

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

AMENAGEMENT D'UNE CALE SECHE AU
NIVEAU DE L'ANCIEN PORT DE SKIKDA

Présenté par :

YALAOUI Ikram

Encadré par :

Mme. KHOUAS Zohra
Mr. SLIMANI Ali

Promotion 2020 /2021

Résumé :

Dans le cadre de l'obtention de notre diplôme d'Ingénieur d'état en Travaux Publics, Nous avons choisi l'ingénierie portuaire et côtière comme thème pour notre projet de fin d'études.

L'infrastructure portuaire Algérienne est en progression mais cette dernière ne suffit pas pour répondre au besoin économique du pays, cette progression englobe toutes les types d'ouvrages maritimes, ainsi que les différentes constructions, de ce fait , l'entreprise portuaire de Skikda a lancé des travaux d'extension dont l'aménagement d'une cale sèche pour la réparation et l'entretien des navires remorqueurs, ce dernier est le thème traité dans ce mémoire.

L'objectif est de faire un plan d'aménagement et ses différentes étapes puis faire un dimensionnement de la nouvelle construction.

Ces taches sont précédées par une recherche bibliographique (document et archives).

Mots clés : ouvrage portuaire, aménagement, cale sèche, quai, réparation navale.

الملخص:

في إطار حصولنا على شهادة مهندس دولة في الأشغال العمومية، اخترنا هندسة الموانئ والسواحل كموضوع لمشروع نهائية دراساتنا.

البنية التحتية للموانئ الجزائرية في تطور ولكن هاته الأخيرة لا تكفي لسد الحاجات الاقتصادية للبلاد، وهذا التقدم يشمل جميع أنواع الأعمال البحرية، فضلا عن الإنشاءات المختلفة ، لذلك أطلقت شركة ميناء سكيكدة أعمال توسعة بما في ذلك تجهيز حوض جاف لإصلاح وصيانة سفن القطر ، وهذا الأخير هو موضوع هذا العمل.

الهدف هو وضع خطة تطوير ومراحلها المختلفة، ثم عمل أبعاد البناء الجديد. يسبق هذه المهام البحث (الوثائق الببليوغرافية والارشيفات).

كلمات مفتاحية: منشآت بحرية، تهيئة، الحوض الجاف، رصيف، إصلاح السفن .

Summary:

In part of obtaining our diploma in Publics Works, we have chosen port and coastal engineering as the theme for our end of studies project.

The port company of Skikda proposed the subject dealt with, it is the development of a dry dock as part of the extension of the commercial port of Skikda.

The objective is to draw up a development plan and its various stages, then to make a dimensioning of the new construction.

These tasks are preceded by a bibliographic search (documents and archives).

Key words: maritime structure, arrangement, dry dock, wharf, ship repair.

Remerciements :

*Je tiens à remercier en premier lieu mon
encadreur,*

*Mme. Zohra KHOUAS pour son aide plus que
précieuse, ses conseils pertinents et tout le temps
qu'elle a consacré à travailler avec moi lors de
l'élaboration de ce projet de fin d'études.*

*Je remercie aussi, Mme Rania ALLALOU pour son
aide, son soutien et pour avoir été à mes côtés.*

*J'adresse également mes remerciements à tout le
personnel du LEM pour leur accueil sympathique,
leur coopération professionnelle, ainsi que leur
encadrement exemplaire et*

*L'intérêt qu'ils ont porté à mon stage précisément
Mr. Ali SLIMANI et Mme. Mounia BOUZAIR.*

*Je remercie aussi, Mr. Yacine SAMMOUMA, pour
m'avoir conseillé et aidé dans mon travail.*

*Enfin, je tiens également à remercier l'ensemble des
enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure des
travaux publics précisément Mr. Djamel
BOUHANICHE.*

À mes chers parents,

À mes sœurs : Insaf et Djamila,

À mon frère : Chems Eddine,

À ma famille,

À mes amis et à toutes les personnes qui nous ont soutenus

Liste des notations et indices :

S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observations de l'US.NAVAL WEATHER-SERVICE.

CM : Cartes marines.

NGA : Niveau d'eau général en Algérie.

ZH : Zéro hydrographique.

