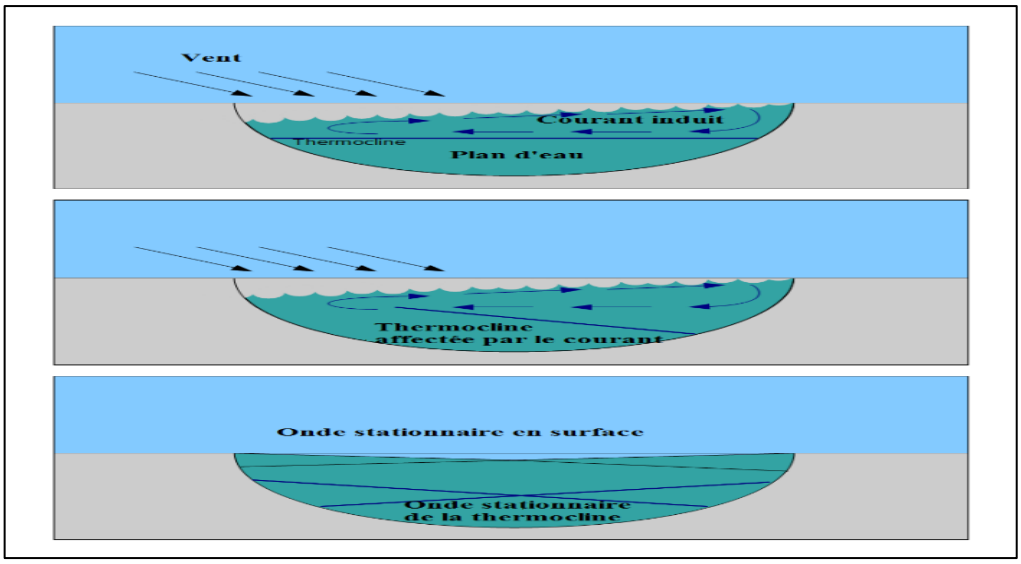


Figure III. 6 : description de l'initiation

III.9. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu général sur les différents mouvements de la mer et les phénomènes naturels pouvant influencer une structure quelconque dans le milieu marin.

CHAPITRE IV :

COLLECTE DES DONNEES DE BASE

IV.1 INTRODUCTION :

Le Port de Ténès est un Port de commerce du Centre-Ouest de l'Algérie, il est aussi considéré comme un Port de commerce et de pêche sur la Mer Méditerranée.

Par son histoire et sa situation géographique, le Port de Ténès est devenu un maillon essentiel dans le développement régional, il est considéré comme le «poumon économique» d'un vaste ensemble régional composé des wilayas du Centre-Ouest et du Centre-Sud. Le port de Mostaganem et le port de Ténès sont les seuls ports de commerce sur 400 km de côte, ce dernier se trouve à mi-distance entre Alger et Oran et à 50 km au nord de Chlef, Point de jonction avec l'axe autoroutier et ferroviaire Est/Ouest.

IV.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA :

La wilaya de CHLEF ex Orléans ville occupe une position stratégique sur le plan économique et commercial faisant d'elle un carrefour dans l'ensemble régionale centre et ouest, elle a une vocation, agricole et recèle d'importante ressources naturelles, toutes ces caractéristiques font de la wilaya de CHLEF un pôle très promoteur dans le domaine de l'investissement.

La wilaya de CHLEF est située dans la partie occidentale du Nord de l'Algérie centrale, entre les deux plus grandes villes, Alger et Oran.

La wilaya de CHLEF est localisée dans le Tell occidental à 200 km (jusqu'à 300 km pour les communes du Nord-Ouest) à l'Ouest d'Alger, elle s'étend sur une superficie de 4791 km^2.

Elle est limitée par :

- La méditerranée au Nord ;
- La wilaya de TISSEMSSILT au sud ;
- Les wilayas de MOSTAGANEM et RELIZANE à l'ouest.
- Les wilayas d'AIN DEFLA et TIPAZA à l'Est.

IV.3 PRESENTATION DU SITE DU PORT ACTUEL :

Le port de Ténès est ancré dans la petite baie de Ténès entre cap Kalah et cap Ténès, il est situé à 250 Km à l'Ouest d'Alger. Ténès est une commune de la wilaya de Chlef située à 52 km au nord.

Le contexte topographique du site actuel est illustré par la photo donnée ci-après. Le site est limité au Sud-ouest par l'oued ALLALA et au nord-est par la carrière de SIDI MEROUENE située à 5mn du port actuel soit 3km environ.

La distance entre l'oued ALLALA et la carrière de SIDI MEROUENE est d'environ 4 Km.

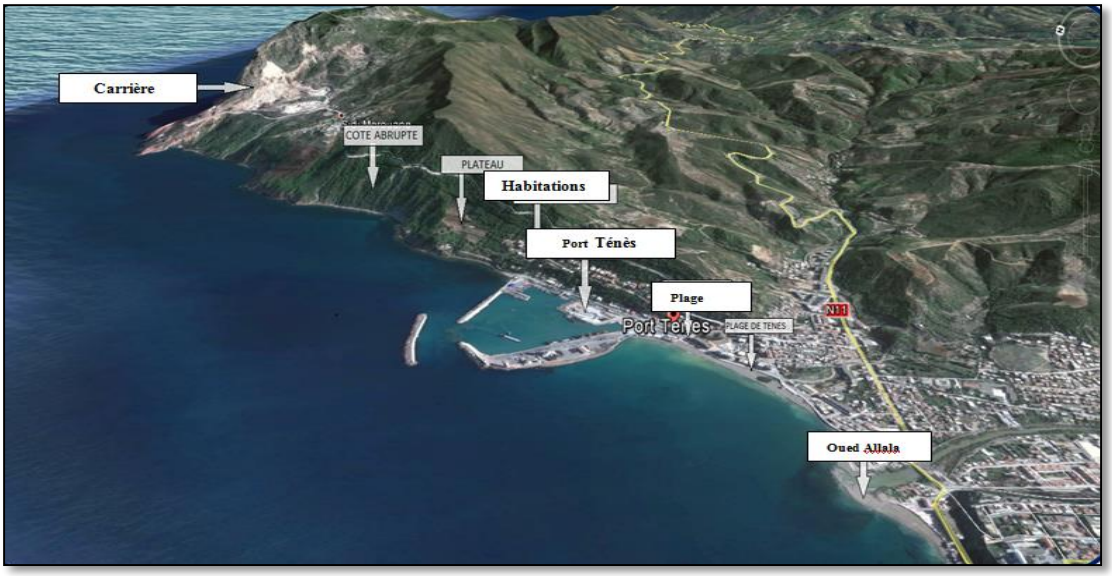


Figure IV. 1 : photo région du port Ténès

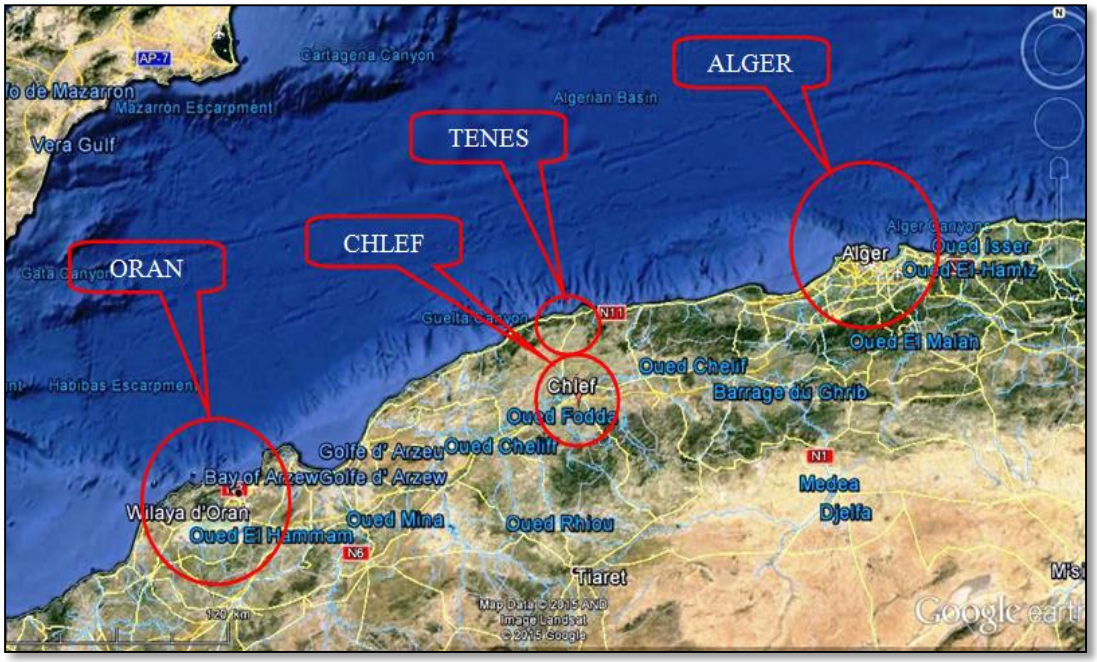


Figure IV. 2 : Situation de TENES port par rapport à la ville CHELEF, ORAN et ALGER

IV.4 ROLE ET FONCTION :

Le port de Ténès est un port mixte, port de commerce qui reçoit principalement des matériaux de construction et les produits métallurgiques et un port de pêche très actif qui trouve refuge dans la partie orientale du port.

Les installations et équipements du port sont les suivantes :

- Le port dispose d'une surface de terre-plein de 75000 m² revêtus,
- Un dock silo à céréales appartenant à l'OAIC et offrant une capacité de 5500 tonnes (remis en exploitation à partir de septembre 1999 pour le compte des importateurs privés),
- Un hangar de 1200 m² pouvant accueillir 1800 tonnes,
- Un atelier de maintenance de 400 m²,
- Un réseau d'éclairage de travail et de veille,
- Un pont bascule de 80 tonnes,
- Une cale de halage (à l'arrêt pour vétusté) non adaptée au halage des chalutiers,
- Divers locaux abritant les sévices du port.

Le port de Ténès peut accueillir tout type de navire ne dépassant pas 125 m de long et 7.20m de tirant d'eau soit des navires de 8500 tonnes de marchandises environ.

IV.5 PLAN GENERAL DU PORT :

Le port de TENES est constitué de :

IV.5.1 Ouvrages de protection :

- Jetée Ouest de 820 m de longueur,
- Jetée Est de 420 m de longueur,
- Brise lames de quatre-cent mètres linéaires (400m),
- Deux passes d'entrées," Est" de largeur 140 m avec une profondeur de 12m et "Ouest" de largeur 160 ml avec une profondeur de 14 m.

IV.5.2 Ouvrage intérieurs :

IV.5.2.1 Partie commerce :

Quais adossés à la jetée Ouest comportent quatre (04) postes totalisant une longueur de 380 ml répartis comme suit:

- Poste n°1 d'une longueur de 100 m et 7.20 m de profondeur est destiné aux marchandises diverses.
- Poste n°2d'une longueur de 100 m avec une profondeur au pied de quai de 6 m à 7 m est destiné aux marchandises diverses.

- Poste n°3 d'une longueur de 100 m avec une profondeur au pied de quai 6 m à 5.80 m est destiné aux marchandises diverses.
- Poste n°4 d'une longueur de 80 m avec une profondeur au pied de quai 5.8 m à 3.50 m est destiné aux marchandises diverses.
- Môle d'une longueur de 200 m à 6 m de profondeur.

Bassin (plan d'eau) : d'une superficie de 17 Ha

Surface des terre-pleins totale (commerce et pêche) d'environ 7,50 Ha.



Figure IV. 3 : Photo des postes à quai.

IV.5.2.2 Partie pêche :

Le port de pêche de Ténès se trouve à l'intérieur même du port de commerce sur la partie Sud- Est. Il est géré par l'entreprise de gestion des ports de pêche de Ténès.

Le secteur de la pêche jouit d'un potentiel certain qui lui permettra, s'il est rationnellement exploité de connaître un essor aux impacts socio – économiques appréciables.

Il est constitué de :

- **Quais** en forme de « U » d'une longueur totale de 366 m avec des tirants d'eau variant de 2.5 m à 6.5m,
- **Terre-pleins** revêtus d'une superficie totale de 6 260 m^2.
- **Bassin (plan d'eau)** d'une superficie totale de 13 600 m^2.

Le port de pêche se caractérise par :

- **94 unités de pêche**: 13 chalutiers, 55 sardiniers, 26 petits métiers.

IV.6 PLAN DE MASSE DU PORT :



Figure IV. 4 : Vue en plan du port.

IV.7 Données naturelles :

IV.7.1 Cadre géologique et géomorphologique :

La région étudiée constitue la partie orientale du bassin du Chelef qui représente une cuvette intra- montagneuse de la chaine Tellienne. Ce bassin est formé de terrains d'âge mio-plio-quaternaire, reposant sur un substratum ante néogène. Il est constitué de terrains fyschoides (complexe allochtone) et de massif épi métamorphiques affleurant à Témougla.

D'après les données géotechniques, l'assiette géologique de la zone étudiée est constituée par les faciès suivants :

- Terrains schisteux, schiste et argile, schiste et galets avec un recouvrement important.
- Terrains conglomératiques avec galets à perméabilité dans lesquelles la pollution se propage très rapidement.
- Terrains vaseux.

De point de vue géomorphologique, la région de Ténès est très contrastée, elle comprend le massif rocheux du phare à son extrémité Est, celui-ci est composé de calcaires très durs inattaquables par la mer. Les falaises de l'Ouest composées de grés tendres se désagrègent et donnent des sables qui viennent s'accumuler entre l'embouchure d'oued Allala et la jetée Sud-Ouest du port.

IV.7.2 Calcaires du Cap TÈNÈS (Lias moyen) :

Le cap Ténès est constitué par une énorme masse calcaire sans fossiles, dans laquelle la stratification est difficile à indiquer, mais qui semble formée de bancs presque verticaux d'un calcaire compacte, identique à celui qui, dans les gorges de Tisser et dans le Djurdjura, a été attribué au lias moyen. C'est à ce même étage que les calcaires du cap Ténès doivent être rapportés, sans pourtant en avoir d'autres preuves que le faciès. Comme en Kabylie, cette formation est en relation de contact avec l'éocène; on peut y voir une preuve de l'analogie de ces calcaires avec ceux du lias moyen de Kabylie, auxquels ils se relient, d'ailleurs, parleslambeaux du Chénoua et du Bou-Zegza.

IV.7.3 Données météorologiques et océanographiques :

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord de navires. Les données sont reprises d'un document de l'U.S. Naval Weather Command intitulé "SOMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATION "(S.S.M.O tome 2 zone Algiers) pour la Zone 4 appelée ORAN et qui correspond à la zone Ouest de l'Algérie. Ces données s'étalent sur la période de 8 ans (1963 - 1970).

Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs de houle prédominants et leurs amplitudes respectives.

Etant donné la période d'observation de houles relativement modeste (08 ans), le LEM a repris les données du l'Institut météorologique Royal Néerlandais (KNMI) provenant des études réalisées dans la région Ouest de l'Algérie afin d'établir une synthèse**.**

IV.7.3.1 Vents :

- **Vents au large:**

Données de l'U. S Naval Weather Service (SSMO) :

L'analyse de ces données montre que les vents dominants sont ceux provenant des secteurs Est-Nord Est (E-NE) et Ouest-Sud-ouest (W-SW);ces deux secteurs représentent 75'% du temps en moyenne annuelle.

Les fréquences d'apparition par direction, toutes vitesses confondues, sont réparties comme suit:

Tableau IV. 1 : Fréquence des vents au large.

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W-NW	NW	var	calme	total
Fréquence%	7	24.2	12.6	2.4	4.5	21.6	16.4	4.4	0.3	6.4	100

La répartition des vitesses supérieures et inférieures à 8m/s est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2 : Fréquence des vents $<$ et $\geq$ 8 m/s.

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W-NW	NW	var	calme	total
< 8 m/s	5.8	18.9	11.1	2.3	4.1	15.6	11.6	3.6	0.3	6.4	79.7
≥ 8 m/s	1.2	5.3	1.1	0.1	0.4	6.2	4.8	0.8			20.3

Il ressort de ce tableau que les vents dont les vitesses sont supérieures ou égales à 8m/s sont légèrement plus fréquents pour le secteur NW - SW (11%) que pour le secteur NNE (6 ,5%).

♦ **Vents à la côte :**

Nous ne disposons pas d'enregistrement de vents locaux, cependant la rade au voisinage de ce site est protégée des vents du Sud par les collines arrière. Il est par contre ouvert aux vents des secteurs Ouest à Nord- Est. En translatant les conditions de vent du large à la cote, nous pouvons dire que le site est fortement exposé au vent du secteur "Est à Ouest" pour une fréquence de 13.6 % sur les 20.3% obtenus pour des vitesses $\geq$ 8m/s

IV.7.3.2 Houles au large :

Données de 1' US Naval Weather Service Command (SSMO) :

L'analyse statistique des observations visuelles données par le SSMO pour la période allant de 1963 à 1970 et établies avec le modèle de distribution statistique de WEIBULL, a donné les résultats suivants:

Tableau IV. 3 : Houle au large/direction et période de retour.

	Amplitude (H_s)				
Direction	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**
Nord-Est	**4,75**	**5,5**	**6**	**6,5**	**7,4**
Nord	**3,8**	**4,6**	**5,4**	**6**	**7**
Ouest	**5,45**	**6,5**	**7,3**	**8,4**	**9,2**
Toutes les directions confondues	**6,4**	**7,4**	**8,2**	**8,8**	**9,6**

Données de l'Institut météorologique Royal Néerlandais(KNMI) :

Sur les vingt-huit mille 28 000 observations faites entre 1961 et 1981 par des officiers navigant de l'Institut Météorologique Royal Néerlandais (KMNI) sur la zone délimitée par :

les parallèles 36.5 ° N et la côte.

les méridiens 0.5 ° W et 3° W.

Cette zone est située à proximité Ouest de la zone d'étude.

Le port de Tenes est situé dans la zone délimitée par :

- les méridiens 1 ° 18' 50 " et 1 ° 19' 30" Est
- et les parallèles 36 ° 31' 20" et 36 ° 31' 50 "Ouest.

Ces observations ont montré que les houles les plus importantes viennent des secteurs Suivants :

* **Secteur SW - W (N240 - N280).**

Ce secteur est ouvert sur Gibraltar, les houles sur ce secteur sont les plus fréquentes et sont générées par des dépressions provenant le plus souvent de l'Atlantique.

* **Secteur NW (N290 - N330).**

Les houles de ce secteur sont peu fréquentes et de faibles amplitudes, en raison du fetch faible depuis la côte Espagnole.

* **Secteur N (N340 - N020).**

Les houles de ce secteur sont peu fréquentes mais ont néanmoins de fortes amplitudes, malgré un fetch limité.

* **Secteur NE (N030 - N060).**

Le fetch dans ce secteur est de l'ordre de 250 miles .Les houles sont fréquentes et peuvent avoir des amplitudes importantes.

* **Houles de toutes directions (N240-N060).**

Les houles au large de toutes directions confondues représentent le cumul des houles provenant de tous les secteurs.

Probabilités de dépassement d'une amplitude donnée lors d'une observation :

La probabilité de dépassement des différentes valeurs de houles significatives est calculée en déterminant le nombre d'observations par secteur de 10 ° ou par un cumul de ces derniers.

Les amplitudes de dépassement de houles significatives obtenues sont indiquées dans le tableau suivant:

Tableau IV. 4 : Statistiques de houle au large.

		Amplitude Hs (m)				
Période de retour	**probabilité de dépassement d'une observation**	**W**	**NW**	**N**	**NE**	**Toutes les directions**
Annuelle	**$9{,}50.10^{-4}$**	**4,70**	**2,70**	**2,80**	**5,10**	**6,00**
Biennale	**$4{,}75.10^{-4}$**	**5,45**	**3,30**	**3,75**	**5,90**	**7,00**
Quinquennale	**$1{,}53.10^{-4}$**	**6,50**	**4,40**	**5,25**	**7,20**	**8,50**
Décennale	**$7{,}22.10^{-5}$**	**7,30**	**5,10**	**6,30**	**8,00**	**9,50**
Vingtenale	**$3{,}51.10^{-5}$**	**8,40**	**5,70**	**7,20**	**8,80**	**10,50**
Cinquantenale	**$1{,}38.10^{-5}$**	**9,60**	**6,50**	**8,50**	**9,60**	**12,00**
Centennale	**$6{,}90.10^{-5}$**	**10,50**	**7,25**	**9,10**	**10,10**	**12,60**

Relation Amplitude - Période de la houle au large :

Le tableau suivant indique le nombre d'observations de houle dont l'amplitude est supérieure ou égale à 5.00 m, en fonction de périodes.

Tableau IV. 5 : Amplitude- Période de la houle au large

T(s)	≤ 5	6-7	8-9	10-11	12-13	> 13
H(m)						
5,00	10	16	7	3	1	1
5,50	1	6	2	1	3	1
6,00	2	5	2	3	1	2
6,50	-	3	-	-	-	-
7,00	2	-	3	2	-	-
7,50	-	1	-	-	-	-
8,00	-	-	-	2	-	-
8,50	-	-	-	-	-	-
9,00	-	-	2	-	-	-
> 9	-	-	1	-	-	-

Il ressort de ce tableau que 93% des houles ont des hauteurs comprises entre 5 et 7.00 m et leurs périodes associées sont comprises entre 5 et 13 s.

Pour couvrir l'ensemble de cette plage, nous prenons pour les études de réfraction et d'agitation des périodes de 8, 10 et 12 secondes.

Conclusion :

Le tableau n° IV. 6 suivant regroupe les résultats de houle au large obtenus à partir des données du KMNI , il donne les amplitudes de houle au large les plus défavorables et leurs occurrences pour les directions Susceptibles de toucher le site du port de Ténès et son voisinage.

Tableau IV. 7 : synthèse des données de houle au large.

		Amplitude H_S(m)				
Période de retour	**probabilité de dépassement d'une observation**	W	**NW**	**N**	**NE**	**Toutes les directions**
Annuelle	**$9{,}50.10^{-4}$**	**4,70**	**2,70**	**2,80**	**5,10**	**6,00**
Biennale	**$4{,}75.10^{-4}$**	**5,45**	**3,30**	**3,75**	**5,90**	**7,00**
Quinquennale	**$1{,}53.10^{-4}$**	**6,50**	**4,40**	**5,25**	**7,20**	**8,50**
Décennale	**$7{,}22.10^{-5}$**	**7,30**	**5,10**	**6,30**	**8,00**	**9,50**
Vingtenale	**$3{,}51.10^{-5}$**	**8,40**	**5,70**	**7,20**	**8,80**	**10,50**
Cinquantenale	**$1{,}38.10^{-5}$**	**9,60**	**6,50**	**8,50**	**9,60**	**12,00**
Centenale	**$6{,}90.10^{-5}$**	**10,50**	**7,25**	**9,10**	**0,10**	**12,60**

IV.7.3.3 Courants :

- **Courant général :**

Le courant Atlantique longe les côtes d'Afrique du Nord, d'Ouest en Est, en s'atténuant à l'approche de la Tunisie; sa vitesse est de l'ordre de 1.5 à 2 nœuds, ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques au large de l'Oranier et son action se fait sentir jusqu'à des profondeurs de 200 mètres. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse : 0.7 nœud), son action va en diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée.

Ce courant de surface est compensé en profondeur par un contre courant qui longe les côtes Espagnoles. La vitesse de ces courants peut augmenter par régime de vent d'ouest pour atteindre 2.5 à 3 nœuds.

En conclusion , le régime des courants en Méditerranée peut se résumer en l'existence d'un courant Atlantique de surface dont une branche se dirige vers le Nord - Est entre la Sardaigne et les Baléares, tandis que l'autre branche se développe parallèlement au rivage entre celui-ci et le 38eme parallèle; ce courant est compensé par un courant oriental de mi profondeur, circulant en sens inverse à mi-distance entre l'Algérie et la Sardaigne à l'Est, tandis que l'autre est parallèle aux côtes Algériennes .

- **Les courants côtiers :**

Entre Mostaganem et Ténès, les courants agissent pendant l'hiver et ont une direction Ouest - Est par houle de direction Nord-Ouest. Pendant le reste de l'année, les courants ont une direction Est - Ouest.

Ces courants le long de la côte Algérienne sont généralement faibles confirmés par les Informations données par plus de 8000 observations enregistrées au large par le KMNI 1957.

Ces informations indiquent que pendant plus de 73 % du temps, le courant est inférieur à 0.25 m/s (0.5 nœud) et pendant plus de 90 % du temps inférieur à 0.5 m/s (1 nœud). Seulement dans 1 % du temps des courants plus importants que 0.5 m/s sont de l'ouest vers l'Est.

IV.7.3.4 Marée et variation du niveau marin :

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En moyenne, il est admis que la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm.

D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc. ...

La plus basse mer ZH (Zéro Hydrographique) se trouve à - 0.34 m / NGA. (Cette information est donnée par la carte marine n° 5708 du service Hydrographique de la marine Française).

Sur la base des informations de l'Admiraltytide tables 1980 "données pour les ports d'Arzew et d'Alger, le LEM estime les différents niveaux de mer au port de Tenes comme suit:

- Niveau maximum (tempêtes exclues)..... 0.40 m
- MHM VE (moyenne des hautes mers des vives eaux).....+ 010 m
- MBMVE (moyenne des basses mers des vives eaux)..... - 0.10 m
-

IV.7.4 Données hydrographiques :

La configuration des fonds marins intervient sur la propagation des houles, les caractéristiques de ces dernières à l'approche du littorale et les mouvements sédimentaires qu'elles engendrent.

D'Est en Ouest de la wilaya de Chlef entre Damous et Ras Smada, on constate un rapprochement important des isobathes vers la côte. Ainsi les isobathes -100 et -20 m se situent respectivement à environ 900m (pente moyenne des fonds de l'ordre de 12%) et 350 m (pente moyenne des fonds de l'ordre de 5.5%).

La même configuration se retrouve dans la partie comprise entre Ras Arend et Ténès (zone à falaises), un peu plus à l'ouest.

Par ailleurs l'isobathe -20 m est située à environ 800 m de la côte et l'isobathe -100 à environ 4000 m avec une pente moyenne générale des fonds de l'ordre de 2.5%.

La configuration de la côte laisse apparaître un système de baies plus ou moins grandes encaissées entre des éperons rocheux.

Dans le rapport de l'étude de l'établissement de la carte sédimentaire réalisée en 2008 par le LEM, il a été montré que le fond marin est généralement régulier avec des isobathes très serrées épousant la morphologie de la côte. Les pentes varient en générale de 1.7% à 3.5%.(figure 05).

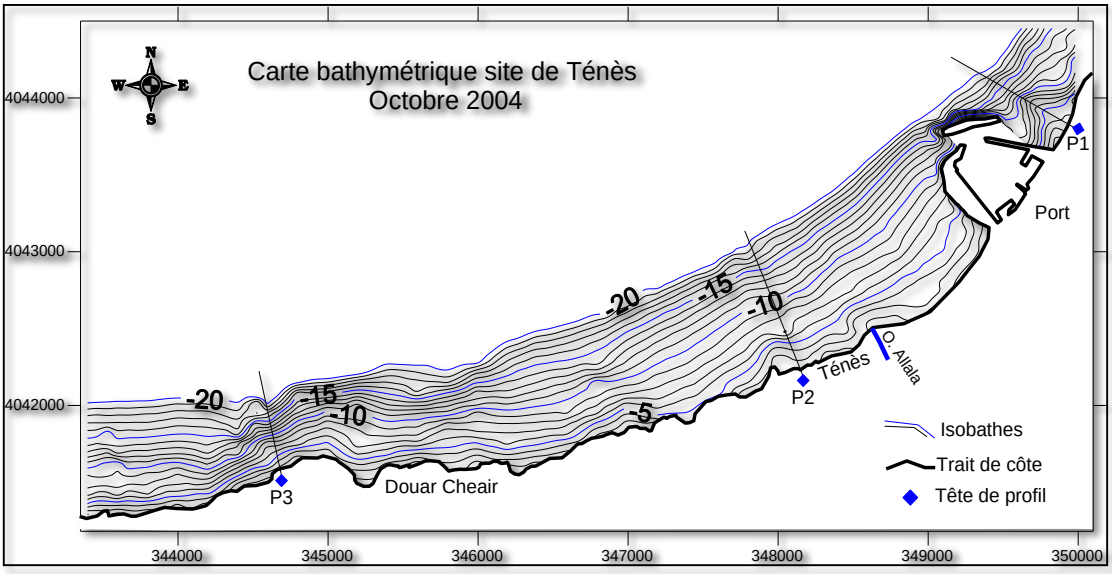


Figure IV. 5 : Carte Bathymétrique de Ténès.

Des profils bathymétriques ont été établis (figure ci-après) et analysés, ils rendent comptent d'une morphologie sous-marine régulière.

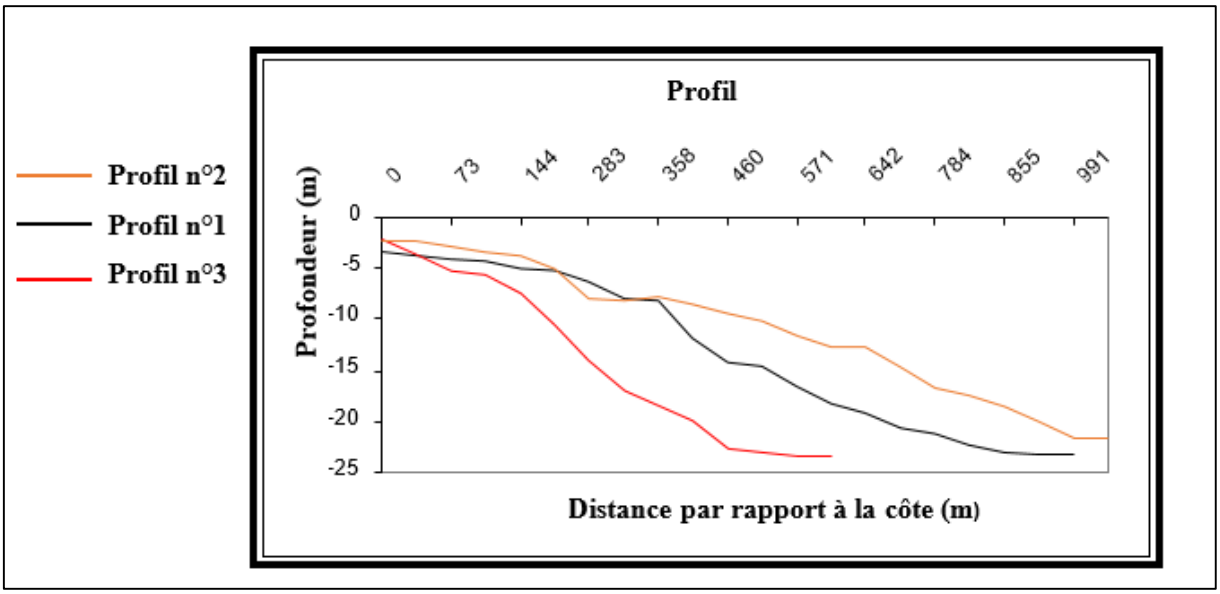


Figure IV. 6 : profils bathymétriques.

IV.8 CONCLUSION :

En fin, on trouve que ces données riches en informations sont très importantes et elles sont considérées comme données d'entrées pour la majorité des chapitres suivants.

CHAPITRE V :

STATISTIQUES DU TRAFIC MARITIME ET CAPACITES ACTUELLES DU PORT DE TENES

V.1. INTRODUCTION :

On connait rarement le poids de la ville littorale dans l'activité du port ; encore moins celui du port dans l'activité de la ville littorale, en termes de flux de marchandises. Le trafic portuaire, malgré de nombreuse imprécisions quant à sa valeur réelle et aux origines et destinations précises des flux, reste une donnée riche en enseignements. Comparer le volume et la structure du trafic portuaire à la population des villes permet de mesurer leur spécialisation portuaire et de mettre en valeur certaines spécificités régionales et trajectoires remarquables en Europe et dans le monde.

V.2. LE TRAFIC MARITIME DU PORT DE TENES

V.2.1. Réflexion sur le trafic de Ténès (1990_ 2014)

Le trafic du port de Ténès connait une très forte progression durant les dernières 24 années en terme de tonnage global des marchandises transitées, qui est passé de 270 411 tonnes en 1990 à 1 264 916 tonnes en 2014, soit presque le quintuple, malgré, que ce dernier est caractérisé par un niveau faible en comparant avec le trafic national et celui des autres ports considérés comme concurrents en l'occurrence le port d'Oran et Mostaganem qui influent sur le même hinterland.

Lorsqu'on suit le trafic du port de Ténès on peut distinguer trois (03) phases principales de variation depuis 1990 (voir paragraphe 1.3.3).

La première phase est entre les années 1990 et 1998, la période caractérisée par l'instabilité des circonstances politiques de pays, ce qui peut-être causait la baisse uniforme du volume de trafic remarquée, vu que le plus fort tonnage enregistré était en 1990 de 27 0411 tonnes pour atteindre les 77 202 tonnes après 8 ans avec une prédominance de trafic des denrées alimentaires, les autres trafics ne représentaient qu'une très faible quantité.

La deuxième phase de 1998 à 2007, le trafic avait repris sa vitalité par un accroissement important (90 548 tonnes en 1999, 348 653 tonnes en 2007), due à la reprise de l'activité agricole dans la région. Ces produits représentaient le trafic principal du port avec un taux de 77% du trafic global (substitution des denrées alimentaires par produit agricole et animaux vivants).

La troisième phase de l'année 2007 à 2014, le volume de trafic maintenait sa croissance, mais avec une évolution très rapide (427 901 tonnes en 2007, 1 264 916 tonnes en 2014), ce qui donne une bonne impression sur les perspectives de trafic du port de Ténès qui est caractérisé cette fois-ci par le trafic des produits métallurgiques avec plus de 71% de trafic global, suivi par le trafic des produits agricoles et animaux vivants avec 10% de trafic global, malgré sa tendance (trafic métallurgique) est à la baisse. Cette prédominance de trafic des produits métallurgique s'explique par le lancement des projets de travaux public à proximité de la wilaya de Chlef.

Les résultats pour l'année 2014 indiquent un trafic au déchargement de 1 300 000 tonnes dont 900 00 tonnes de produit métallurgiques soit environ 71%, et 10% pour les produits agricoles et animaux vivants.

V.2.2. Trafic de marchandises (années 2012- 2014) :

En 2014, le trafic global du port était de 1,265 millions de tonnes.

Ce trafic est en légère augmentation de 2,7 % par rapport à l'année précédente.

Le trafic est en progression pour les produits suivants :

- Matériaux de construction, ciment.
- Ferraille.

Il est en baisse pour les autres produits (céréales, bois, marchandises diverses).

Le trafic global du port de Ténès représente moins de 3% du trafic portuaire national, hors hydrocarbures.

Le tableau suivant indique pour les années 2012-2014 la répartition du trafic selon le mode de conditionnement qui montre une relative importance des marchandises générales.

Tableau V. 1 : Répartition du trafic selon le mode de conditionnement (20122014) « Port de Ténès ».

Mode de conditionnement	2012	2013	2014
Vracs solides	190 712	91 314	38 448
Vracs liquides	48 688	67 587	42 501
Autres marchandises	948 614	1 054 418	1 183 967
Total	1 118 014	1 213 321	1 264 916

V.3. TYPES ET TAILLES DE NAVIRES V.3.1. Evolution du nombre de navires

Le tableau suivant indique l'évolution du nombre de navires sur les dix (10) dernières années au port de Ténès et dans les ports Algériens.

La tendance observée les trois dernières années montre une stabilité du nombre de navires, qui montre la performance de ces navires compte tenu de l'augmentation du trafic.

Tableau V. 2 : Nombre de navires (2005-2014) « Port de Ténès ».

Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Port de Ténès	143	207	149	195	185	235	255	300	314	323

V.3.2. Types de navires

Les différents types de navires sont divisés en :

- Navires à cargaison conventionnelle.
- Navires Ro-Ro.
- Navires pour céréales (vraquiers).

Le tableau suivant indique le nombre de navires selon le type ayant touché le port de Ténès en 2014 :

Tableau V. 3 : Nombre de navires à l'entrée (année 2014) « Port de Ténès »

Navires	**Navires Cargos**	**Navires céréaliers**	**Navires Ro-Ro**	**Navires bitumiers**	**Total**
Nombre	285	3	18	17	323
%	88,2	0,9	5,5	5,2	100

Les navires cargos sont les plus nombreux (88,2%) suivis par les navires Ro-Ro (5,5%), les bitumiers (5,2%) et les navires céréaliers (1,0%).

V.3.3. Répartition des navires selon le pavillon :

Les navires reçus au niveau du port de Ténès pour l'année 2014 pour les principaux pavillons est donnée dans le tableau ci-après.

Tableau V. 4 : Les navires reçus au niveau du port de Ténès pour l'année 2014.

Pavillon	**Navires**
Malte	47
Antigua et Barbuda	42
Pays Bas	38
Panama	35
Turquie	30
Chypre	20
St Vincent	18
Espagne	12
Gibraltar	11

Iles Comores	10

V.3.4. Taille des navires :

Au port de Ténès, 323 navires ont fait escale en 2014 contre 235 en 2010, soit une croissance annuelle de plus de 9%.

La taille des navires ayant fait escale au port de Ténès en 2014 a atteint 1,3 millions TJB, en hausse par rapport à l'année 2011 (0,9 millions TJB).

La répartition des navires selon le port en lourd (dwt) à l'entréeest donnée dans le tableau ci-après.

Tableau V. 5 : La répartition des navires selon le port en lourd (dwt) à l'entrée.

Port en lourd (dwt)	**Navires**
1 001 - 2 000	02
2 001 - 4 000	66
4001 - 6 000	120
6 001 - 10 000	135
Total	323

V.4. CAPACITES ACTUELLES DU PORT DE TENES

La détermination de la capacité actuelle du port de TENES est nécessaire pour permettre l'étude de son plan de développement devant prendre en compte son trafic futur en fonction du type de marchandises, de son mode de conditionnement, des dimensions des quais et des terrepleins, de la méthode de chargement et de déchargement des navires etc…

La capacité du port est représentée par le tonnage annuel de marchandises manutentionnées.

V.4.1. Installations et équipements actuels

V.4.1.1. Installations actuelles

Les installations spécialisées du port sont constitués par un silo à céréales de 5 500 tonnes, doté de 2 pompes à grains de 250T/h.

V.4.1.2. Equipements actuels

Les équipements actuels du port sont les suivants :

- **Grues :**

Tableau V. 6 : Les équipements actuels du port de Ténès

Famille	Nombre	Capacité (T) de levage
Grues sur pneus	1	120
	4	60
	1	50
	1	40

- **Chariots et autres :**

Tableau V. 7 : Les équipements actuels du port**.**

Famille	Nombre	Capacité (T) de levage
Chariots élévateurs	2	20
	8	10
	5	6
	1	5
	3	4
	3	3
Mini chargeurs	3	0,39 m^3
Rétro-chargeur		
Pelle mécanique avec accessoires	1	1 m^3

V.4.2. Capacités de stockage :

V.4.2.1. Marchandises générales :

Sur la base des recommandations de la CNUCED (8 à 12 t/m²/an), les capacités annuelles de stockage des hangars, magasins, terre-pleins du port de TENES sont les suivantes :

Hangars: 1 000 m² x 10 t/m² =	10 000 t/an
Terre-pleins : 75 000 m² x 10 t/m² =	750 000 t/an
Total :	760 000 t/an

V.4.3. Capacités des postes à quai :

Les hypothèses qui ont été prises en compte pour l'évaluation des capacités du port de Ténès tiennent compte :

- De l'affectation des postes à quai aux produits transportés.
- D'un travail en 3 shifts de 6 h/j et 6 j/semaine sur 50 semaines par an. - De la limitation des superficies des terre-pleins.
- D'un rendement (t/h) lié aux moyens de manutention utilisés.
- D'une réduction de 85% du rendement des paramètres relatifs à : ◆ L'efficacité des équipements.

◆ L'occupation des postes,

◆ La disponibilité de la main d'œuvre.

◆ Les difficultés d'évacuation des marchandises (congestion). **V.4.3.1. Marchandises générales :**

Sur la base des données précédentes, les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

a) Une équipe travaille sur chaque grue ou équipement de bord de navires pendant 3 relèves de 6 h, 6 jours / semaine, 50 semaines par an ; soit par équipe : 3x6x6x50 = 5 400 h/an brutes.

b) Deux équipes sont affectées par 100 ml de quai utilisant les grues de quai. Pour les longueurs de 140 à 180 ml, une 3eme équipe est prise en compte utilisant les grues de bord du navire.

c) La réduction de 85% des 4 paramètres cités précédemment donne

$$\frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{85}{100} \approx 50\ \% \ .$$

Soit le nombre d'heures effectives : 5 400 x 0,50 = 2 700 heures /an

Exemple : Quai des divers

Longueur = 140 ml, 3 équipes affectées au poste avec une cadence de 24 T/h (charge moyenne de 2T avec 12 rotations de grue par heure).

Capacité : 2 700 x 24 = 64 800 t/an par équipe

Capacité totale : 64 800 x 3 = 194 400 T arrondi à 195 000 T/an.

Sur la base de ces hypothèses, la capacité portuaire d'un poste pour marchandises générales est d'environ : **1 400 T/ml de quai/an.**

Soit, une capacité portuaire de : 620 x 1 400 = 868 000 T/an, arrondi à **870 000 T/an. V.4.3.2.**

Céréales :

- **Capacité du poste à quai :**

Le poste à quai affecté au trafic céréalier a les dimensions suivantes :

L = 150 ml, profondeur = 7,50 m.

Sur la base :

- du navire standard de 7 000 dwt (L = 120 m ; l : 17,20 m, t.e : 6,90 m).
- d'une capacité de manutention de 350 T/h (2 pompes à grains existantes de 250T/h, utilisées à 70% de leur capacité). □ d'une durée d'utilisation des postes à quai, à 3 shifts : 5 400 h (300j x 18 h).
- d'un taux d'occupation du poste de 25%.

La durée moyenne de manœuvre et de déchargement d'un navire est de : 20 + 2 = 22 heures, et le nombre annuel de navires accostant à ce port est de 61 (0,25 x 5400 / 22).

Soit, une capacité du poste à quai affecté aux céréales de 430 000 T/an.

- **Capacité des silos :**

La capacité prise en compte est liée à celle du silo existant à la cadence moyenne de 20 rotations par an : soit 5.500 t x 20 = 110 000 t/an.

V.4.3.3. Synthèse de la capacité du port :

Les capacités actuelles du port de Ténès sont résumées ci-après.

- **Capacité de stockage :**

Terre-pleins :	760 000 T/an
Silos à céréales :	110 000 T/an
Total :	**870 000 T/an**

- **Capacité des postes à quai :**

Marchandises générales :	870 000 T/an
Céréales :	430 000 T/an
Total :	**1 300 000 T/an**

V.5. Conclusion :

Le trafic du port de Ténès en 2014 a été de 1 264 000 tonnes.

Sa capacité de stockage (870 000 tonnes) reste insuffisante pour prendre en charge les trafics actuels.

La capacité des postes à quai est juste suffisante pour assurer le niveau de trafic actuel avec cependant des problèmes de congestion portuaire.

Une analyse détaillée et des propositions d'organisation et d'aménagement portuaires seront proposées pour améliorer cette capacité et répondre aux trafics actuels et attendus aux horizons 2020, 2025 et 2030.

CHAPITRE VI :

DONNEES GEOTECHNIQUES

VI.1 INTRODUCTION

L'étude géotechnique se rapporte aux sols et aux eaux souterraines en tant qu'éléments intervenant dans la stabilité et le bon comportement des constructions provisoires ou définitives.

Elle est destinée à fournir au maître d'œuvre les données relatives au comportement du sol qui lui sont nécessaires pour la conception et la construction des ouvrages et celles relatives à leur incidence sur l'environnement.

Sa démarche générale consiste d'abord à caractériser le sol afin de pouvoir proposer des solutions pratiques à la réalisation de l'ouvrage.

VI.2 GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Sur le plan géologique, la région en question appartient au domaine allochtone. Celui-ci est constitué de séries telliennes des zones externes des Maghrébides (Fig.1.) affectées par des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de nappes de charriages.

Le plateau de Ténès auquel appartient le secteur d'étude, se Situe à la jonction de deux systèmes orogéniques littoraux, occidental formé de marnes noirâtres du Sénonien et oriental constitué d'argiles albo-aptiennes et de grès du Cartennen.

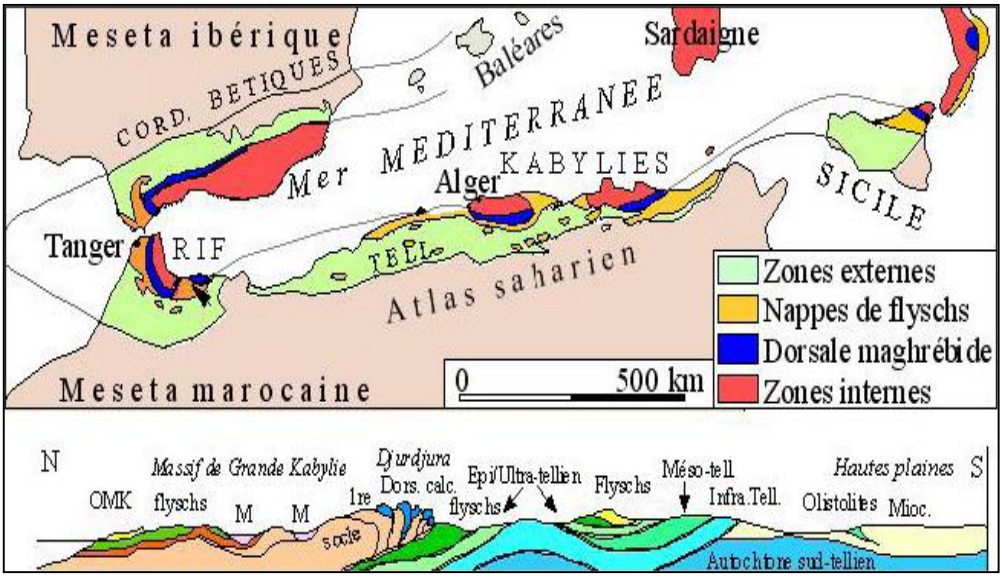


Figure VI. 1 : Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes, et coupe simplifiée sur la transversale de la grande Kabylie, d'après Durand-Delga et Fontboté (1980).

VI.3 SISMICITE DE LA ZONE D'ETUDE

L'activité sismique en Algérie du Nord se trouve aujourd'hui expliquée par la théorie de la tectonique des plaques. En effet c'est l'affrontement d'environ 1cm/an des deux plaques tectoniques Afrique Eurasie qui entraîne la déformation des parties méridionales de l'Europe et septentrionale de l'Afrique et donne lieu aux séismes qui secouent notre pays.

Ces séismes sont donc générés par tout un certain nombre de failles tectoniques dont le jeu correspond à petite échelle à la formation de la chaîne de montagne Atlasique au Maghreb dont l'homologue est la chaîne Alpine en Europe.

En Algérie, les séismes sont générés par des failles de type inverse comme c'est le cas par exemple des failles de la wilaya de Chlef.

Dans notre pays, les zones sont définies en fonction de leur sismicité croissante :

Zone 0 : sismicité négligeable.

Zone I : sismicité faible.

Zone II (II a – II b) : sismicité moyenne.

Zone III : sismicité élevée.

Chlef est située dans la zone III, caractérisée par une sismicité élevée.

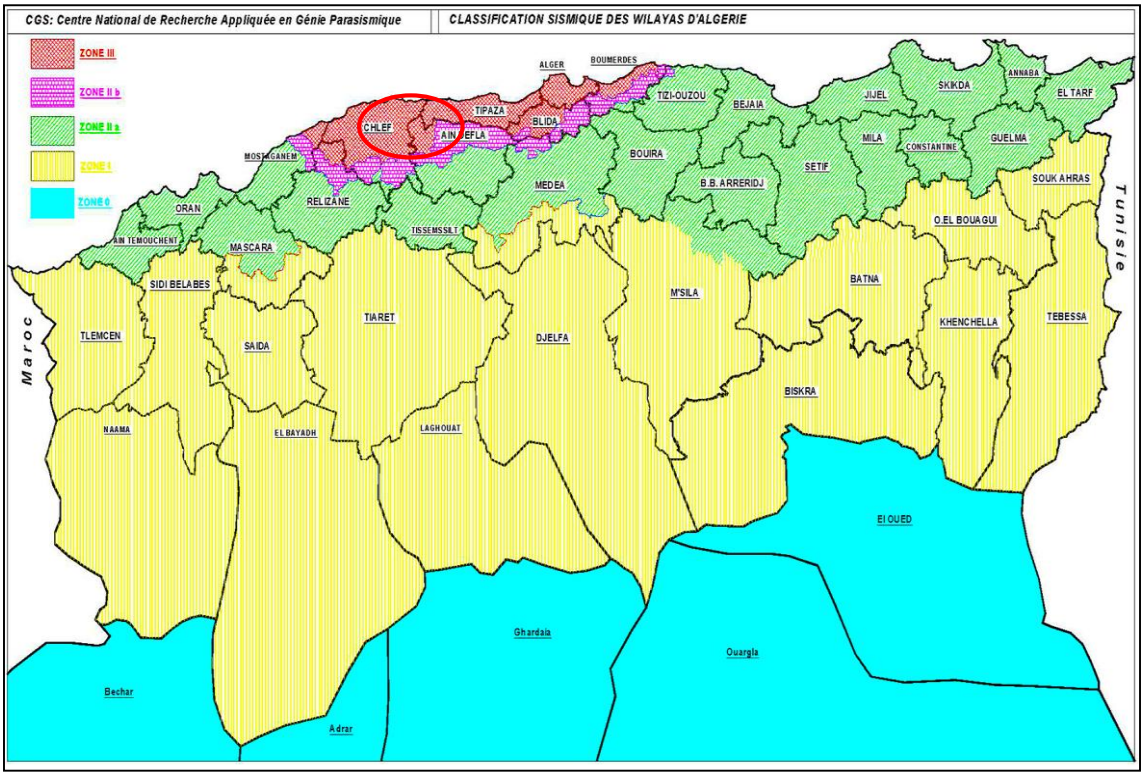


Figure VI. 2 : Carte classification sismique des wilayas D'ALGERIE (d'après CGS 2003).

VI.1. IMPLANTATION DES POINTS DE SONDAGE

Le choix de l'implantation des points de sondage a été positionné et répartis sur le site dans le but d'avoir une meilleure représentativité de la nature du terrain. Le point n°1 est situé sur le Quai adossé à la jetée Ouest, le sondage n°2 est sur l'extrémité de la jetée Est, le troisième et le quatrième sont répartis sur la plage Est du port de Ténès (voir figure ci-après).

La figure ci -après montre un plan d'implantation des quatre sondages carottés, dénommés S1, S2, S3 et S4.



Figure VI. 3 : implantation des points de sondage.

Les 04 sondages carottés, noté S.C.01 à S.C.04 poussés de 15 à 20 m de profondeur chacun, exécutés selon la Norme NF P-94115-B, au moyen d'une sondeuse porté sur camion qui ont permis de déterminer la nature géologique des terrains traversés en profondeur avec exécution d'essais de laboratoire sur sol dans la mesure du possible.

Essais de laboratoire réaliser avec détermination des caractéristiques physiques, selon les Normes NFP en vigueur, tous les 1 à 2 m (10 unités) avec pour but, la mesure des paramètres géotechniques suivants :Détermination de la densité sèche et humide et degré de saturation selon la norme N FP : 94-053 Octobre 1991.

- Teneur en eau naturelle selon la norme : N FP.94-050 Septembre 1995.
- Limites d'ATTERBERG selon la norme: N FP: 94-051 Mars 1993.
- Analyse granulométrique selon la norme : N FP : 94-056 Mars 1996.

VI.4 RESULTATS ET COMMENTAIRES DES RECONNAISSANCES ET ESSAIS

VI.4.1 CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES TERRAINS

Les sondages carottés, au nombre de quatre, nous ont permis de reconnaître un sol en général, homogène formé d'une succession de couches d'épaisseurs variables de nature suivante :

Ces sondages carottés montrent que le sous-sol du site est essentiellement sableux à galets, cailloux et graviers.

On y distingue de haut en bas les formations suivantes que l'on cite comme suit à savoir

Tableau VI. 1 : Sondage carotté n°01. Profondeur maximale 20 mètres.

Sondage carotté n°	**Profondeur (m)**	**Lithologie**
01	De 0.00 à 1.50 m	Sable fin à éléments grossiers de couleur grisâtre.
01	De 1.50 à 4.50 m	Tout Venant d'Oued à passage de gros éléments récupérés sous forme de carottes centimétrique.
01	De 4.50 à 20.00 m	Marne stratifiée très raide de couleur bleuâtre récupérée sous forme de carottes à passage de tout venant d'oued entre 12.00 et 12.30 m.

Tableau VI. 2 : Sondage carotté n°02. Profondeur maximale 20 mètres.

Sondage carotté n°	Profondeur (m)	Lithologie
02	De 0.00 à 3.00 m	Dalle en béton armé
02	De 3.00 à 6.00 m	Grès très consolidé à très raide récupérée sous forme de carottes centimétriques (petits morceaux).
02	De 6.00 à 14.00 m	Grès très consolidé récupérées sous forme de carottes décimétriques.
02	De 14.00 à 19.50 m	Sable fin argileux de couleur brun-clair.
02	De 19.50 à 20.00 m	Grès très consolidé récupérés sous forme de carottes centimétriques.

Tableau VI. 3 : Sondage carotté n°03. Profondeur maximale 20 mètres.

Sondage carotté n°	**Profondeur (m)**	**Lithologie**
03	De 0.00 à 2.00 m	Sable fin à éléments grossiers récupérée sous forme de carottes de couleur grisâtre
03	De 2.00 à 20.00 m	Marne stratifiée très raide récupérée sous forme de carottes ou de débris de marne anguleux de couleur bleuâtre.

Tableau VI. 4 : Sondage carotté n°04. Profondeur maximale 15 mètres.

Sondage carotté n°	Profondeur (m)	Lithologie
04	De 0.00 à 9.00 m	Tout Venant d'Oued à passage de gros éléments récupérés sous forme de carottes décimétrique et à passage de couche de marne schisteuse entre 6.00 et 6.50 m de profondeur.
04	De 9.00 à 15.00 m	Marne schisteuse stratifiée très raide de couleur bleuâtre graveleuse par endroit.

PROFONDEURS DES SONDAGES : Vu la présence d'un matériau pulvérulent composé de sable grossier, galets et blocaux, aucun essai de laboratoire n'a été réalisé.

Sondage carotté n°01 :

Caisse n°01: de 0.00 à 5.00 mètres.

Caisse n°02 : de 5.00 à 15.00 mètres.

Caisse n°03: de 15.00 à 20.00 mètres.



Figure VI. 7 : SONDAGE N°01, CAISSE N°01

Sondage carotté n°02 :

Caisse n°01: de 0.00 à 12.00 mètres.

Caisse n°02 : de 12.00 à 20.00 mètres.



Figure VI. 6 : SONDAGE N°02, CAISSE N°01

Sondage carotté n°03 :

Caisse n°01: de 0.00 à 12.00 mètres.

Caisse n°02 : de 12.00 à 20.00 mètres.

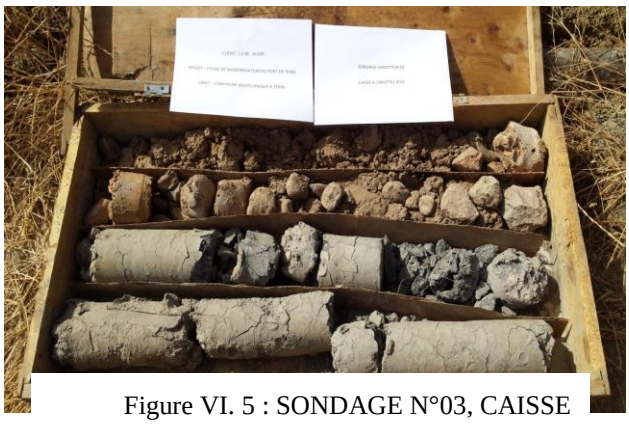


Figure VI. 5 : SONDAGE N°03, CAISSE N°01

Sondage carotté n°04 :

Caisse n°01: de 0.00 à 5.00 mètres.

Caisse n°02 : de 5.00 à 15.00 mètres.



Figure VI. 4 : SONDAGE N°04, CAISSE N°01

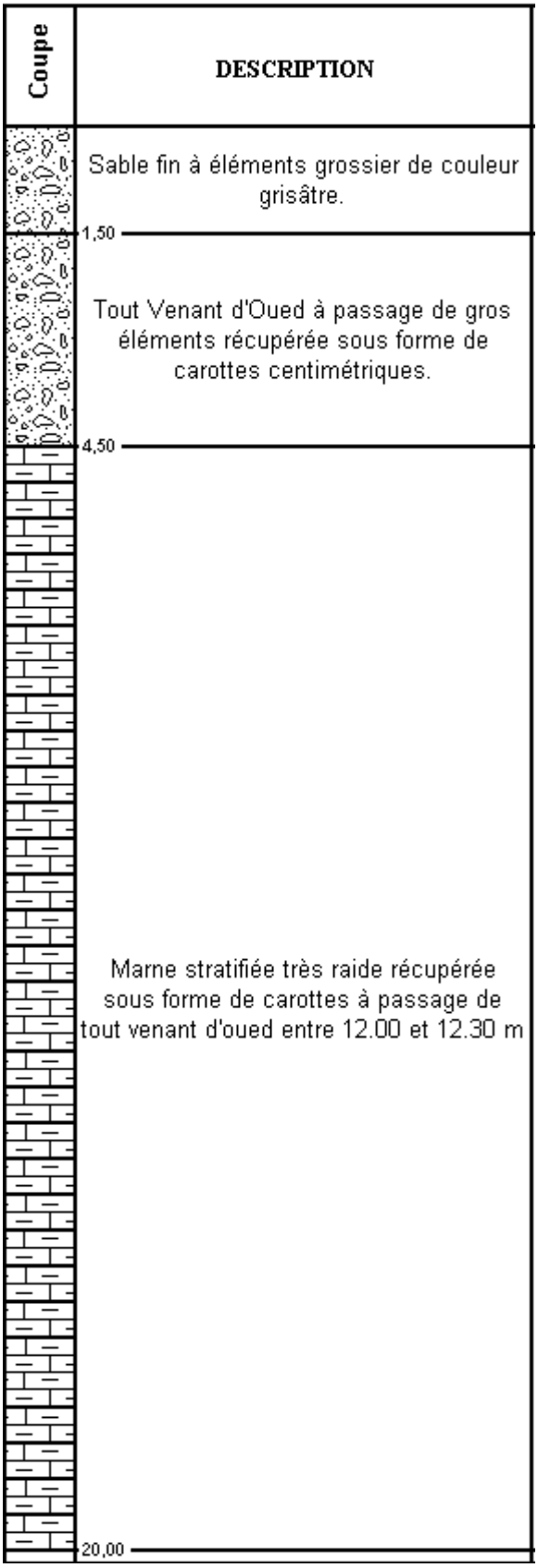


Figure VI. 9 : coupe lithologique des sondages carotte sc1.

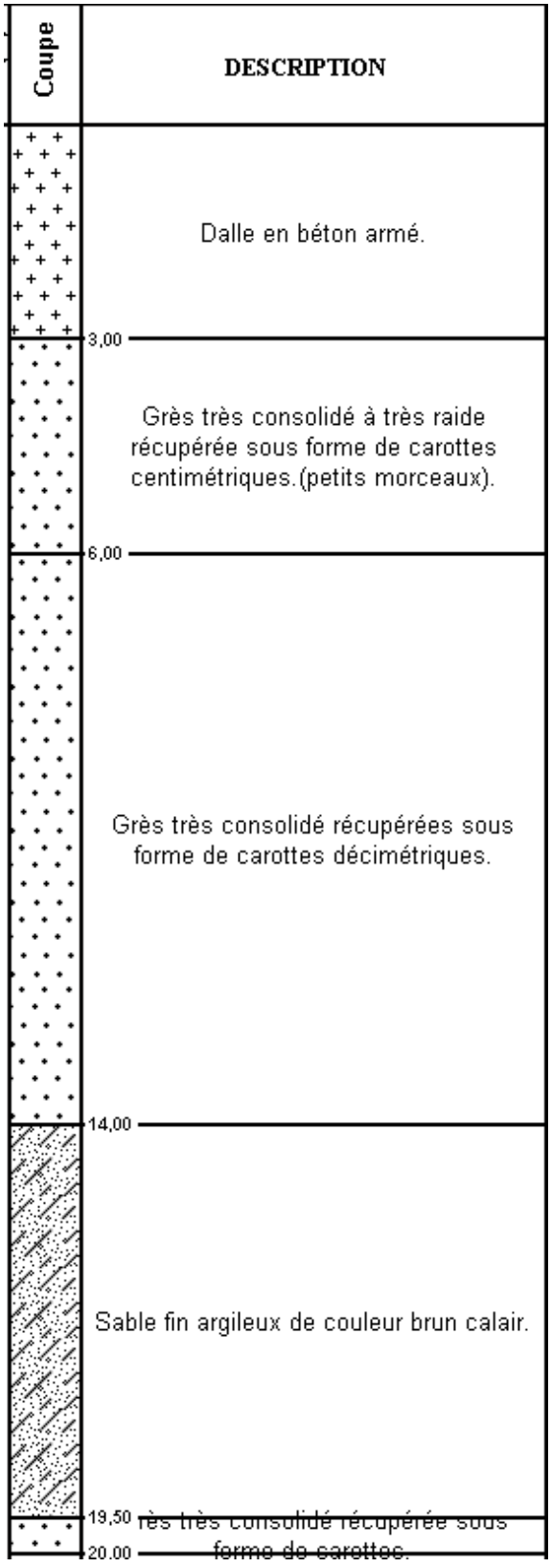


Figure VI. 8 : coupe lithologique des sondages carotte sc2.

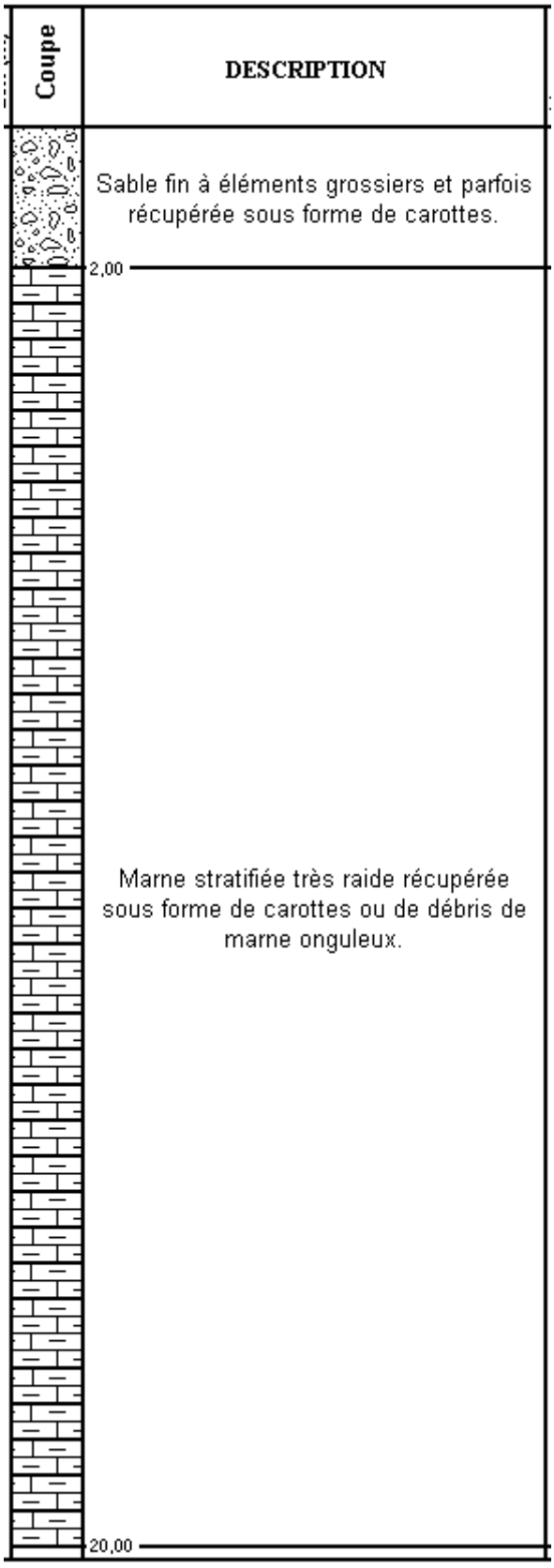


Figure VI. 10 : coupe lithologique des sondages carotte sc3.

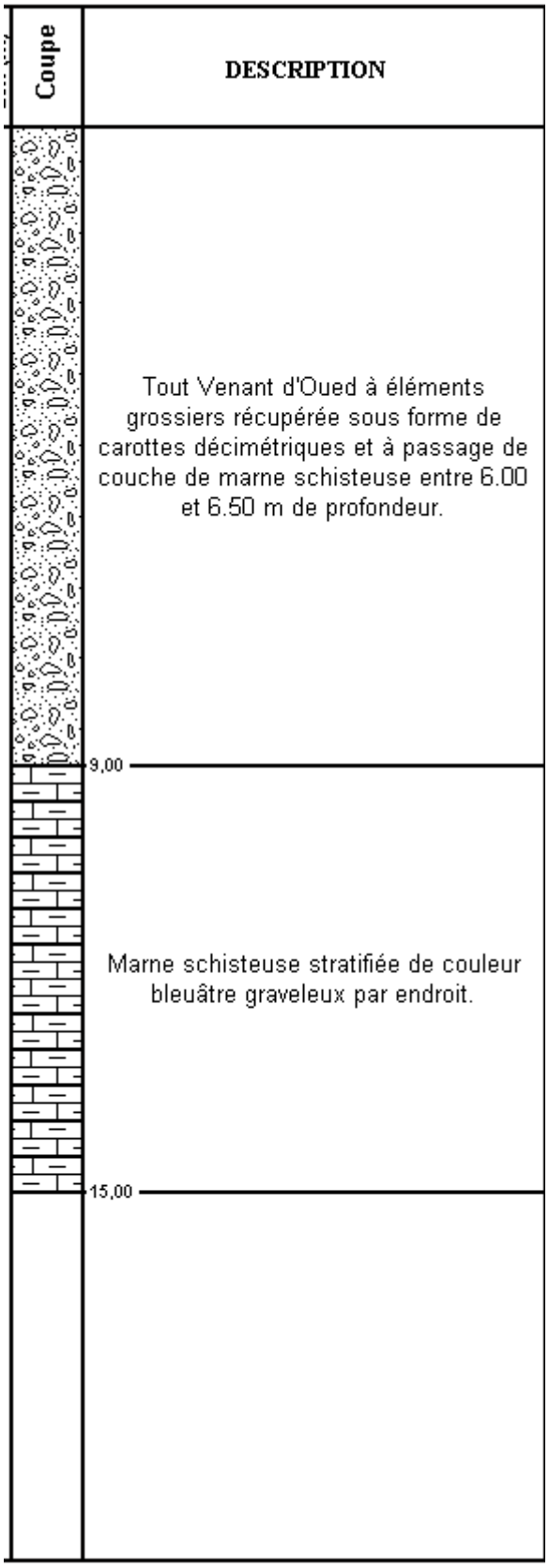


Figure VI. 11 : coupe lithologique des sondages carotte sc4.

VI.4.2 RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR LES CAROTTES PRELEVES

Il a été réalisé huit (08) essais de résistance à la compression simple sur la couche de marne stratifiée et sur la couche de grès très consolidé.

La résistance à la compression sur la couche de **marne** varie **59.90 bars** à **174.40 bars** caractérisant un sol **de faible résistance à la compression**.

La résistance à la compression sur la couche de **grès très consolidé** varie **320.60 bars à 908.20 bars** caractérisant une roche **de bonne résistance à la compression.**

Les résultats détaillés de ces essais sur tous les échantillons programmés sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau VI. 5 : Les résultats détaillés de ces essais sur les carottes prélevés

SONDAGE N°	Profondeur (m)	Φ (cm)	H (cm)	H/D	Charge (KN)	Rc (MPA)	Rcc** (MPA)
01	10.50/10.90	07.80	15.60	2.00	286	05.99	05.99
01	11.90/12.10	07.80	15.60	2.00	854	17.44	17.44
01	12.50/12.90	07.80	15.60	2.00	306	06.41	06.41
02	08.40/08.80	09.20	18.40	2.00	3827	57.59	57.59
02	09.00/08.40	09.30	18.60	2.00	2178	32.06	32.06
02	10.00/10.40	09.30	18.60	2.00	6169	90.82	90.82
02	11.50/12.00	07.90	15.80	2.00	3486	50.24	50.24
02	13.50/13.90	07.90	15.80	2.00	3186	45.85	45.85

Où :

- ✓ **Rc :** Résistance à la compression.
- ✓ **Rcc** :** Résistance à la compression corrigée.

Résultats des essais S.P.T :

Tableau VI. 6 : Essais S.P.T

Profondeur (m)	**Nombre de coups N1, N2, N3**	**N2+N3**	**Angle de frottement**
15.00/15.45	09, 13,14	27	06 à 09°

N.B :

Matériau de faible à moyenne compacité.

VI.5 CAPACITE PORTANTE DES FONDATIONS SUPERFICIELLES

VI.5.1 RAPPEL D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE

Les fondations superficielles sont par définition des fondations qui reposent sur le sol ou sont faiblement encastrées. Les charges qu'elles transmettent ne sollicitent que les couches superficielles et peu profondes. Elles sont utilisées lorsque les couches géologiques superficielles, sont capables de supporter. On considère une fondation comme superficielle quand la profondeur D d'encastrement de la fondation par rapport à la surface superficielle de terrain n'excède par quatre ou cinq fois la largeur B du massif de fondation .

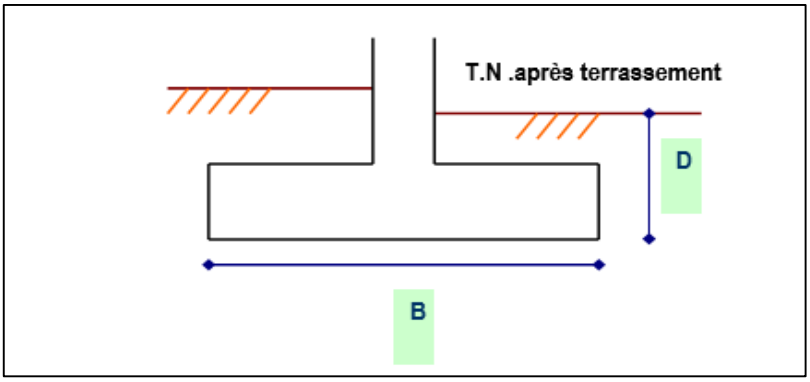


Figure VI. 12 : Coupe schématique d'une fondation superficielle.

On distingue dans la figure :

Les semelles filantes, généralement de largeur B modeste (au plus quelques mètres) et de grande longueur L (L/B > 10 pour fixer les idées) ;

Les semelles isolées, dont les dimensions en plan B et L sont toutes deux au plus de quelques mètres ; cette catégorie inclut les semelles carrées (B/L = 1) et les semelles circulaires (de diamètre B) ;

Les radiers ou dallages, de dimensions B et L importantes ; cette catégorie inclut les radiers généraux, *(Roger Frank, 2003).*

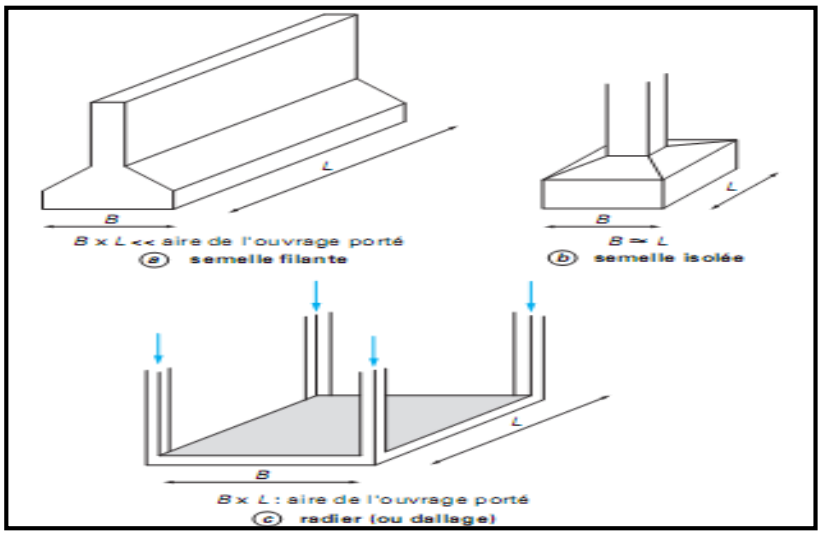


Figure VI. 13 : Types de fondations superficielles, (Roger Frank, 2003).

VI.5.2 MECANISME DE RUPTURE DU SOL SOUS UNE FONDATION SUPERFICIELLE

Les expériences sur modèles réduits de fondations, ont permis de mettre en évidence un mécanisme de rupture, schématise sur la figure 14 :

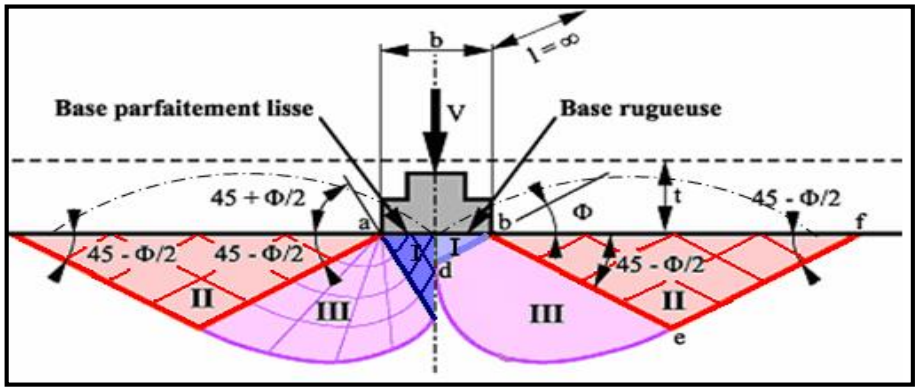


Figure VI. 14 : Mécanisme typique de rupture du sol sous une semelle continue (Roger Frank, 2003).

Ce mécanisme est composé d'un coin du sol (I) en état actif et solidaire de la fondation, donc s'enfonçant avec la fondation, et deux zones latérales du sol (II et III) en état passif tendant à se déplacer vers la surface du sol.

Ce mécanisme est formé d'un réseau de facettes de rupture (lignes de glissement) et le sol en dehors est supposé en état d'équilibre surabondant, donc ne participant pas à la résistance.

La figure (14) montre que la zone mobilisée par la résistance du sol dépend de la rugosité de la surface de contact de la base de la fondation avec le sol.

Par capacité portante on entend la pression verticale «q» de laquelle la rupture se manifeste dans le sol sous la fondation.

En pratique, l'incertitude sur le problème de la capacité du sol fait intervenir le coefficient de sécurité (F) pris généralement entre 2 et 3, ce qui présente une contrainte admissible

$Q_{ad} = q_1/F$.

VI.5.3 CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE A PARTIR DES RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Le calcul par la méthode classique (basé sur les résultats des essais de laboratoire) considère une fondation à base horizontale, encastrée dans un sol homogène et supportant une charge verticale centrée.

Pour une semelle isolée:

$$q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\rho \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D \cdot (Nq - 1) + 1.3 \cdot C \cdot N_c}{Fs}$$

Pour une semelle filante:

$$q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\rho \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot (Nq - 1) \cdot D + C \cdot N_c}{Fs}$$

γ_1: poids volumique apparent du sol au-dessus de la fondation (T/m^3)

γ_2: poids volumique apparent du sol au-dessus de la fondation (T/m^3)

D: Ancrage de la fondation (m).

P: Rayon moyen = surface de la semelle / périmètre de la semelle.

$P = 0{,}5\ B / (1+ B/L)$

B, L: dimension de la fondation, largeur et longueur (m).

C: cohésion du sol (T/m^2)

N_γ , N_q ,N_c: coefficients dépendants de l'angle de frottement interne du sol "φ" avec:

N_γ: facteur de portance dû aux poids des terres.

N_q : facteur de portance dû à la surcharge.

N_c : facteur de portance dû à la cohésion.

VI.5.3.1 Calcul de la contrainte admissible :

Pour la couche de marne : poids volumique du sol humide $\gamma_1 = \gamma_h = 22$ kN/m3=2.24 T/m^3 (valeurs basées sur l'expérience en Allemagne du Nord, pour des échantillons intacts).

$N_\gamma = 21.8$

$\varphi = 30° \Rightarrow \begin{cases} N_q = 18.4 \\ N_c = 30.1 \end{cases}$

Poids volumique du sol saturé ($\gamma 2 = \gamma sat$) = Poids volumique du sol déjauge (γ') + Poids volumique du l'eau de mer (γ_w)

$\gamma_w = 9.80$ KN/m3, $\gamma' = 12$KN/m3

$\gamma 2 = \gamma sat = \gamma' + \gamma_w = 12 + 9.80 = 21.80$KN/m3= 2.22 T/m^3

D'après Les essais de la résistance à la compression sur la marne, la cohésion du sol est évaluée à C=Rc/2

C=60/2=30bars=305,91 T/m²

VI.5.3.1.1 Exemple 1 : Fondation type 1 (Caisson circulaire):

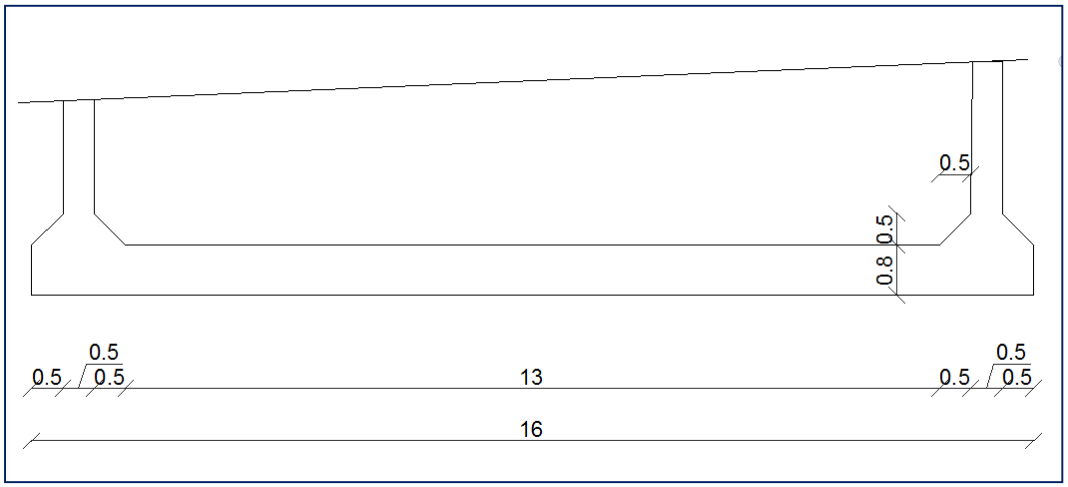


Figure VI. 15 : Caisson circulaire.

- **Pour les quais de -10 et -12m**

D=3,60m (ancrage du caisson)

B= L=16m (section circulaire)

Pour une semelle circulaire : ρ=πR²/2πR= R/2 =4m

$$q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\rho \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D \cdot (Nq - 1) + 1.3 \cdot C \cdot N_c}{Fs}$$

$$q_{ad} = 2.24 \cdot 3.60 + \frac{4 \cdot 2.22 \cdot 21.8 + 2.22 \cdot 3.60 \cdot (18.4 - 1) + 1.3 \cdot 305.91 \cdot 30.1}{3}$$

Q_{ad} = 4109.03 T/m^2 = 41.09 bars

$$\boxed{Q_{ad} = 41.09 bars}$$

VI.5.3.1.2 Exemple 2 : Fondation type 1 (Quai en blocs) :

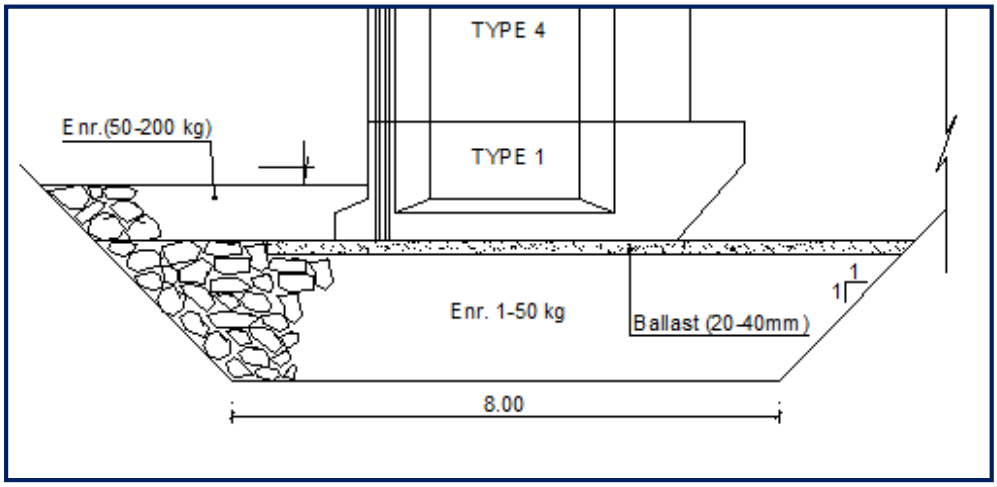


Figure VI. 16 : Quai en blocs.

D=0,80m
l = 5.50 m
B = 3 m

$$q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\rho \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D \cdot (Nq - 1) + 1.3 \cdot C \cdot N_c}{Fs}$$

ρ =0,5 B / (1+ B/L) = 0,5*3/(1+3/5.50)= 0,97m

$$q_{ad} = 2.24 \cdot 0.80 + \frac{0.97 \cdot 2.22 \cdot 21.8 + 2.22 \cdot 0.80 \cdot (18.4 - 1) + 1.3 \cdot 305.91 \cdot 30.1}{3}$$

Q_{ad} = 4018 T/m² = 40.18 bars $\boxed{Q_{ad} = 40.18 bars}$

N.B

Il est important de signaler que ces contraintes admissibles sont valables pour le cas d'un chargement vertical, elles pourront subir des variations (diminution) pendant l'exploitation de l'ouvrage sous les effets des charges horizontales.

VI.6 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

L'étude géotechnique du terrain destinée à recevoir le projet d'extension du port de TENES, a montré que le sol est constitué par la succession de plusieurs couches :

Une couche de Tout venant d'Oued à passage de blocaux ,puis une couche de marne stratifiée très raide récupérée sous forme de carottes puis une couche de grès très consolidé rencontrée uniquement dans le sondage carotté n°02 suivi d'une couche de sable argileux au-delà de 14.00 mètres.

CHAPITRE VII :

ETUDE DE LA REFRACTION

VII.1 INTRODUCTION

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte.

Les données de la houle à la côte serviront de données d'entrée au calcul du transit sédimentaire et/ou pour le dimensionnement des ouvrages maritimes.

La propagation de la houle entre le large et la côte, étudiée avec le modèle numérique SWAN (SimulatingWavesatNearshore développé par l'université de DELFT) ou autres, est basée généralement sur les données bathymétriques obtenues des cartes nautiques du SHOM ainsi que la bathymétrie réalisée sur terrain.

Pour l'étude de la réfraction de la houle, le domaine de calcul peut être discrétisé par une seule ou plusieurs grilles, dans ce cas précis on parle de modèles de calcul emboîtés.

VII.2 PRINCIPE DE CALCUL DE LA REFRACTION DE LA HOULE

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette houle est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante:

$$K_r = \frac{\text{Hs local}}{\text{Hs large}}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN (SimulatingWavesatNearshore développé par l'université de DELFT) pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages,
- Frottement sur le fond
- Déferlement,

Il est donc parfaitement adapté à la problématique du littoral. Le coefficient de réfraction est calculé par SWAN.

Les paramètres significatifs de la houle ont été représentés avec un spectre bidimensionnel de type JONSWAP ayant un facteur d'affinement du pic (γ) et un "spreading" directionnel issus de la cambrure de la houle (formule de Wilson, 1965).

VII.3 DONNEES D'ENTREE

VII.3.1 DONNEES BATHYMETRIQUES

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM « Partie comprise entre Kef el Asfer et le cap Ténès échelle : 1/99530ème », complétée par le levé bathymétrique réalisé en Avril, 2015 par le LEM.

VII.3.1.1 Données de houles au large :

VII.3.1.1.1 Houles annuelles :

Les données de houle au large utilisées pour le calcul de réfraction de la houle au LEM sont celles du Summury of SynopticMeteorological observations (SSMO) sur la période de 1963 à 1970.

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

Afin d'optimiser les calculs sur le modèle SWAN, nous avons procédé au calcul d'une houle équivalente par période et par direction. Celle-ci correspond à la moyenne des amplitudes significatives pour une période donnée.***Amplitude de la houle annuelle au large par direction et par période.***

Tableau VII 1 :Amplitude de la houle annuelle au large par direction et par période.

	direction de la houle			
Période	**N 360°**	**N 20°**	**N 320°**	**N 280°**
6 s	1,07 m	1.15 m	1.11	1.16
8 s	2,68 m	2,56 m	2.49	2.67
10s	7.12 m	5,84 m	4.53	4.83

VII.3.1.1.2 Houles pluri- annuelles :

Les données du Summury of SynopticMeteorological Observations (SSMO) consistent en des observations de navire sur la période de 1963 à 1970.

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles biannuelle, quinquennale, décennale, vingtennale, cinquantennale et centennale.

Les caractéristiques des houles extrêmes retenues pour la détermination des conditions de houles au pied des ouvrages de protection à projeter (dimensionnement des ouvrages) sont présentées dans tableau ci-dessous.

Tableau VII 2 **:**Amplitude de la houle retenue par direction et par période

Période de retour		**Nord (N360°)**	**Nord Est(N20°)**	**Nord-Ouest (N320°)**	**Ouest (N280°)**
Centennale	**Hs (m)**	9.1	10.10	7.25	10.5
	Tp (s)	14.41	15.01	13.1	15.23

- **Choix du secteur angulaire :**

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposé d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi Quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude :

Une (01) direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (N 320°).

Trois (03) directions de houle à incidence oblique (N 360°, N20°et N280°)



Figure VII 1 **:**Vue aérienne : source Google Earth.

VII.3.1.1.3 Résultats :

Les résultats de l'étude de propagation de la houle sont illustrés par :

- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle.
- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points, qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle à cette profondeur qui sera utilisée pour l'estimation de la capacité de transport et/ ou pour le calcul du dimensionnement des ouvrages maritimes.
- Le coefficient de réfraction (Kr) pour les houles annuelles a été calculé pour chaque direction retenue à une profondeur d'environ -15 m, profondeur limite de la dynamique sédimentaire
- Les épures de réfraction sont présentées sous format A4 après traitement des résultats du calcul SWAN par le logiciel.
- La zone d'étude a été subdivisée en 2 zones, zone Ouest et Est, de part et d'autre du port de Tenes.Le port de Tenes bloc le transit littoral et confère ainsi à ces zones une dynamique sédimentaire differente.

VII.3.1.1.3.1 Zone Est :

Tableau VII 3 **:**Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle annuelle pour la zone Est**.**

Direction en degré	**Période en (s)**	**Amplitude de la houle au large Hs (m)**	**Amplitude de la houle (m) A – 15 m**	**Angle d'arrivée (degré)**	**Coefficient de réfraction Kr A - 15 m**
N 360°	6	1	0.98	356	0.98
N 360°	8	2.68	2.27	351	0.85
N 360°	10	7.12	5.82	346	0.82
N 320°	6	1.11	1.06	320	0.95
N 320°	8	2.49	2.32	320	0.93
N 320°	10	4.53	4.26	320	0.94
N 280°	6	1.16	1.01	282	0.87
N 280°	8	2.67	2.4	286	0.89
N 280°	10	4.83	4.23	291	0.87
N 20°	6	1.15	0.92	11	0.8
N 20°	8	2.56	1.82	4	0.71
N 20°	10	5.84	3.92	357	0.67

Tableau VII 4 **:**Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle centennale pour la zone Est.

Direction en degré	Période de retour	Hsau large (m)	-20 m		-15 m		-10 m		-5 m	
			H_s(m)	Kr	Hs (m)	Kr	Hs (m)	Kr	Hs (m)	Kr
N 360°	100 ans	9.1	7.74	0.85	7.35	0.8	6.03	0.66	4.29	0.47
N 320°	100 ans	7.25	6.8	0.93	6.8	0.93	5.97	0.82	4.3	0.59
N 280°	100 ans	10.5	8.86	0.84	8.32	0.79	6.65	0.63	4.75	0.45
N 20°	100 ans	10.1	7.14	0.7	6.93	0.68	5.89	0.58	4.34	0.43

Pour les houles annuelles, on remarque que les houles de directions N 360°, N 320° et N 280° sont peu réfractées et conservent leur énergie, leur coefficients de réfraction sont compris entre 0.82 et 0.98. La déviation maximale est de 14° pour la houle N360 °,11° pour la houle N280°, alors que celle de direction N 320° n'est pas déviée et arrive à la côte frontalement. La houle de secteur N 20° est très réfractée comparativement aux autres directions, elle perd plus de 20 % son énergie. Sa déviation maximale est de 23°. Le site semble protéger des houles de secteurs Est par le cap de Ténès.

Pour les houles Centennales, celles de secteur N 360°et N 320° et N280° présentent les plus forts coefficients de réfraction. Elles conservent ainsi leurs énergies. La houle de direction N 20° présente de faibles coefficients de réfraction par rapport aux autres directions, son coefficient de réfraction à -10 m est de 0.58. A -5 m, La houle de secteur N320° présente le plus fort coefficient de réfraction. Les trois autres secteurs ont presque le même coefficient.

En terme d'énergie, la houle de direction N 320° est la plus énergétique. En terme d'amplitude, celle de secteur N 280° présente de fortes amplitudes. Le site est abritée des houles de secteurs Est par le cap Ténès. Il en ressort de cette analyse que les houles de secteurs N 320° et N 280° sont défavorables pour les ouvrages futur.

VII.3.1.1.3.2 Zone Ouest :

Tableau VII 5 **:** Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période de la houle annuelle à – 15 m pour la Zone Ouest.

Direction en degré	Période En (s)	Hs au large (m)	Amplitude de la houle (m)A – 15 m	Angle d'arrivée (degré)	Coefficient de réfraction Kr A - 15 m
N 360°	6	1	1.01	358	1
N 360°	8	2.68	2.4	354	0.89
N 360°	10	7.12	6.22	350	0.87
N 320°	6	1.11	1.06	320	0.95
N 320°	8	2.49	2.3	321	0.92
N 320°	10	4.53	4.17	322	0.92
N 280°	6	1.16	1.05	284	0.9
N 280°	8	2.67	2.23	290	0.83
N 280°	10	4.83	3.95	296	0.82
N 20°	6	1.15	1.01	15	0.88
N 20°	8	2.56	2.06	8	0.8
N 20°	10	5.84	4.5	2	0.77

Tableau VII 6 : Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle centennale pour la zone Ouest.

Direction en degré	Période de retour	Hs au large (m)	-20 m		-15 m		-10 m		-5 m	
			Hs(m)	Kr	Hs(m)	Kr	Hs(m)	Kr	Hs(m)	Kr
N 360°	100 ans	9.1	7.92	0.87	7.73	0.85	6.12	0.67	3.42	0.37
N 320°	100 ans	7.25	6.92	0.95	6.83	0.94	5.8	0.8	3.33	0.46
N 280°	100 ans	10.5	10.23	0.97	8.76	0.83	6.55	0.62	3.6	0.34
N 20°	100 ans	10.1	7.83	0.77	7.57	0.75	6.2	0.61	3.48	0.34

Les moyennes des résultats obtenus par direction à différentes profondeurs pour la houle centennale pour la zone Ouest.

Pour les houles annuelles, on remarque que les houles de directions N 360°, N 320° et N 280° sont peu réfractées et conservent leur énergie, leur coefficients de réfraction sont compris entre 0.82 et 1. La déviation maximale est de 10° pour la houle N360 °,16° pour la houle N280°, alors que celle de direction N 320° est faiblement déviée et arrive à la côte frontalement. La houle de secteur N 20° est très réfractée comparativement aux autres directions, elle perd plus de 20 % son énergie. Sa déviation maximale est de 18°. Le site semble protéger des houles de secteurs Est par le cap de Ténès.

Pour les houles Centennales, celles de secteur N 360°et N 320° et N280° présentent les plus forts coefficients de réfraction. Elles conservent ainsi leur énergie. La houle de direction N 20° présente de faibles coefficients de réfraction par rapport aux autres directions, son coefficient de réfraction à -10 m est de 0.61. A -5 m, La houle de secteur N 320° présente le plus fort coefficient de réfraction. Les trois autres secteurs ont presque le même coefficient.