V : Volume de l'élément considéré.

S : Surface de l'élément considéré.

H : Hauteur de l'élément considéré.

P : Poids de l'élément considéré.

γ_b : Poids volumique du béton.

γ'_b : Poids volumique déjaugé du béton.

γ_s : Poids volumique du matériau.

γ_o : Poids volumique d'eau.

K_h : Accélération horizontale du séisme.

K_v : Accélération verticale du séisme.

F_r : Facteur de sécurité du renversement.

F_s : Facteur de sécurité du glissement.

δ : Angle de frottement du sol sur l'écran.

λ : Angle de l'inclinaison du sol sur l'écran avec la verticale.

β : Angle de l'inclinaison du sol sur l'écran avec l'horizontale.

K_{ca} : Coefficient de poussée de Mononobé Okabé.

K_q : Coefficient de poussée due aux surcharges.

σ : Contrainte.

P : Poussée.

M_r : Moment de renversement.

M_s : Moment stabilisateur.

ELU : Etat limite ultime.

ELS : Etat limite de service

Listes des figures

Figure I.1.	Les caractéristiques de houle	4
Figure I.2.	Oscillation des eaux en bassin fermé « La seiche ».....	5
Figure I.3.	schéma représentatif des principaux courants.....	6
Figure II.1.	Carte des ports algériens	7
Figure II.2.	Vue de ciel sur port d'Alger.....	8
Figure II.3.	Port de Shanghai	8
Figure II.4.	Port de Rotterdam	9
Figure II.5.	Port de BEJAIA	9
Figure II.6.	Port de Djen-Djen (Jijel).....	10
Figure II.7.	Port de Lavandou	12
Figure II.8.	Port de Rotterdam	13
Figure II.9.	Schéma de principe d'un port	13
Figure II.10.	Plan de masse de nouveau port d'EL Djamila	15
Figure II.11.	Schéma d'une digue à talus.....	15
Figure II.12.	Schéma d'une digue verticale	16
Figure II.13.	Schéma d'une digue mixte.....	16
Figure II.14.	Schémas d'un "duc d'Albe" en tubes métalliques	17
Figure III.1.	Vue du ciel des cales sèches du port Gdynia	19
Figure III.2.	Vaisseau abattu en carène vers 1750-60. (N. Ozanne)	20
Figure III.3.	Ancienne méthode de réparation des navires.....	20
Figure III.4.	La forme supérieure de la « forme double » à Rochefort, conçue au XVIIe siècle.....	21
Figure III.5.	Le bassin de radoub de la Darse de Villefranche-sur-Mer, 1730	21
Figure III.6.	Photo d'un cabestan	23

Figure III.7.	Une ligne des tins.....	23
Figure III.8.	Dock flottante de l'Australien marine.....	24
Figure III.9.	cale en long	25
Figure III.10.	Cale en travers.....	25
Figure III.11.	Portique élévateur via une darse	26
Figure IV.1.	Position du port de Skikda	28
Figure IV.2.	Plan de masse du port de skikda	29
Figure IV.3.	Rose des vents.....	30
Figure IV.4.	Carte de zonage sismique du territoire algérien.....	31
Figure V.1.	Vu en plan de la cale de halage existante	38
Figure V.2.	Espace d'aménagement.....	39
Figure V.3.	Présentation de la première variante	40
Figure V.4.	Présentation de la deuxième variante.....	41
Figure.V.5.	Exemple d'un terre-plein.	42
Figure VI.1.	Schéma du quai en bloc à -5.00m	46
Figure VII.1.	L'ancien port de Skikda	72