En terme d'énergie, la houle de direction N 320° est la plus énergétique. En terme d'amplitude, celle de secteur N 280° présente de fortes amplitudes. Le site est abritée des houles de secteur Est par le cap Ténès. Il en ressort de cette analyse que les houles de secteurs N 320° et N 280° sont défavorables pour les ouvrages futurs.

En conclusion, les houles de directions N320° et N 280° sont défavorables pour les ouvrages futurs pour les zones Est et Ouest.

VII.3.1.1.4 Estimation du transite sédimentaire :

L'estimation du transit sédimentaire est réalisée par un calcul manuel en s'appuyant sur la formule du LCHF suivante :

$$Q = \frac{K}{C} * g * H_s^{\,2} * T * t * f(\alpha)$$

Q = volume de sable transporté (en m3)

K = coefficient de transport du sédiment (2,5 10-6)

g = accélération de la pesanteur (en m/s2)

c = cambrure de la houle (0,03)

Hs = amplitude significative de la houle (en m)

T = période de la houle (en secondes)

f(α) = fonction de l'obliquité "α" de la crête de la houle avec la côte

t = durée d'action de la houle (en secondes).

Le coefficient k pour des sables fins à moyens (d50 de 0,2 à 0,5 mm) varie de 2,5 à 5,0 10-6 ; pour un sable de diamètre supérieur à 0,5mm le coefficient k peut s'exprimer par la relation suivante :

k = 1,8 10-6 d-1/2 avec d, diamètre en mm.

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

- Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par : Hs2. T. t.
- La fonction f (α) liée à l'obliquité de la houle $f\ (\alpha) = \sin [7/4\ (\alpha)]$.

Dans ce qui suit seront présentés le calcul du bilan énergétique annuel et l'estimation du transit sédimentaire.

Les données nécessaires à l'établissement du transit sédimentaire proviennent des résultats de l'étude de réfraction de la houle réalisée dans le cadre de cette étude et sont obtenus par extraction de 212 points au niveau du site du port de Ténès à partir du modèle SWAN. Les coordonnées des points ainsi que leur positionnement sont représentés en annexe.

VII.3.1.1.4.1 Zone Est :

Les résultats de réfraction de la houle à partir du modèle SWAN sont moyennés comme suit :

Tableau VII 7 **:**Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période**.**

Direction	**N 360°**			**N320°**			**N 280 °**			**N20°**		
Période (s)	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**
6	0,98	5,71	356	1,06	5,71	320	1,01	5,71	282	0,92	5,71	11
8	2,27	7,99	351	2,32	7,99	320	2,40	7,99	286	1,82	7,99	4
10	5,82	10.37	346	4,26	10.37	320	4,23	10.37	291	3,92	10.37	357

Remarque : θ° : Angle d'arrivée.

- **Calcul du bilan énergétique annuel :**

Calcul de la durée d'action de la houle « t »

Le temps "t" est donné par la relation suivante : $t = \frac{365j \times 24\ H \times 3600s}{100} \times f(\%)$

Avec f (%) fréquence d'observation.

Le bilan énergétique annuel est estimé à **152 585 423 m²s**

Tableau VII 8 **:** Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle.

Direction	N 360°		N 320°		N280°		N 20°	
Période (s)	f (%)	T	f (%)	T	f (%)	T	f (%)	t
6	7,81	2461543,19	3,07	968476,01	15,06	4749567,75	25,18	7941503,3
8	0,60	189659,88	0,23	72635,70	2,74	863557,77	2,32	730392,3
10	0,08	24211,90	0,01	4035,32	0,19	60529,75	0,17	52459,1

Tableau VII 9 **:** Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période.

Direction	N 360°	N 320°	N 280°	N20°
Période (s)	(Hs) ². T. t (m²s²)	(Hs) ². T. t (m²s²)	(Hs) ². T. t (m²s²)	(Hs) ². T. t (m²s²)
6	13498817,3	6213505,76	27391232,2	38380840,5
8	7808614,38	3123725,61	16559583,9	19330618,7
10	8504594,29	759408,719	2655143,56	8359337,64
Total	29812026	10096640,1	46605959,6	66070796,9
Total général	152585423 m²s²			

- **Calcul du transit sédimentaire :**

Calcul de l'angle "α" angle que fait la crête de la houle avec la côte.

$f(\alpha) = \sin(7/4 \times \alpha)$

Tableau VII 10 :Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction f (α).

Direction	N 360°		N 320°		N 280°		N 20°	
Période (s)	α°	f (α)	α°	f (α)	α°	f (α)	α°	f (α)
6	48,00	0,99	0	0	26,00	0,71	63	0,93
8	43,00	0,96	0	0	22,00	0,62	56	0,99
10	38,00	0,92	0	0	17,00	0,49	49	0,99

Tableau VII 11 : Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction.

Direction	N360°	N 320°	N 280°	N20°	Total par période Q (m3/an)	
Période (s)	Q (m3/an)	Q (m3/an)	Q(m3/an)	Q(m3/an)		
6	-10924,93	0	+15898,56	-29179,99	+15898,56	-40104,92
8	-6103,69	0	+8393,23	-15644,75	+8393,23	-21748,44
10	-6396,31	0	+1063,58	-6765,42	+1063,58	-13161,73
T/direct	-23424,92	0	+25355,37	-51590,17	+25355,37	-75015,09
Total général : 100 370,46						

Ouest (+) 25 355.27 m^3/an (-) 75 015.09 m^3/an Est

Le volume résultant des sédiments est estimé à - 49 660 m^3/an et se déplace vers l'Ouest.

Rappel : par convention le signe (+) correspond à un transport Ouest ==> Est et le signe (-) correspond à un transport Est ==> Ouest.

VII.3.1.1.4.2 Zone Ouest :

Les résultats de réfraction de la houle à partir du modèle SWAN sont moyennés comme suit :

Tableau VII 12 :Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période

Direction	**N 360°**			**N320°**			**N 280 °**			**N20°**		
Période (s)	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**	**Hs (m)**	**T (s)**	**θ°**
6	1,01	5,71	358	1,06	5,71	320	1,05	5,71	284	1,01	5,71	15
8	2,40	7,99	354	2,30	7,99	321	2,23	7,99	290	2,06	7,99	8
10	6,22	10.37	350	4,17	10.37	322	3,95	10.37	296	4,50	10.37	2

- **Calcul du bilan énergétique annuel :**

  Calcul de la durée d'action de la houle « t »

  Le temps "t" est donné par la relation suivante : $t = \frac{365j \times 24\,H \times 3600s}{100} \times f(\%)$

  Avec f (%) fréquence d'observation

Tableau VII 13 : Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle.

Direction	N 360°		N 320°		N280°		N 20°	
Période (s)	f (%)	T	f (%)	t	f (%)	t	f (%)	T
6	7,81	2461543,19	3,07	968476,01	15,06	4749567,75	25,18	7941503,3
8	0,60	189659,88	0,23	72635,70	2,74	863557,77	2,32	730392,3
10	0,08	24211,90	0,01	4035,32	0,19	60529,75	0,17	52459,1

Tableau VII 14 : Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période.

Direction	**N 360°**	**N 320°**	**N 280°**	**N20°**
Période (s)	**$(Hs)^2$.T.t (m^2s^2)**	**$(Hs)^2$.T.t (m^2s^2)**	**$(Hs)^2$.T.t (m^2s^2)**	**$(Hs)^2$. T. t (m^2s^2)**
6	14337925,4	6213505,76	27391232,2	46257437,9
8	8728603,08	3070100,42	16559583,9	24764947,9
10	9713783,08	727659,981	2655143,56	11016021,1
Total	32780311,5	10011266,2	46605959,6	82038407
Total général	**17 143 594 m^2s^2**			

Calcul du transit sédimentaire :

* Calcul de l'angle "α" angle que fait la crête de la houle avec la côte

$f(\alpha) = \sin(7/4 \times \alpha)$

Tableau VII 15 **:** Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction f (α).

Direction	**N 360°**		**N 320°**		**N 280°**		**N 20°**	
Période (s)	**α°**	**f (α)**	**α°**	**f (α)**	**α°**	**f (α)**	**α°**	**f (α)**
6	33,00	0,84	0	0	41,00	0,95	50	1,00
8	29,00	0,77	4	0,12	35,00	0,87	43	0,96
10	25,00	0,69	3	0,09	29,00	0,77	37	0,90

Tableau VII 16 :Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction.

Direction	**N360°**	**N 320°**	**N 280°**	**N20°**	**Total par période Q (m3/an)**	
Période (s)	**Q (m3/an)**	**Q (m3/an)**	**Q (m3/an)**	**Q (m3/an)**		
6	-9845,85	0,00	+21272,72	-37815,46	+21272,72	-47661,31
8	-5472,46	301,18	+11777,59	-19435,53	+12078,77	-24907,99
10	-5479,30	53,54	+1671,35	-8105,04	+1724,88	-13584,34
T/direct	-20797,62	354,71	+34721,65	-65356,02	+35076,37	-86153,64
Total général : 100 370,46						

Ouest (+) 35076.37 m^3/an (-) 86153.64 m^3/an Est

Le volume résultant des sédiments est estimé à - 51077 m^3/an et se déplace vers l'Ouest.

Rappel : par convention le signe (+) correspond à un transport Ouest ==> Est et le signe (-) correspond à un transport Est ==> Ouest

VII.4 CONCLUSION

Cette étude, nous a permet de déterminer la houle du projet qui arrive sur le site du port de Ténès, ainsi que le volume de sédiments transporté, qui sont nécessaire pour le dimensionnement des ouvrage de protection et le choix des aménagements de l'extension.

CHAPITRE VIII :

ETUDE D'AMENAGEMENT.

VIII.1 INTRODUCTION

Sur la base des plans des résultats des reconnaissances et des besoins estimés, trois (03) variantes de schémas d'aménagement relatives à l'extension du port de Ténès seront proposées et par la suite et à travers une analyse multicritère une seule variante sera choisi pour la pré-dimensionner dans la phase Avant-Projet Détaillé.

VIII.2 PRINCIPES D'ETABLISSEMENT DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Toutes les variantes répondent aux scenarios relatifs aux besoins de trafics projetés au-delà de 2030 et de manière générale aux besoins exprimés en postes à quai, surface de terrepleins et la réparation des unités de pêche. Soit l'ensemble des infrastructures et équipements nécessaires pour l'accueil, l'accostage et l'amarrage des différents types d'embarcations

.

VIII.3 DESCRIPTION DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Dans ce qui suit, une description technique de chaque variante montre les éléments de construction constituant le port (les ouvrages de protection, ouvrages d'accostage, terrepleins, aménagement intérieur …etc.

Le scénario n°1 (voir la figure VIII.1)

Consiste en :

-La création d'une nouvelle darse pour l'activité commerciale (terminaux) à l'Est du port actuel,

-le déplacement de l'activité pêche vers le site de MAINIS,

-le maintien de l'activité de transport de la marchandise diverses dans l'ancien bassin de l'actuel port de TENES,

-la spécialisation de l'ancien bassin du port aux transports des passagers

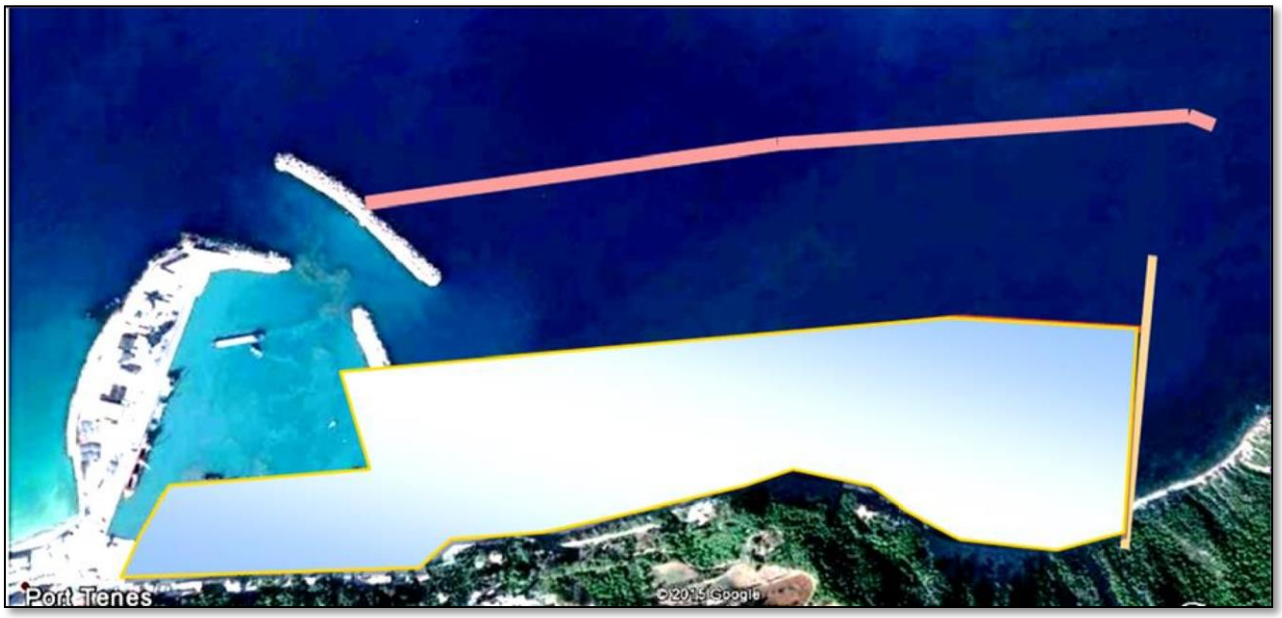


Figure VIII 1 : scenario n°1

- **<u>Le scénario n°2</u>** **(**voir la figure VIII.2) sera comme suit :

  - Création d'une nouvelle darse pour l'activité commerciale (terminaux) à l'Est du port actuel,
  - maintien de l'activité pêche dans le port actuel,
  - aménagement d'un quai pour les plaisanciers au port actuel.
  - localisation du transport maritime au port actuel
  - délocalisation du transport de marchandises de l'ancien bassin vers la nouvelle darse.

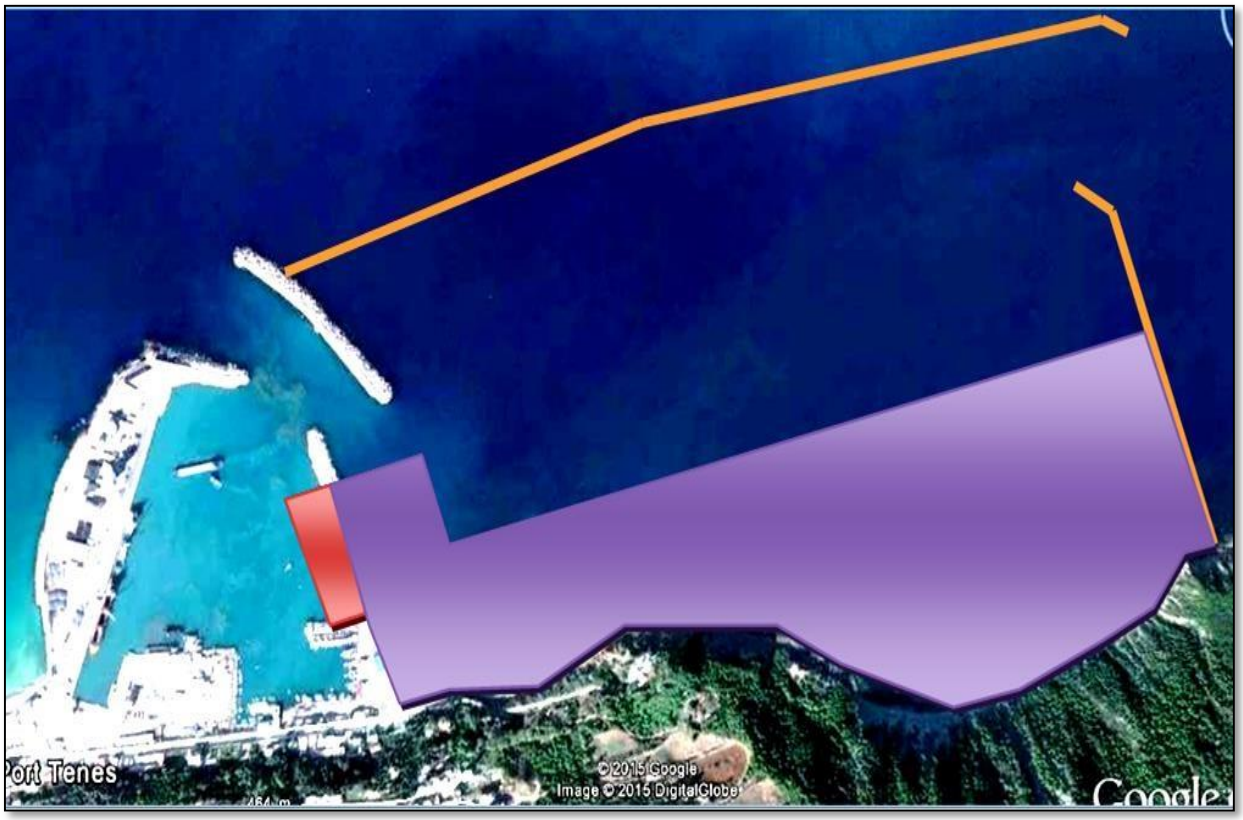


Figure VIII 2 : scenario n°2

- **<u>Le scénario n°3 :</u>** diffère des schémas d'aménagement précédents **(**voir la figure VIII.3), il consiste en :

-La création de deux nouvelles darses, la première est située à l'Ouest du port actuel, spécialisée dans les trafics des marchandises diverses, le ciment et les céréales. Par contre la seconde est réservée uniquement aux transports des conteneurs (terminal à conteneur).

-le maintien de l'activité pêche dans le port actuel

-la spécialisation de l'ancien bassin du port aux transports des passagers comme pour les deux scénarios sus cités.



Figure VIII. 2 : Scénario n°3

VIII.3.1 Variante n°1 :

Cette variante est constituée :

Ouvrages de protection et d'accostage

- d'une jetée principale qui débute de l'extrémité du brise lame et se prolongera vers l'Est sur un linéaire d'environ 1330 ml, elle est fondée entre -15 m et -25 m.
- d'une jetée secondaire qui débute au pied de la montagne et se prolonge sur environ 600 ml vers la jetée principale, elle est fondée entre -0.00 m et -15 m.
- de deux postes à quai de 230 ml chacun destinés à recevoir deux navires à conteneur de
- 20 000 DWT. Ces quais offrent un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 220 ml, implanté sur la continuité du terminal à conteneur, destiné à recevoir un navire à céréale de 30 000 DWT Ce quai a un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 200 ml et 12 m de tirant d'eau, implanté sur la continuité du céréalier, destiné à recevoir un navire pour le ciment de 20 000 DWT
- de quatre postes à quai de 170 ml chacun et 10 m de tirant d'eau, un poste est implanté sur la partie démolie de la jetée secondaire existante et les trois autres sont dans l'ancien bassin du port affecté actuellement à la pêche. Ces quais sont destinés aux navires de marchandises diverses de 15 000 DWT.
- d'un poste Ro-Ro de deux cents mètre (200 ml) destiné pour le transport des voyageurs implanté dans l'ancien bassin du port avec un tirant d'eau de 7.50 m.

- de cent(100) mètre linéaire de quai pour les gardes de côte situé au niveau de la jetée secondaire projetée, Ce qui est à -10 m.

➢ **Terre-pleins**

Les terre-pleins de la nouvelle extension du port ont une superficie globale d'environ 38.50 Ha, réparties selon les besoins du projet comme suit :

- Treize (13Ha) hectares réservés pour le terminal à conteneur.

- Trois (03Ha) hectares réservés pour le terminal à céréales.

- Trois (03Ha) hectares réservés pour le terminal à ciment

- Dix (10) hectares réservés pour les marchandises diverses. - Trois (03Ha) hectares réservés pour le transport des voyageurs

- Un demi (0.50) hectares réservés pour les gardes de côte.

- Six (06Ha) hectares réservés pour la gare de triage

➢ **Plan d'eau**

- Ancien bassin : 17 Ha

- Nouveau bassin : 45 Ha

L'aménagement du bassin de la variante1 nécessite la démolition d'une partie du brise lame sur environ 135 ml et de la jetée secondaire (jetée Est) d'environ 150 ml.

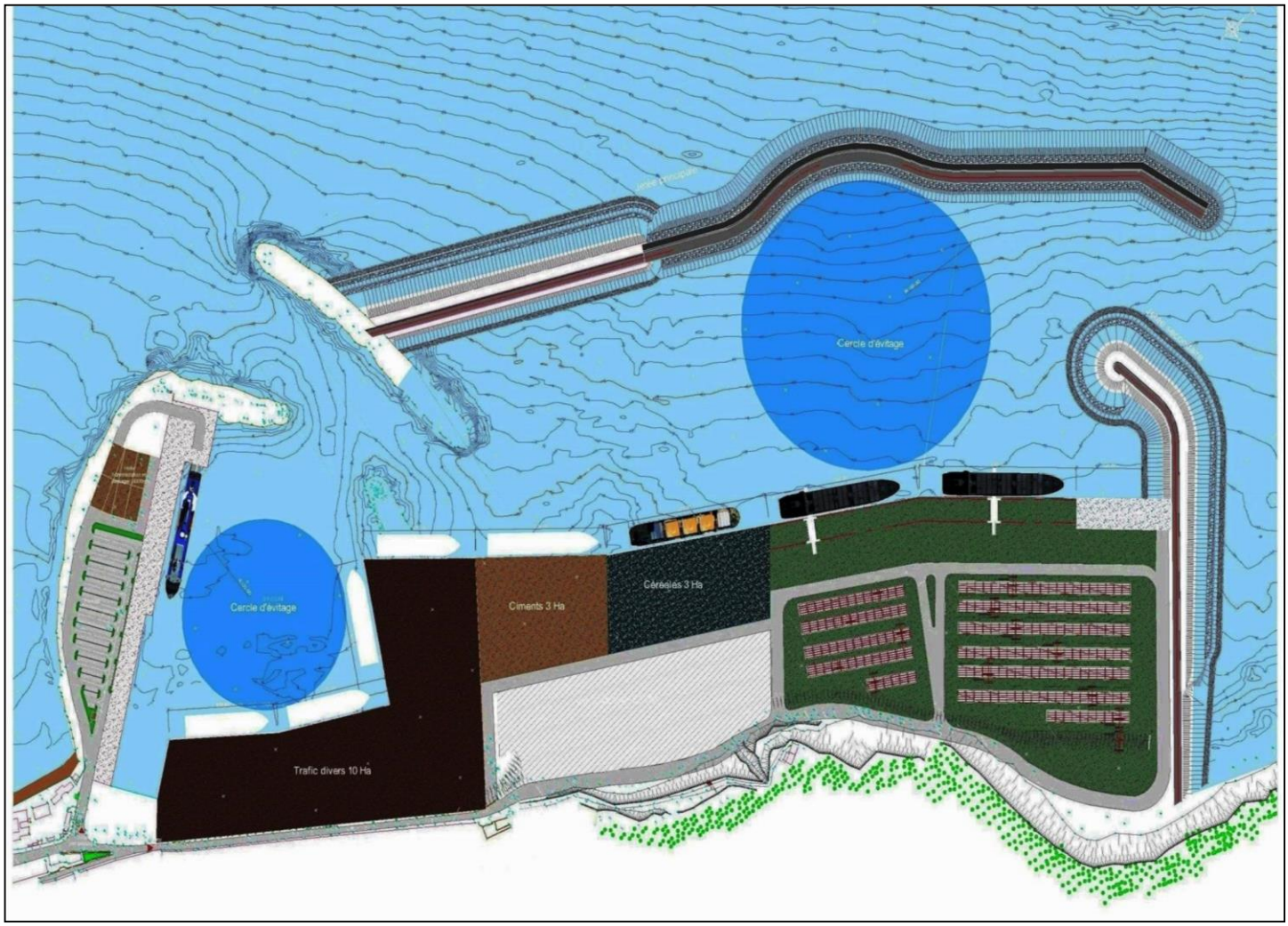


Figure VIII 3 : vue en Plan de la variante n°1

VIII.3.2 Variante n°2 :

- **Ouvrages de protection et d'accostage**

Nouveau bassin :

- d'une jetée principale qui débute de l'extrémité du brise lame et se prolongera vers l'Est sur un linéaire d'environ 1600 ml, elle est fondée entre -15 m et -30 m.
- d'une jetée secondaire qui débute au pied de la montagne et se prolonge sur environ 600 ml vers la jetée principale, elle est fondée entre -0.00 m et -18 m.
- de deux postes à quai de 230 ml chacun destinés à recevoir deux navires à conteneur de 20 000 DWT. Ces quais offrent un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 200 ml, implanté sur la continuité des postes à conteneurs, coté de la nouvelle jetée secondaire, destiné à recevoir un navire pour le ciment de 20 000 DWT. Ce quai a un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 220 ml et 12 m de tirant d'eau, implanté sur la continuité des postes à conteneurs et jouxtant les postes des marchandises diverses, destiné à recevoir des navires des céréales de 30 000 DWT.
- de quatre postes à quai de 170 ml chacun et 10 m de tirant d'eau, destinés aux navires de marchandises diverses de 15 000 DWT. Ces postes sont implantés sur la continuité du quai à céréale,
- de cent(100) mètre linéaire de quai pour les gardes de côte situé au niveau de la jetée secondaire projetée. Ce quai est à -10 m.

Ancien bassin :

- d'un poste Ro-Ro de deux cents mètre (200 ml) destiné pour le transport des voyageurs implanté dans l'ancien bassin du port
- maintien du plan d'eau existant de pêche constitué de 485 ml de quai, associé au môle jouxtant le bassin de la pêche pour donner un linéaire supplémentaire accostable d'environ 200 ml.
- de 150 ml de quai projeté au niveau du talus intérieur de la jetée Est du port. Ce quai sera réservé pour la prise en charge des plaisanciers.

- **Terre-pleins**

- d'un terre-plein d'une superficie globale d'environ 44 Ha, réparties selon les besoins du projet comme suit :

- Treize (**13Ha**) hectares réservés pour le terminal à conteneur.
- Trois (**03Ha**) hectares réservés pour le terminal à céréales.
- Trois (**03Ha**) hectares réservés pour le terminal à ciment.
- Dix (**10**) hectares réservés pour les marchandises diverses.
- Trois (**03Ha**) hectares réservés pour le transport des voyageurs.
- Un demi (**1**) hectares réservés pour les gardes de côte.

- Six (**06Ha**) hectares réservés pour la gare de triage.

- Quatre et demi (**4.5** Ha) hectares pour la pêche.
  - **Plan d'eau**
- Ancien bassin : 17 Ha
- Nouveau bassin : 61 Ha

L'aménagement du bassin de la variante 2 nécessite la démolition d'une partie du brise lame d'environ 135 ml et de la jetée secondaire (jetée Est) d'environ 150 ml.

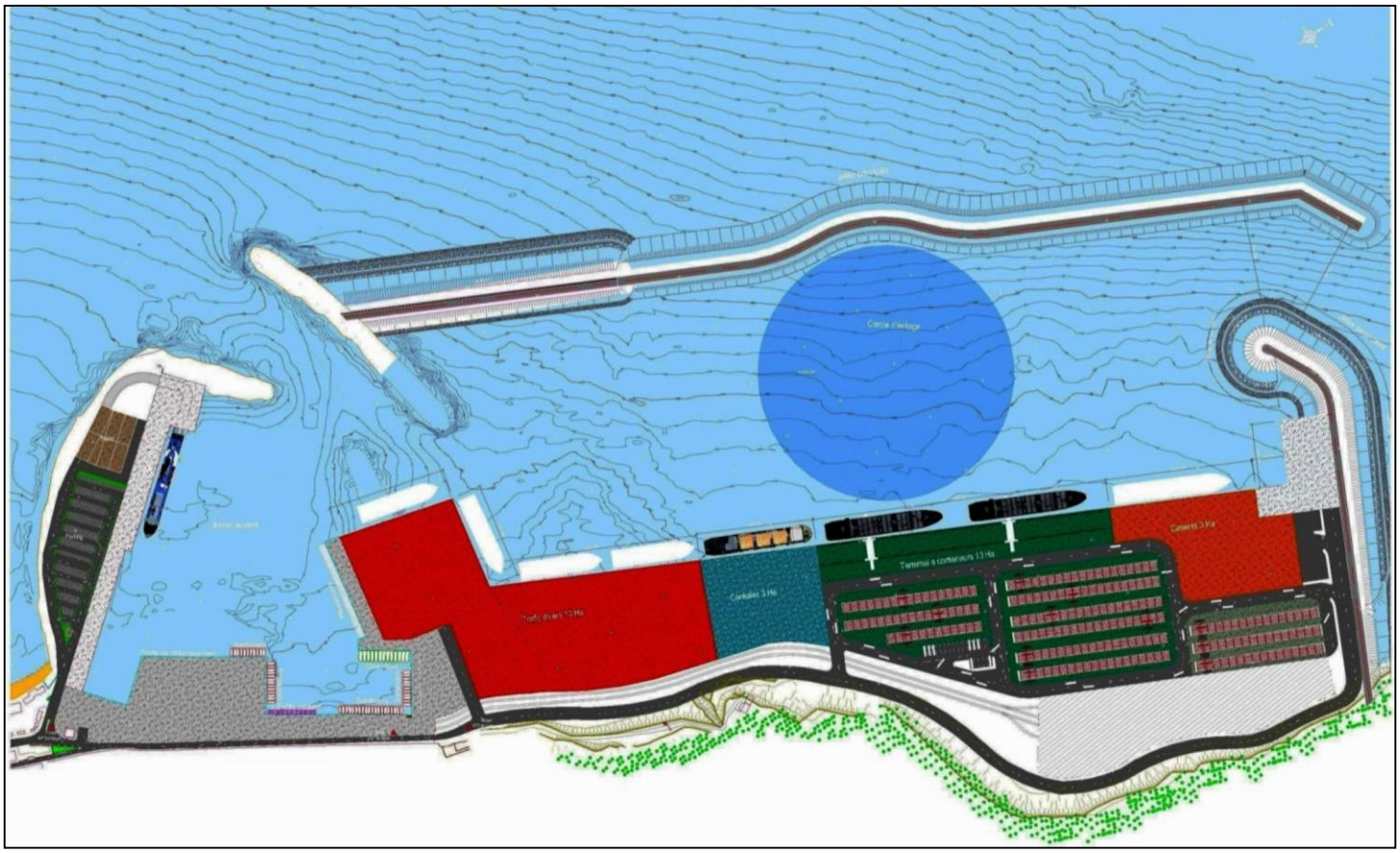


Figure VIII 4 : Vue en plan de la variante n° 2

VIII.3.3 Variante n°3 :

Cette variante est caractérisée par l'aménagement de deux nouveaux bassins implantés de part et d'autre du port actuel de TENES.

- **Ouvrages de protection et d'accostage**

Bassin Est

- d'une jetée principale qui débute de l'extrémité du brise lame et se prolongera vers l'Est sur un linéaire d'environ 990 ml, elle est fondée entre -15 m et -30 m.
- d'une jetée secondaire qui débute au pied de la montagne et se prolonge sur environ 600 ml vers la jetée principale, elle est fondée entre -0.00 m et -18 m.
- de deux postes à quai de 230 ml chacun destinés à recevoir deux navires à conteneur de 20 000 DWT. Ces quais sont fondés à -12 m.
- de cent(100) mètre linéaire de quai pour les gardes de côte situé au niveau de la jetée secondaire projetée.
- de treize (13Ha) hectares de terre-pleins réservés pour le terminal à conteneur,
- d'une gare de triage de 3.5 Ha,
- Un demi (**0.50**) hectares réservés pour les gardes de côte,

Bassin Ouest

- d'une jetée principale qui débute de l'extrémité du brise lame et se prolongera vers l'Ouest sur un linéaire d'environ 875 ml, elle est fondée entre -15 m et -30 m.
- d'une jetée secondaire qui débute au pied de la plage et se prolonge sur environ 1250 ml vers la jetée principale, elle est fondée entre -0.00 m et -18 m.
- d'un poste à quai de 200 ml au niveau du talus extérieur de la jetée secondaire Ouest du Port de Ténès, destiné à recevoir un navire pour le ciment de 20 000 DWT Ce quai est fondés à -12 m.
- de quatre postes à quai de 170 ml chacun implantés sur la continuité du poste à ciment. Ces quais sont destinés aux navires de marchandises diverses de 15 000 DWT. Les fonds aux pieds des quais sont à -10 m.
- d'un poste à quai de 220 ml, implanté sur la continuité des postes de marchandises diverses, destiné à recevoir un navire des céréales de 30 000 DWT Ce quai est fondés à -12 m.
- de cent(100) mètre linéaire de quai pour les gardes de côte situé au niveau de la jetée secondaire projetée.

- Trois (03Ha) hectares de terre-pleins réservés pour le terminal à céréales, Trois (03Ha) hectares pour le terminal à ciment.
- Dix (10) hectares pour les marchandises diverses.
- Deux hectares et demi (2.5 Ha) réservés pour la gare de triage.
- (0.30) hectares réservés pour les gardes de côte.

Bassin du port actuel :

- d'un poste Ro-Ro de deux cents mètre (200 ml) destiné pour le transport des voyageurs implanté dans l'ancien bassin du port
- maintien du plan d'eau existant de pêche constitué de 485 ml de quai, associé au môle jouxtant le bassin de la pêche pour donner un linéaire supplémentaire accostable d'environ 200 ml.
- de 150 ml de quai projeté au niveau du talus intérieur de la jetée Est du port. Ce quai sera réservé pour la prise en charge des plaisanciers.
- Trois (03Ha) hectares réservés pour le transport des voyageurs, Quatre et demi (4.5 Ha) hectares pour la pêche.

➢ **Plan d'eau**

Ancien bassin : 17 Ha

Nouveaux bassins :

Bassin Ouest ...40 H

Et bassin Est ...30 Ha

La superficie globale des terre-pleins de cette variante est évaluée à environ 44 Ha.

L'aménagement du bassin de la variante 3 nécessite la démolition d'une partie du brise lame d'environ 160 ml et de la jetée secondaire (jetée Est) d'environ 30 ml.

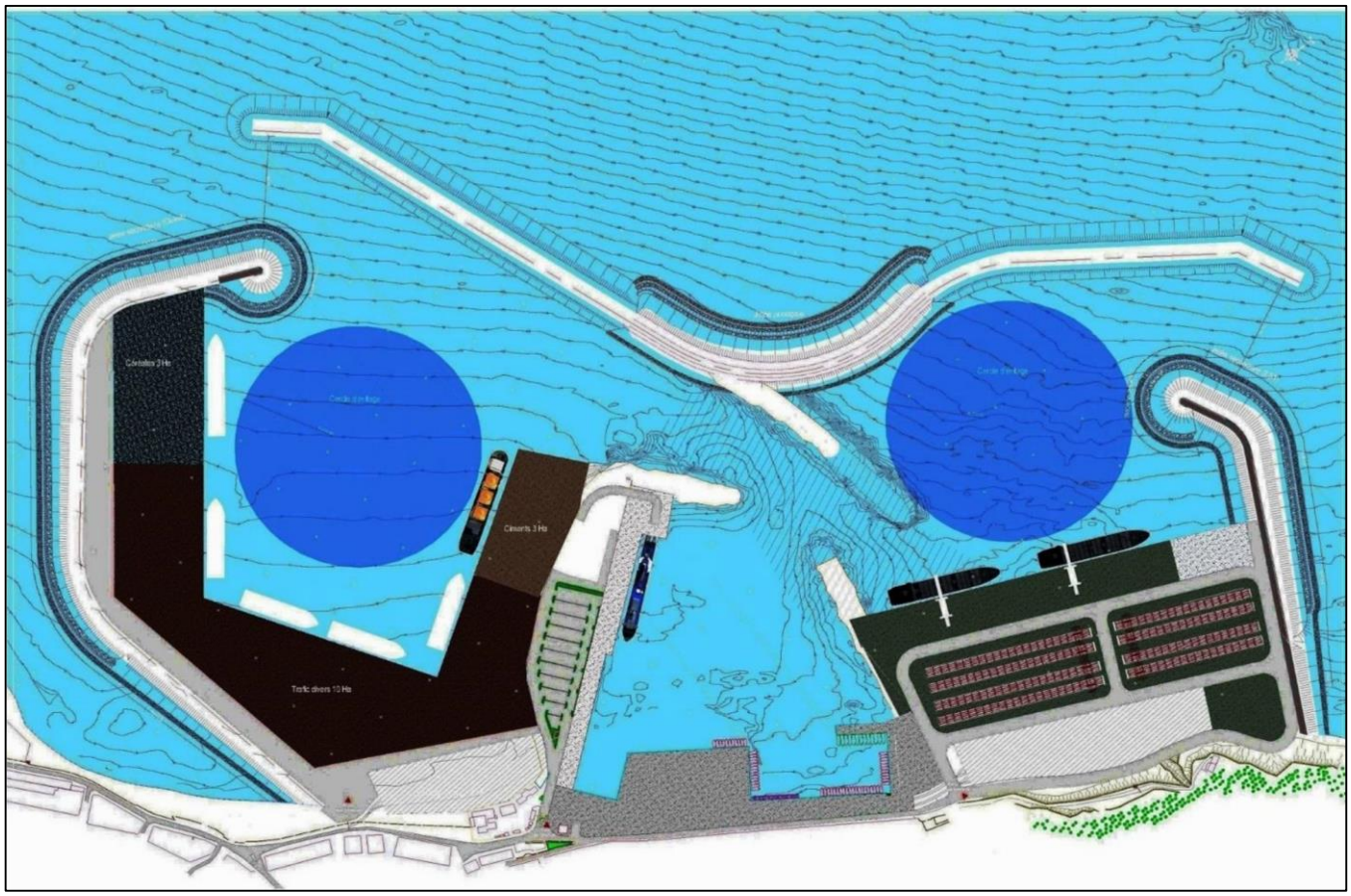


Figure VIII 5 : vue en plan de la variante n° 3

VIII.4 COUT DE REALISATION DES VARIANTES

Sur la base des prix unitaires pratiqués par les Entreprises Spécialisées dans les travaux maritimes et un métré sur les différentes parties d'ouvrage constituant le port, un coût estimatif des variantes est évalué. Il est important de signaler que ces prix ne concernent que les ouvrages de protection, d'accostage, terre-pleins, dragage et/ou déroctage, revêtement terre-pleins.

Tableau des couts par section :

Tableau VIII. 1 : Tableau des couts par section de chaque variante

Désignation		Variante 1 DA -HT	Variante 2 DA -HT	Variante 3 DA -HT
Installation de chantier		1 000 000 000	1 000 000 000	1 000 000 000
Terrassement et Terrepleins		9 800 000 000	12 000 000 000	6 300 000 000
Ouvrages de protection		20 000 000 000	24 300 000 000	32 120 000 000
Ouvrages d'accostage	**Quai en blocs**	6 000 000 000	6 000 000 000	6 000 000 000
	Quai en Blocs et Caissons	9 000 000 000	9 000 000 000	9 000 000 000
Démolition d'une partie des jetées existantes et repose des matériaux		1 200 000 000	1 200 000 000	1 200 000 000
Dragage et/ou déroctage		1 650 000 000	1 440 000 000	3 050 750 000
Revêtement terre-pleins		3 500 000 000	3 000 000 000	4 000 000 000
Déviation de l'OUED		...../.....	...../.....	200 000 000

TOTAL 1 DA - HT..... **TVA 1.... (17%).....** **TOTAL1 DA - TTC.....**	43 150 000 000 7 335 500 000 50 485 500 000	48 940 000 000 8 319 800 000 57 259 800 000	53 870 000 000 9 157 900 000 63 027 900 000
TOTAL 2 DA - HT..... **TVA 2.... (17%).....** **TOTAL 2 DA - TTC.....**	46 150 000 000 7 845 500 000 53 995 500 000	51 940 000 000 8 829 800 000 60 769 800 000	56 870 000 000 9 667 900 000 66 537 900 000

Le rapport des coûts de réalisation des variantes est donné dans le tableau suivant:

Tableau VIII. 2 : Le rapport des coûts de réalisation des variantes

Désignation	**Rapport des coûts**
Variante V2 / Variante V1	1.13
Variante V3 / Variante V1	1.23
Variante V3 / Variante V2	1.10

N : B

Ces coûts ne concernent que les grands travaux cités dans le tableau ci-dessus, les travaux secondaires tels que l'électricité, installation du réseau ferroviaire et autres ne sont pas pris en considération.

VIII.5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Les variantes d'aménagement proposées dans cette étude répondent en totalité aux besoins des trafics attendus au-delà de 2030, néanmoins, chacune d'elles présentent des particularités qui peuvent répondre ou non dans certains cas aux attentes du Maitre de l'Ouvrage.

- **Variante V1 (scénario 1) :**

Ce synopsis de l'aménagement qui consiste-en :

- la création d'une nouvelle darse à l'Est du port actuel,
- le maintien de l'activité de transport de la marchandise diverses et l'incorporation du transport de voyageurs dans l'ancien bassin,
- la délocalisation du port de pêche du centre-ville vers le site de MAINIS situé à environ 11 Km de TENES,

Présente un coût le plus avantagé par rapport aux deux variantes proposées, le rapport des coûts entre V2 et V1 est de 1.13 et celui de V3 sur V1 est de 1.23. Mais néanmoins cette situation ne reflète pas la réalité.

La délocalisation de l'activité de pêche nécessite la construction d'un nouveau port (pêche) qui engendrera des dépenses supplémentaires aux coûts de réalisation de la variante V1 et des moyens de liaisons (route et transport) entre la ville et le port.

- **Variante V2 (scénario 2) :**

Cette vision de l'aménagement diffère du premier scénario par le maintien d'activité de pêche dans le port actuel et l'introduction de la flottille de plaisance en réalisant un quai d'environ 150 ml dans le bassin actuel.

La variante V2 offre de meilleures opportunités vis à vis de la prise en charge des besoins du trafic futur de l'extension et de l'activité de la pêche en moyennant un coût de réalisation très avantagé par rapport aux variantes V3 et V1.

Le rapport de coût V3/V2 = 1.10 (V3 = 1.10 V2) et celui de V2/ V1 ne dépassant pas les 4% (V2 = 1.04 V1), si on prendra en considération les travaux de réalisation du port de pêche dans le cas de la délocalisation.

- **Variante V3 (scénario 3) :**

La troisième solution qui consiste en la création de deux nouvelles darses à l'Est et à l'Ouest du port actuel est la moins avantageuse des trois variantes projetées.

Nonobstant la prise en charge des trafics prévus au-delàs de 2030, cet aménagement ne présente aucun avantage qui le démarque des autres variantes.

Le linéaire de protection (jetée) et les quantités de dragage importants ont conduit à un surcoût dans la réalisation, dépassant de 23% la variante V1 et de 10% la variante V2.

Aussi, il y a lieu de signaler les retombées négatives engendrée par l'extension côté Ouest du port actuel à savoir :

La disparition de la plage de la ville sur environ 1 km.

La présence de l'Oued "BOUFFASSOUSSA" situé à 500m de la jetée secondaire du port actuel peut charrier des quantités importantes en apports solides. Ce qui finira par chargé en sédiments la zone morte située entre l'enracinement de la nouvelle darse et la plage.

Pour remédier à cela, il faut faire dévier l'Oued sur environ 500 ml au moins pour atteindre le grand Oued "ALLALA".

VIII.6 COMPARAISON DES VARIANTES ET RECOMMANDATIONS

Une étude comparative des différentes variantes a été établie sur la base des critères suivants :

- Embarcation totale ;
- La surface du plan d'eau ;
- Le coût de construction ;
- La surface des terre-pleins**.**

Les notations F, P, D sont attribuées à chacun des critères cités ci-dessus.

Ces notations correspondent aux qualifications suivantes :

F : cas favorable ; **F=10,**

P : cas peu favorable ; **P=7,**

D : cas défavorable ; **D=2.**

Tableau VIII. 3 : tableau comparatif

Critères	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Surface de terre-pleins	19 100 m2	**P**	22900 m2	**F**	23 200 m2	**F**
Surface en plan d'eau	30 400 m2	**P**	34 000 m^2	**F**	30 000 m^2	**P**
Embarcation totale	145	**F**	141	**P**	141	**P**
Coût de construction	53 995 500 DA-TTC	**F**	60 769 800 000 DA-TTC	**P**	66 537 900000 DA-TTC	**P**
Linéaire total	700 ml	**p**	780 ml	**F**	700 ml	**P**
Notation globale	**3 P+2 F=41**		**3 F+2 P=44**		**F+4 P=38**	

VIII.7 CONCLUSION

Une réflexion finale portant sur la surface des terres pleins ; surface en plan d'eau, coût de construction et l'agitation ; nous conduit à un résultat concret ; choix de la variante optimale et consensuelle ; qui a été porté sur la variante 02. Cette dernière sera dimensionnée et étudiée dans les chapitres suivants.

CHAPITRE IX :

PRE- DIMENSIONEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION ET D'ACCOSTAGE.

.

IX.1 INTRODUCTION

Les ouvrages de protection contre la houle sont les ouvrages qui permettent de protéger un port ou une partie d'un port contre les actions de la houle (attaque directe, franchissements, érosion…).

Les quais jouent un rôle crucial dans la capacité fonctionnelle des ports, des chantiers navals et autres installations en bordure de l'eau. Etant un ouvrage remplissant les trois fonctions d'accostage et d'amarrage, de liaison avec la terre et de soutien des terres.

Le présent chapitre porte principalement sur la conception et le pré-dimensionnement d'une part de la jetée principale du port, qui est constituée essentiellement par une digue verticale et d'une digue à talus et d'une autre part le pré dimensionnement de l'ouvrage d'accostage qui est constitué d'un quai en caisson.

IX.2 DESCRIPTION DE LA VARIANTE D'AMENAGEMENT (APS)

Remarque : après exécution du modèle réduit au laboratoire d'étude maritime, la variante numéro 2 qui est la variante retenue a subi des modifications à cause de problème d'agitation (plus de 2 m d'agitation).

Cette variante est caractérisée par :

- **Ouvrages de protection :**

Nouveau bassin :

- d'une jetée principale enracinée au pied de la falaise et se prolongera vers Ouest sur un linéaire d'environ 2451 ml, constituée d'une partie digue à talus (878ml) fondée entre 0.00m et -35m et d'une partie digue mixte (1573ml) fondée entre -35 m et -25 m.
- d'une jetée secondaire type digue à talus enracinée au niveau du brise lame existant et se prolonge sur environ 240 ml vers la jetée principale, elle est fondée entre -10 m et -15 m.
- d'un prolongement du brise lame de 240 ml vers l'Ouest, la structure est de type digue à talus.

- **Ouvrages d'accostage :**

- de deux postes à quai de 230 ml chacun destinés à recevoir deux navires à conteneur de 20 000 DWT. Ces quais offrent un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 200 ml, situé entre les postes à conteneurs et le quai des gardes de côte, destiné à recevoir un navire de 20 000 DWT pour le trafic du ciment (import ou export). Ce quai a un tirant d'eau de 12 m.
- d'un poste à quai de 220 ml et 12 m de tirant d'eau, implanté sur la continuité des postes à conteneurs et jouxtant les postes des marchandises diverses, destinés à recevoir des navires des céréales de 30 000 DWT.

- de deux postes à quai de 185 ml chacun et 10 m de tirant d'eau, destinés aux navires de marchandises diverses de 15 000 DWT. Ces postes sont implantés sur la continuité du quai à céréale,
- un poste à quai RO-RO de 175 ml et 10 m de tirant d'eau situé sur la continuité des postes à marchandises, destiné pour le transport des voyageurs.
- de cent cinquante mètre linéaire (150 ml) de quai pour les gardes de côte situé au niveau de la jetée secondaire projetée. Ce quai est à -10 m.

Ancien bassin

- d'un poste RO-RO de cents soixante-dix mètre (170ml) destiné pour la marchandise diverse implanté dans l'ancien bassin du port (ancien quai).
- d'un poste à quai de 170 ml pour la marchandise diverse, situé sur la continuité de ce poste RO-RO.
- maintien du plan d'eau existant de pêche constitué de 485 ml de quai.

Terre-pleins

D'un terre-plein d'une superficie globale d'environ 44 Ha, réparties selon les besoins du projet comme suit :

- Treize (13Ha) hectares réservés pour le terminal à conteneur,
- Trois (03Ha) hectares réservés pour le terminal à céréales,
- Trois (03Ha) hectares réservés pour le terminal à ciment,
- Dix (10) hectares réservés pour les marchandises diverses,
- Trois (03Ha) hectares réservés pour le transport des voyageurs,
- Un demi (1) hectares réservés pour les gardes de côte,
- Six (06Ha) hectares réservés pour la gare de triage,
- Quatre et demi (4.5 Ha) hectares pour la pêche.
-

Plan d'eau:

Ancien bassin : 17 Ha

Nouveau bassin : 75 Ha

L'aménagement du bassin de la variante 2 nécessite la démolition d'une partie du brise lame sur environ 135 ml et de la jetée secondaire (jetée Est) d'environ 150.

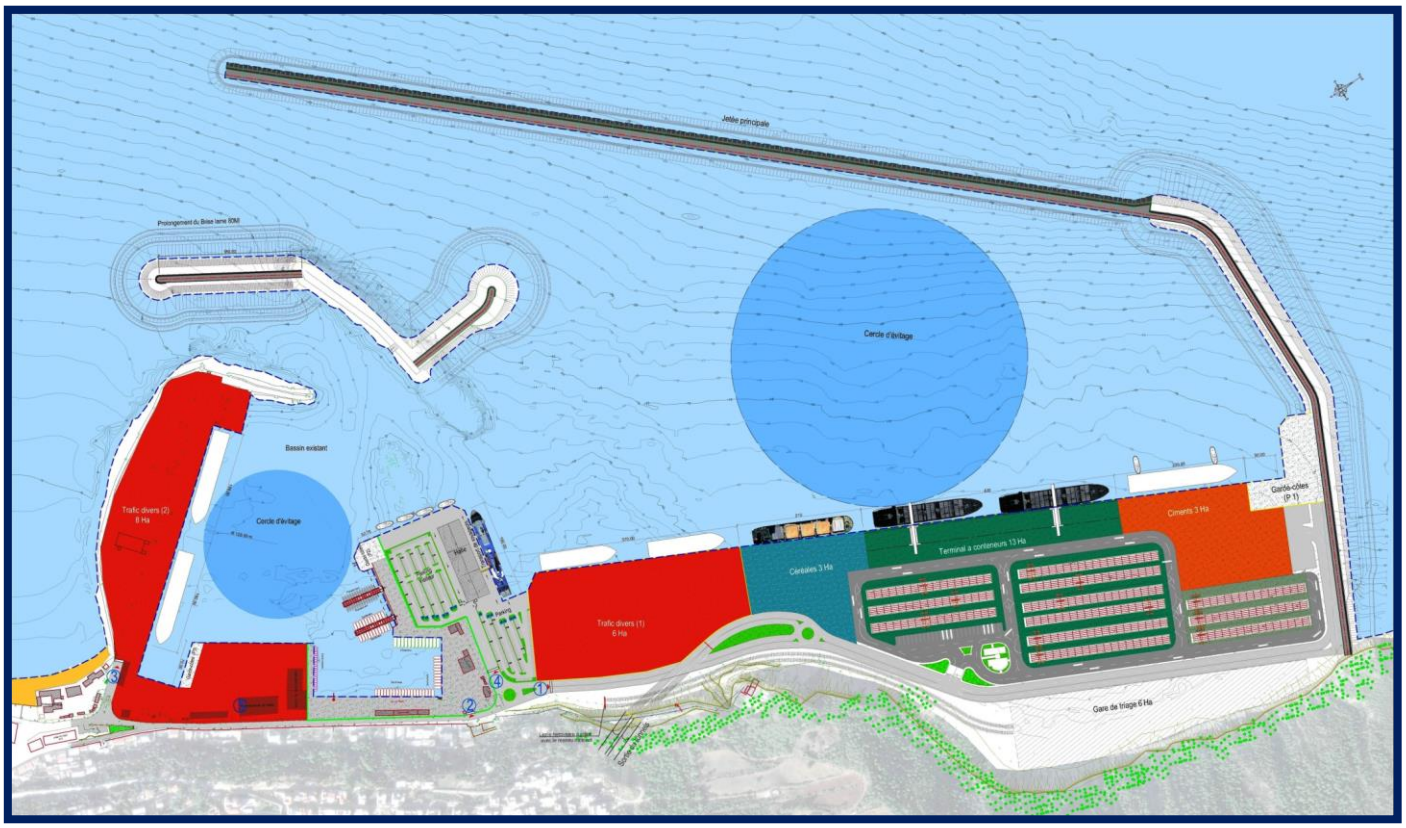


Figure IX. 1 : variante d'extention retenue du port de tenes

IX.3 DIMENSIONNEMENT DE LA JETEE PRINCIPALE

La structure de la digue sera mixte, une partie d'environ 450 ml est de type à talus (TVC, Enrochement, BCR) est le reste du tronçon en caissons en béton armé (digue verticale) posés sur des sous-bassement en enrochement.

IX.3.1 Pré-dimensionnement de la digue à talus :

IX.3.1.1 Généralités :

Une digue à talus se compose essentiellement d'un massif d'enrochements de taille variables depuis les blocs les plus importants soumis à l'extérieur à l'action de la houle jusqu'aux éléments les plus petit formant le noyau à l'intérieur de l'ouvrage.

La taille moyenne des enrochements des différents matériaux utilisés décroit de l'extérieur vers l'intérieur, tout comme s'atténuent les contraintes que les éléments composant chaque couche doivent respecter en matière de fuseau granulométrique.

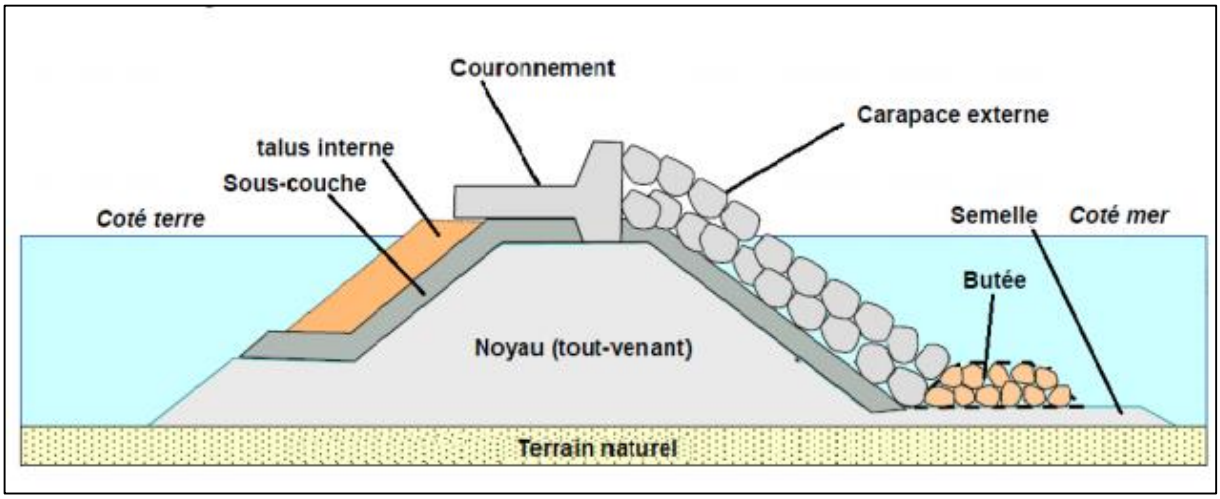


Figure IX. 2 : digue a talus

IX.3.1.2 Mode de fonctionnement :

La houle qui vient frapper une digue à talus a une action complexe et diversifiée. Lorsque l'on observe en modèle réduit l'action de la houle, on constate que :

- À vague montante, elle exerce sur la carapace une action de bas en haut qui tend à soulever les blocs situés à l'extérieur.
- À vague descendante, les blocs sont aspirés vers le bas et reprennent dans la plupart des cas la place qu'ils occupaient auparavant.

IX.3.1.3 Méthode utilisée pour le dimensionnement des digues :

Pour le dimensionnement des éléments constituant les digues nous avons utilisé les formules de HUDSON (1953,1958) car ce sont plus fréquemment utilisées en génie civil notamment dans les études récents

IX.3.1.4 Carapac

- **Le poids des blocs de carapace :**

Le poids des blocs de la carapace sera calculé à l'aide de la formule d'HUDSON qui s'exprime comme suit :

$$W = \frac{1}{\mathrm{KD}} \times \frac{\gamma s}{\left(\frac{\gamma s}{\gamma 0} - 1\right)^3} \times \frac{Hb^3}{\cot \alpha}$$

Avec:

W : le poids des blocs de la carapace (T) ;

γ_s : le poids volumique des blocs de la carapace (T/m3) ;

γ_h : le poids volumique de l'eau de mer (T/m3) ;

H_d : La hauteur de la houle de projet (m) ;

α : Angle du talus de la carapace avec l'horizontale ;

K_D : Coefficient de stabilité dépendant du type de blocs de la carapace choisi.

(Voir le tableau 2.1 de coefficients de stabilité KD en annexe 2)

- **Epaisseur de la carapace :**

L'épaisseur d'une couche (carapace) dépend de la forme et de la nature des blocs qui la composent et du nombre de lits, on utilise la formule suivante :

$$E = n \times K\Delta \times (\frac{W}{\gamma s})^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

E : épaisseur de la carapace ;

n : nombre de couche de blocs ;

K_Δ: coefficient de couche

(Voir le tableau 2.2 de coefficients de couche K_Δ en annexe 2) ;

W : poids de la carapace en [t] ;

γ_s : poids volumique de matériau en [t/m].

IX.3.1.5 Nombre de blocs par unité de surface :

Le nombre de blocs par unité de surface est déterminé par la formule suivante/

$$N_s = n \times K\Delta \times (1-\rho) \times \left(\frac{W}{\gamma s}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Avec :

Ns : Nombre de blocs par mètre carré ;

N=2 : Nombre de couches **(voir Tableau 2.2 en Annexe 2)** ;

W : Poids unitaire des blocs de carapace ;

γs : Masse volumique des blocs (BCR) ;

$K\Delta$: Coefficient de forme des blocs **(voir Tableau 2.2 en Annexe 2)** ;

p=44% : Porosité moyenne **(voir Tableau 2.2 en Annexe 2).**

IX.3.1.6 Filtre :

Les filtres sont des couches d'enrochements qui assurent la transition et stabilisent l'interface entre le noyau et la carapace, empêchent les matériaux les plus fins de passer à travers les couches des matériaux plus grossiers. L'alternative la plus répandue est celle du géotextile.

- **Poids du filtre :**

Selon les recommandations du CERC, le poids du filtre est déterminé par l'inégalité suivante :

$0.7 \times W1 < W\text{s} < 1.3 \times W1$

Avec :

W1 : poids de filtre support.

W2 : poids de filtre de transition.

- **Épaisseur du filtre :**

L'épaisseur du filtre est calculée en utilisant la formule suivante :

$$E = n \times K\Delta \times \left(\frac{Wfiltre}{\gamma s}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

n : Nombre de couches **(voir Tableau 2.2 en Annexe 2)** ;

W_{filtre} : Poids unitaire du filtre (enrochements naturels) ;

γ_s: Masse volumique du filtre (enrochements naturels) ;

K_Δ : coefficient de forme des blocs **(voir Tableau 2.2 en Annexe 2).**

IX.3.1.7 Butée de pied :

Le poids des enrochements de la butée de pied est donné par la formule suivante :

$$Wbutée = \frac{0.1}{K_D} \times \left[\frac{\gamma_{S \times H_b^3}}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1\right)^3 \cot \alpha} \right] \times \frac{H_b}{d_s}$$

Avec :

γ_s : Masse volumique des blocs utilisés (enrochements naturels) ;

γ_0 : Masse volumique de l'eau de mer ;

α : Angle du talus (cotα =1.5) ;

K_D : Coefficient de stabilité adimensionnel dit d'HUDSON

Hb : Houle de projet ;

d_s : Profondeur au pied de l'ouvrage.

- **Épaisseur de la butée de pied :**

L'épaisseur de la butée de pied est donnée par la formule suivante :

$$E = \eta \times K_\Delta \times \left(\frac{W_{butée}}{\gamma_s}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

n : nombre de couches;

$W_{butée}$: Poids unitaire du filtre (enrochements naturels) ;

γ_s: Masse volumique du filtre (enrochements naturels);

K_Δ: coefficient de forme des blocs

IX.3.1.8 Noyau :

Le noyau est composé d'enrochements non classés, tout-venant de carrière (1/500Kg ou 1/1000Kg) de granulométrie étendue. Sa géométrie est dictée par :

♣ La houle résiduelle en période de travaux ;

♣ La méthode de construction (tirant d'eau des barges ou accès des véhicules de travaux pour déversement des matériaux).

Poids du noyau : Le poids du noyau est généralement est autour de W/4000.

IX.3.1.9 Vérification des lois de Terzaghi :

Les conditions à vérifier sont les suivantes :

$$\frac{D15(filtre)}{D85(noyau)} < 5 \quad ; \quad 4 < \frac{D15(filtre)}{D15(noyau)} < 20 \quad ; \quad \frac{D50(filtre)}{D50(noyau)} < 25$$

Les indices 15 ; 50 ; 85 le pourcentage en poids des matériaux de diamètre inferieure a D. Pour pouvoir vérifier les lois de Terzaghi énoncées ci-dessus, il faut d'abord calculer les diamètres inferieures et supérieures constituants la couche à considérer on utilisant les formules suivantes :

$$\Phi i = \sqrt[3]{3\frac{wi}{4 \times \pi \times \gamma s}} \quad ; \quad \Phi s = \sqrt[3]{3\frac{ws}{4 \times \pi \times \gamma s}}$$

wi, ws : sont respectivement les limites inferieures et supérieures du poids de l'enrochement constituant la couche.

En suit on calcule le pourcentage en diamètre à l'aide de la formule suivante :

$$Dn = n(\Phi s - \Phi i) + \Phi i$$

IX.3.2 Application au projet :

La houle défavorable atteignant la jetée à la profondeur -20 m est de H_s = 9.51m

Remarque :

Dans notre étude, on s'intéresse au calcul du profil courant seulement.

IX.3.2.1 Choix du type de matériau :

Les types de matériaux utilisés pour cet ouvrage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IX. 1les types de matériaux utilisés pour cet ouvrage

Couche	Matériau
Carapace	Blocs cubiques rainurés
Filtre support	Enrochement naturel anguleux
Filtre de transition	Enrochement naturel anguleux
Noyau	Tout venant de carrière

IX.3.2.2 La carapace :

► **Dimensionnement du poids de la Carapace :**

γ_S = 2,4 t/m3

γ_W = 1,026 t/m3

$\alpha = \cot \alpha = 1{,}5$

K_D = 7 ;**(voir tableau 2.1 en annexe 2)**

H_S = 9.51m

$$W = \frac{1}{7}\frac{2.4}{\left(\frac{2.4}{1.026}-1\right)^3}\frac{9.51^3}{1.5} \rightarrow W = 81.8\ t$$

On prend $W = 82$ t

►**Epaisseur de la carapace :**

n = 2

K_Δ = 1,03 (cube rainuré) ;**(voir tableau 2.2 en annexe 2)**

W = 82 t

$$E = 2 \times 1.03.\sqrt[3]{\frac{82}{2.4}} \rightarrow E=6.68$$

On prend **E=6.8m**

IX.3.2.3 Nombre de blocs par unité de surface :

p = 44%

γ_S=2.4 t/m3

K_Δ = 1,03 (cube rainuré) (**voir tableau 2.2 en annexe 2)**

$W_c = 82t$

$N_s = 2 \times 1{,}03.\ (1 - 0.44)\ (\frac{2.4}{82})2/3$

$\Longrightarrow$ **N_s = 0,109 bloc/m²**

Soit 11 blocs par 100 m² de talus

IX.3.2.4 Dimensionnement des filtres :

➢ **Dimensionnement du filtre support :**

$$w_1 = \frac{w_c}{10} = \frac{82}{10} = 8.2\ t$$ Donc **w_1=8.2 t**

Correction du poids :

$$8.2 \times 0{,}7 = 5.74$$

$$8.2 \times 1{,}3 = 10.66$$

Donc on adopte la catégorie d'enrochements (6 - 10 t)

w_{1moy} = (6 + 10)/2 = 8 t

- **Epaisseur du filtre support :**

$$e1 = 2 \times 1.15.\left(\frac{8}{2.6}\right)^{\frac{1}{3}} = 3.34m$$

Donc **e_1 =3.34m**

➢ **Dimensionnement du filtre de transition :**

$$W2 = \frac{wc}{200} = \frac{82}{200} = 0.41t$$

On adopte la catégorie d'enrochements (0,5 – 2 t)

W_{2moy} = (0,5 + 2)/2 = 1,25 t

- **Epaisseur du filtre de transition :**

$$e_2 = 2 \times 1.15.\left(\frac{1.25}{2.6}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.8\,m$$

Alors **e_2 = 1.8 m**

IX.3.2.5 Noyau :

$W_n = W_c$ /4000 = 82/ 4000 $\Longrightarrow$ w_n = 0,0205 t

Donc **w_n=20.5kg**

Pour le noyau on adopte le tout venant de carrière (0 – 500 kg)

IX.3.2.6 Butée de pied :

➢ **Poids de la butée de pied :**

Avec :

γ_s : =2.6 t/m3 Masse volumique des blocs utilisés (enrochements naturels) ;

γ_0 =1.026 t/m3 : Masse volumique de l'eau de mer ;

α : Angle du talus (cotα =1.5) ;

K_D=4 : Coefficient de stabilité adimensionnel dit d'HUDSON (**voir Tableau 2.1 en Annexe 2)**

H_b =9.51m : Houle de projet ;

d_s =20 m : Profondeur au pied de l'ouvrage.

$$W = \frac{0.1}{4}\frac{2.6}{\left(\frac{2.6}{1.026}-1\right)^3}\frac{(9.51)^3}{1.5}\frac{(9.51)}{20}$$

W=4.9 t

On prend **w = 5 t**

Donc Les enrochements de la butée de pied sont de la gamme (4-6 t)

$W_{butée}$=(4+6)/2 = 5 t

- **Epaisseur de butée de pied :**

$$E = 2 \times 1.15.\left(\frac{5}{2.6}\right)^{\frac{1}{3}} = 2.86\ m$$

On prend **E =2.9 m**

- **Largeur de butée de pied :**

La largeur de la butée doit permettre de poser 2 à 3 blocs (au moins) sur l'horizontale.

Soit **$L_{butée}$= 4 m**

- **La hauteur de la butée :**

Doit avoir au moins **deux** couches d'enrochement soit

$H_{butée}$ = 2.95 m.

IX.3.2.7 Vérification des règles de Terzaghi :

- **Couche de filtre (0,5 – 2 t) :**

$$\phi i = 2 \times (3 \times \frac{0.5}{4\pi.(2.6)})^{1/3} = \ 0.716\text{m}$$

$$\phi s = 2 \times \left(3 \times \frac{2}{4\pi.(2.6)}\right)^{1/3} = \ 1.137\text{m}$$

D_{15} = 0,15 × (1,137-0,716) + 0,716 ⟹ D_{15} = 0,779 m

D_{50} = 0,50 × (1,137-0,716) + 0,716 ⟹ D_{50} = 0,927 m

D_{85} = 0,85 × (1,137-0,716) + 0,716 ⟹ D_{85} = 1,084 m

- **Noyau (0 – 500 kg) :**

$\phi_i = 0$ m ;

$$\phi s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4\pi.(2.6)}\right)^{1/3} = 0.716\text{m}$$

$D_{15} = 0{,}15 \times 0{,}716 \Longrightarrow D_{15} = 0{,}107$ m ;

$D_{50} = 0{,}50 \times 0{,}716 \Longrightarrow D_{50} = 0{,}358$ m ;

$D_{85} = 0{,}85 \times 0{,}716 \Longrightarrow D = 0{,}609$ m.

- **Vérifications :**

$$\frac{\text{D15(filtre)}}{\text{D85(noyau)}} = \frac{0.779}{0.609} = \mathbf{1.28 < 5}$$

$$\mathbf{4} < \frac{\text{D15(filtre)}}{\text{D15(noyau)}} = \frac{0.779}{0.107} = \mathbf{7.28 < 20}$$

$$\frac{D50(filtre)}{D50(noyau)} = \frac{0.927}{0.358} = \mathbf{2.59 < 25}$$

Les lois de Terzaghi sont vérifiées entre le noyau et la couche de filtre support.

IX.3.3 Digue verticale :

IX.3.3.1 Généralités :

Une digue verticale est essentiellement composée d'un mur vertical monolithique ou constituée d'éléments assemblés entre eux destinés à renvoyer l'énergie de la houle par réflexion totale.

Elle est assise sur un massif de fondation généralement constitué d'enrochements de petite taille (ballast concassé par exemple), protégé contre l'action de la houle par des éléments de taille beaucoup plus importante.

La figure ci-dessous indique les principales dimensions à donner à l'ouvrage en fonction de la houle de projet H dans le cas où la digue n'est soumise qu'à l'action d'une houle non déferlante.

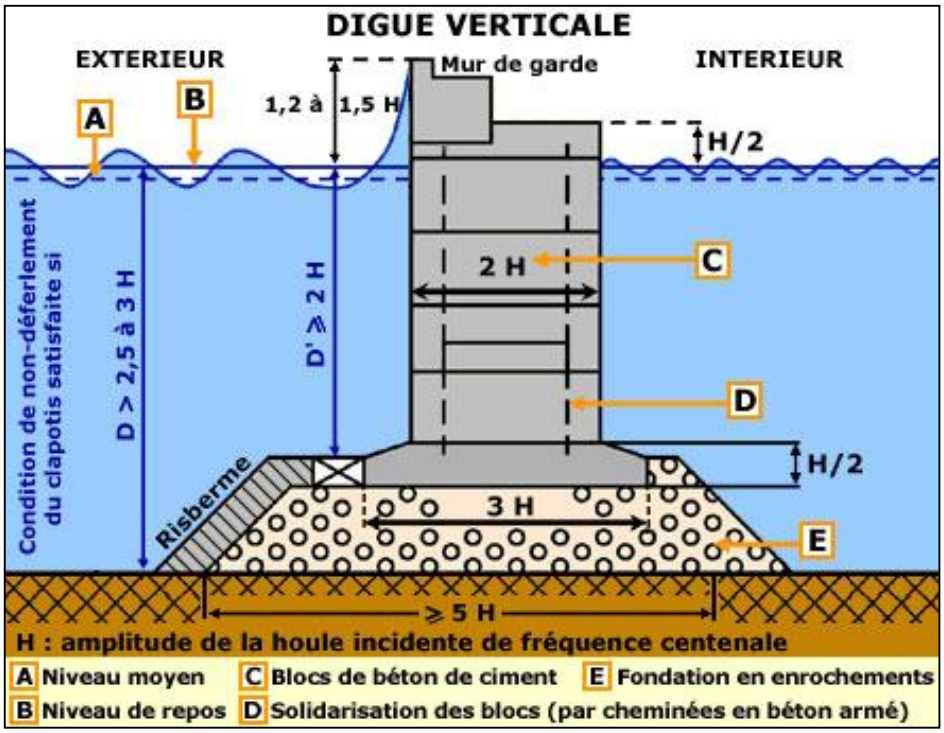


Figure IX. 3 : Principales dimensions d'une digue verticale

IX.3.3.2 Modes de fonctionnement :

Une digue verticale est un ouvrage massif soumis à l'action de la houle qui est le principal paramètre à prendre en compte en ce qui concerne les actions extérieures.

Les calculs de stabilité de l'ouvrage seront conduits comme ceux d'un ouvrage massif et porteront essentiellement sur la stabilité de l'ouvrage, notamment au renversement, mais aussi sur la stabilité de la fondation.

Les calculs seront donc conduits de la même manière que ceux relatifs à la stabilité des quais, à ceci près que l'action de la houle remplacera celle de la poussée des terres.

Si la hauteur d'eau disponible au pied de l'ouvrage est suffisante, l'ouvrage se comportera comme un ouvrage vertical totalement réfléchissant.

Dans le cas contraire, la houle déferlera juste devant l'ouvrage et le comportement de la jetée sera en fait beaucoup plus complexe puisqu'il sera le résultat de l'interaction houle-structure. Dans ce cas, on a l'habitude de considérer que l'on a affaire à une jetée mixte qui adoptera, à marée haute et par faible houle, un comportement de jetée verticale totalement réfléchissant.

IX.3.3.3 Conception de la digue :

Les digues verticales comportent essentiellement un mur à parements verticale ou inclinée. Cette paroi repose directement sur le sol ou par l'intermédiaire d'un massif d'enrochement. Le caractère principal d'une jetée verticale est de s'opposer à la houle en réfléchissant la plus grande partie vers la mer ou bien à des parois perforées pour réduire les franchissements et les impacts de vagues.

Ces digues sont généralement constituées d'ouvrage verticale (blocs superposés ou caisson en béton armé ou précontraint) fondé sur un massif supérieur .la profondeur (d) peut amener l'ouvrage à être dans la zone de déferlement, dans ce cas ces ouvrages sont appelés digue mixte ($d \leq 1,3H$) sinon ils sont soumis principalement au clapotis de la houle (digue verticale). le choix de type de structure doit faire intervenir plusieurs paramètres parfois contradictoires, économiques ,disponibilité des matériaux, existence d'engins de construction, délai d'exécution, géotechnique ,capacité portante du sol, résistance sous l'effet d'actions cyclique, digue franchissable ou bien infranchissable.

IX.3.3.4 Dimensionnement de la digue :

Les dimensions et la structure de l'ouvrage vertical doivent être suffisantes pour résister aux efforts des vagues déferlantes.

IX.3.3.5 Présentation de l'option retenue :

Il a été opté pour notre cas de structure une digue verticale mixte à parement inclinée afin de dissiper la cambrure de la houle et rendre la digue peu franchissable.

La structure consiste en un caisson monolithique avec fond. Les parois de ce caisson sont verticales sur l'ensemble de la partie sous eau et au- delà pour les parois, cote large (extérieur), celles-ci sont inclinées.

Le caisson repose sur une assise en tout-venant de catégorie (1-500 kg), réglée à l'aide de ballast et ce afin de repartir de manière uniforme les contraintes induites par cet ouvrage et de réduire leur action sur le sol de fondation.

Cette assise est protégée coté extérieur par des enrochements de catégorie (4 à 6 t) suivi des catégories (0.5 à 2t).

Coté intérieur la protection du sous bassement (TVC) est assuré par des enrochements (0.5-1t) suivi enrochements (1-3t).

Le caisson est constitué de neuf compartiments évidés ensuite le caisson sera rempli de sables dragués ou autres.

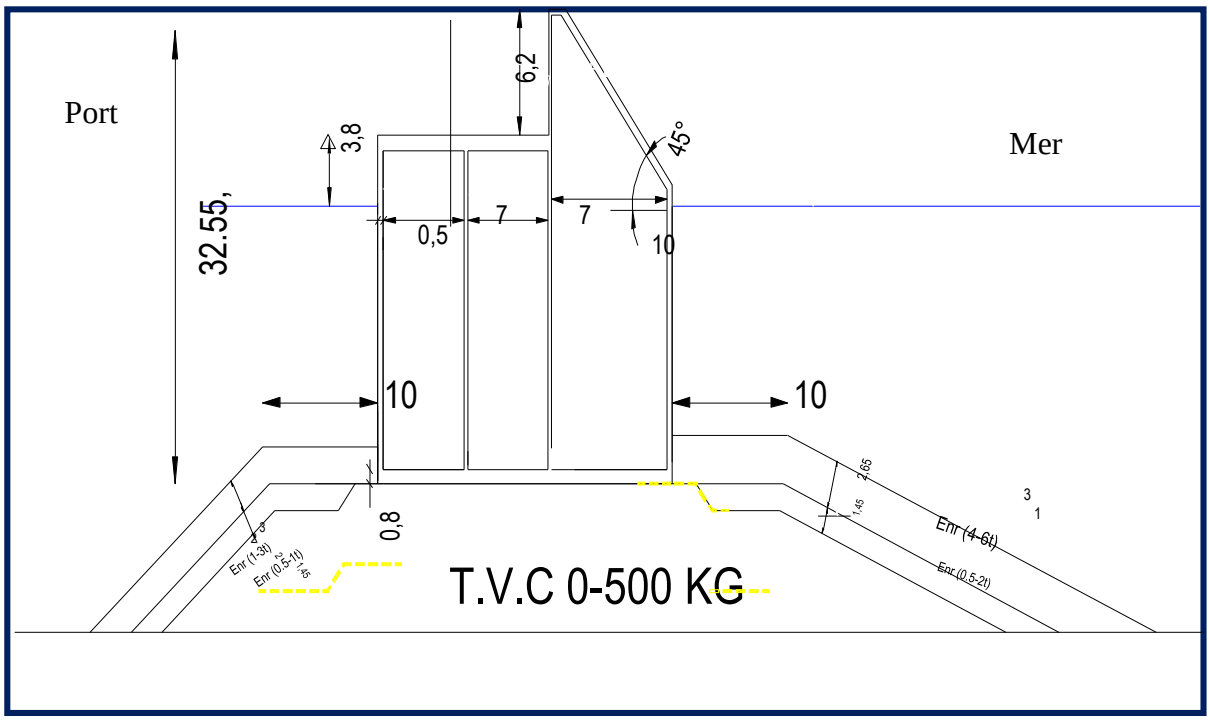


Figure IX. 4 dimensions du caisson

Avant de faire une étude de stabilité de la digue verticale (caisson), il faut d'abord déterminer les différents efforts exercés sur les parements du caisson, qui sont :

- Le poids propre du caisson.
- La charge d'exploitation.
- L'effort de séisme.
- La pression hydrostatique.
- La pression hydrodynamique.
- Les pressions de la houle.
- Les sous pressions de la houle.

IX.3.3.6 Caractéristiques des matériaux de construction :

- Béton armé

γ_b = 2.5T/m3
γ_b' = 1.5T/m3

- **Remblai dans les évidements des blocs (sable)**

γ_r = 1.8T/m3
γ'déjaugé ($_{remblai}$) = 1.1T/m3
Angle de frottement interne $\Phi = 30°$
Terme de Cohésion C = 0T/m2

- **Sous bassement (et couche de réglage) :**

Ɣ = 1.8T/m3
Ɣ'déjaugé = 1.1T/m3
Angle de frottement interne Φ = 37°
Terme de cohésion C = 0 T/m2

IX.3.3.7 Caractéristiques géotechniques du sol de fondation :

Deux profils stratigraphiques à l'emplacement de la jetée sont considérés comme cas moyen sur la base des données géotechniques disponibles.

Les informations géotechniques requises sont les suivantes :

- La présence d'un substratum marneux à schisteux
- La présence de fines couches de sable (1 m en moyenne) qui varient entre un sable fin et un sable grossier.

- **Les caractéristiques mécaniques des matériaux considérés sont les suivantes :**

➢ **Au niveau du sable :**

γ_{sable} = 1.7 t/m3

γ'_{sable} = 1.05 t/m3

φ = 30°

C = 0

➢ **Au niveau de la marne:**

φ = 35°

C=30 bars

γ_{Marne}= 2.2 t/m3

ma_{rne}=1.2 T/m3

IX.3.3.8 Vérification de la stabilité du caisson :

Après la détermination des efforts exercées sur l'ouvrage, on assure sa stabilité vis-à-vis

- Du glissement ;
- Du renversement ;
- Du poinçonnent. Pour vérifier cette stabilité on a pour chaque situation un coefficient de sécurité, exprimés dans le tableau IX. 2 suivant :

Tableau IX. 3 : Coefficient de sécurité

Stabilité vis –vis	Cas d'une houle extrême	Cas d'un séisme
Renversement	≥ 1,5	≥ 1,5
Glissement	≥ 1,5	≥ 1,5
Poinçonnement	≥ 3	≥ 3

.

IX.3.3.9 Calcul des pressions selon GODA (pour une vague irrégulière):

H_{max}= min (1.8 H_s ; H_b)

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} ;$$

$$L_0 = \frac{9.81 \times 15.23^2}{2\,\pi}$$

L_0= 362 m

T :Période significative de la houle =15.23 s

h_b : profondeur d'eau à une distance de la digue égale à 5Hs

tg θ: pente du fond

β : angle d'incidence de la vague = 0°

λ_i : des coefficients égaux à 1 pour un mur vertical, mais qui dépendent du type de structure

h_s : Profondeur totale d'eau au pied de l'ouvrage =33m

L : Longueur d'onde de la houle en pied de structure

c : cambrure de la houle (0,03)

d : la profondeur

d' : Hauteur d'eau par rapport à la protection devant le caisson

h_w : Hauteur du caisson

h_c : hauteur du caisson par rapport au niveau d'eau.

$h_b = D + 5\times H_s \times tg\,\theta$

h_b=20+5×(10.5)×(0.025)

h_b = 21.31 m

$$H_b = 0.37\, L_0 \{1 - \exp(-1.5 \times \frac{h_b}{L_0} \times \left(1 + 15tg\,\tfrac{4}{3}\theta\right))\}$$

$$H_b = 0.37 \times 362 \{1 - \exp(-1.5 \times \frac{21.31}{362} \times \left(1 + 15 \times (0.025)^{\frac{4}{3}}\right))\}$$

H_b = 12.5 m

H_{max} = min (1.8 ×10.5 ;12.5)

H_{max} = min (18.9 ; 12.5)

H_{max} = 12.5 m

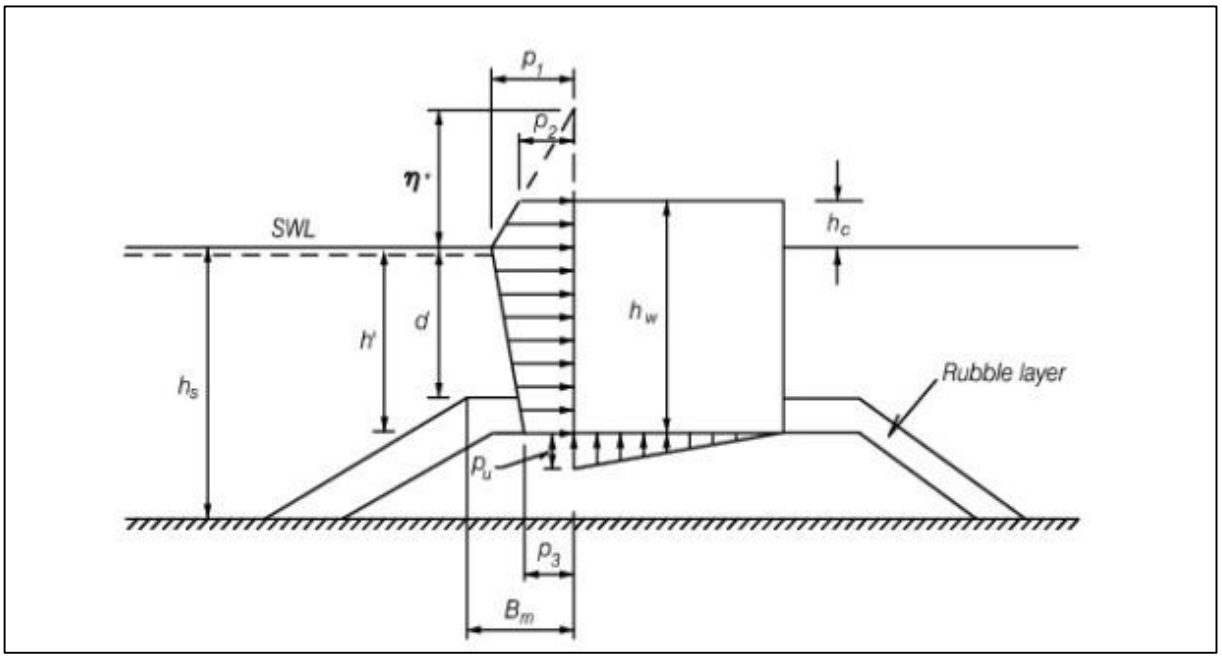


Figure IX. 5 : diagramme des pressions théoriques

Les coefficients α_1 α_2 α_3 dépendent de la longueur d'onde L, à une profondeur h_b et à une distance de $5H_s$ au large de la paroi vertical avant du caisson cela exige une nouvelle prise de bas de pente tgθ au large de la paroi.

$\eta^*=0.75(1+\cos\beta)\times\lambda_1\times H_{max}$

$\eta^*=0.75\,(1+1)\times 1\times 12.5$

η^*=18.75 m

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \times \left(\frac{4\pi\frac{h_s}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi h_s}{L}\right)}\right)^2$$

$$L = \frac{H_s}{C} = \frac{10.5}{0.03} = 350\ m$$

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \times \left(\frac{4\pi \times \frac{33}{350}}{\sinh\left(\frac{4\pi \times 33}{350}\right)} \right)^2$$

$$\boldsymbol{\alpha_1 = 0.92}$$

$$\alpha_* = \alpha_2 = \min\{(\frac{H_{max}}{d})^2 \times \frac{h_b - d}{3h_b} ; \frac{2d}{H_{max}}\}$$

d = 32.55- (3.8 + 6.2) – 2.1

d = 20.45 m

$$\alpha_* = \alpha_2 = \min\{[\frac{12.5}{20.45}]^2 \times \frac{21.31 - 20.45}{3 \times 21.31} ; \frac{2 \times 20.45}{12.5}\}$$

α_2= min (0.05; 3.27)

α_2 =0.05

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s}\left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h_s}{L}\right)}\right]$$

Avec : h_w = 32.55 m

h_c =10 m

$$\alpha_3 = 1 - \frac{32.55 - 10}{33}\left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi \times 33}{350}\right)}\right]$$

α_3 = 0.89

$\lambda=\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=1$

$$p_1 = 0.5\,(1 + \cos\beta) \times (\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 \times \cos^2\beta)\rho_w g H_{max}$$

$$p_1 = 0.5\,(1 + 1)(0.92 + 0.05 \times 1^2)1.03 \times 12.5$$

$$\boldsymbol{p_1 = 12.48\ t/m^3}$$

On a $\eta^* > h_c$ donc $p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta_*}\right) \times p_1$

$$p_2 = \left(1 - \frac{10}{18.75}\right) \times 12.48$$

P_2=5.824 t /m^2

$P_3 = \alpha_3 P_1 = 0.89 \times 12.48$

P_3=11.1072 t/m^2

$p_u = 0.5 \times (1+\cos\beta) \times \lambda_3\ \alpha_1 \times \alpha_3 \times \rho_w g H_{max}$

p_u=0.5 × 2 (0.92× 0.89) (1.03 ×12.5)

p_u = 10.54 t/m²

IX.3.3.10 Calcul de pressions et sous pression selon la méthode de GODA-TAKAHASHI :

On effectue le calcul de la digue verticale avec un parement inclinée selon les coefficients obtenus à partir de la méthode de GODA ensuite on multiplie les pressions obtenus précédemment par des coefficients correcteurs.

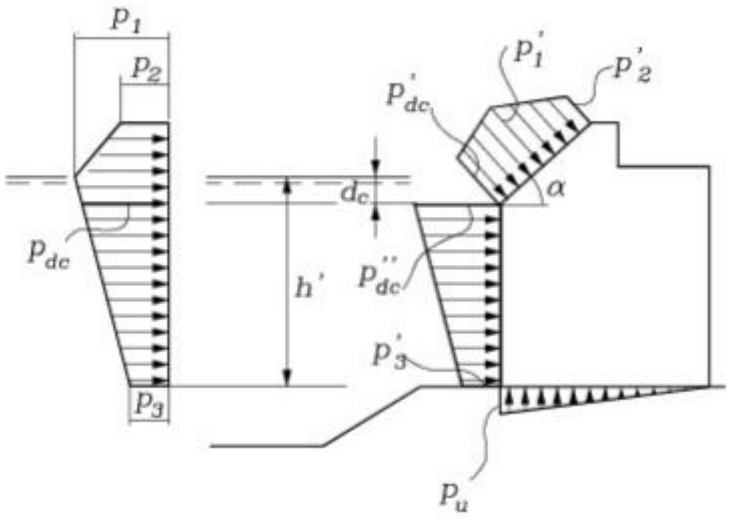


Figure IX. 6 : Diagramme des pressions "Takahashi et Hosoyamada".

$$\lambda_{SL} = \frac{1}{\sin^2\alpha} \min\left[1; \max(\sin^2\alpha; 1 + 0.46\cos^2\alpha - 23\cos^2(\alpha\frac{H}{L})\right]$$

$$\lambda_{SL} = \frac{1}{\sin^2 45} \min\left[1; \max(\sin^2 45; 1 + 0.46\cos^2 45 - 23\cos^2(45 \times \frac{10.5}{350})\right]$$

$$\lambda_{SL} = \frac{1}{\sin^2 45} \min\left[1; \max(0.5; 0.127)\right]$$

$$\boldsymbol{\lambda_{SL} = 1}$$

$$\lambda_v = \min\left[1; \max\left(1.1; 1.1 + 11 \times \frac{d_c}{L}\right) - 5\frac{H_{max}}{L}\right]$$

$$\lambda_v = \min\left[1; \max\left(1.1; 1.1 + 11 \times \frac{2.2}{350}\right) - 5\frac{12.5}{350}\right]$$

$$\lambda_v = \min\left[1; \max\left(1.1; 1.1 + 11 \times \frac{2.2}{350}\right) - 5\frac{12.5}{350}\right]$$

$$\boldsymbol{\lambda_v = 0.9}$$

$$p'_2 = \lambda_{SL} \times p_2 \sin\alpha$$

$$p'_2 = 1 \times 5.824 \times \sin 45$$

$\mathbf{p_2' = 4.118\ t/m^2}$

$p_1' = \lambda_{SL} \times p_1 \sin\alpha$

$p_1' = 1 \times 12.48 \times \sin 45$

$\mathbf{p_1' = 8.82\ t/m^2}$

$p_3' = \lambda_v \times p_3$

$p_3' = 0.9 \times 11.1027$

$\mathbf{p_3' = 9.99 t/m^2}$

$p_1'' = \lambda_v \times p_1$

$p_1'' = 0.9 \times 12.48$

$\mathbf{p_1'' = 11.23\ t/m^2}$

IX.3.3.11 Calcul des forces et moments dus à la pression de la houle

► Sous pression sous la base du caisson dûe à la houle

$$U = \frac{1}{2} p_u B$$

$$U = \frac{1}{2} \times 10.54 \times 25.6$$

U =134.9 t/ml

$M_u = X_B . U$ avec X_B bras de levier de U.