Liste des tableaux

Tableau I.1	les concentrations des principaux constituants de l'eau de mer.....	3
Tableau IV.1	Températures caractéristiques de la ville de Skikda.....	30
Tableau IV.2	Coefficients d'accélération de zones	31
Tableau IV.3	Amplitude de la houle au large par direction (Source : S.S.M.O. 1963-1970).....	32
Tableau V.1	Les équipements de la cale de halage existante	36
Tableau V.2	Les résultats d'entretien de ces équipements	37
Tableau V.3	Comparaison entre un quai caisson et quai en bloc.....	43
Tableau V.4	Estimation budgétaire des étapes d'aménagement de la cale sèche	43
Tableau V.5	Comparaison des variantes	44
Tableau VI.1	Données physiques et géotechniques.....	45
Tableau VI.2	Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 1	47
Tableau VI.3	Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 2	47
Tableau VI.4	Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 3	47
Tableau VI.5	Valeurs des caractéristiques géométriques de la poutre de couronnement.....	48
Tableau VI.6	Valeurs des caractéristiques géométriques des évidements	48
Tableau VI.7	Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du bloc de type 1.....	48
Tableau VI.8	Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du bloc de type 2.....	49
Tableau VI.9	Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du couronnement.....	49
Tableau VI.10	Poussée des terres sur le quai à -5.00m (cas statique)	51
Tableau VI.11	Poussée des terres sur le quai à -5.00m (cas dynamique)	51
Tableau VI.12	Poussée due aux surcharges sur le quai à -5.00m (cas statique)	52
Tableau VI.13	Poussée due aux surcharges sur le quai à -5.00m (cas dynamique)	52
Tableau VI.14	Poussée hydrostatique de marnage sur le quai à -5.00m.....	52

Tableau VI.15	Valeurs des caractéristiques géométriques du quai à -5.00m par mètre linéaire ..	53
Tableau VI.16	Valeurs des coefficients de sécurité.....	54
Tableau VI.17	Efforts appliqués sur le quai à -5.00m (cas statique).....	55
Tableau VI.18	Capacité portante de l'assise en enrochement du quai à -5.00m (cas statique)	56
Tableau VI.19	Capacité portante du sol de fondation du quai à -5.00m (cas statique).....	56
Tableau VI.20	Efforts appliqués sur le quai à -5.00m (cas dynamique)	57
Tableau VI.21	Capacité portante de l'assise en enrochement du quai à -5.00m (cas dynamique)	58
Tableau VI.22	Capacité portante du sol de fondation du quai à -5.00m (cas dynamique).....	58
Tableau VI.23	Efforts appliqués sur le couronnement du quai à -5.00m (cas statique)	58
Tableau VI.24	Efforts appliqués sur le couronnement du quai à -5.00m (cas dynamique)	59
Tableau VI.25	Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 du quai à -5.00m (cas statique).....	59
Tableau VI.26	Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 du quai à -5.00m (cas dynamique).....	60
Tableau VI.27	Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 et 2 du quai à -5.00m (cas statique)	61
Tableau VI.28	Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 et 2 du quai à -5.00m (cas dynamique)	61
Tableau VI.29	.Effort interne (horizontaux) du couronnement du quai à -5.00m.....	62
Tableau VI.30	. Efforts verticaux agissant sur le couronnement du quai à -5.00m.....	62
Tableau VII.1	L'impact du projet sur le milieu physique (phase construction).....	73
Tableau VII.2	L'impact du projet sur le milieu biologique (phase construction)	74
Tableau VII.3	L'impact du projet sur le milieu biologique (phase exploitation)	75

Table des matières

Introduction générale	1
I. Généralités sur le milieu marin	2
I.1 Introduction :	2
I.2 Définition du milieu marin :	2
I.2.1 Description du point de vue dynamique :	2
I.2.2 Description du milieu marin du point de vue physique :	3
I.2.3 Description du milieu marin du point de vue chimique :	3
I.3 Modélisation du milieu marin :	3
I.3.1 Modélisation de la houle :	4
I.3.2 Modélisation des seiches :	5
I.3.3 Modélisation de la marée :	5
I.3.4 Modélisation des courants :	5
I.4 Conclusion :	6
II. GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES	7
II.1 Introduction :	7
II.2 Patrimoine des infrastructures maritimes en Algérie.....	7
II.3 Définition d'un port :	8
II.4 Exemples de ports maritimes.....	8
II.4.1 Dans le monde	8
II.4.2 Exemples en Algérie.....	9
II.5 Rôle de port :	10
II.6 Types de port :	10
II.6.1 Classification par fonctions principales :	11
II.6.2 Classification par implantation géographique :	12
II.7 Schéma de principe d'un port maritime :	13
II.8 Les ouvrages portuaires :	14
II.8.1 Les ouvrages extérieurs :	14
II.8.2 Les ouvrages intérieurs :	17
II.9 Conclusion :	18
III. Généralités sur les cales sèches	19
III.1 Introduction :	19