$M_u = \frac{2}{3} \times (25.6) \times (134.9)$

M_u=2302.49 t.m /ml

►Pression sur la paroi verticale :

$$p_{p\ verticale} = \frac{a}{2} (p_{dc}'' + p_3')$$

Avec : a : paroi verticale du caisson côté large = 24.75m

$p_{dc}' = \lambda_{SL} \times p_{dc} \times \sin\alpha$

$p_{dc}' = 1 \times 12.35 \times \sin 45$

P'_{dc}=8.73 t/m^2

$p_{dc}'' = \lambda_v \times p_{dc}$

$p_{dc}'' = 0.9 \times 12.35$

P''_{dc} =11.115 t/m^2

$$p_{p.verticale} = \frac{24.75}{2} (11.115 + 9.99)$$

$p_{p.vericale}$ =261.17 t/ml

$M_{p.vert} = Z_a \times p_{p.vert}$

Avec :

$$Z_a = \left(\frac{a}{3} \times \frac{p_3'' + 2p_{dc}''}{p_3'' + p_{dc}''} \right) \Rightarrow Z_a = \left(\frac{24.75}{3} \times \frac{9.99 + 2(11.115)}{9.99 + 11.115} \right)$$

$$\mathbf{Z_a = 12.59\ m}$$

$$M_{p.vert} = 12.59 \times 261.17$$

$$\mathbf{M_{p.vert} = 3289.4\ t.m/ml}$$

►Pression sur la face inclinée :

- **Partie inférieure**

$$p_{p.inc.1} = \frac{1}{2}(p'_{dc} + p'_1)l_1$$

$$p_{p.inc.1} = \frac{1}{2}(8.73 + 8.82) \times 5.5$$

$$\mathbf{p_{p.inc.1} = 48.26\ t/ml}$$

$$\begin{cases} P_{p.inc.1H} = P_{p.inc.1} \sin\alpha \\ P_{p.inc.1V} = P_{p.inc.1} \cos\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_{p.inc.1H} = 48.26 \sin 45 \\ P_{p.inc.1V} = 48.26 \cos 45 \end{cases}$$

$P_{p.inc.1H}$ = 34.13 t /ml

$P_{p.inc.1V}$ = 34.13 t /m

$M_{p.inc.1H} = P_{p.inc.1H} \times Z_{l1}$

$M_{p.inc.1V} = P_{p.inc.1V} \times X_{l1}$

Avec Z_{l_1} et X_{l_1} les bras de leviers de $P_{p.inc.1H}$ et $P_{p.inc.1V}$ respectivement :

$$Z_{l_1} = \left[a + \left(\frac{l_1}{3} \times \frac{p'_{dc} + 2p'_1}{p'_{dc} + p'_1} \right) \sin\alpha \right]$$

$$Z_{l_1} = \left[24.75 + \left(\frac{5.5}{3} \times \frac{8.73 + 2(8.82)}{8.73 + 8.82} \right) \sin 45 \right] \Rightarrow \mathbf{Z_{l_1} = 26.7\ m}$$

$$X_{l_1} = \left[B - \left(\frac{l_1}{3} \times \frac{p'_{dc} + 2p'_1}{p'_{dc} + p'_1} \right) \cos\alpha \right]$$

$$X_{l_1} = \left[25.6 - \left(\frac{5.5}{3} \times \frac{8.73 + 2(8.82)}{8.73 + 8.82} \right) \cos 45 \right] \Rightarrow \boldsymbol{X_{l_1} = 23.66m}$$

Alors :

$\mathbf{M_{p\ inc\ 1_H}}$**= 911.27 t.m/ml**

$\mathbf{M_{p\ inc\ 1_V}}$**= 807.5 t.m/ml**

- **Partie supérieure**

$$p_{p.inc.2} = \frac{1}{2}(p'_1 + p'_2)l_2 \quad \Rightarrow p_{p.inc.2} = \frac{1}{2}(8.82 + 4.118) \times 5.5$$

$$\mathbf{p_{p.inc.2} = 35.57\ t.\frac{m}{ml}}$$

$$\begin{cases} P_{p.inc.2H} = P_{p.inc.2} \sin\alpha \\ P_{p.inc.2V} = P_{p.inc.2} \cos\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{P_{p.inc.2H} = 25.15\ t/ml} \\ \mathbf{P_{p.inc.2V} = 25.15\ t/ml} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{P.inc2\ H} = p_{p.inc2\ H} \times Z_{l_2} \\ M_{P.inc2\ V} = p_{p.inc2\ V} \times X_{l_2} \end{cases}$$

Avec Z_{l_2} et X_{l_2} les bras de leviers de $P_{p.inc.2H}$ et $P_{p.inc.2V}$ respectivement :

$$\begin{cases} Z_{l_2} = \left[a + \left(l_1 + \frac{l_2}{3} \times \frac{p'_1 + 2p'_2}{p'_1 + p'_2}\right)\sin\alpha\right] \\ X_{l_2} = \left[B - \left(l_1 + \frac{l_2}{3} \times \frac{p'_1 + 2p'_2}{p'_1 + p'_2}\right)\cos\alpha\right] \end{cases}$$

$$Z_{l_2} = \left[24.75 + \left(5.5 + \frac{5.5}{3} \times \frac{8.82 + 2(4.118)}{8.82 + 4.118}\right)\sin 45\right] \Rightarrow \mathbf{Z_{l_2} = 30.34m}$$

$$X_{l_2} = 20.01\text{m}$$

$$\mathbf{M_{P.inc2\ H} = 763.051\ t.\frac{m}{ml}}$$

$$\mathbf{M_{P.inc2\ V} = 503.25\ t.\frac{m}{ml}}$$

IX.3.3.12 Calcul des moments dus au poids du caisson

- **Moment dû au poids du caisson- immergé**

$p'_c = \gamma'_b \times v_{imm} \Rightarrow p'_c = 1.5 \times 2417$

$$\mathbf{p'_c = 3625.5\ t} \quad \Rightarrow \mathbf{p'_c = 126.76\ t/ml}$$

$M_{P'_c} = p'_c . X_{G_{C'}}$

$X_{G_{C'}}$:Centre de gravité de la partie immergé du caisson suivant ox.

$X_{G_{C'}} = 12.45\text{m}$

$M_{P'_c} = 126.76 \times 12.45 \quad \Rightarrow \mathbf{M_{P'_c} = 1578.23\ t.m/ml}$

- **Moment dû au poids du caisson émergé**

$\mathbf{p_c = \gamma_b \times v_{émergé} \Rightarrow p_c = 2.5 \times 700.5}$

$\mathbf{p_c = 1751.25\ t \Rightarrow p_c = 61.23 \frac{t}{ml}}$

$\mathbf{M_{p_c} = p_c . X_{G_C}}$

$\mathbf{X_{G_C}}$:centre de gravité de la partie émergé du caisson suivant ox

$\mathbf{X_{G_C} = 13.38\ m}$

$\mathbf{M_{p_c} = 61.23 \times 13.38 \Rightarrow M_{p_c} = 819.25\ t. \frac{m}{ml}}$

- **Moment dû au poids propre du remblai immergé**

$\mathbf{p'_r = \gamma'_r \times v_r}$ avec : v_r =14094 m^3

$p'_r = 1.1 \times 14094$

$\mathbf{p'_r = 15503.4\ t \Rightarrow p'_r = 542.07 \frac{t}{ml}}$

$M_{P'_r} = p'_r . X_{G_r'}$

$X_{G_r'}$: centre de gravité de la partie immergé du remblai suivant ox

$X_{G_r'}$=12.84 m

$M_{P'_r} = 542.07 \times 12.84 \Rightarrow \mathbf{6960.17\ t. \frac{m}{ml}}$

- **Moment dû au poids propre du remblai émergé**

$p_r = \gamma_r \times v_r$ avec : v_r=1784.7 m^3

$p_r = 1.8 \times 1784.7$

$\mathbf{p_r = 3212.46\ t \Rightarrow p_r = 112.32\ t/ml}$

$\mathbf{M_{p_r} = p_r . X_{G_r}}$

$\mathbf{X_{G_r}}$:centre de gravité de partie émergé du remblai suivant ox.

$X_{G_r} = 11.4m$

$M_{p_r} = 112.32 \times 11.4$

$\mathbf{M_{p_r} = 1280.49\ t.m/ml}$

►Calcul des forces et des moments dus au séisme

D'après le règlement parasismique algérien RPA 99 version 2003 la zone de Ténès (Chlef) est située dans la zone sismique (III), groupe d'usage 2, d'où le coefficient d'accélération A égale à 0,25g. Le RPA adopte les coefficients sismiques $K_h = A(\%g)$ et $K_V = \pm 0{,}3K_h$

- **Force et moment horizontal dus au séisme**

Poids total de l'ouvrage avec la mise en place :

$P_T = P_c^{'} + P_c + P'_r + P_r$

$P_T = 126.76 + 61.23 + 542.07 + 112.32$

P_T =842.38 t/ml

$F_{S_H} = K_h . P_T = 0.25\ (842.38) \Rightarrow$ **F_{SH} =210.59 t /ml**

$M_{F_{S_H}} = F_h . Z_G$

z_G : centre de gravité du caisson suivant oz.

$M_{F_{S_H}} = 210.59 \times 14.17$

$\mathbf{M_{F_{S_H}} = 2984.06\ t.m/ml}$

- **Force et moment vertical dus au séisme**

$K_V = \pm 0{,}3K_h$

$K_V = \pm 0{,}3 \times 0{,}25$

$K_V = \pm 0{,}075$

$F_{S_V} = K_V . P_T$

$F_{S_V} = \pm 0{,}075 \times 842.38$

$\mathbf{F_{S_V} = \pm 63.178\ t/ml}$

$M_{F_{S_V}} = F_v . X_G$

X_G:centre de gravité du caisson suivant ox.

$M_{F_{S_V}} = \pm 63.178 \times 12.6$

$\mathbf{M_{F_{S_V}} = \pm 769.049\ t.\frac{m}{ml}}$

►Vérification vis-à-vis du renversement

- **Cas d'une houle extrême $H_{100\ ans}$:**

$$F_R = \frac{\sum M_S}{\sum M_R} \geq 1.5$$

$$\mathbf{F_R} = \frac{\mathbf{M_{P_c'} + M_{p_c} + M_{P_r'} + M_{p_r} + M_{p\ inc\ 1_V} + M_{P.inc2\ V}}}{\mathbf{M_u + M_{p.vert} + M_{p\ inc\ 1_H} + M_{P.inc2\ H}}}$$

$$F_R = \frac{1578.23 + 819.25 + 6960.17 + 1280.49 + 503.25 + 807.5}{2302.49 + 3289.4 + 911.27 + 763.051}$$

$F_R = 1.64 > 1.5$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du renversement en cas d'une houle extrême H_{100} ans.

- **Cas d'un séisme :**

$$F_R = \frac{\sum M_S}{\sum M_R} \geq 1.5$$

$$\mathbf{F_R} = \frac{\mathbf{M_{P_c'} + M_{p_c} + M_{P_r'} + M_{p_r}}}{\mathbf{M_{F_{S_H}} \pm M_{F_{S_V}}}}$$

$$F_R = \frac{1578.23 + 819.25 + 6960.17 + 1280.49}{2984.06 \pm 769.049}$$

- **Séisme ascendant**

$\Rightarrow \quad F_R = 2.8 > 1.5$

- **Séisme descendant**

$\Rightarrow \quad F_R = 4.8 > 1.5$

Alors Le caisson est stable vis-à-vis du renversement en cas de séisme.

►Vérification vis-à-vis du glissement :

- **Cas d'une houle extrême $H_{100\ ans}$:**

$$\boldsymbol{F_G} = \frac{\sum F_V}{\sum F_H} \tan\varphi \geq 1{,}5$$

$$\mathbf{F_G} = \frac{\mathbf{p_c' + p_c + p_r + p_r' + P_{p\ inc\ 1_V} + P_{p\ inc\ 2_V} - U}}{\mathbf{p_{p\ .verticale} + P_{p\ inc\ 1_H} + P_{p\ inc\ 2_H}}} \mathbf{.\ tan\ \varphi}$$

$$F_G = \frac{126.76 + 61.23 + 542.07 + 112.32 + 34.13 + 25.15 - 134.9}{261.17 + 34.13 + 25.15} . \tan 37$$

$F_G = 1.8 > 1.5$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du glissement en cas d'une houle extrême H100 ans.

- **Cas d'un séisme :**

$$F_G = \frac{\sum F_V}{\sum F_H} \tan\varphi \geq 1{,}5$$

$$\mathbf{F_G} = \frac{\mathbf{P'_c + P_c + P'_r + P_r \pm F_{S_V}}}{\mathbf{p_{p\,.verticale} + P_{p\ inc\ 1_H} + P_{p\ inc\ 2_H} + F_{S_H}}} \mathbf{.\tan \varphi}$$

$$F_G = \frac{126.76 + 61.23 + 542.07 + 112.32 \pm 63.178}{210.59} . \tan 37$$

- **Séisme ascendant**

$\Rightarrow \quad F_R = 2.78 > 1.5$

- **Séisme descendant**

$\Rightarrow \quad F_R = 3.24 > 1.5$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du glissement en cas de séisme.

►Vérifications vis-à-vis du poinçonnement

La vérification de stabilité vis-à-vis du poinçonnement a été faite sur deux niveaux du sol de fondation (TVC, marne). La couche du sable sera draguée avant la pose du TVC, vu que ses propriétés géotechniques

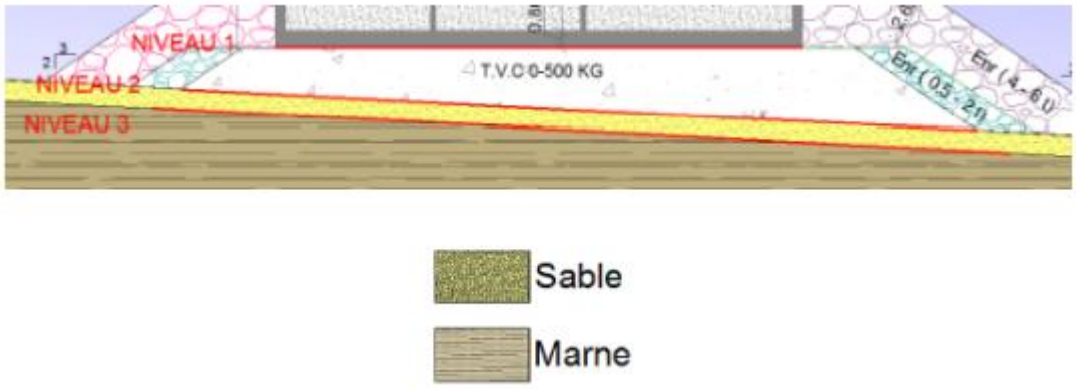


Figure IX. 7 : Couches stratigraphiques sous caisson.

Le coefficient de sécurité F_P :

$$\mathbf{F_P} = \frac{\boldsymbol{\sigma_{sol}}}{\boldsymbol{\sigma_v}}$$

Tel que σ_v contrainte verticale imposée par le caisson.

$$\sigma_v = \frac{\sum F_V}{B' \times 1ml}$$

Et $\sigma_{sol} = q_{lim}$; La capacité portante ql_{im} est donnée par la méthode de MEYERHOF :

$$q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma' B' N_\gamma (1 - \frac{\delta}{\varphi})^2 + \left(CN_c + \gamma' D N_q\right).(1 - \frac{2\delta}{\pi})^2$$

Avec :

δ: L'angle d'inclinaison de la résultante des forces globale

$$\delta = \tan^{-1}\frac{\sum F_H}{\sum F_V}$$

$\bar{x}$: Le bras de levier de la composante verticale de la résultante des forces globale :

$$\bar{x} = \frac{\sum(M_S - M_R)}{\sum F_V}$$

E : L'excentrement

$$E = \frac{B}{2} - \bar{x}$$

B′ :La base effective

$B' = B - 2E$

a. <u>Vérification au niveau de TVC :</u>

Profondeur d'encrage :

D = 2,6 m

Les termes de portance sont tirés du tableau de CAQUOT KERISEL (Tableau de termes de portance d'après CAQUOT KERISEL).

$\varphi = \Longrightarrow \begin{cases} N_\gamma = 67{,}00 \\ N_q = 42{,}90 \end{cases}$

La cohésion C=0

- **Cas d'une houle extrême H_{100ans}**

$$\delta = \tan^{-1}\frac{216.17 + 34.13 + 25.15}{126.76 + 61.23 + 542.07 + 112.32 + 25.15 - 134.9}$$

$$\boldsymbol{\delta = 19.09°}$$

$$\bar{x} = \frac{11948.89 - 7266.211}{766.76}$$

$$\boldsymbol{\bar{x} = 6.11m}$$

$$E = \frac{25.6}{2} - 6.11$$

$$\boldsymbol{E = 6.69m}$$

$B' = 25.6 - 2(6.69)$

B′ = 12.22m

$$q_{lim} = \frac{1}{2}1.1 \times 12.2 \times 67 \times \left(1 - \frac{19.09}{37}\right)^2 + (1.1 \times 2.6 \times 42.9).\left(1 - \frac{19.09}{90}\right)^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 189.66 \frac{t}{m^2} = \sigma_{sol}}$$

$$\sigma_v = \frac{766.76}{12.22 \times 1} \quad \Longrightarrow \mathbf{\sigma_v = 62.74\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{189.66}{62.74} = \mathbf{3.03 > 3}$$

⟹Le caisson est stable vis-à-vis du poinçonnement en cas d'une houle extrême $H_{100\ ans}$

- **Cas d'un séisme**

Séisme descendant

$$\delta = \tan^{-1}\frac{210.59}{905.558} = 13.09°$$

$$\bar{x} = \frac{10638.14 - 2215.02}{905.558}$$

$$\mathbf{\bar{x} = 9.3m}$$

$$E = \frac{25.6}{2} - 9.3 = \mathbf{3.5m}$$

$B' = 25.6 - 2(3.5)$

B′=18.6 m

$$q_{lim} = \frac{1}{2}1.1 \times 18.6 \times 67 \times \left(1 - \frac{13.09}{37}\right)^2 + (1.1 \times 2.6 \times 42.9).\left(1 - \frac{13.09}{90}\right)^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 376.07\ t/m^2 = \sigma_{sol}}$$

$$\sigma_v = \frac{905.558}{18.6 \times 1} \quad \Longrightarrow \mathbf{\sigma_v = 48.68\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{376.07}{48.68} = 7.72 > \mathbf{3}$$

Séisme ascendant :

$$\delta = \tan^{-1}\frac{210.59}{779.132} = 15.12°$$

$$\bar{x} = \frac{10638.14 - 3753.1}{779.132} = \mathbf{8.83m}$$

$$E = \frac{25.6}{2} - 8.83 = 3.97m$$

$B' = 25.6 - 2(3.97)$

B′=17.66 m

$$q_{lim} = \frac{1}{2}1.1 \times 17.66 \times 67 \times \left(1 - \frac{15.12}{37}\right)^2 + (1.1 \times 2.6 \times 42.9).\left(1 - \frac{15.12}{90}\right)^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 312.5 t/m^2}$$

$$\sigma_v = \frac{779.132}{17.66 \times 1} \implies \mathbf{\sigma_v = 44.12\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{312.5}{44.12} = \mathbf{7.08 > 3}$$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du poinçonnement en cas de séisme.

b.Vérification au niveau de la marne :

La hauteur de TVC

h_{TVC} = 8 m

La base effective $B'_2 = B'_1 + 2.\ h_{TVC}.\ \tan \varphi_{TVC}$

Le poids de au-dessus de la base effective :

$$W_{TVC} = \gamma_{TVC} + h_{TVC}\left(\frac{B'_1 + B'_2}{2}\right)$$

On aura donc :

$$\delta = \tan^{-1}\frac{\sum F_H}{\sum F_V + W_{TVC}}$$

$$\sigma_v = \frac{\sum F_V + W_{TVC}}{B'_2 \times 1ml}$$

Les termes de portance sont tirés du tableau de CAQUOT KERISEL :

$$\varphi = 35° \begin{cases} N_\gamma = 48{,}00 \\ N_q = 33{,}30 \\ N_C = 46{,}10 \end{cases}$$

- **Cas d'une houle extrême H_{100ans} :**

$B'_1 = 12.2m$

$B'_2 = 12.2 + 2 \times 8 \times \tan 35 \Longrightarrow$ **B'_2 = 23.4 m**

$$W_{TVC} = 1.1 + 8 \times \left(\frac{12.2 + 23.4}{2}\right)$$

$$W_{TVC} = 156.64\ t/ml$$

$$\delta = \tan^{-1}\frac{320.45}{766.76 + 156.64} \Longrightarrow \delta = 19.14°$$

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 23.4 \times 48 \times (1 - \frac{19.14}{35})^2 + (3 \times 46.1 + 1.2 \times 10.6 \times 33.3).(1 - \frac{19.14}{90})^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 700.226\ t/ml = \sigma_{sol}}$$

$$\sigma_v = \frac{766.76 + 156.64}{23.4 \times 1} = \mathbf{39.46\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{700.226}{39.46} = \mathbf{17.7 > 3}$$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du poinçonnement en cas d'une houle extrême $H_{100\ ans}$

- **Cas d'un séisme**

♦ **Séisme descendent :**

$B_1' = 18.6m$

$B'_2 = 18.6 + 2 \times 8 \times \tan 35 \Longrightarrow$ **B'_2 = 29.8 m**

$$W_{TVC} = 1.1 + 8 \times \left(\frac{18.6 + 29.8}{2}\right)$$

$$\mathbf{W_{TVC} = 212.96\ t/ml}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{210.59}{905.558 + 212.96} \Longrightarrow \mathbf{\delta = 10.66°}$$

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 29.8 \times 48 \times (1 - \frac{10.66}{35})^2 + (3 \times 46.1 + 1.2 \times 10.6 \times 33.3).(1 - \frac{10.66}{90})^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 847.7t/ml}$$

$$\sigma_v = \frac{905.558 + 212.96}{29.8 \times 1} = \mathbf{37.53\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{847.7}{37.53} = \mathbf{22.58 > 3}$$

♦ **Séisme ascendant :**

$B_1' = 17.66m$

$B'_2 = 17.66 + 2 \times 8 \times \tan 35 \Longrightarrow$ **B'_2 = 28.86 m**

$$W_{TVC} = 1.1 + 8 \times \left(\frac{17.66 + 28.86}{2}\right)$$

$$\mathbf{W_{TVC} = 204.688\ t/ml}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{210.59}{779.123 + 204.688} \Longrightarrow \mathbf{\delta = 12.08°}$$

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 28.86 \times 48 \times (1 - \frac{12.08}{35})^2 + (3 \times 46.1 + 1.2 \times 10.6 \times 33.3).(1 - \frac{12.08}{90})^2$$

$$\mathbf{q_{lim} = 777.27/ml}$$

$$\sigma_v = \frac{779.132 + 204.688}{28.86 \times 1} = \mathbf{34.09\ t/m^2}$$

$$F_P = \frac{777.27}{34.09} = \mathbf{22.8 > 3}$$

$\Longrightarrow$ Le caisson est stable vis-à-vis du poinçonnement en cas de séisme.

IX.3.3.13 Conclusion :

Le caisson est stable vis-vis du renversement, du glissement et du poinçonnement dans le cas d'une houle extrême (centennale) et dans le cas d'un séisme vu que les coefficients de sécurité obtenus sont supérieurs aux coefficients de sécurité désirés.

IX.4 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ACCOSTAGE :

IX.4.1 Evaluation des efforts agissants sur les caissons

Le schéma de caisson adopté ainsi que les couches de sol est le suivant**:**

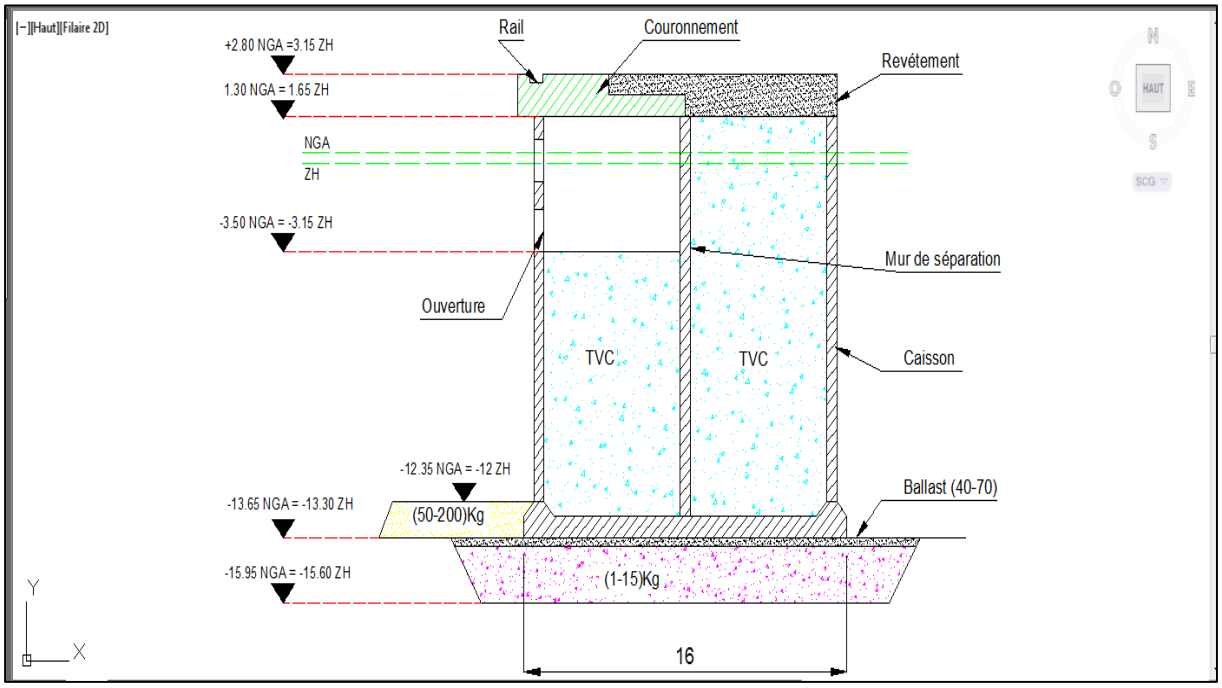


Figure IX. 8 : Coupe type d'un caisson

Hypothèses de calcul

A) Matériaux

- **Béton**

$\gamma_b = 2.5T/m^3$

$\gamma'_b = 1.5T/m^3$

Acier : FeE 400

- **Remblai à l'arrière du caisson**

$\gamma r = 1.8T/m3$

$\gamma'_{déjau} = 1.10T/m3$

Angle de frottement interne $\Phi = 37°$

Cohésion C = 0T/m2

- **Remblai dans les évidements du caisson**

$\gamma r = 1.7T/m3$

$\gamma_{déjau} = 1.05T/m3$

Angle de frottement interne Φ = 32°

Cohésion C = 0T/m2

- **Ballast du sous bassement (ou couche de réglage)**

Ɣr = 1.7T/m3

Ɣ'déjau = 1.05T/m3

Angle de frottement interne Φ = 32°

Cohésion C = 0T/m2

B) Charges et surcharges

- charge d'exploitation = 5T/m2
- Portique (voir fiche technique en pièces jointes)

Rendements = 20 conteneurs par heure

Distance entre rails = 30.48m

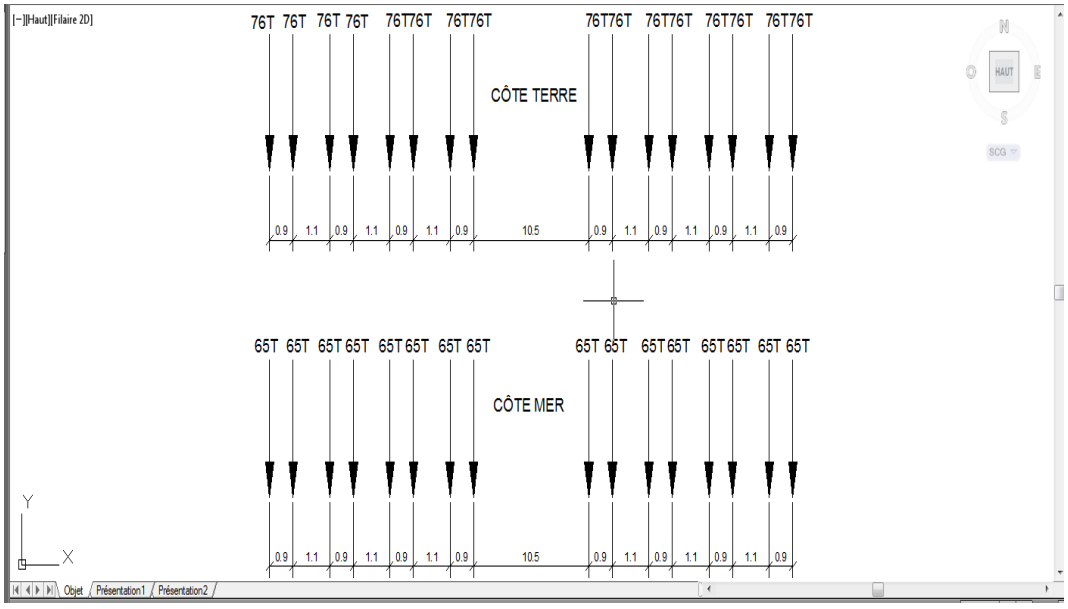


Figure IX. 9 : Galets du portique (cas le plus défavorable "en présence des vents

- **Conteneurs**

pour les conteneurs de 20 pouces (6.068 x2.438 x 2.591)m

{ Conteneur vide = 2.2 T
{ Conteneur plein = 12.2T, soit 0.82t/m^2

pour les conteneurs de 40 pouces (12.192 x 2.438 x 2.591)m

{ Conteneur vide = 4.4 T
{ Conteneur plein = 24.4T, soit 0.82t/m^2

C) Sismicité de la zone d'étude

Pour le calcul de l'effort sismique agissant sur la structure, on s'appuis sur la réglementation en vigueur en Algérie à savoir RPA2003 (Règlement Parasismique Algérien)

Tableau IX. 4 : Données sismiques sur la zone d'étude

Zone	III (sismicité élevée)
Groupe	1B (ouvrage de grande importance)
Site	S2 (site ferme)
Kh	0.3
Kv	± 0.3 Kh = 0.09
Coefficient d'accélération de zone A	0.3

IX.4.1.1 Calcul des efforts

- **Poids propre du caisson**

Tableau IX. 5 : poids propre du caisson

Poids du caisson (au dessus de l'eau)	75 T
Poids du caisson immergé	756 T
Poids du mur de séparation	150 T
Poids du béton enlevé (les trous)	26 T
Poids du sable à l'intérieur du caisson	4 200T
Poids de l'eau à l'intérieur du caisson	1482 T
Poids du couronnement	375 T
Poids totale	7012T
Poids totale par mètre linéaire	468T/ml

- **Poussée des terres**

Le schéma suivant donne le digramme des contraintes dus à la poussée des terres dans les deux cas, statique et dynamique

On donne:

Ka = 02257 ⟶ cas statique
Ka = 05493 ⟶ séisme ascendant
Ka = 0.4733 ⟶ séisme descendant

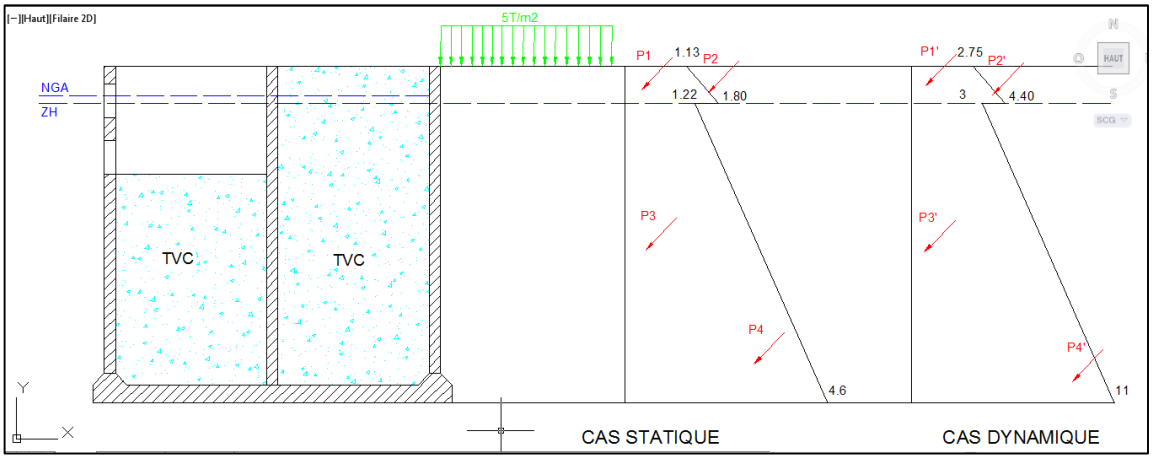


Figure IX.10 : diagramme des contraintes dus à la poussée des terres

Avec:

P_1, P_2, P_3, P_4, P_1', P_2', P_3', P_4' sont les efforts agissants sur le caissons (résultante des diagrammes de pressions)

Le tableau suivant donne les valeurs de ses efforts dans les deux sens X et Y

Tableau IX. 6 : les valeurs de ses efforts dans les deux sens X et Y

charge	Valeur de la charge dans le sens des X	Valeur de la charge dans le sens des Y
P_1	1.69 T/ML	0.42T/ML
P_2	0.5T/ML	0.23T/ML
P_3	14.8T/ML	6.81T/ML
P_4	20.5T/ML	9.44T/ML
P_1'	4.41T/ML	1.06T/ML
P_2'	1.4T/ML	0.33T/ML
P_3'	38.94T/ML	9.35T/ML
P_4'	52T/ML	12.5T/ML

- **Poussée hydrodynamique**

Cette poussée est calculée par la formule suivante :

$P_h = 0.9917 \times Kh \times \gamma \times (h)^2 = 54.40$ T/ML

Avec : $Z_G = 0.4 \times h = 5.34$ m est le point d'application de cette charge.

- **Poussée hydrostatique:**

Pour le calcul de cette force, on considère un marnage de 34 cm

la hauteur d'eau = 13.35m (est le cas le plus défavorable)

$\delta = e \times \gamma_w = 0.35$ T/m2, soit un effort de F = 4.7 T appliqué à H/2 = 6.7m

- **Sous pression de l'eau**

La sous pression qui agit sur un caisson abrité (pas de houle) est quasiment nulle, mais un cas plus défavorable peut ce présenté (voir figure ci-dessous):

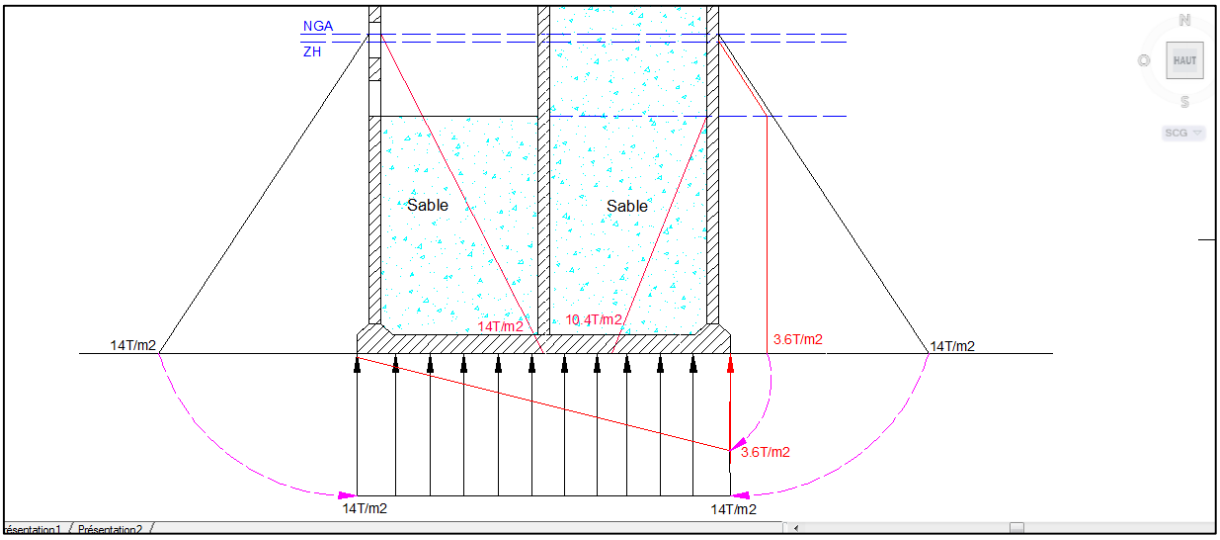


Figure IX. 11 : Diagrammes des pressions et sous pressions

La résultante des sous pressions est: Q = 3.6 x 0.5 x 16 = 29 T

- **Effort d'accostage et effort d'amarrage:**

  Il est considéré un effort d'accostage = effort d'amarrage = 80T, soit 3.5 T/ML

- **Effort sismique:**

  L'effort sismique est calculé par la formule suivante:

  V = (A.D.Q).W /R = 550T, soit 37 T/ML

  Avec:

  A: Coefficient d'accélération de zone

  D: Facteur d'amplification dynamique moyen

  Q: Facteur de qualité

  W: Poids total de la structure

  R: Coefficient de comportement global de la structure

IX.4.2 VERIFICATION DE LA STABILITE DU CAISSON (EN SERVICE)

La stabilité du caisson est vérifié vis à vis :

- Renversement
- Glissement
- Poinçonnement
- Glissement en cercle (grand glissement)

Ces vérifications sont faites dans les deux cas statique et dynamique

On considère les combinaisons d'actions suivantes:

ELU: 1.35 Gmax + Gmin +1.5 Qmax + Qmin

Acc: G+Q+V

IX.4.2.1 Stabilité vis à vis au renversement

Tableau IX. 7 : stabilité vis à vis au renversement

	Statique	Dynamique
Somme des moments stabilisants	5902TM/ML	4443 TM/ML
Somme des moments renversants	771 T.M/ML	1416 TM /ML
Coefficient de sécurité F =Ms/Mr	7.6 >1.5	3.1 >1.1
La stabilité vis à vis au renversement est vérifiée		

IX.4.2.2 Stabilité vis à vis au Glissement

Tableau IX. 8 : stabilité vis à vis au Glissement

	Statique	Dynamique
Somme des efforts stabilisants	649T/ML	491T/ML
Somme des efforts renversants	62 T/ML	188.2 T /ML
Coefficient de sécurité F =Ms/Mr	10.5 >1.5	2.6 >1.1
La stabilité vis à vis au glissement est vérifié		

IX.4.2.3 Stabilité vis à vis au poinçonnement

Pour cette vérification, on s'appuie sur les résultats de la campagne géotechnique (points de sondages S3 et S4)

Pour le calcul de la capacité portante du sol dans le cas d'une semelle circulaire et un effort normale excentré, on utilise les formules suivantes:

$$q = \frac{(B-2e)}{2}\gamma . N\gamma + (B-2e)\gamma . D . Nq + (B-2e)C . Nc$$

$$Q_{ad} = \gamma.D + (q - \gamma . D)/F$$

Avec:

e: l'excentricité

B: la largeur de la semelle

D: l'ancrage de la semelle

F = 3 : coefficient de sécurité

q: Capacité portante du sol

Qad: Contrainte admissible dans le sol

Tableau IX. 9 : Cas d'une semelle circulaire dans le cas statique

	NɣɣNɣ	Nq	Nc
Φ = 30°	21	38	64
Φ = 37°	115.5	141.6	174.6

Tableau IX. 10 : Cas d'une semelle circulaire dans le cas dynamique

	NɣɣNɣ	Nq
Φ = 13.5°	**1.7**	**5.5**

Les résultats de calcul dans les deux cas statique et dynamique pour les deux sols (sol de fondation et sol support) sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IX. 11 : les résultats de calcul dans les deux cas statique et dynamique pour les deux sols (sol de fondation et sol support)

	Cas statique		**Cas dynamique**
	assise	**Sol de fondation**	**Sol de fondation**
Capacité portante du sol	17330 T/M2	5502T/M2	520T/M2
Contrainte admissible dans le sol	5780T/M2	1835T/M2	174T/M2
contrainte normal maximum	38 T/M2	38 T/M2	38 T/M2
Comparaison	38 < 5780	38 < 1835	38 < 174
Pas de poinçonnement ni dans l'assise en enrochement ni dans le sol de fondation			

8.4.2 .4 stabilité vis à vis au grand glissement

Le glissement en cercle est vérifié par le biais du logiciel de calcul TLREN disponible au LEM est les résultats de calcul obtenus dans les deux cas statique est dynamique sont données ci-dessous:

- cas statique : F= 2.54 > 1.5
- Cas dynamique F =1.5

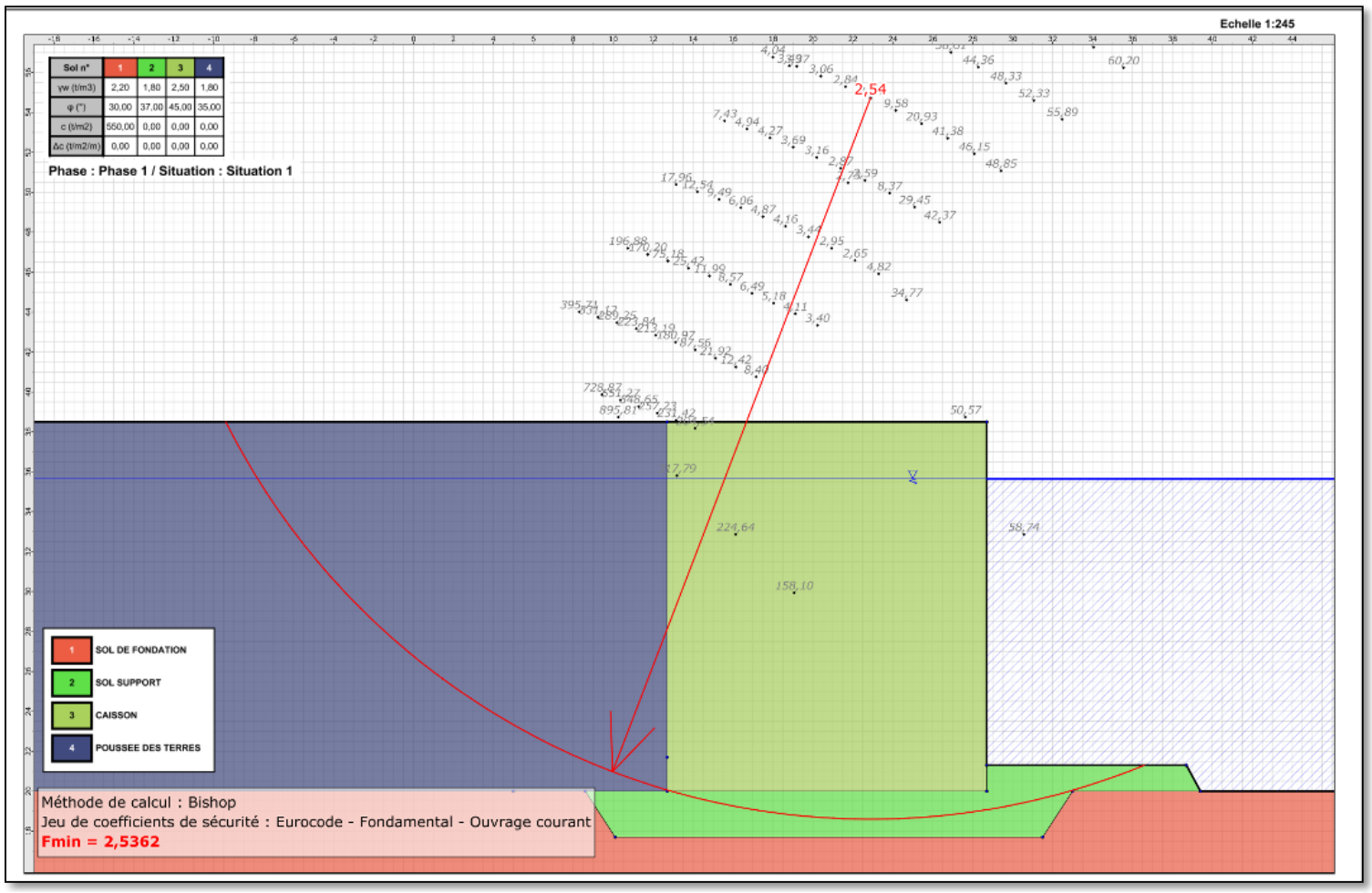


Figure IX. 12 : CAS STATIQUE

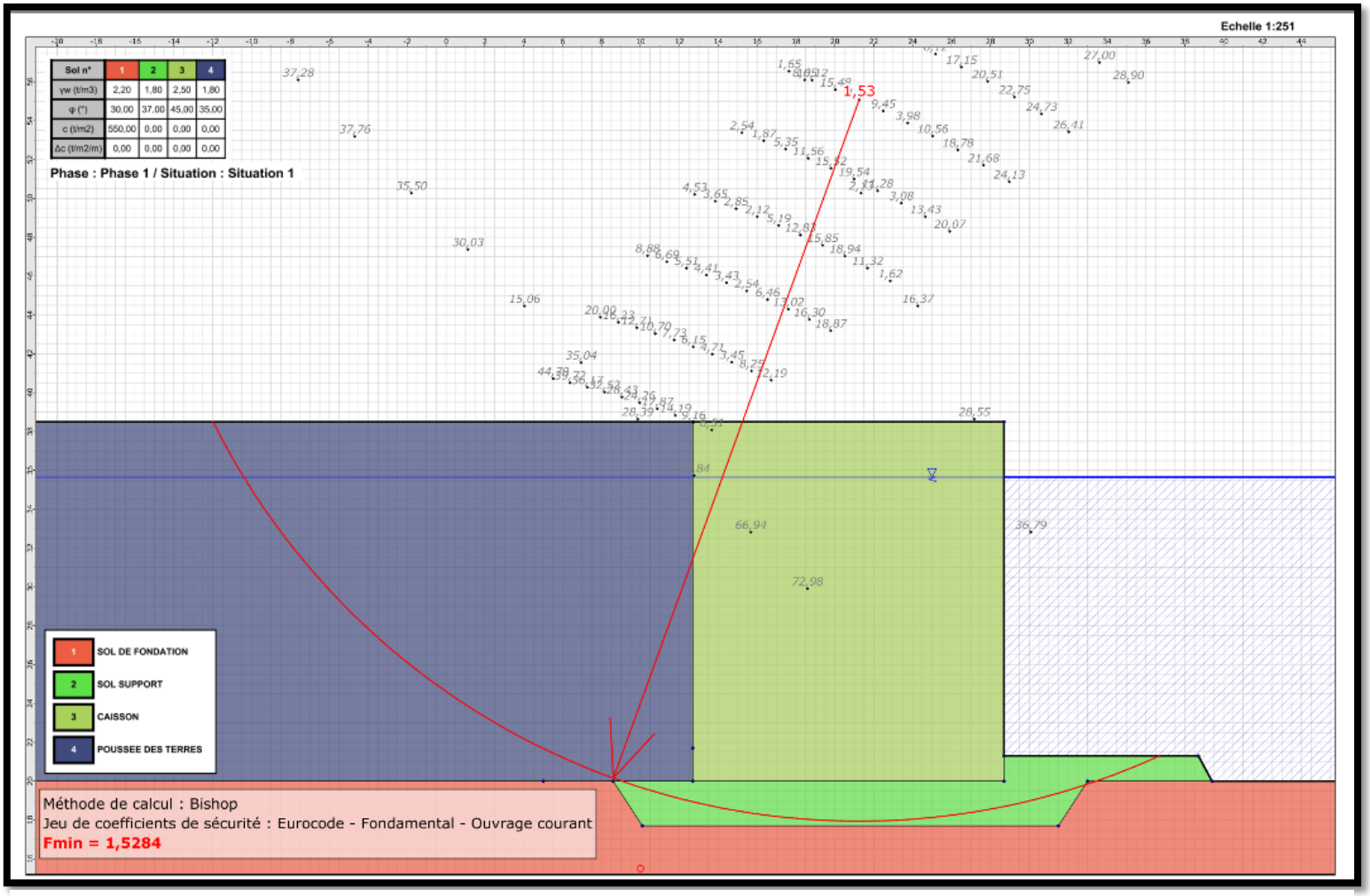
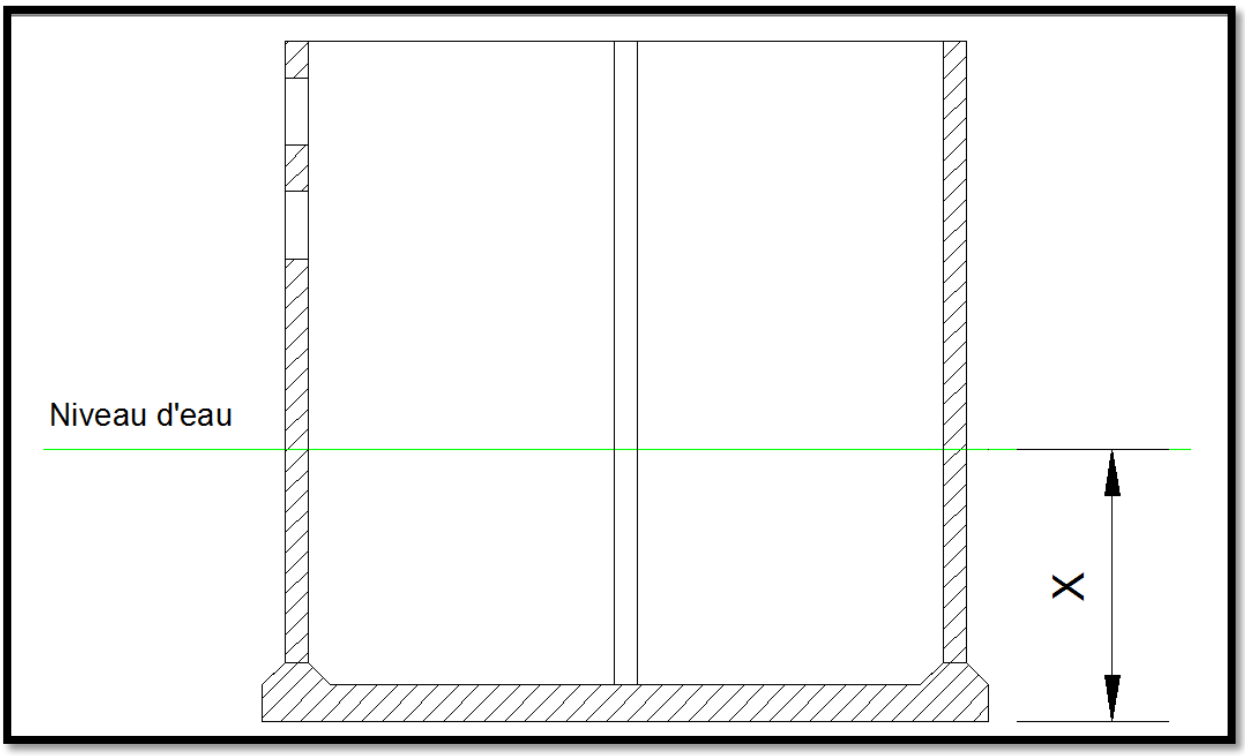


Figure IX. 143 : CAS DYNAMIQUE

IX.4.3 VERIFICATION A LA FLOTTAISANT

IX.4.3.1 Détermination de la profondeur X lors de la flottaison



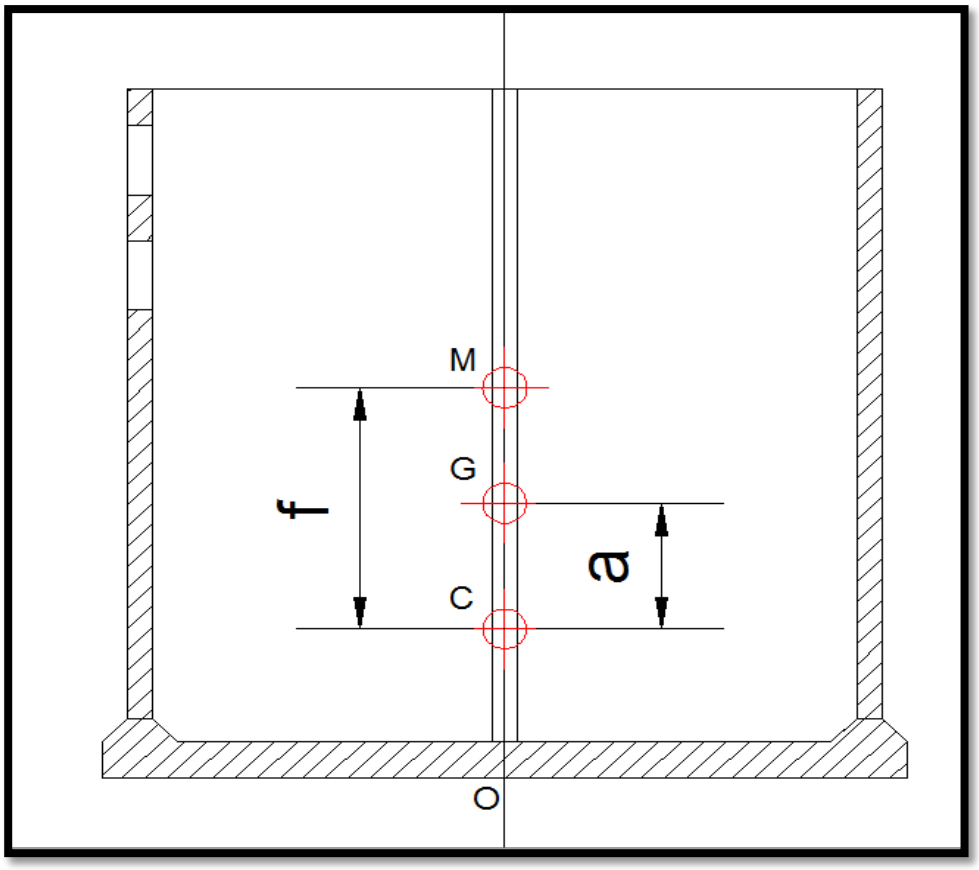
$P = \gamma_w . v$ = volume immergé

$V = \pi . R^2 . X$ = volume d'eau

$P = \pi . R^2 . X = \pi(7.5)^2 X = 622 m^3$

selon archimed : $P = V \longrightarrow$ **X = 3.5**

IX.4.3.2 Stabilité à la flottaison :



C = Couple de stabilité

G = Centre de gravité

f = Métacentre = rayon de courbure = I / V

I : inertie

V = volume

Pour que le caisson soit stable lors de la flottaison; il faut vérifier : **f - a > 0**

f = 4m

a = OG -OC = 3.25

D'ou

f-a = 0.75 > 0.....

Vérifier (il est nécessaire de revérifier cette condition au moment des travaux)

IX.4.4 CALCUL DU FERRAILLAGE:

Les hypothèses de calcul adopté sont:

Fc28 = 35Mpa

FeE 400 pour l'acier

IX.4.4.1 Vérification de l'épaisseur des parois du caisson:

$$e \geq \frac{P \,.R}{h \,.\sigma} = 0.22$$

P: La pression horizontale maximum au niveau de la semelle

R : Rayon moyen de la semelle.

e = 0.5 > 0.22.....Vérifier

IX.4.4.2 Détermination du ferraillage

Afin de déterminer le ferraillage adéquat qui peut supporter toutes les sollicitations possibles, la structure a été modélisée au biais du logiciel ROBOT BAT

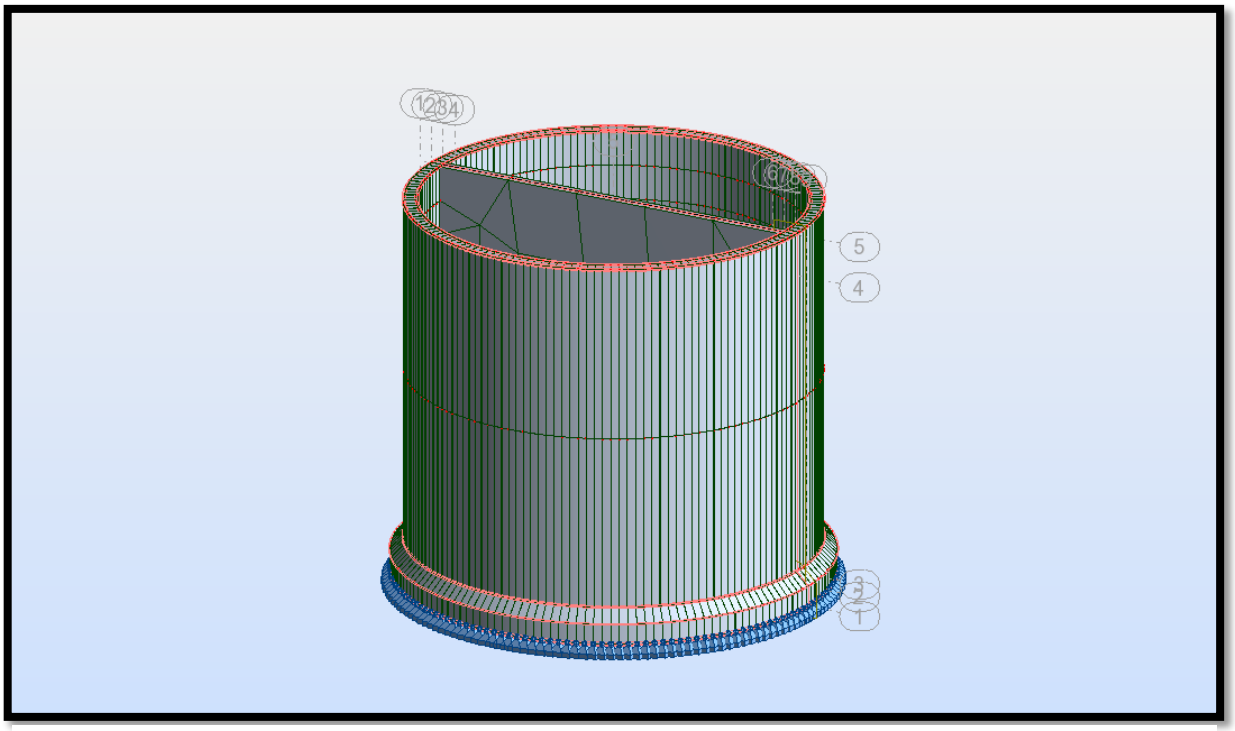


Figure IX. 15 : Modélisation de la structure avec ROBOT BAT

IX.4.4.3 Ferraillage des parois

Les combinaisons d'action pris en considérations pour évaluer les sollicitations sont:

Cas 1: Mise en place

ELU: 1.35 poussée de l'eau + 1.35 poussée du sable intérieur

ELS : poussée de l'eau+ poussée du sable intérieur

Cas 2 : En exploitation

ELU :

1.35 Poussée de l'eau + 1.35 poussée du sable intérieur+1.35 poussée des terres statique

ELS :

Poussée de l'eau + poussée du sable intérieur + poussée des terres statique

ELU :

1.35 poussée de l'eau + 1.35 poussée du sable intérieur+1.35 poussée des terres statique+1.35 charge du portique

ELS:

Poussée de l'eau + poussée du sable intérieur + poussée de la terre statique +charge du portique

Dynamique:

Poussée hydrodynamique + poussée des terres dynamiques + poussée du sable intérieur dynamique

Les sollicitations les plus défavorables obtenues sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IX. 12 : Tableau de ferraillage

		Cas1: Mise à l'eau du caisson			Cas2: Mise en place du caisson			Cas3: En exploitation		
0<x<5m	ELU	M = 25tm/ml	24cm²	HA25/20	M = 25tm/ml	24cm2	HA25/20	M =12ml/ml	10cm2	HA20/25
	ELS	M = 19tm/ml			M =18tm/ml			M =7tm/ml		
	ACC	/	/	/	/	/	/	M =24tm/ml	13cm2	HA20/20
5<x<10m	ELU	M = 14tm/ml	14cm²	HA20/20	M =10tm/ml	11cm2	HA20/20	M =4tm/ml	4cm2	HA16/25
	ELS	M = 10tm/ml			M =8tm/ml			M =3tm/ml		
	ACC	/	/	/	/	/	/	M =12tm/ml	6cm2	HA16/25
10<x<14m	ELU	M = 30tm/ml	28cm²	HA25/20	M =31tm/ml	28cm²	HA25/20	M =10tm/ml	11cm2	HA20/25
	ELS	M = 22tm/ml			M =23tm/ml			M =9tm/ml		
	ACC	/	/	/	/	/	/	M =31tm/ml	17cm2	HA/20/15

Remarques: Ce ferraillage doit être impérativement revérifier lors des travaux d'exécution suivant la méthode de réalisation adoptée par l'entreprise.

La nuance d'acier est FeE500

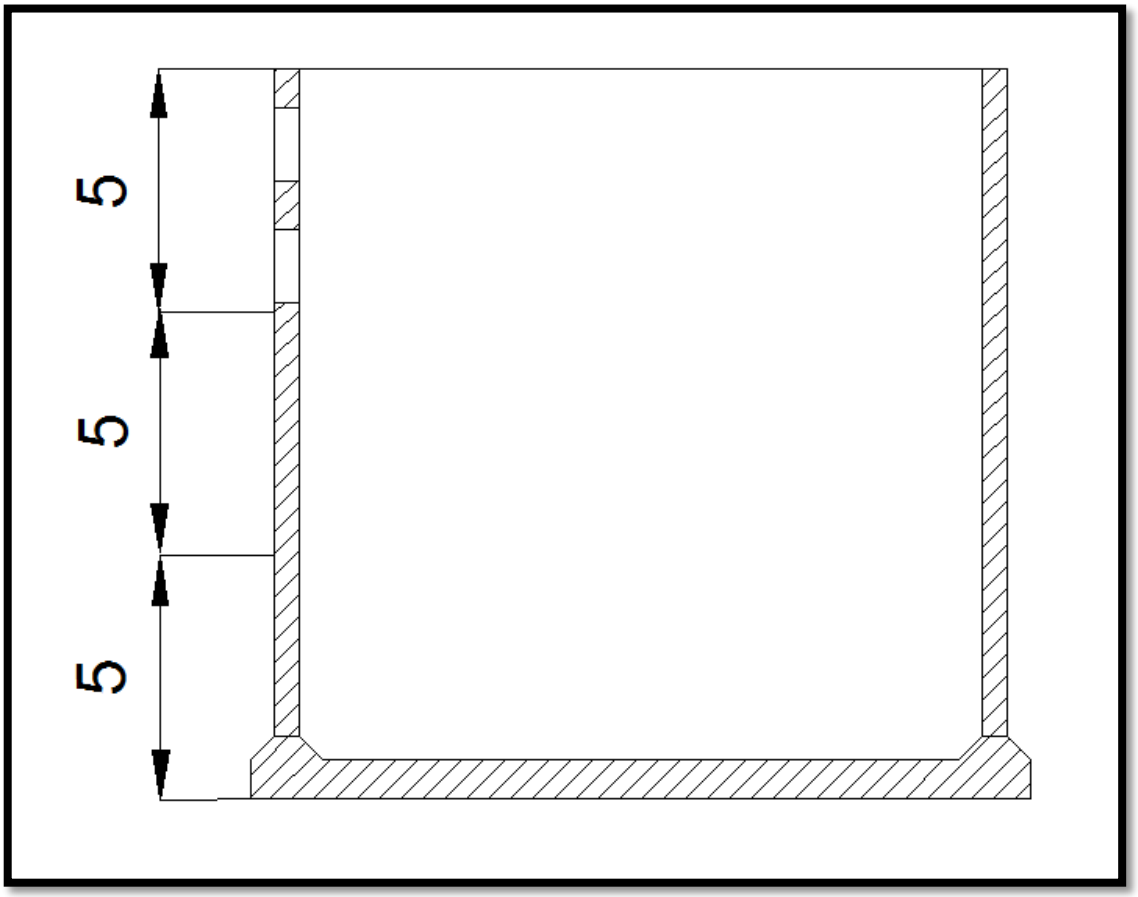


Figure IX. 16 : Schéma de répartition du ferraillage

- **Vérification des contraintes (dans le béton et dans l'acier)**

  Cette vérification concerne les efforts maximum agissants sur la structure

  La contrainte dans les fibres béton supérieur = 7.1 MPa < 21MPA.....Vérifier

  La contrainte dans les armatures inférieurs = 197 MPa < 200MPa.....Vérifier

IX.4.4.4 Ferraillage de la semelle

La semelle sera modélisée comme étant une dalle qui repose sur un sol élastique d'un Coefficient d'élasticité égale à 12000T/m3.

Le tableau suivant résume les sollicitations agissantes sur la semelle en phase d'exploitation

Tableau IX. 13 : les sollicitations agissantes sur la semelle en phase d'exploitation

	Moment Mmax		Effort normale (t)	Section d'acier (cm2) Mi travée (FeE500)	Section d'acier (cm2) Section courante(FeE500)
	Mi travée	Section restante			
ELU	80	49	24	32	23
ELS	57	35	17	HA25/10	HA25/20

- ✓ **vérification des contraintes (dans le béton et dans l'acier):**

- **A mi travée**

La contrainte dans les fibres béton supérieur = 5.4 MPa < 21MPA.....Vérifier

La contrainte dans les armatures inférieurs = 189 MPa < 200MPa.....Vérifier

- **Section courante**

La contrainte dans les fibre béton supérieur = 5.4 MPa < 21MPA.....Vérifier

La contrainte dans les armatures inférieurs = 189 MPa < 200MPa.....Vérifier

IX.4.4.5 Ferraillage du mur de séparation

L'effort agissants sur le mur dans le cas statique et dynamique sont/

- La poussée des terres
- poussée hydrodynamique
- la poussée hydrostatique

Le schéma de calcul est le suivant :

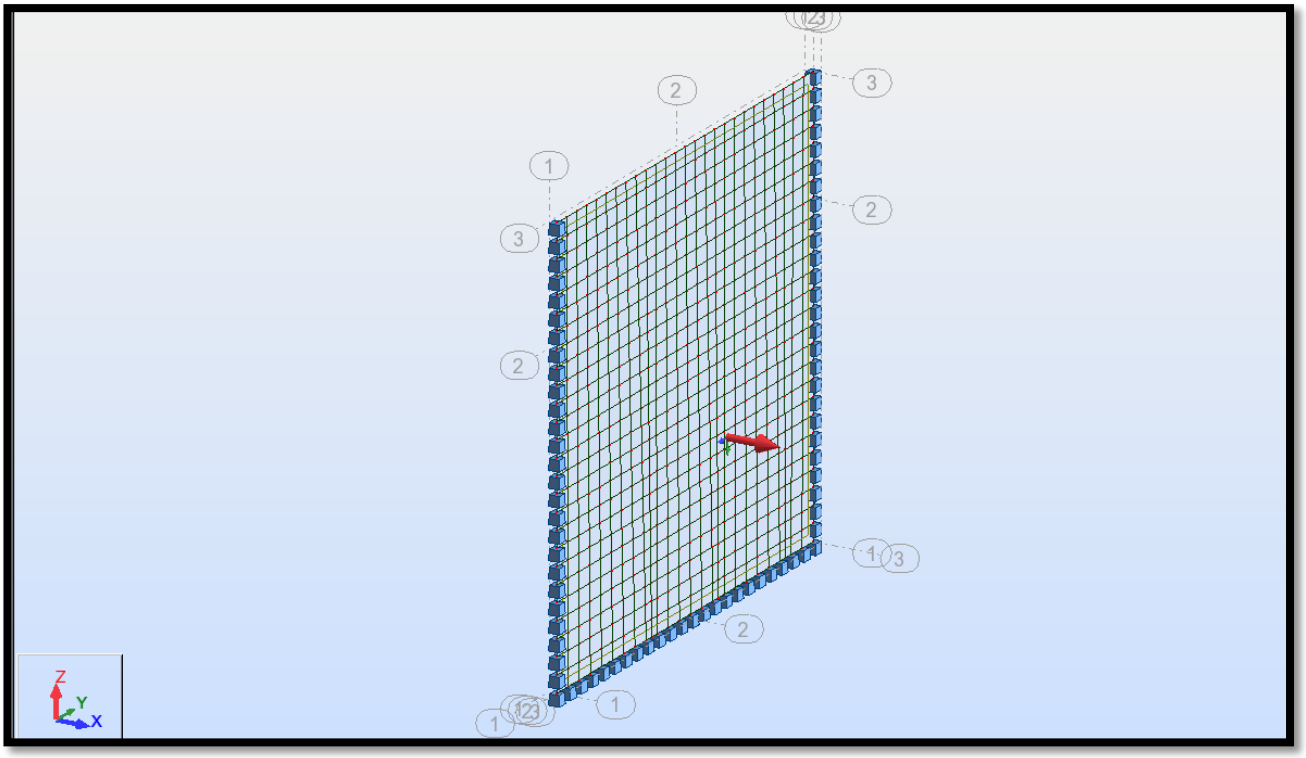
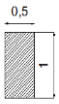
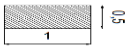
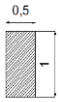
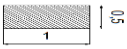


Figure IX. 17 : Schéma de calcul

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant

	ELU	**ELS**	**ACC**	**SECTION RESISTANTE**
DANS LES BORDS				
MXX(tm/ml)	19	14	32	
SECTION D'ACIER	8cm2 (HA20/15)		8cm2(HA20/15)	
MYY(tm/ml)	24	18	40	
SECTION D'ACIER	23cm2(HA20/10)		22cm2(HA20/13)	
SECTION COURANTE				
MXX(tm/ml)	8.5	6	14	
SECTION D'ACIER	4cm2(HA20/25)		4cm2(HA20/25)	
MYY(tm/ml)	7	5	11	
SECTION D'ACIER	6cm2(HA14/30)		6cm2(HA14/30)	

IX.4.4.6 Ferraillage Poutre de couronnement

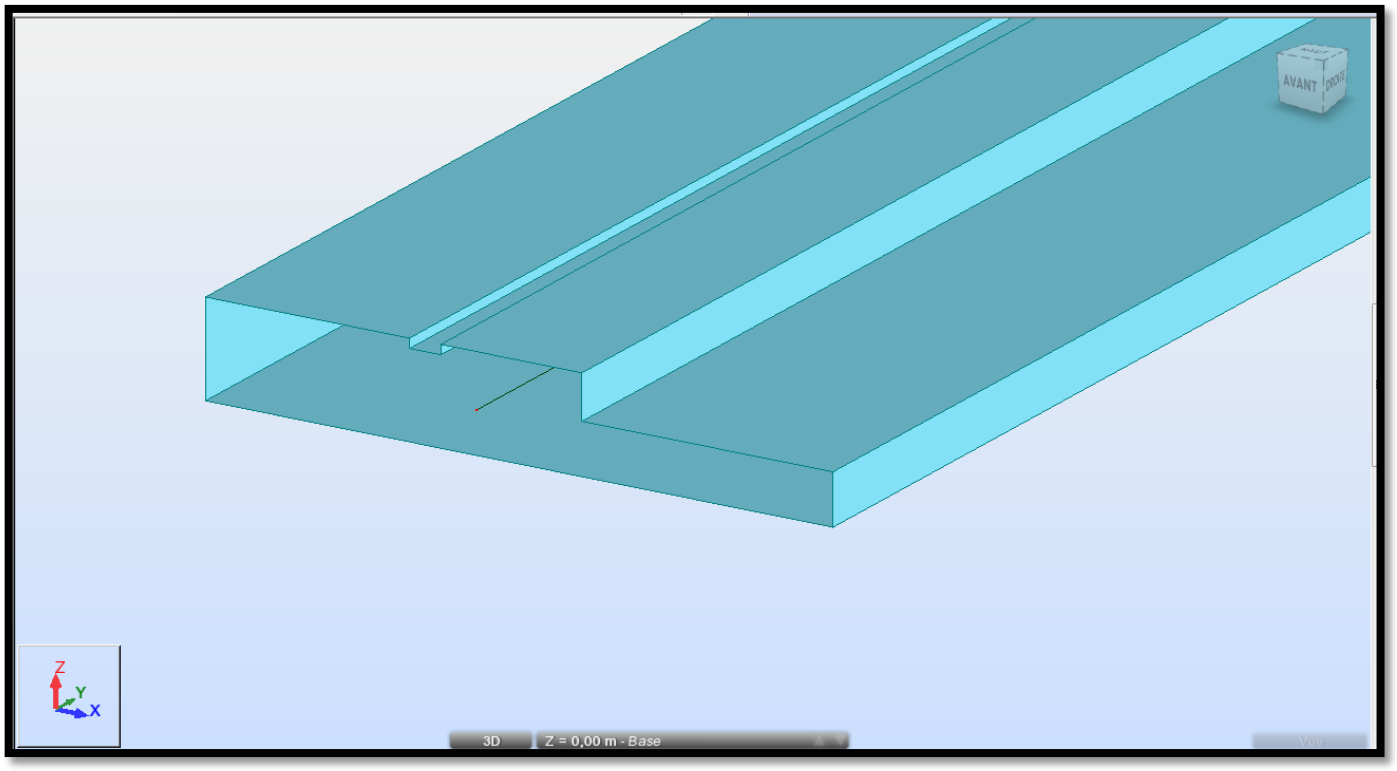


Figure IX. 18 : Poutre de couronnement

Les charges agissantes sur la poutre de couronnement sont :

- une charge d'exploitation de 5T/m2
- la charge du portique
- charge d'accostage
- charge d'amarrage

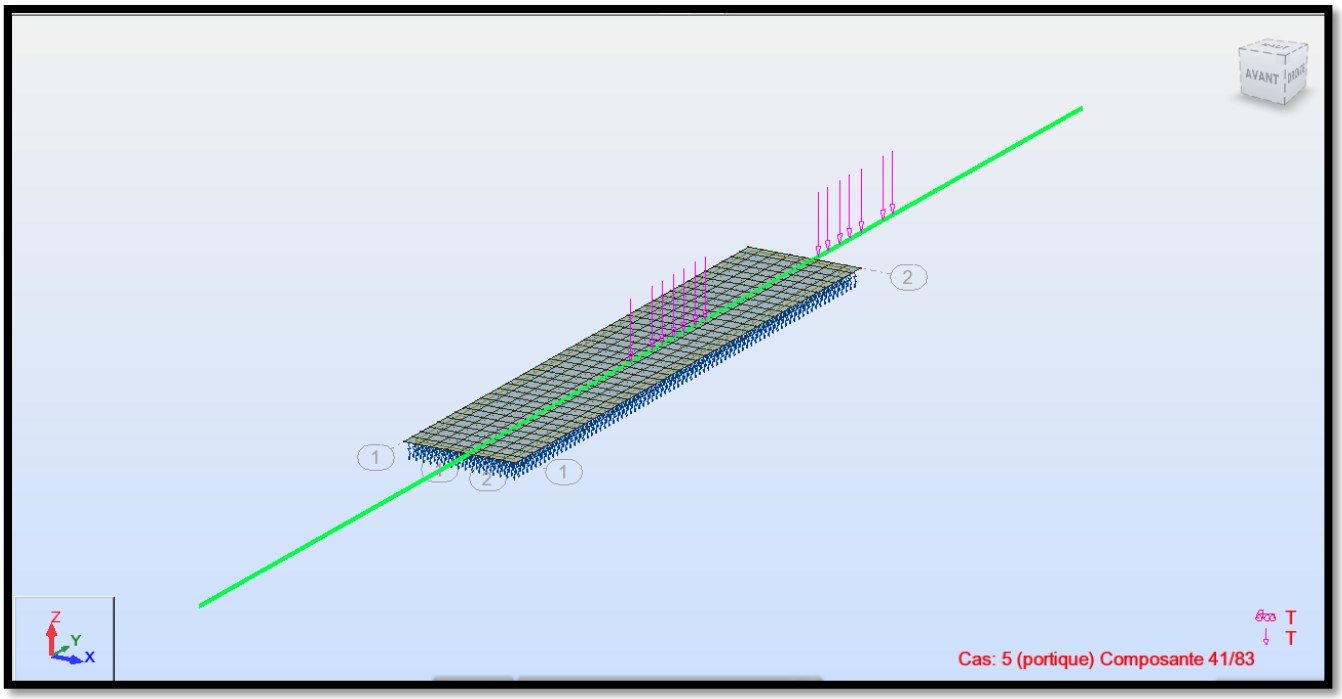


Figure IX. 19 : les charges agissantes sur la poutre de couronnement

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau IX. 14 : Les résultats de calcul.

SECTION DE BÉTON AU DROIT DU PORTIQUE				
	ELU	ELS	Section d'acier (cm2)	Ferraillage
Mxx (tm/ml)	**54**	**40**	**18**	**HA20/15**
Myy(tm/ml)	**51**	**38**	**18**	**HA20/15**
SECTION COURANTE				
Mxx(tm/ml)	**13**	**10**	**5**	**HA14/20**
Myy(tm/ml)	**27**	**20**	**10**	**HA14/15**

IX.5 CONCLUSION :

En conclusion, on trouve que les ouvrages extérieurs et intérieurs de notre port sont stables au glissement, au renversement ainsi qu' au poinçonnement dans les différents cas de chargement, donc on peut assurer la protection du port contre l'action des houles et de la stabilité des navires lors de leurs accostages à l'intérieur du port

CHAPITRE X :

SIGNALISATION MARITIME.

X.1 INTRODUCTION :

La signalisation maritime est un service public assuré aux citoyens et usagers de la mer, navigateurs professionnels, plaisanciers réguliers ou occasionnels. Les aides à la navigation, lumineuses (phares, feux), visuelles (bouées…) ou radioélectriques (bouées radars, systèmes de navigation par satellite…), indiquent les routes sécurisées aux navigateurs en matérialisant les principaux dangers. Elles leur permettent de se positionner, de se repérer en mer et à l'entrée des ports et estuaires. Elles assurent une cohabitation apaisée des différents usages de la mer (transport, loisirs, pêche, énergies marines…).

X.2 PRINCIPALES ACTIONS DE SIGNALISATION MARITIME :

-Définition de la stratégie et de la réglementation en matière de signalisation maritime et de dispositifs d'aide à la navigation

-Modernisation de l'activité et prise en compte des évolutions technologiques ;

-Mise en place de programmes d'équipement et d'entretien des installations de signalisation ;

-Garantie du bon fonctionnement et de l'entretien du parc d'aides à la navigation (environ 6 100 aides) ;

-Garantie du bon fonctionnement et de l'entretien des navires (baliseurs) indispensables à l'entretien des aides à la navigation en mer ;

-Entretien et valorisation du patrimoine, mise en place de partenariats.

X.3 LES BALISES ET LES FEUX :

En mer, le balisage a pour objectif d'indiquer aux navires la route à suivre, les dangers ou les zones interdites à la navigation. Les balises peuvent se présenter sous différentes formes selon leur emplacement :
– elles peuvent être fixes (espar ou tourelle) quand un support permet de les fixer.
– elles sont flottantes et reliées au fond par une chaîne quand la profondeur est trop importante : les bouées.

Fixes ou flottantes, ces balises doivent être facilement identifiables grâce à leurs couleurs, leur forme et leur voyant (partie supérieure en forme de sphère, de cône ou de croix).
De nuit, elles sont équipées de feux dont le rythme et la couleur permettent de les distinguer.

Les différents rythmes des feux :
– à éclat : la durée de la lumière est plus courte que l'obscurité
– à occultation : la durée de lumière est plus longue que l'obscurité
– isophase : temps de lumière et d'obscurité identiques
– scintillant : entre 50 et 160 scintillements par minute

X.3.1 Marques latérales :

Les chenaux ou les entrées de ports sont balisés par ces marques. Le sens conventionnel est celui que suit le navire venant de haute mer lorsqu'il s'approche d'un port, d'une rivière, d'un estuaire ou d'une autre voie d'eau.

Un navire qui entre dans un port doit laisser la bouée rouge sur son côté bâbord et la bouée verte sur son côté tribord.

Marque bâbord :

La marque bâbord à un voyant cylindrique de couleur rouge et son feu est rouge avec un rythme quelconque.

Il faut la laisser à bâbord en venant du large (sens conventionnel) et la laisser à tribord en sortant du port.

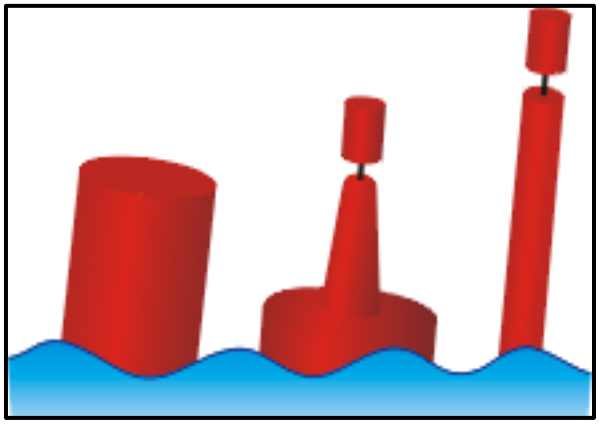


Figure X. 1 : Bâbord Gauche Balise rouge.

Marque tribord :

La marque tribord à un voyant conique de couleur verte et son feu est vert avec un rythme quelconque.

Il faut la laisser à tribord en venant du large (sens conventionnel) et la laisser à bâbord en sortant du port.

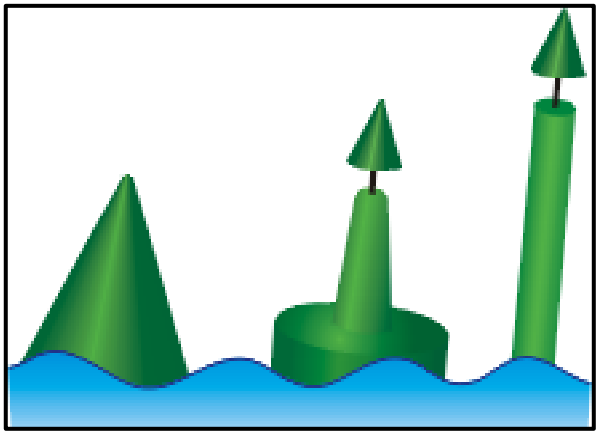


Figure X. 2 : Tribord Droite Balise verte.

X.3.2 Marque de chenal principal à tribord :

Cette bouée est une bouée bâbord qui comporte une bande verte en son milieu, la bouée marque simplement l'existence d'un chenal secondaire de l'autre côté.

Son feu est de couleur rouge avec un rythme (2+1).Il faut la considérer principalement comme une bouée bâbord et donc la laisser à bâbord pour suivre le chenal principal et la laisser à tribord pour prendre le chenal secondaire.

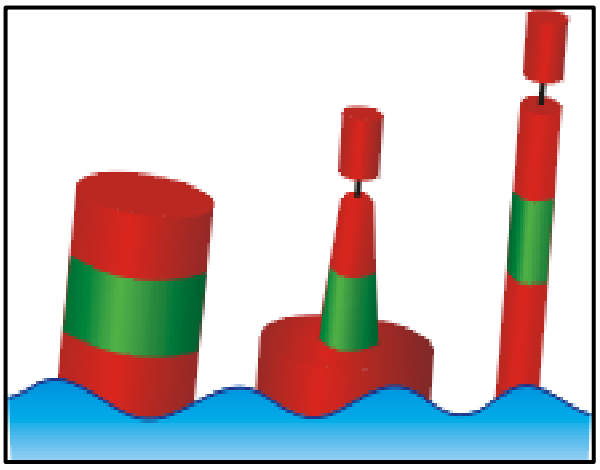


Figure X. 3 : Marque de chenal principal à tribord

X.3.3 Marque de chenal principal à bâbord :

Comme la précédente, la bouée est une bouée tribord qui comporte une bande rouge en son milieu, la bouée marque simplement l'existence d'un chenal secondaire de l'autre côté.

Son feu est de couleur verte avec un rythme (2+1).La considérer principalement comme une bouée tribord et donc la laisser à tribord pour suivre le chenal principal et la laisser à bâbord pour prendre le chenal secondaire.

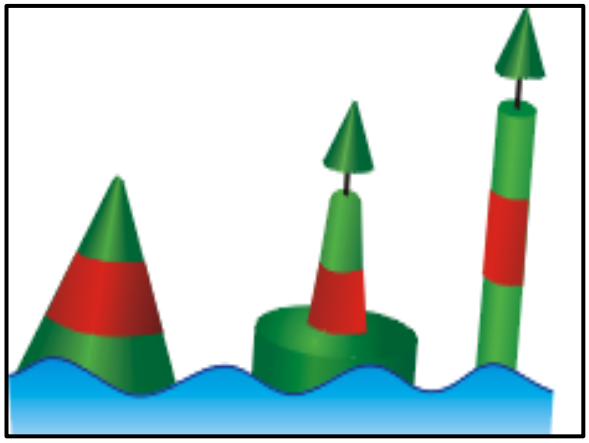


Figure X. 4 : Marque de chenal principal à bâbord

La nuit: ces bouées sont éclairées par des feux, rouge pour bâbord, et vert pour tribord, avec un rythme quelconque autre que ceux des marques de chenal préféré

On retrouve ce balisage dans le monde entier, avec quelques différences selon les régions. La France utilise le système de balisage « région A ». Le continent Américain, le Japon, la Corée et les Philippines appartiennent à la « région B ».
La différence entre les deux régions est la couleur des balises latérales :
– en région A vert pour tribord et rouge pour bâbord
– en région B verte pour bâbord et rouge pour tribord.
Toutes les autres caractéristiques du système de balisage sont les mêmes pour les deux régions.

X.3.4 Marques cardinales :

Les marques cardinales portent ce nom car elles font référence aux points cardinaux. Elles entourent un danger d'une grande superficie. Elles indiquent la route à suivre pour éviter le danger.
Les marques cardinales sont au nombre de quatre et servent à baliser un danger par rapport à un point cardinal.

La disposition des couleurs et des triangles indique de quel côté laisser la balise.

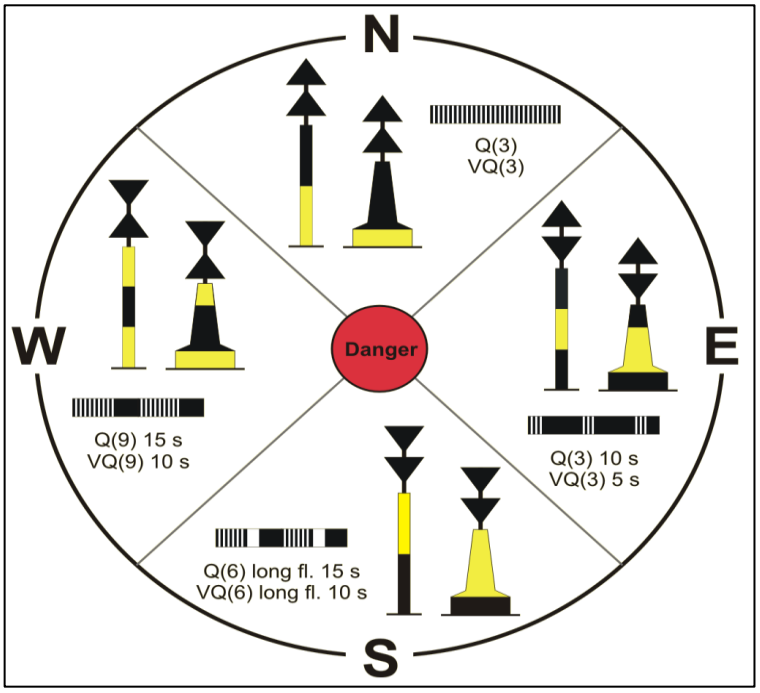


Figure X. 5 : Types de la Cardinale

Cardinale Nord (passer au nord) :

- couleur : noir – jaune.
- voyant : deux cônes noirs, pointes vers le haut
- feu : scintillant blanc continu.
- Position du danger : au Sud de la bouée.

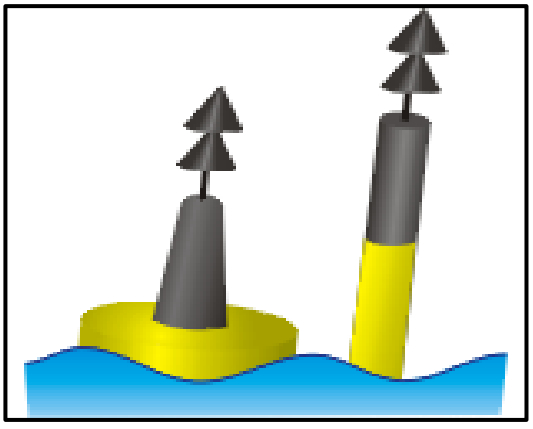


Figure X. 6 : Marque cardinale Nord

Cardinale Sud (passer au sud) :

- couleur : jaune – noir
- voyant : deux cônes noirs, pointes vers le bas.
- feu : blancs, six éclats groupés suivis d'un éclat long.
- Position du danger : au Nord de la bouée.

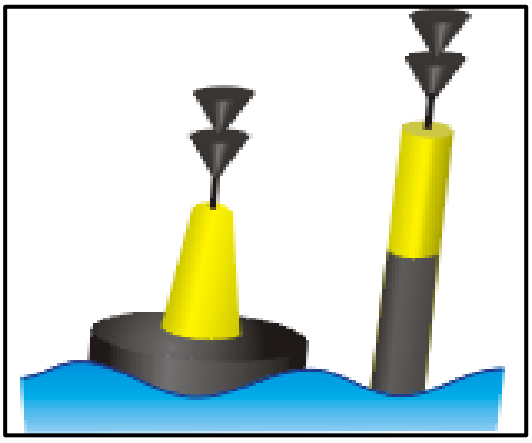


Figure X. 7 : Marque cardinale Sud

Cardinale Est (passer à l'est) :

- couleur : noir – jaune – noir.
- voyant : deux cônes noirs, pointes opposées.
- feu : blanc, trois éclats groupés.
- Position du danger : à l'Ouest de la bouée.

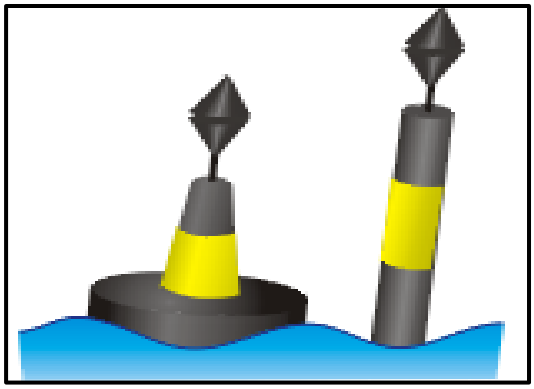


Figure X. 8 : Marque cardinale Est.

Cardinale Ouest (passer à l'ouest) :

- couleur : jaune – noir – jaune.
- voyant : deux cônes noirs, pointes jointes.
- feu : blanc, neuf éclats groupés.
- Position du danger : à l'Est de la bouée.

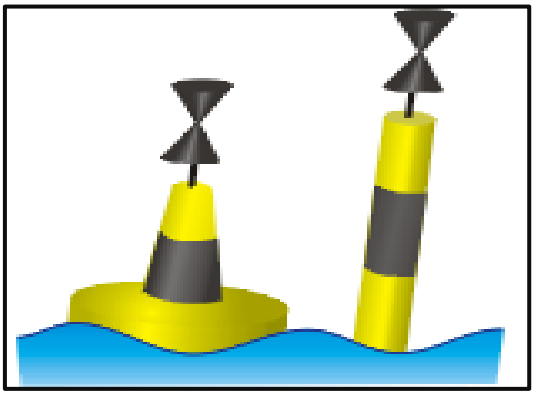


Figure X. 9 : Marque Cardinale Ouest

X.3.5 Les autres marques :

Danger isolé :

La marque danger isolé signale un écueil peu étendu, situé généralement à l'endroit où est positionnée la balise. La balise peut être laissée indifféremment à bâbord ou à tribord.

Elle est composée d'un voyant à 2 boules noires. Sa couleur est noire, avec une ou plusieurs bandes rouges.

La nuit: feux blancs à éclats groupés par deux.

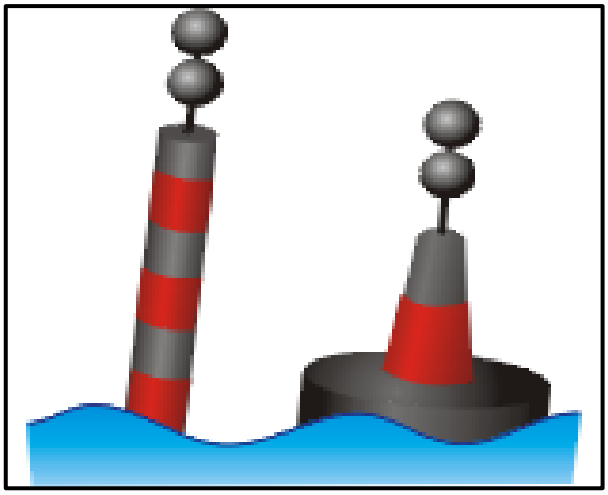


Figure X. 10 : Marque danger isolé.

Marques d'eaux saines :

La marque d'eaux saines indique qu'autour de la marque, les eaux sont libres de tout danger (par exemple, marque de milieu de chenal). Elle peut être laissée indifféremment à bâbord ou à tribord.

Elle est composée d'un voyant à une boule rouge. Sa couleur est rouge, avec une ou plusieurs bandes blanches.

La nuit : feu blanc avec possibilité de 4 rythmes différents
– isophase
– à occultation
– à éclat long (plus de 2 secondes)
– au rythme de la lettre Morse A.

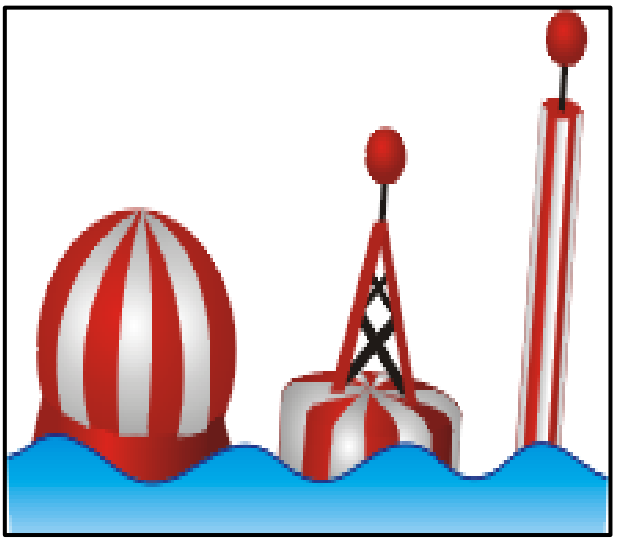


Figure X. 11 : Marque d'eaux saines .

Marque spéciale :

La marque spéciale n'a pas pour but principal d'aider la navigation, mais indique une zone ou une configuration mentionnée dans les documents nautiques. Ce sont par exemple, des marques indiquant :

-les dépôts de matériaux ;

-des zones d'exercice militaire ;

-la présence de de câbles ou d'oléoducs ;

-une zone réservée à la plaisance.

La couleur de la balise est de couleur jaune. Son feu, lui aussi jaune, a un rythme quelconque.

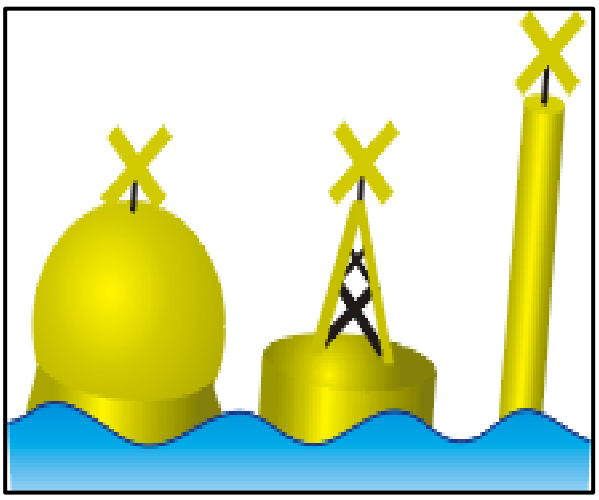


Figure X. 12 : Marque spéciale.