III.2	Définition de cales sèches :	19
III.3	Historique de la cale sèche :	19
III.4	Description de diverses parties d'une cale sèche.....	22
III.5	Accessoires des cales sèches :	23
III.6	Types de cales sèches :	24
III.7	Critères de choix de cales sèches :.....	26
III.8	Conclusion :	27
IV.	Présentation du projet et collecte des données :	28
IV.1	Introduction :	28
IV.2	Présentation du l'ancien port de Skikda :	28
IV.3	Collecte des données :	29
IV.3.1	Données météorologiques :	29
IV.3.2	Données sismiques :	31
IV.3.3	Données hydrographiques :	31
IV.3.4	Les données géotechniques :	32
IV.3.5	Caractéristiques de la flottille :	34
IV.4	Conclusion :	34
V.	Etude d'aménagement	35
V.1	Introduction :	35
V.2	Facteurs d'aménagement :	35
V.3	Les critères du choix de réalisation de la cale sèche :	35
V.4	Choix de site :	35
V.4.1	Justification du choix de site :	36
V.4.2	Exécution des travaux :	37
V.5	Description des variantes :	39
V.5.1	Variante 1 :	40
V.5.2	Variante 2 :	41
V.5.3	Aménagement du terre-plein :	42
V.5.4	Choix de type d'élévateur :	43
V.6	Analyse des variantes :	43
V.6.1	Avantages et inconvénients des quais en bloc et caisson :	43
V.6.2	Estimation budgétaire :	43
V.6.3	Comparaison des variantes et recommandations :	43
V.7	Conclusion :	44

VI. Dimensionnement de quai en bloc	45
VI.1 Introduction :	45
VI.2 Hypothèse de calcul :	45
VI.3 Présentation de l'ouvrage :	46
VI.3.1 Caractéristiques géométriques des blocs :	46
VI.3.2 Poids de TVC :	48
VI.3.3 Poids des terres :	48
VI.3.4 Efforts agissant sur le quai :	49
VI.3.5 Stabilité globale :	54
VI.3.6 Stabilité partielle :	58
VI.3.7 Etude de couronnement :	62
VI.4 Combinaison des charges :	68
VI.4.1 Efforts verticaux :	68
VI.4.2 Efforts horizontaux :	68
VI.5 Ferrailage de couronnement :	69
VI.5.1 Armature longitudinale :	69
VI.5.2 Armature transversale :	71
VI.6 Conclusion :	71
VII. Etude d'impact sur l'environnement :	72
VII.1 Introduction :	72
VII.2 Nécessité d'une étude d'impact sur l'environnement :	72
VII.3 Structure et contenu de l'étude d'impact sur l'environnement :	72
VII.4 Description du projet :	73
VII.5 Délimitation et état initiale de la zone :	73
VII.6 Phase de projet :	74
VII.7 Impact et mesures de prévention, d'atténuation ou de compensations :	74
VII.7.1 Phase de construction :	74
VII.7.2 Phase d'exploitation :	75
VII.8 Evaluation globale et recommandations :	76
VII.9 Conclusion :	77

Conclusion générale

Bibliographie

Annexes

Introduction générale

L'évolution des ouvrages portuaires a marqué sa place à l'échelle mondiale, vu le rôle important que joue un port dans l'économie d'un pays. Depuis quelques décennies, un nombre important de pays, ont compris que le port est une porte vers le monde puisqu'actuellement la quasi-totalité des échanges commerciaux entre les pays et les continents se font par voie maritime.

En effet, l'évolution du trafic des marchandises (aussi bien dans leur nature, leur volume) et le développement des caractéristiques des navires, ont un impact significatif sur l'aménagement des installations portuaires.

Les réponses apportées à ces évolutions par les autorités portuaires sont diverses et variées, mais ce qui est constant c'est que les ports se sont toujours adaptés soit en créant de nouvelles installations, soit en adaptant les anciennes installations à la nouvelle situation de trafic et de caractéristiques des navires.