Marques d'épave en cas d'urgence :

La marque d'épave en cas d'urgence est maintenue en place j'jusqu'à ce que l'épave soit bien connue et ait été mentionnée dans les publications nautiques

Elle est composée d'un voyant en forme de croix en position droite de couleur jaune. Sa couleur est jaune, avec une ou plusieurs bandes bleues.

Son feu est de couleur bleu et jaune avec un rythme bleu 1 s + 0.5 s + jaune 1 s + 0.5 s = 3 s

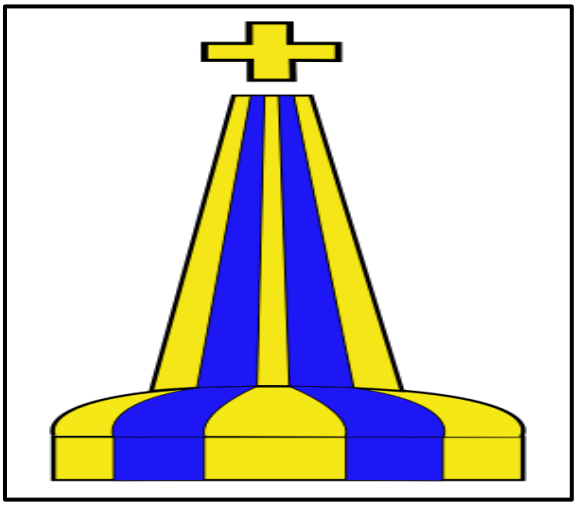


Figure X. 13 : Marque d'épave en cas d'urgence.

X.4 LES PHARES :

Les phares servent à signaler aux marins la zone de navigation dans laquelle ils se trouvent. Composés d'une tour érigée en hauteur afin d'être vus de loin, ils sont dotés d'un système d'éclairage très puissant qui sert à guider les bateaux dans la nuit. On les différencie des feux à l'aide d'un nombre minimum de critères à remplir concernant leur fonction, leur hauteur, leur intensité d'éclairage, et la présence ou non dans l'infrastructure de bâtiments du bureau des Phares et Balises. Si au moins deux de ces critères sont remplis par rapport aux normes fixées, l'élément de signalisation est désigné comme étant un phare ; sinon, il s'agit d'un feu.

Les phares sont constitués par quatre éléments principaux :

- Une tour, généralement située en hauteur, mais qui peut aussi être construite au large ou sur un promontoire quelconque. En Seine-Maritime, on les rencontre souvent sur la falaise.
- Une lampe, qui envoie un puissant éclairage.
- Un système optique, qui lui, concentre et dirige la lumière.
- Une lanterne, qui protège le système d'éclairage des intempéries.

Il existe trois types de phares :

- Les phares de grand atterrissage, marquant les tournants des routes de navigation.
- Les phares d'atterrissage secondaire, indiquant le tracé de routes très fréquentées.
- Les phares d'entrée de port, qui comme leur nom l'indique marquent l'entrée des ports, mais aussi des estuaires.

Il existe trois types d'éclairage :

- Fixe ;
- Clignotant ;
- Coloré.

X.5 VISITE DU PHARE CAP-CAXINE A BAINEM :

Dans le cadre d'améliorer et de compléter notre formation d'ingénieur, une visite du phare **cap-caxine** riche en information a été effectué le 2 juin 2021 à bainem, dont on a pu découvrir son rôle et son fonctionnement.

Il fait partie des 26 phares du littoral algérien et l'un des plus beaux phares en Algérie.



Figure X. 14 : le phare de cap-caxine.

X.5.1 Description du phare :

Le **phare de Cap-Caxine** est un phare d'atterrissage situé à environ 2 km de l'entrée Ouest de la baie d'Alger. Il est accessible par la route, à l'ouest-nord-ouest du port d'Alger, est une tour carrée de 37,4 m de hauteur avec encorbellement à la partie supérieure et chaînes d'angle en maçonnerie de pierres apparentes. Sur la tour lanterne à entretien intérieur qui culmine à 68,4 m au-dessus du niveau de la mer.

L'éclairage est assuré par un feu blanc à éclat ; lumière 0,2 s, obscure 4,8 s, de 29 miles, soit 54 km environ de portée. La lampe a une puissance de 1000 W pour une tension de 220 V.

Le phare abrite le musée de l'Office national de signalisation maritime.



Figure X. 15 : photos prises lors de la visite du phare cap-caxine.

X.6 CARACTERISTIQUES DU BALISAGE PROPOSE POUR L'EXTENSION DU PORT DE TENES :

X.6.1 Implantation du balisage :

Le balisage proposé pour l'extension du port de Tenes est :

- Un feu au niveau de falaise
- L'ajout d'une bouée tribord, afin de signaler l'entrée du chenal.
- Un feu bâbord en extrémité de digue.
- Un feu indiquant l'existence d'une zone réservée à la plaisance.
- L'ajout d'un feu en extrémité de brise lame

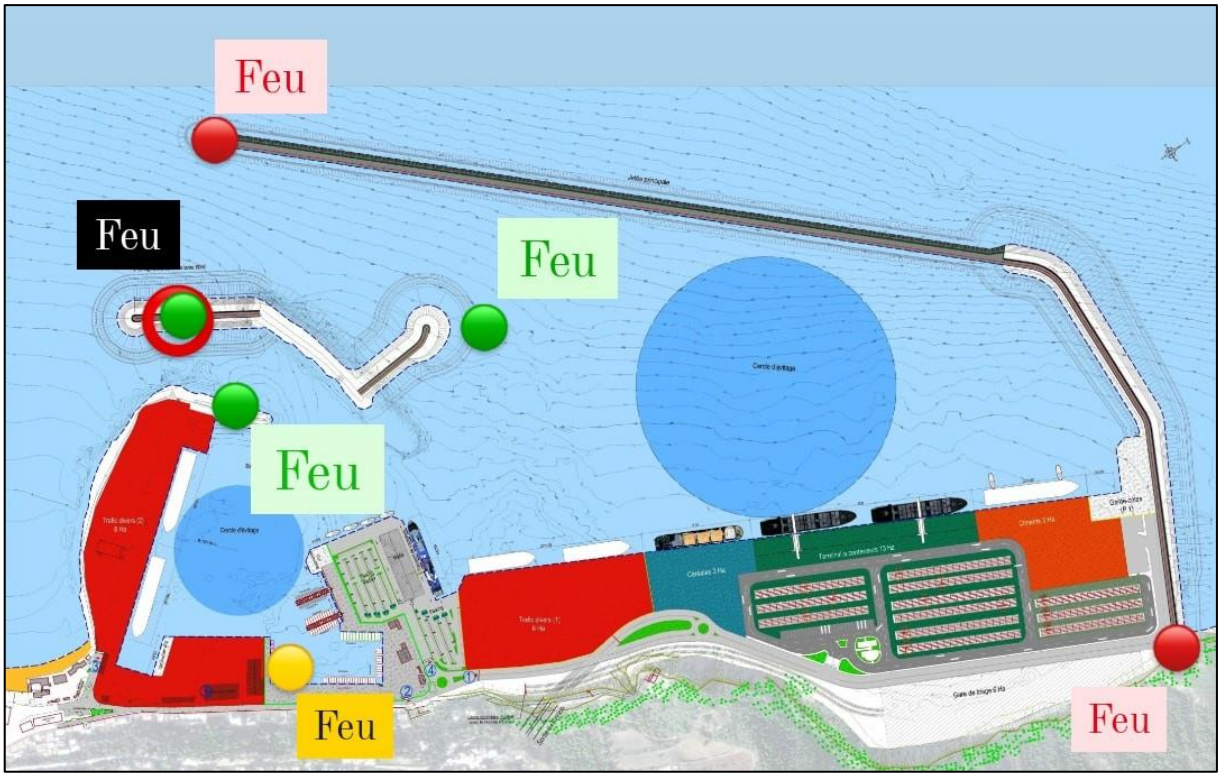


Figure X. 16 : Plan du balisage proposé

X.7 CONCLUSION :

Il existe partout dans le monde une signalisation maritime qui guide les bateaux à bon port. Les balises délimitent les dangers et chemins d'accès aux ports tandis que les phares visibles de très loin guident les bateaux qui sont au large vers la côte.

CHAPITRE XI :

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.

XI.1 INTRODUCTION :

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est un processus qui au tout début de la planification cerne et évaluer les risques d'incidence environnementale découlant d'un projet prévu. L'EIE établit les mesures qui peuvent être adoptées pour contrer les effets environnementaux négatifs ou pour les réduire à des niveaux acceptables au préalable. L'EIE représente donc une approche proactive et préventive en matière de gestion et de protection environnementales.

XI.2 OBJECTIF DE L'ETUDE :

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et / ou indirects du projet, et vérifier la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné. Elle réglemente toute modification de la dimension des installations, de la capacité de traitement et / ou de la production et des procédés technologiques

XI.3 CADRE JURIDIQUE :

Tableau XI. 1 : Textes législatifs et réglementaires complets régissant les études

Secteur : environnement			
	Nature/Référence du texte	**Intitulé**	**Référence journal officiel**
01	Lois n°03-10 du 19 juillet 2003	Relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.	JORADP n°43 du 20 juillet 2003, page6.
02	Lois n° 02-02 du 5 février 2002	Relative à la protection de l'environnement et à la valorisation du littoral,	JORADP n°10 du 12 février 2002 page 18.
03	Décret exécutif n°06-198du 31 mai 2007	Définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.	JORADP n°37du 4 juin 2006, page8.
04	Décret n°07-144 du 19 mai 2007	Fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement	JORDAP n°34 du 22 mai 2007, page3.
05	Décret n°07-144 du 19 mai 2007	Déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.	*JORADP n°34, du 22 mai 2007, page 105.*
06	Décret exécutif n°18-255 du 9 octobre 2018	Modifiant et complétant le décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 Déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.	JORADP n°34 du 22 mai 2007, page 105.
07	Décret exécutif n° 19-241 du 8 septembre 2019	Modifiant et complétant le décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 Déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.	JORADP n°54 du 8 septembre 2019.page 6.

XI.4 IDENTIFICATION DES IMPACTS POTENTIELS :

L'identification des impacts s'effectue en suivant une méthode qui met en relation les activités (ou sources d'impact) prévues dans la cadre de la réalisation du projet et les composantes pertinentes du milieu. Pour chacune des interrelations entre les activités et les composantes pertinentes, il s'agit d'identifier la probabilité d'un impact.

Les impacts sur les composantes du milieu sont généralement identifiés dans l'ordre suivant : ceux du milieu physique, puis du milieu biologique ainsi que ceux du milieu humain. De cette façon, il est possible de mettre en évidence, d'une part, les sources d'impact directes du projet sur le sol, l'air et l'eau et d'autre part, les impacts indirects sur les milieux biologique et humain qui découlent des modifications appréhendées sur le milieu physique.

XI.5 LES PRINCIPALES SOURCES D'IMPACT :

L'utilisation et l'entretien de la machinerie.

- Circulation des camions qui transportent les matériaux.
- Démantèlement du chantier (fin des travaux).
- Le déversement des produits pétroliers (huiles, carburants, ...).
- Le déversement en mer des eaux usées non traitées.
- Le stockage et la gestion des matières dangereuses et des carburants.
- La présence des infrastructures.

XI.6 ÉVALUATION ET DESCRIPTION DES IMPACTS :

L'évaluation des impacts environnementaux consiste à déterminer l'importance de chaque impact probable identifié dans la matrice d'interrelation. L'évaluation comporte parfois un jugement de valeur, mais elle permet souvent d'établir des niveaux d'acceptabilité et de définir les besoins en matière d'atténuation, de compensation, de surveillance et de suivi des impacts. L'importance d'un impact dépend toujours du degré de perturbation anticipée pour une composante environnementale donnée. Son évaluation se fait en utilisant différents critères comme le caractère d'un impact, son intensité ou son ampleur, son étendue dans l'espace et sa durée.

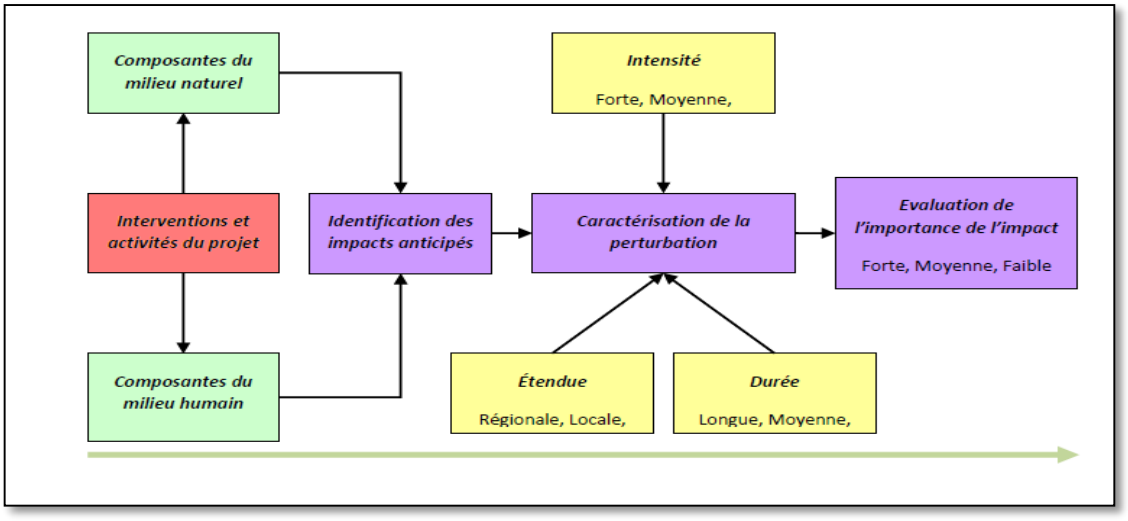


Figure XI. 1 :schéma représente l'approche d'identification et d'évaluation l'étude d'impact.

L'identification des impacts se fait par confrontation des composantes du milieu récepteur aux éléments de chaque phase du projet. Pour chacune des interrelations entre les activités du Projet et les composantes pertinentes du milieu, il s'agit d'identifier tous les impacts probables.

XI.6.1 L'EVALUATION DES IMPACTS

La méthode suivie pour réaliser ce travail repose essentiellement sur les grilles de détermination des impacts potentiels de projets d'aménagement portuaires. Ces grilles sont basées sur le retour d'expérience de nombreux projets similaires, et les visites de terrain réalisées par les divers spécialistes. Pour évaluer quantitativement et qualitativement l'impact d'un projet sur son environnement lorsqu' on ne dispose pas dans certains domaines des valeurs chiffrées. Il est fait appel à un système de hiérarchisation de l'impact basé sur les niveaux suivants :

- **Impact négligeable**: impact suffisamment faible pour que l'on puisse considérer que le projet n'a pas d'impact.

- **Impact mineur**: impact dont l'importance ne justifie pas de mesure environnementale ou compensatoire.

- **Impact modéré**: impact dont l'importance peut justifier une mesure environnementale ou compensatoire.

- **Impact majeur**: impact dont l'importance nécessite une mesure environnementale ou compensatoire.

XI.6.2 LA DESCRIPTION DES IMPACTS

PHASE DE CONSTRUCTION :

Milieu physique : Durant la phase de construction l'évaluation des impacts à ressortie des niveaux d'importance de faible à moyenne, ayant une action directe sur les éléments du milieu naturel et humain, et nous intéressons vraiment aux impacts associes à la réalisation du chantier.

Environnement sonore : Les engins de travaux publics génèrent irrémédiablement du bruit au niveau du chantier et de ses alentours. Puisque sa durée est occasionnelle et son étendue locale, le degré de perturbation est considéré très faible et L'importance de l'impact négligeable.

Qualité du l'air : Cet impact est principalement généré localement par les engins de travaux publics utilisés sur site lors des travaux de terrassement et de manutention des matériaux de carrière. La noria de camions devant alimenter le chantier en matériaux aura également un effet d'altération de la qualité de l'air et ce sur l'ensemble des trajets reliant le chantier aux lieux d'approvisionnement.

Qualité de l'eau : Les impacts sur la qualité de l'eau au site peuvent être liés à la mise en suspension de Particules et à la contamination provenant du chantier.

Opération de dragage et déroctage : Les opérations de dragage et déroctage engendre la destruction d'habitat, perte de la faune benthique source d'alimentation, la mise à nue de la surface qui est non propice à la recolonisation.

L'importance de l'impact de ces opérations est modérée vue que leur durée sont temporaire et leur étendue locale. L'importance de l'impact est moyenne.

Régime sédimentaire : Vu la nouvelle configuration géométrique ainsi que son emprise sur la baie, le port aura un impact moyen sur la circulation des courants localement et donc sur le remaniement des sédiments. L'importance de l'impact est moyenne.

Qualité du sol : Les travaux d'aménagements généreront de multiples déchets, l'entreprise de réalisation sera instruite de prendre les dispositions qui s'imposent à l'effet de récupérer et d'évacuer à un endroit désigné par le maître de l'ouvrage, de tous les déchets afin de préserver le milieu naturel.

Milieu humaine Sécurité du publique : La sécurité publique doit être assurée aux abords du chantier et particulièrement sur les chemins et routes empruntés par les engins de travaux publics et ce par la mise en place d'une signalisation visuelle conséquente et par la communication envers la population.

Paysage : L'impact est dû à l'aire prévue pour la mise en place des différentes installations nécessaires au fonctionnement du chantier, Cet impact sera limité dans le temps et dans l'espace étant donné qu'une partie de la surface sera reprise. La future extension de l'abri de pêche s'intègrera à l'agglomération en raison de l'insertion de l'ouvrage à son environnement sans le dénaturer vu que ce dernier existait déjà, et qu'il va constituer un ouvrage de protection d'un point de vue visuel d'abord et technique ensuite.

Milieu biologique : Les composantes du milieu biologique susceptibles d'être affectées par le projet sont l'ichtyo faune, la faune benthique et l'herbier à posidonies. Pour ces raisons,

une valeur environnementale grande a été jugée représentative. Cette composante environnementale regroupe autant la sauvegarde des espèces que leurs habitats.

PHASE D'EXPLOITATION :

Milieu physique Qualité de l'eau : Les impacts sur la qualité de l'eau au site peuvent être liés à la mise en suspension de particules, à la perte de contaminants, le déversement en mer des eaux usées non traitées par les navires fréquentant le port et les résidus de peinture et produits antisalissure provenant du lessivage de la plateforme de la zone de réparation.

Milieu humain Emploi et économie : Le démarrage de l'activité de pêche induira une création d'emplois appréciable aussi bien dans ce secteur, dans les industries de transformation des produits halieutiques et dans la réparation navale. Une valeur environnementale grande a été attribuée à cet élément du milieu humain. Cette grande valeur est reliée à l'impact direct du projet sur l'économie locale et régionale.

Milieu biologique : La construction de la nouvelle jetée permet de créer un habitat artificiel supplémentaire qui sera colonisé par des espèces marines locale .**Etude d'impact sur l'environnement du dragage et déroctage et rejet en mer des sédiments du port de TENES –Wilaya CHLEF**

Dans le cadre des travaux de dragage et du déroctage du port de Ténès afin d'améliorer sa situation et ces capacités nautique d'accueil, la Direction des travaux publique de la wilaya de chlèf a confié au Laboratoir e des Etudes Maritimes (LEM) la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement du dragage et déroctage du port de Ténès qui consiste à déterminer le devenir des sédiments dragués et matériaux déroctés après évaluation des résultats d'analyses des sédiments prélevés au niveau de l'enceinte du port et de la zone d'immersion. Des mesures d'atténuation seront proposées afin de minimiser l'incidence du projet de dragage sur l'environnement naturel et humain.

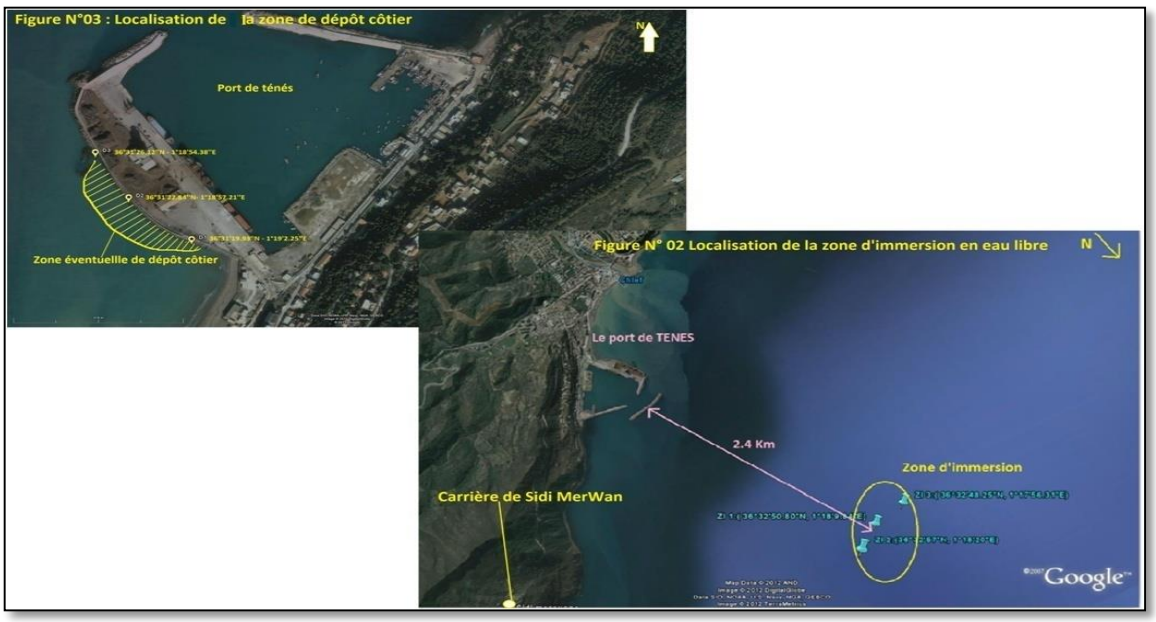


Figure XI. 2 : localisation de la zone de dépôt côtier et d'immersion en eau libre

Après analyse des différents modes de gestion des sédiments de dragage et d'après les résultats des analyses chimiques, il est déduit que le mode le plus adéquat et le plus économique et celui de l'immersion en mer des sédiments dragués **;** Voir **figure XI. 3** ci-dessus.

L'analyse des impacts des interventions a démontré que ces travaux peuvent se réaliser sans porter atteinte de façon importante à l'environnement biophysique et humain bien que ce projet entrainera un impact positif majeur au niveau de la sécurité de navigation dans le port de Ténès et des retombées économiques mineures pour les municipalités. Le programme de dragage proposé pour le port de Ténès, apparait donc acceptable sur le plan environnemental.

XI.7 MESURES DE REDUCTION ET DE COMPENSATION DES IMPACTS PROPOSE PAR NOTRE PROJET :

Les mesures d'atténuation préconisées permettront de minimiser ou de constituer des solutions de compensation des impacts négatifs qui ne pourront être atténués, et ceux résiduels.

Le sol :

- Réglementer de façon stricte la circulation de la machinerie lourde.

- Concevoir les aménagements de chantier de telle sorte que tout réservoir soit implanté à la surface du sol dans un endroit sécurisé étanche facilitant ainsi le suivi de son état général.

- Les déblais non réutilisés doivent être déposés dans des aires d'entreposage s'il est prévu de les utiliser plus tard, sinon les transporter dans des zones de remblai préalablement autorisées dans l'enceinte du chantier ou dans des endroit prévus pour un dépôts définitifs.

- Prévoir le réaménagement du site après les travaux.

L'eau :

- Toute manipulation de carburant, d'huile ou d'autres produits contaminants doit être exécutée sous une surveillance constante, afin d'éviter tout déversement dans les eaux.

- Prévoir des mesures en cas de contamination accidentelle (matières absorbantes, décapage de la couche de sol atteinte par les hydrocarbures et mise en décharge).

- Prévoir des installations de récupération et de traitement des eaux usées.

- Eviter les dépôts de déchets au niveau des cours d'eau.

- Assurer que les eaux de ruissellement en surface dévolue au stationnement des automobiles seront drainées par des réseaux de caniveaux enterrées qui aboutissent à des décanteurs déshuileurs avant d'atteindre les exutoires vers le milieu naturel.

Aire et ambiance sonore : Maintenir une fréquence suffisante d'arrosage des pistes pendant les travaux de terrassement.

- Maintenir les véhicules de transport et la machinerie en bon état de fonctionnement afin de minimiser les gaz d'échappement et le bruit.

- Réparer dans les plus brefs délais les engins de chantier et les véhicules qui produisent des émissions excessives de gaz d'échappement.

- Maintenir en bon état le système antipollution des engins de chantier et des véhicules.

La faune et la flore :

- Prévoir la compensation de la végétation défrichée et enlevée au niveau des dunes et de l'espace forestier.

- Définir clairement les aires de coupe afin d'y restreindre le déboisement.

- Eviter le déboisement et la destruction de la végétation en dehors de la limite de l'emprise de projet.

- Lors des travaux de coupe, aménager les aires d'empilement pour le bois à l'extérieur des zones humides.

- Analyse physico-chimique et celle de la faune benthique six à douze mois après la fin des travaux.

Paysage et patrimoine :

- Procéder à l'intégration paysagère de l'ensemble de la zone du projet.

- En cas de découverte de vestiges archéologiques, prévenir les autorités compétentes.

Population et qualité de la vie :

- Se concerter avec les Départements concernés (Pêche et travaux publics) pour le déplacement éventuel des pêcheurs.

- Respecter le règlement de la commune.

- Mettre sur pied un programme de communication pour informer la population des travaux (horaire, localisation, durée) par des plaques de signalisation.

XI.8 CONCLUSION

L'étude d'impact environnemental et social est l'un des éléments clé au niveau du projet. Elle est l'examen systématique des facteurs environnementaux au niveau de l'élaboration des projets et de la prise de décision. Elle s'effectue avant toute prise de décision ou d'engagement important dans un projet.

Des mesures compensatoires ainsi que des recommandations sont proposées afin de réduire au maximum les impacts négatifs sur l'environnement. Ainsi, afin de protéger la richesse naturelle que possède notre pays, il ne faut jamais prendre à la légère cette partie de l'étude

CONCLUSION GENERALE

Le stage de fin d'étude représente une étape importante et indispensable pour la formation d'un ingénieur car, il permet de mettre en pratique les prérequis durant ses années de formation qui ont été toujours purement théorique et pouvoir les appliquer en pratique dans un projet concret.

- Ce travail aussi nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances dans les travaux maritimes, ainsi que d'avoir une expérience importante dans le domaine de la construction des ports, et de connaitre les différentes étapes qui constituent une étude nécessaire à la réalisation d'un port commençant par une collecte de données sur le projet ensuite un dimensionnement des ouvrages et enfin une étude l'impact du projet sur l'environnement
- de plus, il est à noter que la réalisation de cette étude est un travail très complexe, qui demande une connaissance dans plusieurs domaines en particulier les travaux publics, d'avoir une maitrise des outils informatiques et des logiciels de modélisation numérique.
- En fin après avoir vécu ces derniers trois mois de stage et fait partie de ce monde professionnel on peut dire que ce projet de fin d'étude nous a permis de compléter notre formation.

REFERENCES

- [1] Amour Zinsou. « La gestion de la sécurité dans l'enceinte du port autonome de Cotonou ». Neptunus revue électronique. Centre de droit maritime et océanique. Université de Nantes. Vol. 16. 2010. P.1
- Archive Laboratoire d'Etudes Maritimes LEM.
- **M.Bouhaniche :** Cours de travaux maritime 4eme et 5eme années. Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP). Kouba, Alger, Algérie. (Année 2016-2017).
- **M. BENREDOUANE:** Cours de béton armé 4eme année. Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP). Kouba, Alger, Algérie. (Année 20 15-2016).
- **F. Belabdelouahab,** Cours de la Mécanique des Sols « Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), KOUBA 2015-2016.
- **J.CHAPON**: Travaux Maritimes TOME I: Le milieu marin - Le navire - La navigation - Les côtes - Les ouvrages extérieures des ports maritimes (Année 1972). Ed. Eyrolles 1984. Paris, France.
- **J.CHAPON**: Travaux Maritimes TOME II: Les ouvrages intérieurs des ports maritimes¬ —Dégagement des accès et plans d'eau des ports (Année 1974). Ed. Eyrolles 1975.
- Règlement Parasismique algérien **RPA** (99/version 2003).Ministère des Travaux Publics.
- CIRIA ; CUR ; CETMEF, Guide d'enrochements « L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques version française du Rock Manual », P09-01, CETMEF Compiègne 2009.

Logiciel utilisé :

- Robot et Robot expert
- Autocad.
- TLREN.

ANNEXE 1 :

LES EPURES DE REFRACTION

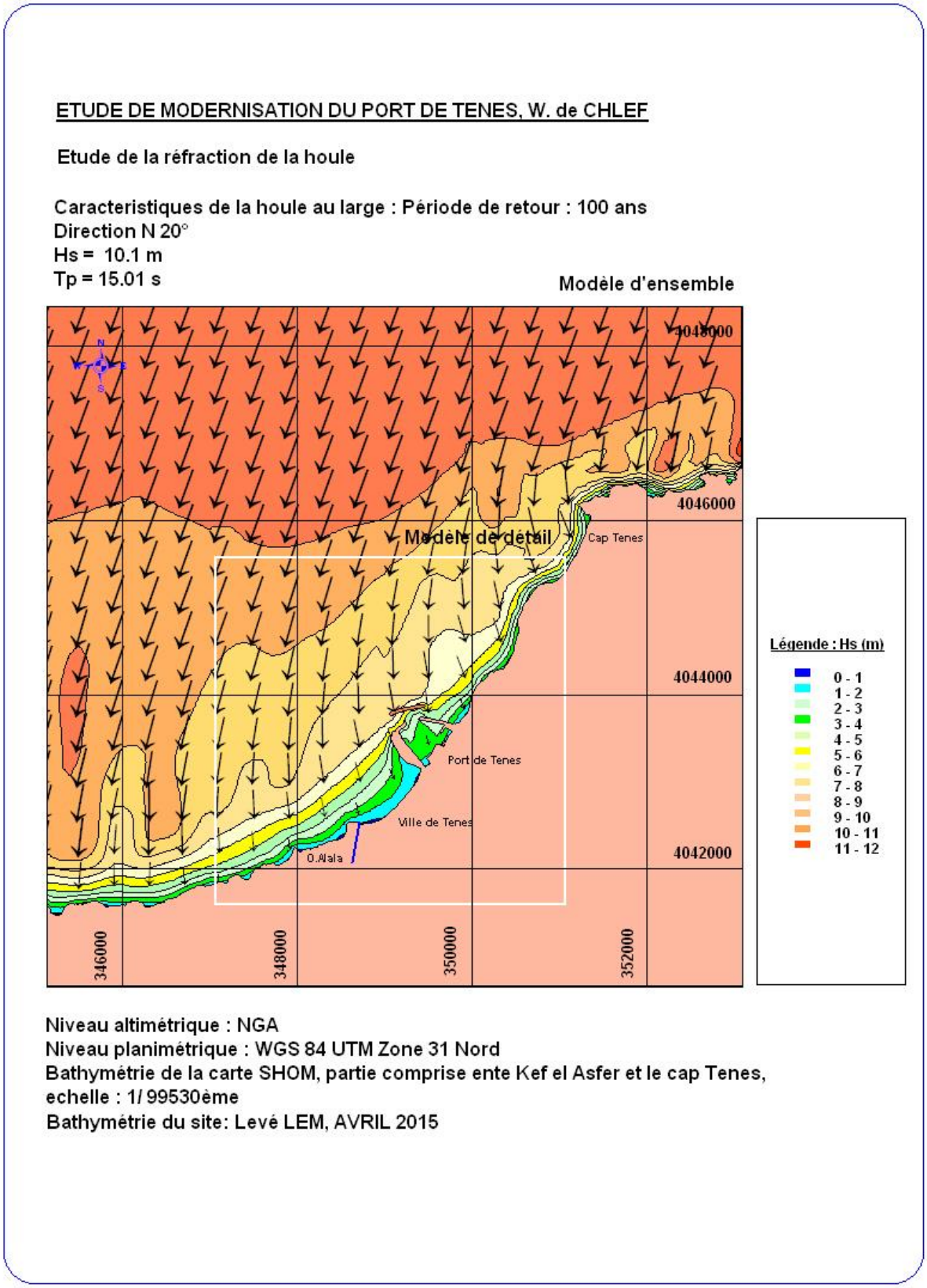


Figure 1. 1 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N20°

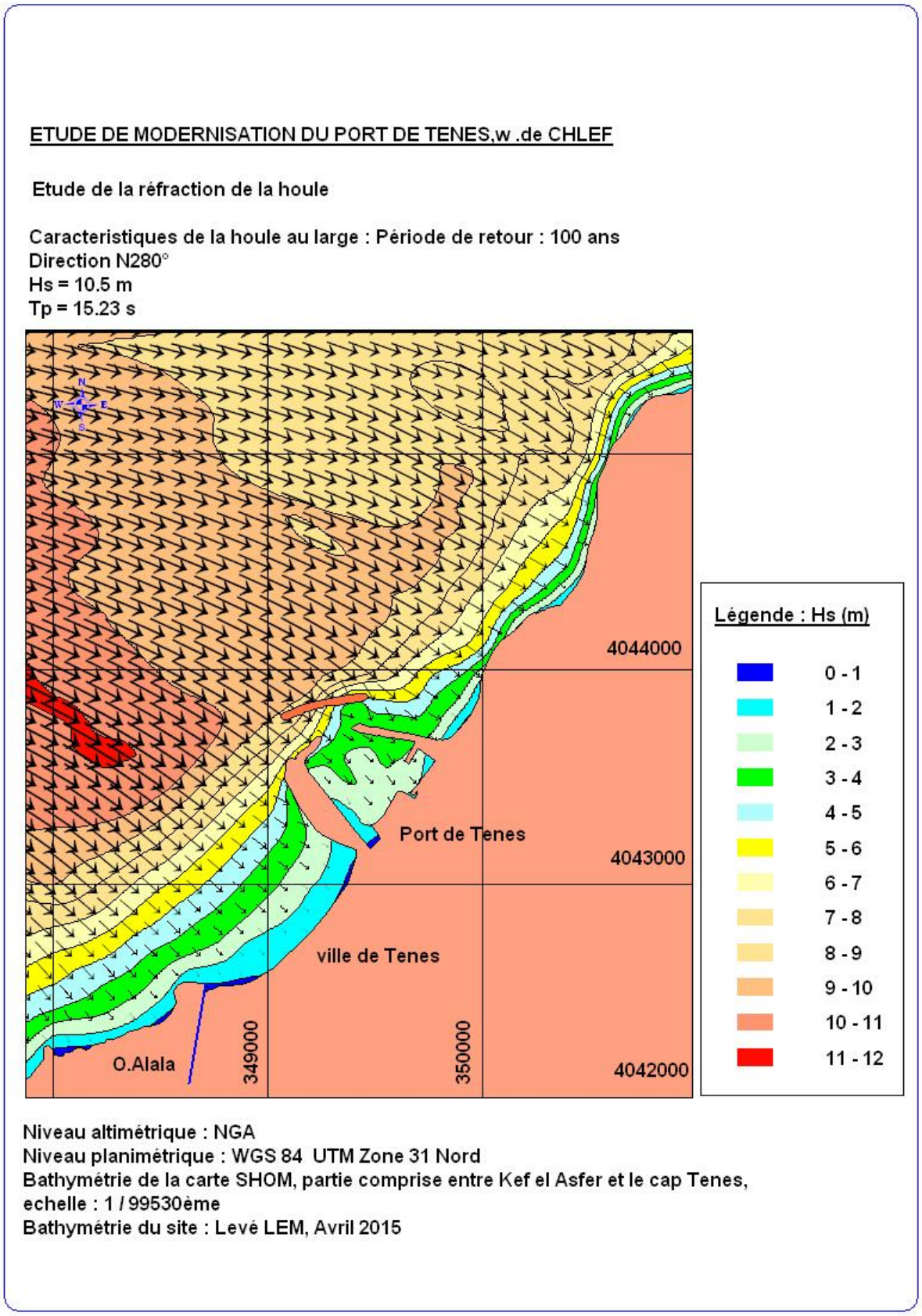


Figure 1. 2 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N280°

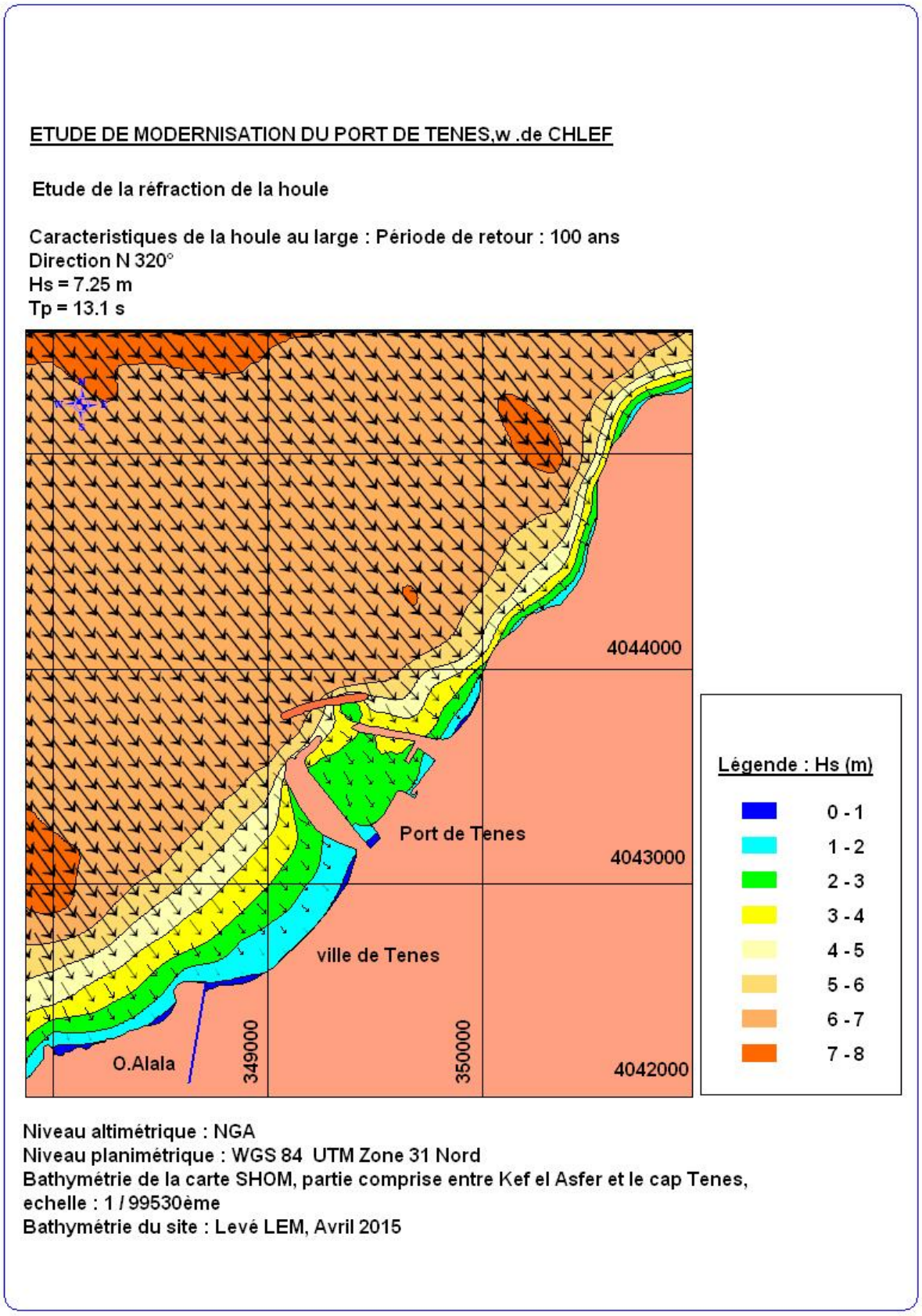


Figure 1. 3 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N320°

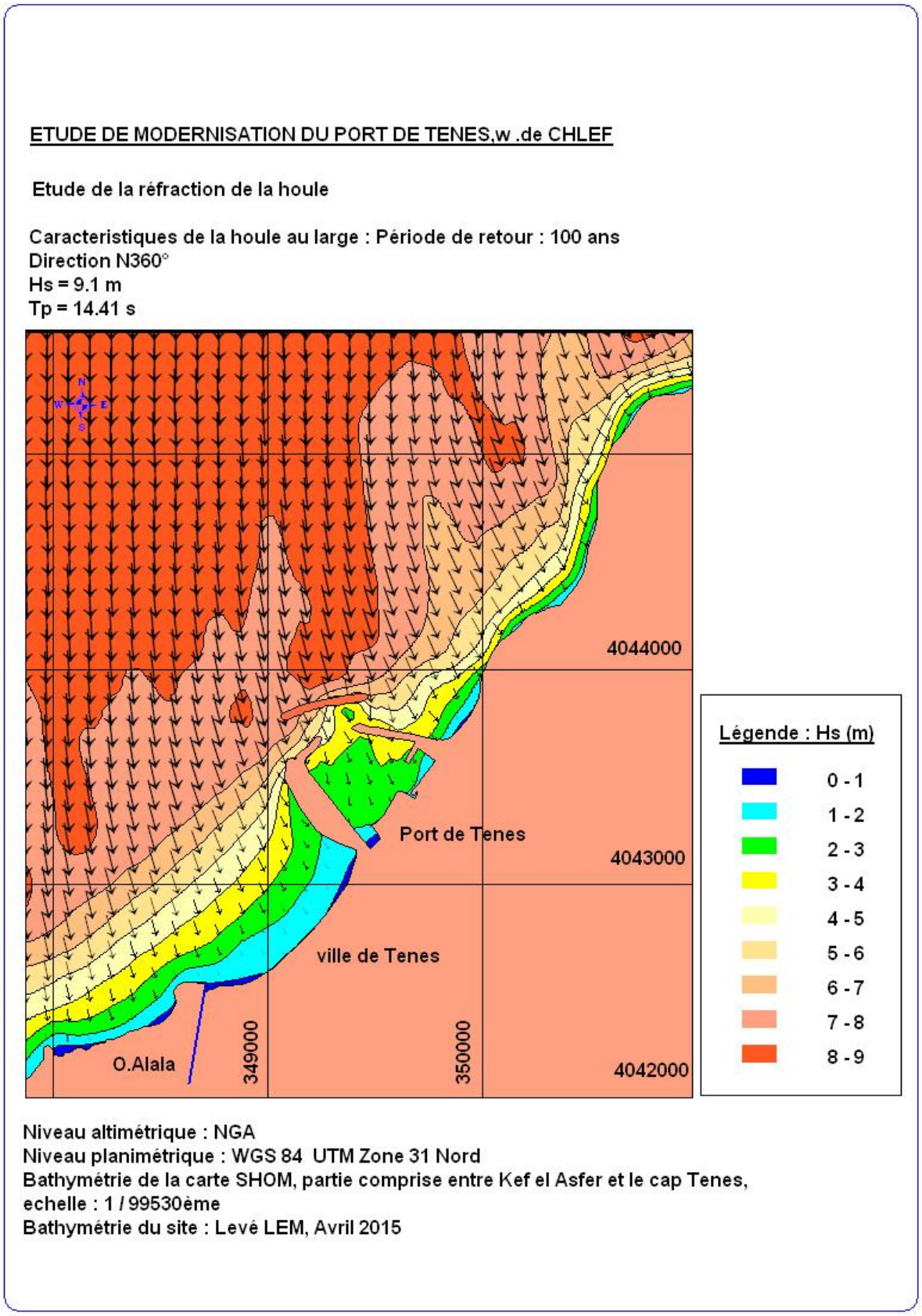


Figure 1. 4 : Epures de réfraction de la houle centennale suivant la direction N360°

ANNEXE 2

LES TABLEAUX

Tableau 2. 1 : Coefficient de stabilité par type de bloc proposé par SOGREAH

Type de blocs	Nombre de couches	K_D traçons courants		K_D musoir		tg α
		Houle déferlante	Houle non déferlante	Houle déferlante	Houle non déferlante	
Enrochements lisses arrondis	2	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 à 3
Enrochements lisses arrondis	>3	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5 à 3
Enrochements rugueux anguleux	2	3.5	4.0	2.9 2.5 2.0	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Enrochements rugueux anguleux	>3	3.9	4.5	3.7	4.2	1.5 à 3
Tétrapodes et quadripodes	2	7.2	8.3	5.9 5.5 4.0	6.6 6.1 4.4	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	22.0	25.0	15.0 13.5	16.5 15.0	2.0 3.0
Hexapodes	2	8.2	9.5	5.0	7.0	-
acropodes	1	10	12	7.6	9.2	-
Tribars	2	9.0	10.4	8.3 7.8 7.0	9.0 8.5 7.7	1.5 2.0 3.0
Granulométrie élevée	-	2.2	2.5	-	-	-
Cubes modifié	2	6.8	7	-	5.0	-

Tableau 2. 2 : coefficient d'épaisseur de la couche proposé par SOGREAH

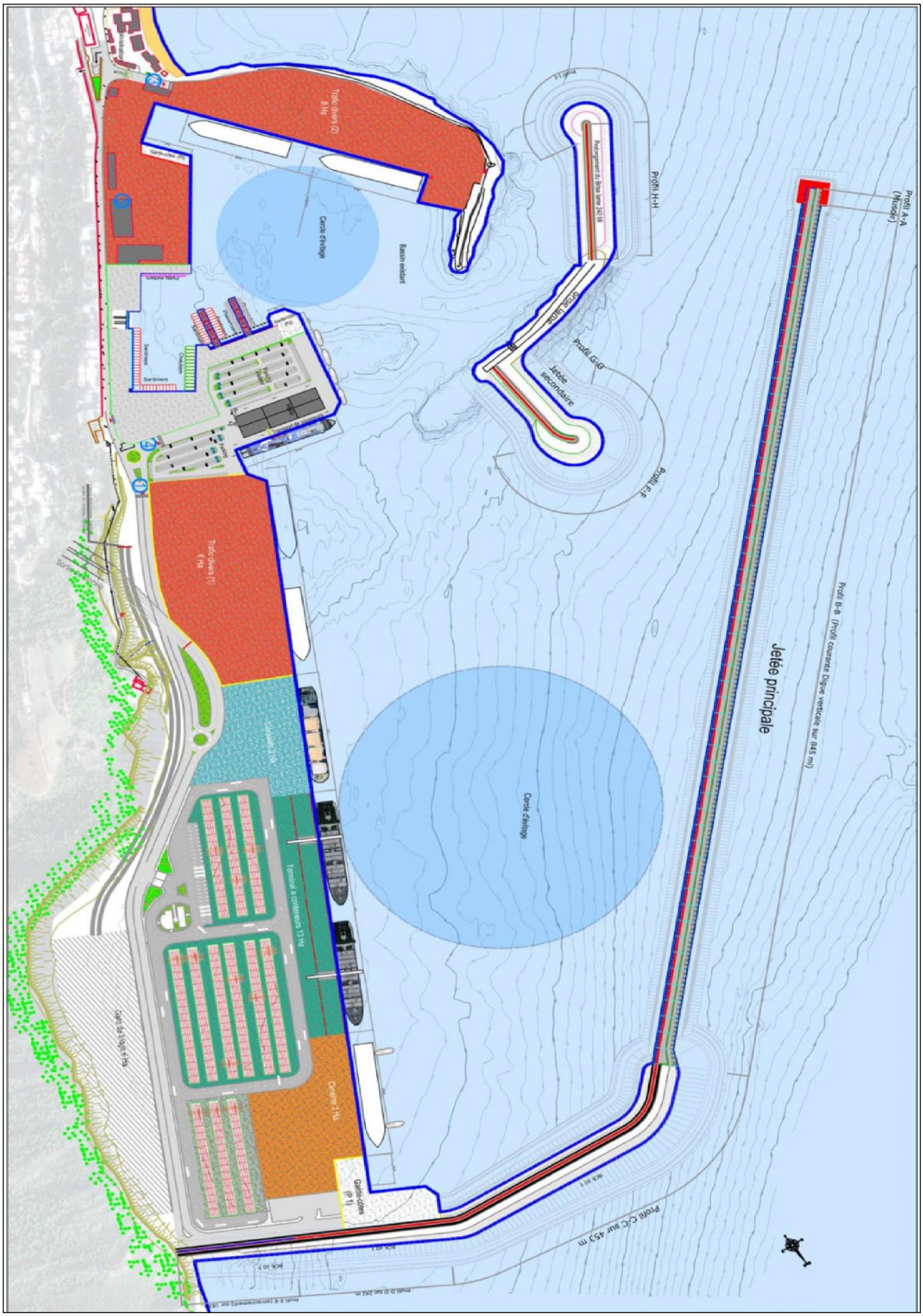
Types de blocs	n= nombre de couches	K_Δ coefficient de couche	P= porosité
Enrochements arrondis	2	1.02	38
Enrochements anguleux	2	1.15	3 7
Enrochements anguleux	>3	1.10	40
Cube modifié	2	1.10	47
Tétrapodes	2	1.04	50
Quadripodes	2	0.95	49
Hexapodes	2	1.15	47
Tribars	2	1.02	54
Tribars ranges	1	1.013	47
Blocs	1 ou 2	1.00	63
Cubes rainuré	2	1.03	44
Accropodes	1	1.51	60

Tableau 2. 3 : Tableau de termes de portance d'après CAQUOT KERISEL

φ	N_γ	N_q	Nc	φ	N_γ	N_q	Nc
31	25,50	26,60	32,70	**36**	56,60	37,80	50,60
32	29,80	23,20	35,50	**37**	67,00	42,90	55,70
33	34,80	26,10	38,70	**38**	79,50	48,90	61,40
34	40,90	29,40	42,20	**39**	94,94	56,00	67,90
35	48,00	33,30	46,10	**40**	113,00	64,20	75,40

ANNEXE 3 :

LE PLAN DE MASSE DE LA VARAINTE RETENUE


Jetée principale
Jetée secondaire
Cercle d'évitage
Bassin evitant
Profil H-H
Profil A-A (Musoir)
Profil B-B (Profil courante Digue verticale sur 845 m)
Profil C-C sur 453 m
Profil E-E
Profil G-G
Terminal à conteneurs 13 Ha
Trafic divers (1) 6 Ha
Trafic divers (2) 8 Ha
Casiers 3 Ha
Gares côtes (P 1)

ANNEXE 4 :

LES PROFILS DE LA VARIANTE RETENUE

Le musoir

La parie courante

L'Enracinement

La digue à talus

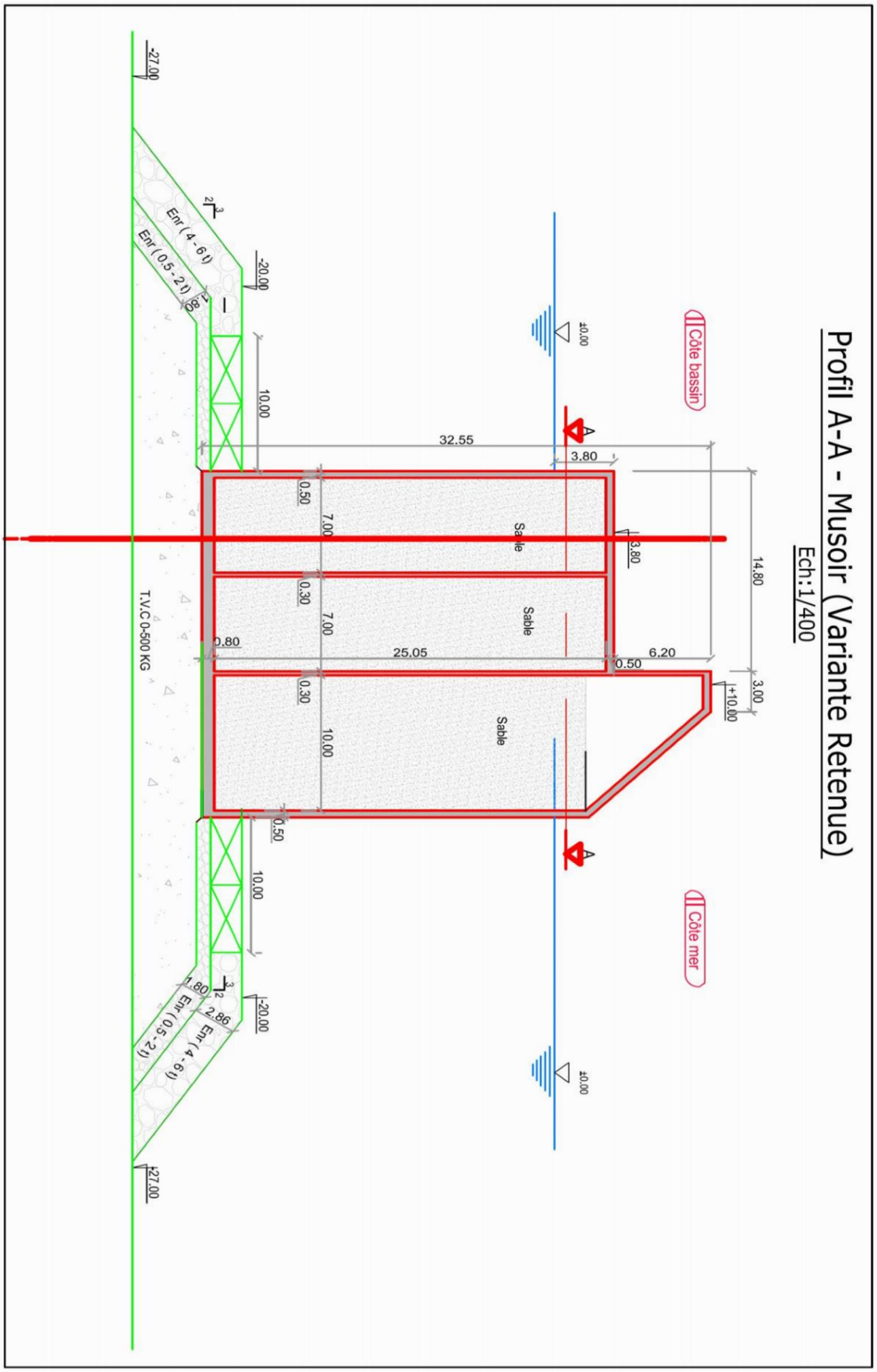


Figure 4. 1 : Profil A-A musoir_ Variante Retenue _ Echelle 1/400.

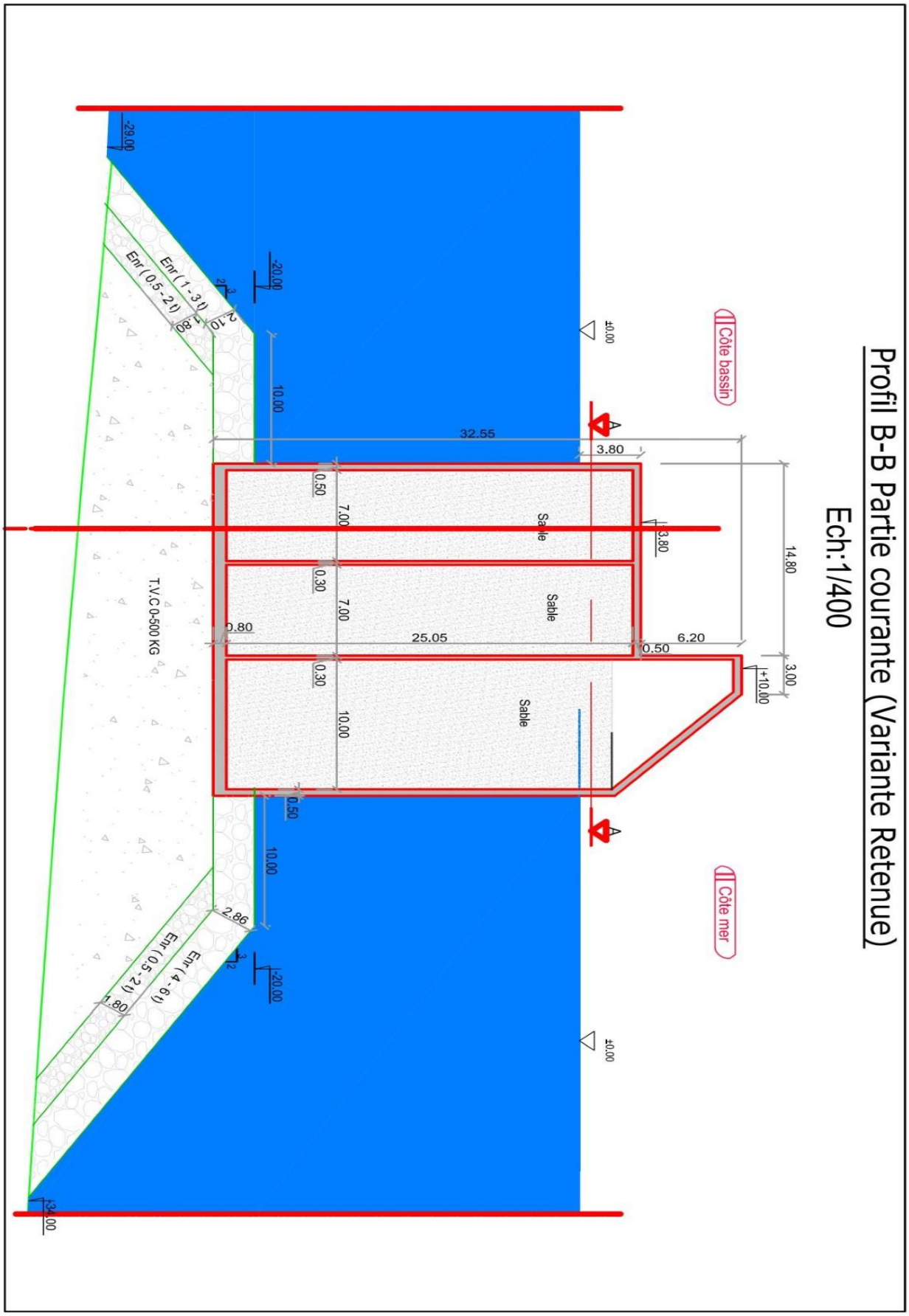


Figure 4. 2 : Profil B-B Partie courante_ Variante Retenue _ Echelle 1/400.

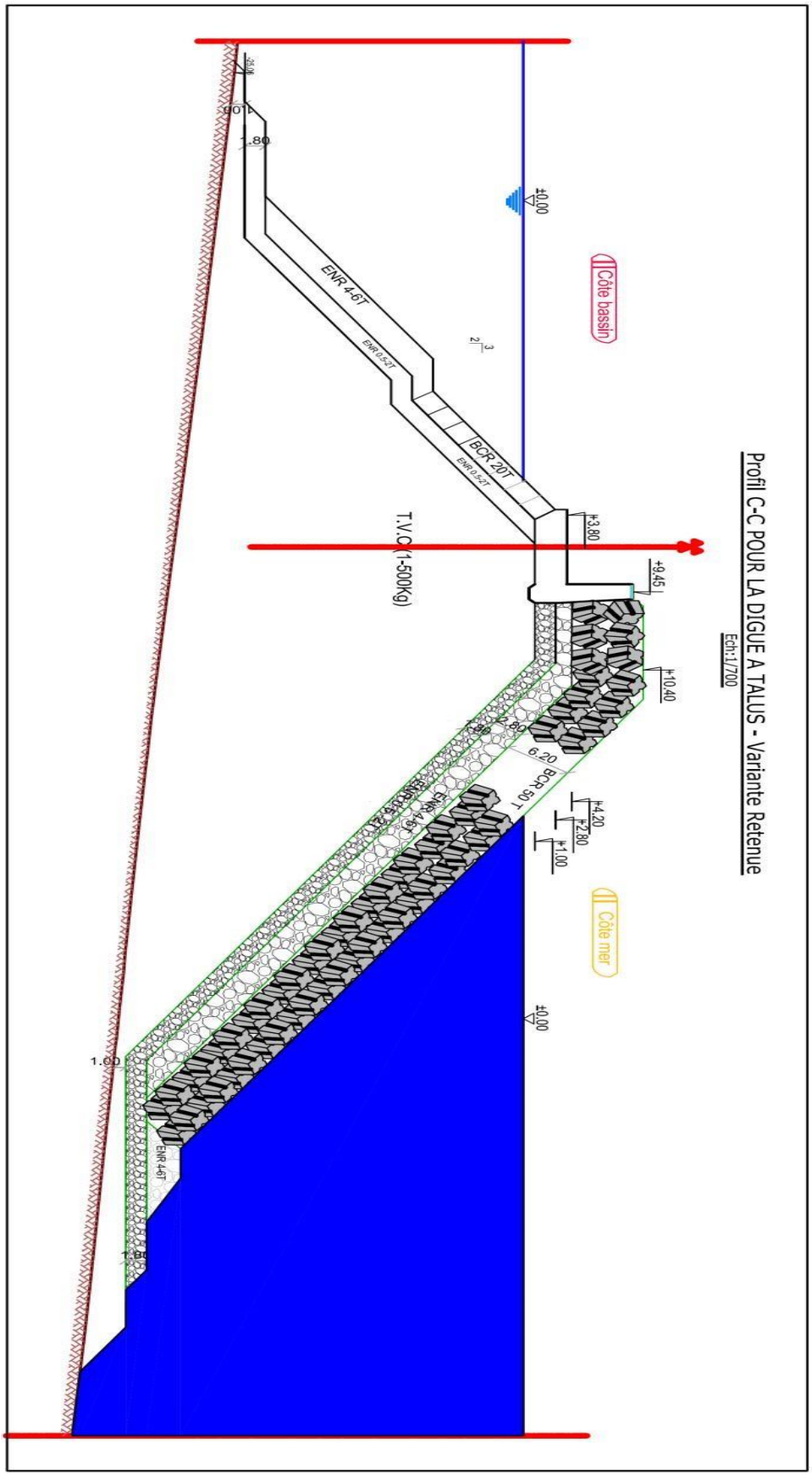


Figure 4. 3 : Profil C-C Pour la digue à talus _ Variante Retenue _ Echelle 1/700.

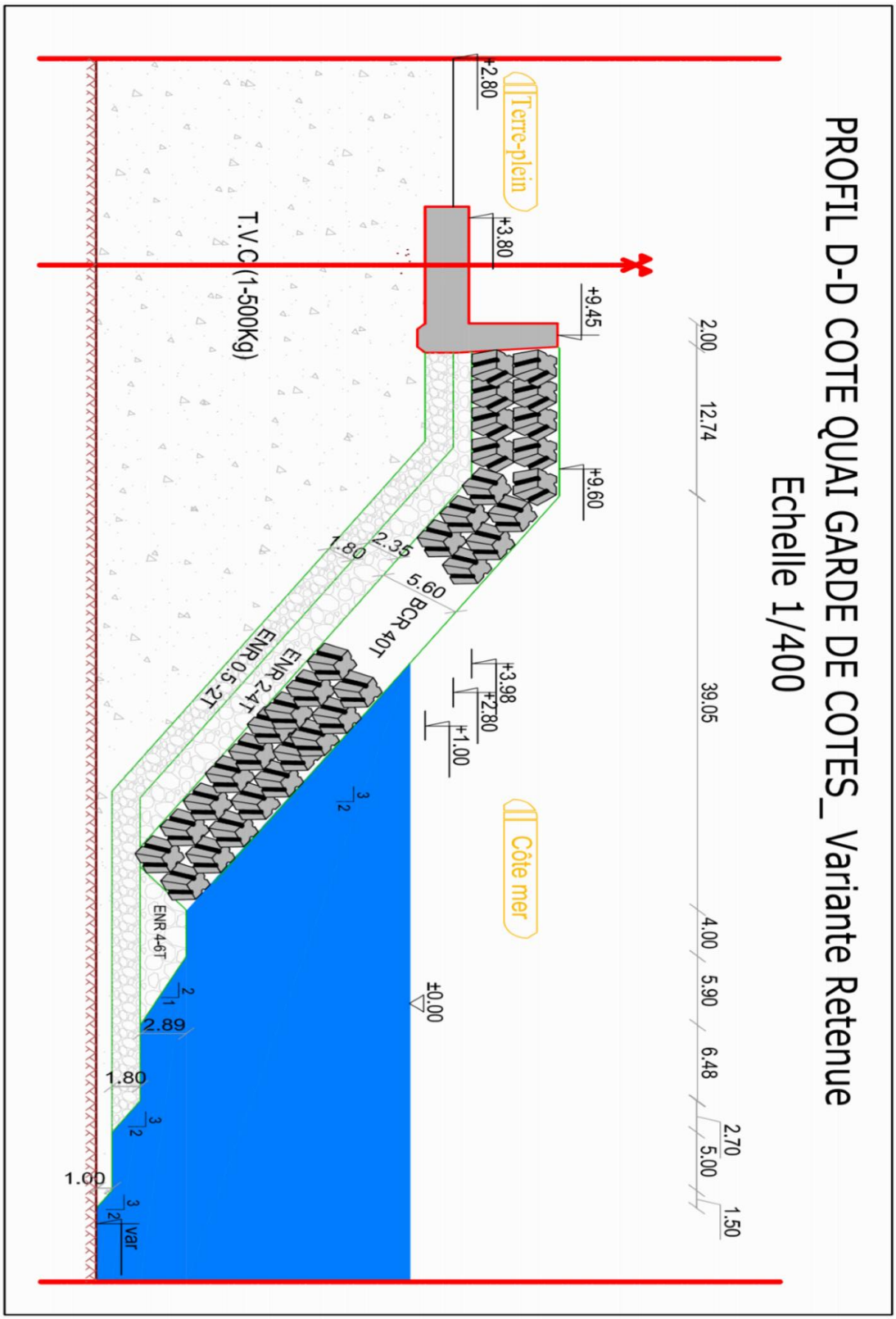


Figure 4. 4 : Profil D - D côté quai Garde de côtes_ Variante Retenue _ Echelle 1/400

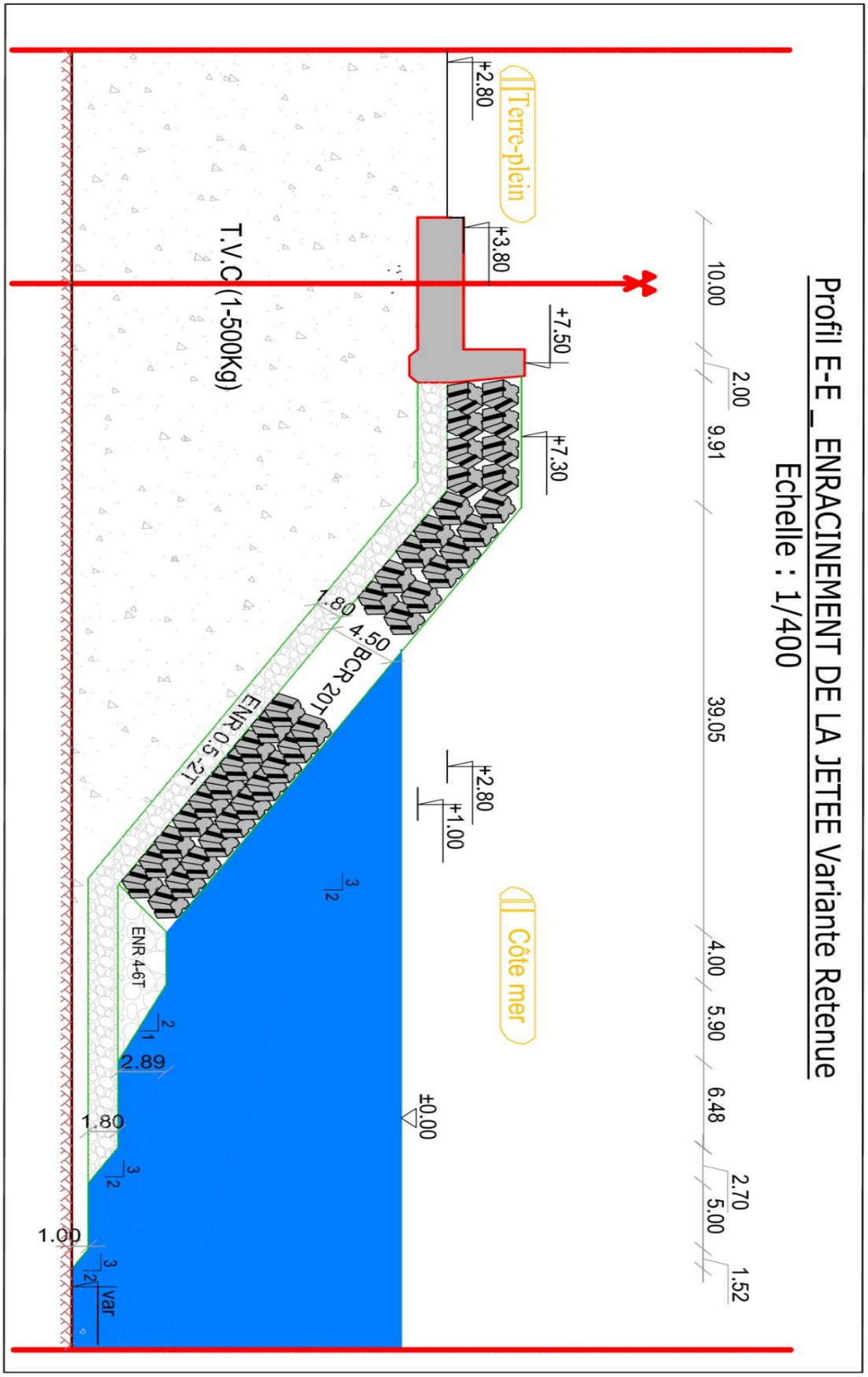


Figure 4. 5 : Profil E - E enracinement de la jetée _ Variante Retenue _ Echelle 1/400.

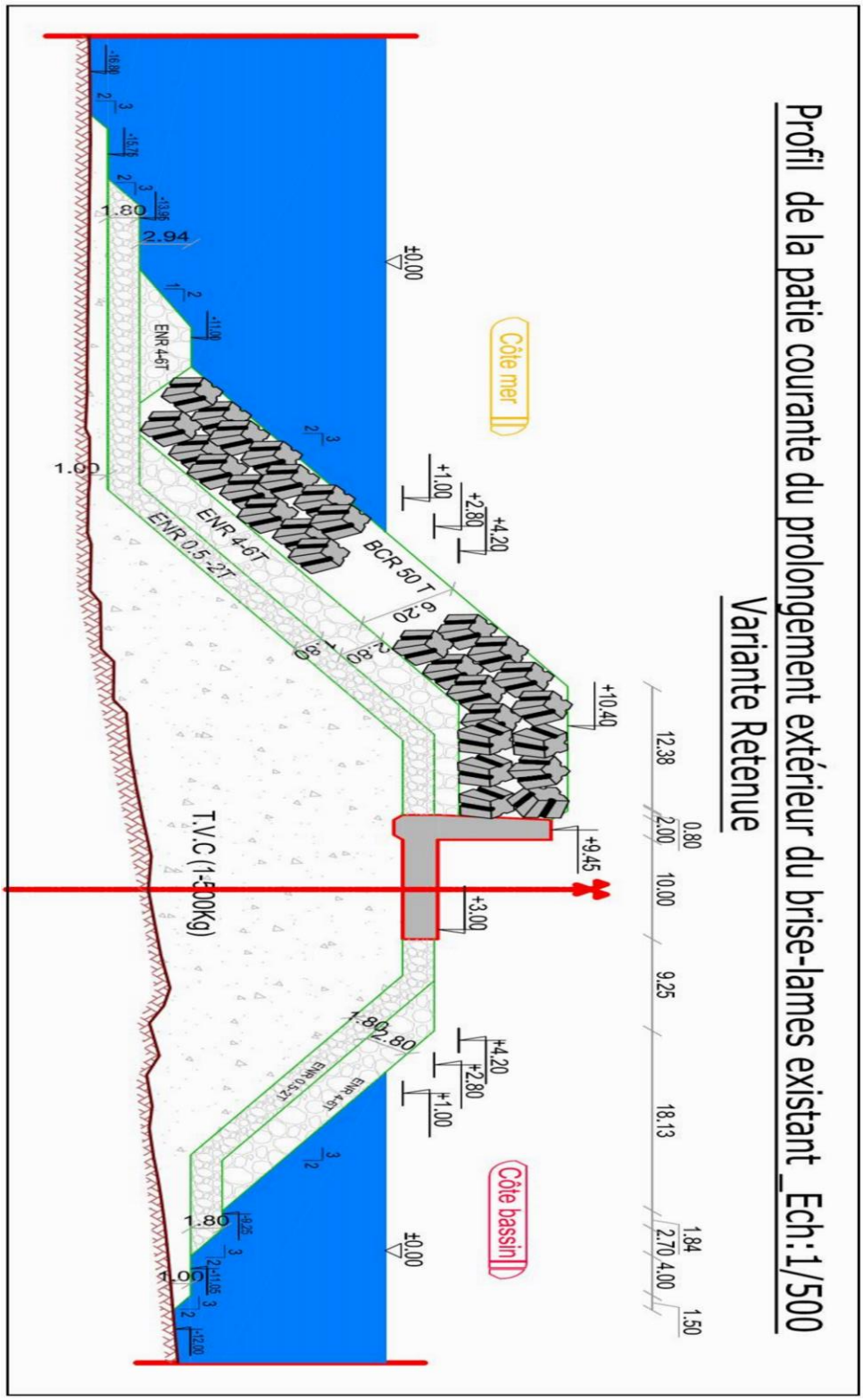


Figure 4. 6 : Profil partie courante du prolongement du brise-lames existant côté extérieur _ Variante Retenue _ Echelle 1/500

ANNEXE 5 :

LES COUPES DE QUAI

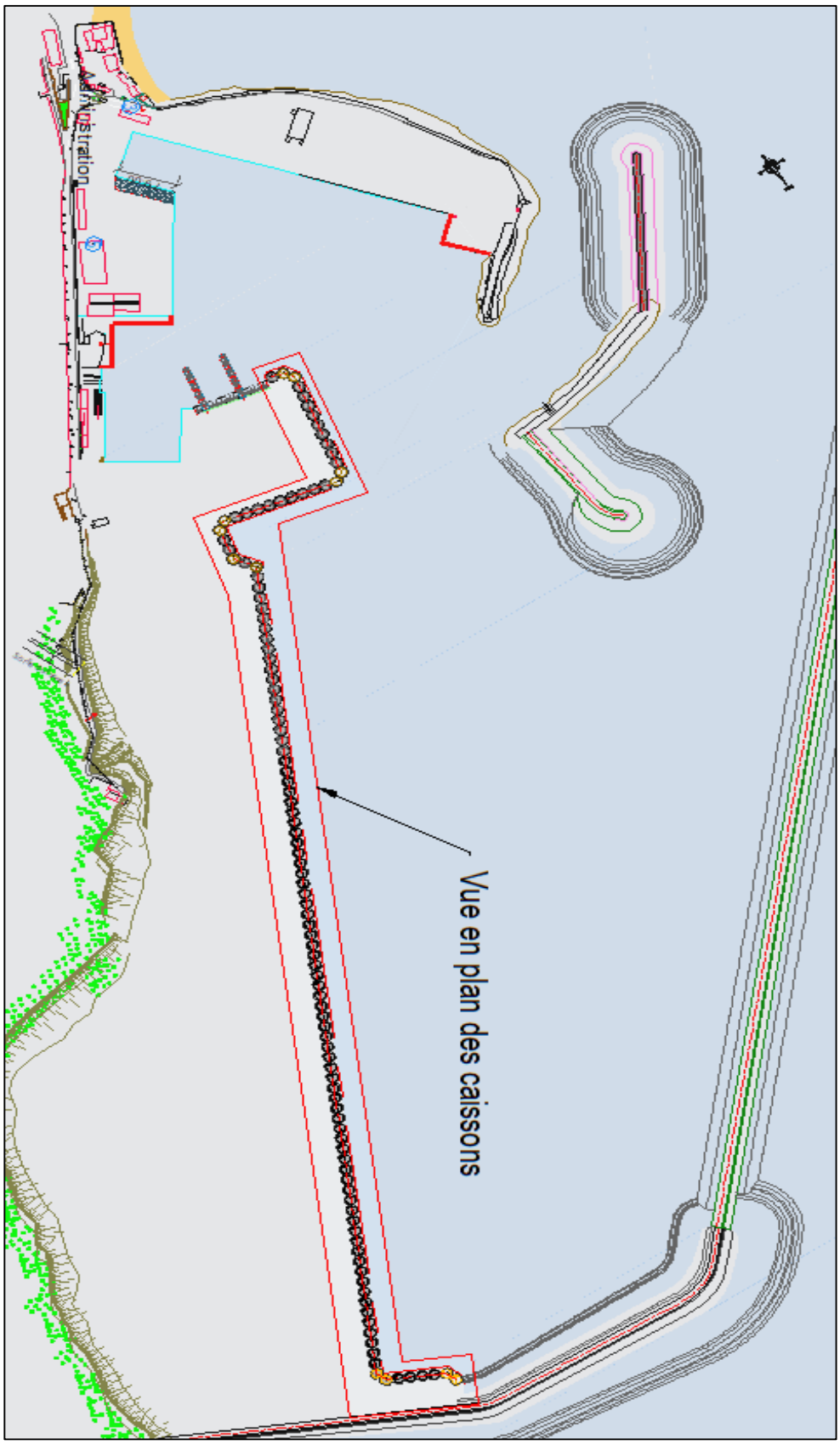


Figure 5. 1 : vue en plan des caissons

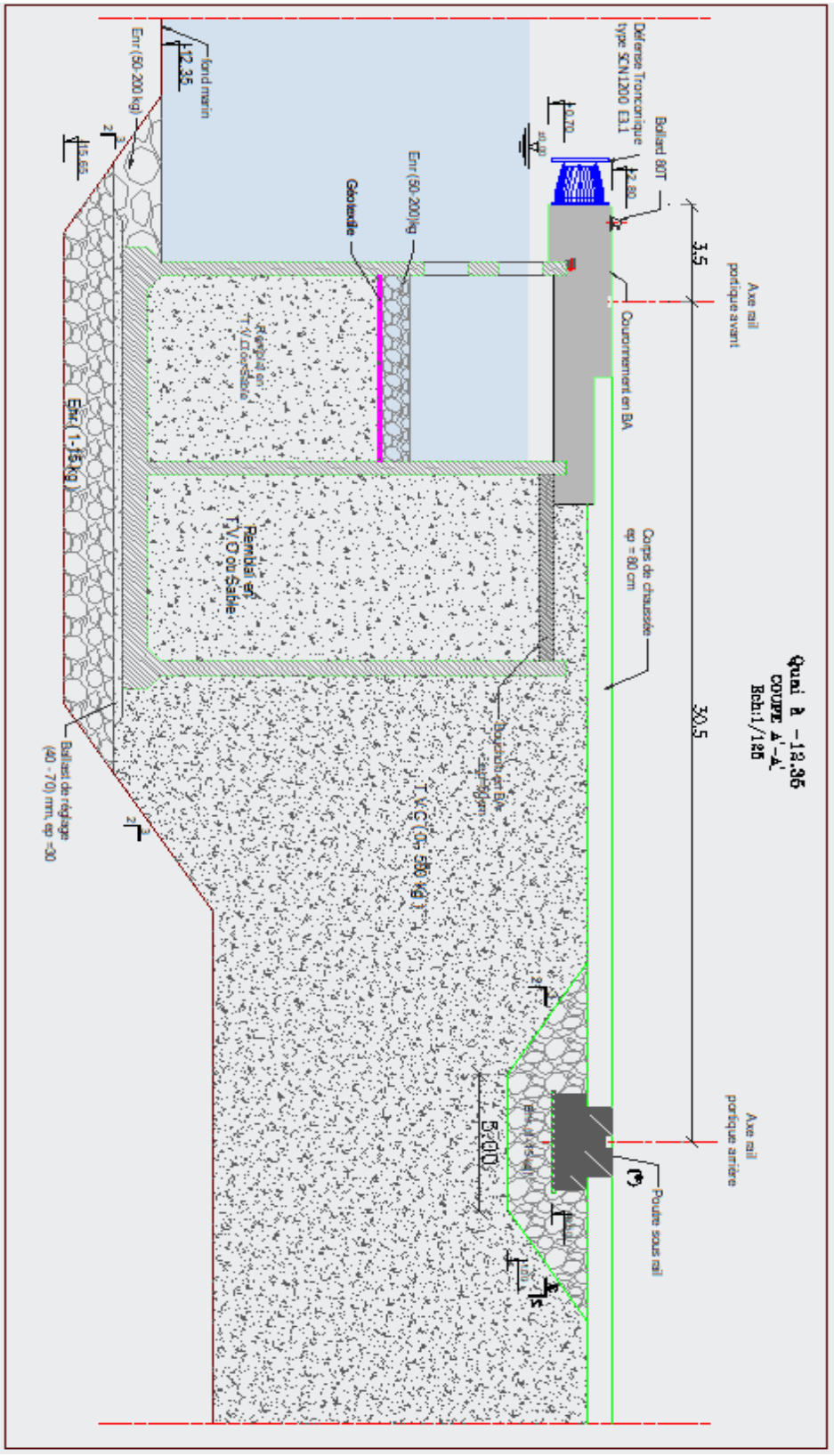


Figure 5. 2 : Quai à -12.35 coupe A'-A'

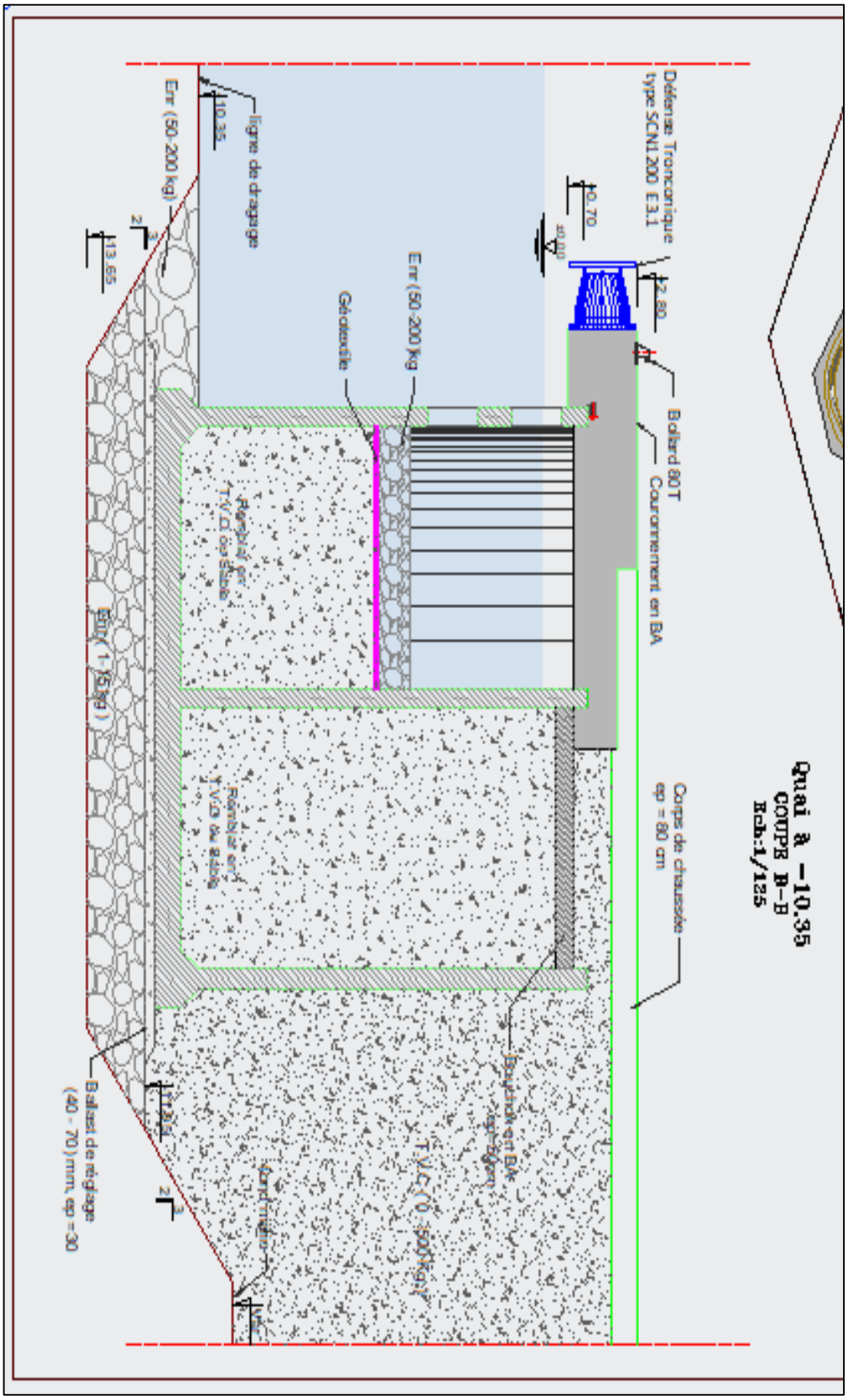


Figure 5. 5 : Quai à -10.35 coupe B-B

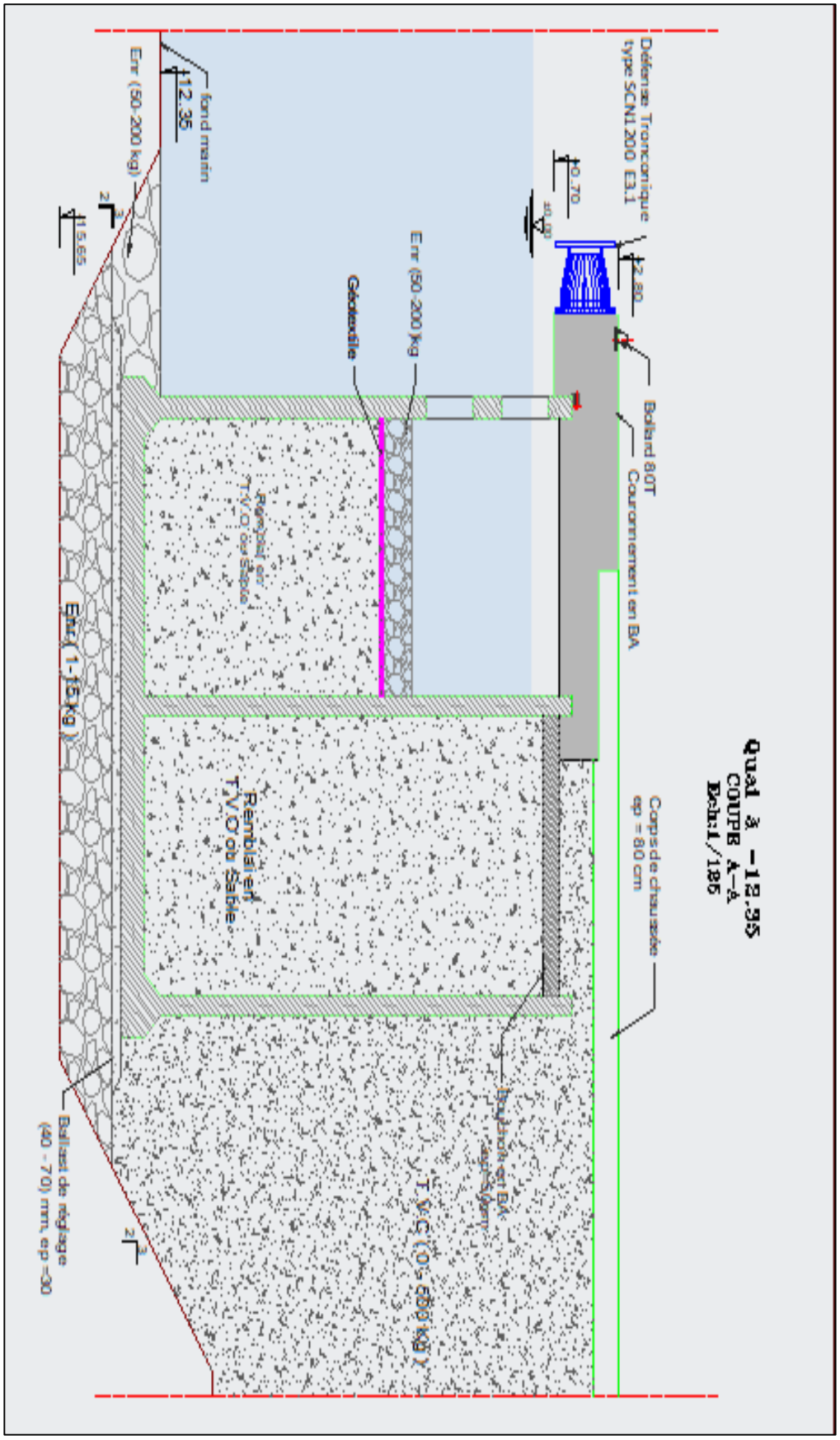


Figure 5. 6 : Quai à -12.35 coupe A-A



Figure 5. 7 : vue axonométrique

ANNEXE 6 :

ANNEXE AU CHAPITRE X

L'Office National de Signalisation Maritime :

ONSM est un Etablissement Public à caractère Administratif sous tutelle du Ministère des Travaux Publics, créé par décret N° 85-236 du 25 août 1985.

Son siège se trouve au N° 6, Boulevard Colonel Amirouche, Alger.

L'Office est chargé de la conception, la construction et du maintien en état de bon fonctionnement des systèmes d'aide à la navigation maritime à infrastructures terrestres (tels que les phares, les feux de port et les stations d'émission de signaux électriques) et flottants (telles que les bouées).

Il est l'instrument des autorités de tutelle pour l'élaboration et la préparation des éléments et mesures de politique nationale et internationale en matière de signalisation maritime. L'Office est membre éligible de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (A.I.S.M.).

A cet effet, l'Office a une mission de service public, qui consiste à la mise en place et l'entretien des aides à la navigation maritime (phares, feux de ports, feux d'écueils et bouées) ainsi que la conception, l'étude et la construction des établissements de signalisation maritime et la modernisation des instruments et systèmes utilisés.

L'ONSM gère 242 établissements de signalisation maritime répartis comme suit :

- ✓ **26 Phares**, implantés le long du littoral ou sur des Iles et comprenant les phares d'atterrissage établis à proximité des grands ports et les phares de jalonnement qui complètent la couverture du balisage du littoral et ce pour permettre aux navires de se positionner tout le long de la côte.

- ✓ **05 feux de jalonnement** balisent les zones d'ombre non couvertes par les phares ;

- ✓ **174 feux de ports** balisent 45 ports (commerce, hydrocarbures, pêche et plaisance) ;

- ✓ **11 feux d'écueils** balisent des rochers situés dans des zones de navigation et constituants un danger pour la navigation maritime ;

- ✓ **26 bouées** (aides flottantes), placées à proximité des ports, pour baliser des chenaux d'entrées, des hauts fonds, des limites de zones ensablées ou des points particuliers (Conduites en mer, travaux, épaves, etc.…).

L'ONSM dirige au niveau régional Quatre Unités d'exploitation :

- Unité d'Oran ;
- Unité d'Alger ;
- Unité de Bejaia ;
- Unité de Skikda.

Compétences régionales des Unités :

Unité d'Oran **:** Tlemcen, Ain Temouchent, Oran et Mostaganem.
Unité d'Alger **:** Chlef, Tipaza, Alger et Boumerdes.
Unité de Bejaia **:** Tizi Ouzou, Bejaia et Jijel.
Unité de Skikda **:** Skikda, Annaba et El Tarf.

Objectifs et Perspectives :

Achever les actions inscrites en application des recommandations du schéma directeur de la signalisation maritime en Algérie qui consistent en :

✓ La réhabilitation des Etablissements de Signalisation Maritime (phares et Feux de Ports).
✓ La rénovation des équipements de signalisation Maritime.
✓ Le balisage de nouveaux ports.
✓ L'amélioration du service public (service rendu aux navigateurs par l'amélioration du taux de disponibilité des établissements de signalisation maritime).
✓ La poursuite du programme de solarisation de tous les feux de ports et des phares.

L'ONSM a entamé l'utilisation de l'énergie solaire des ESM, cette action a débuté par les bouées de balisage et les feux d'écueils qui fonctionnaient au gaz ; Cette opération a été appliquée graduellement à tous les nouveaux feux de port et aux phares isolés.
Les avantages qu'offre ce système sont : l'Autonomie vis-à-vis du secteur public de distribution d'énergie, la réduction des risques lors des opérations d'interventions et la sécurité des équipements vis-à-vis des surtensions secteur ou décharges atmosphériques.

Nombre d'établissements fonctionnant à l'énergie solaire :

- Phares : 06/26 (23%),
- Feux de jalonnement : 03/05 (60%),
- Feux de port : 103 /174 (60%),
- Feux d'écueils : 11/11 (100%),
- Bouées : 26/26 (100%).

L'office projette à généraliser à moyen terme l'utilisation de l'énergie solaire à l'ensemble des Etablissements de Signalisation Maritime.