L'Algérie qui est sur la mer Méditerranée avec 1600 KM de côte assure le passage de 35% du fret, c'est dire l'importance de prendre en charge ce secteur économique, de le moderniser, et d'améliorer ses performances.

Notre pays essaye d'avancer dans ce domaine, soit par l'aménagement et la remise en bon état, ou par la création des nouvelles installations portuaires.

Parmi les différents types d'aménagements portuaires, la cale sèche qui assure des rôles très importants en tant qu'ouvrages d'entretien et de réparation des navires. Elle offre aux navires le maintien dans de bonnes conditions.

Pour mener à terme ce travail, on a réalisé une bonne partie bibliographique, riche en information et qui comporte trois chapitres. Les deux premiers chapitres contiennent des généralités sur le milieu marin et les ouvrages maritimes, étude sur la houle, généralités sur les ports, ainsi que les principaux ouvrages portuaires (les ouvrages d'accostages). Le troisième chapitre est consacré à la description d'une cale sèche et les différents éléments constitutifs et d'en donner quelques types existants. La deuxième partie concerne l'aménagement et le dimensionnement d'une cale sèche. Le dernier chapitre traite Impact sur l'environnement.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale en donnant une synthèse de la recherche. Nous rencontrerons des conclusions partielles résumant chaque chapitre tout au long de ce mémoire.

Chapitre I

Généralités sur le milieu marin

I. Généralités sur le milieu marin

I.1 Introduction :

La variété des sciences et des techniques mises en jeu pour comprendre le milieu marin est trop grande en effets, pour qu'on n'ait la prétention d'y exposer tous ce qui peut être utile. On n'aboutirait qu'une juxtaposition d'éléments disparates allant de l'océanographie à l'électrotechnique, en passant par la géologie, la résistance des matériaux, la mécanique des sols et bien d'autres spécialités [1]

Dans ce qui suit nous allons voir une présentation de milieu marin et ces caractéristiques.

I.2 Définition du milieu marin :

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

I.2.1 Description du point de vue dynamique :

Les mouvements d'ondulations sont :

➤ **La houle** : La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. Ces ondulations produites par l'action du vent sont appelées lames ou vagues et leur ensemble définit la houle. La période de cette dernière varie de 3 à 25 seconds et sa hauteur peut atteindre les 30 mètres

➤ **Les seiches** : Les seiches sont des oscillations stationnaires dans un bassin fermé ou semi-fermé. Il s'agit de mouvements oscillatoires lents des étendues d'eau rentrant dans la catégorie générale des ondes de gravité et dont la période est comprise entre celle des vagues de tempête les plus longues et celle des marées semi-diurnes.

➤ **La marée** : La marée est une oscillation des océans due à l'attraction des astres sur les molécules liquides ; elle se traduit par une oscillation périodique du niveau de la mer, de période et d'amplitude variable dans le temps d'un lieu à l'autre, suivant les positions relatives de la terre et des astres perturbateurs.

➤ **Les courants** : Les courants marins sont des mouvements d'eau caractérisés par leur direction, leurs vitesses et débits. Ils sont causés par des forces internes (pression et pesanteur) et des forces externes (vent, attraction des astres).

Les courants généraux sont formés par :

1. Des forces extérieures au milieu marin (vent)
2. Des forces internes du milieu marin (différences de salinité ou de température à l'intérieur de la mer)

Ces mouvements se traduisent par une oscillation périodique du plan d'eau qui entraînent des courants de même période, plus ou moins déphasés par rapport à la variation des hauteurs d'eau.

I.2.2 Description du milieu marin du point de vue physique :

La mer est un milieu toujours liquide peu importe le changement des conditions physiques (température /pression).

Les seules caractéristiques physiques que nous examinerons sont la température et la densité (qui est liée à la composition chimique de l'eau de mer).

I.2.3 Description du milieu marin du point de vue chimique :

La détermination de la composition chimique de l'eau de la mer se fait au moyen des procédés classiques de l'analyse chimiques.

Tableau I.1 les concentrations des principaux constituants de l'eau de mer

Ion	Concentration (g/kg)
Cl^-	19,354
Na^+	10,77
SO_4^{2-}	2,712
Mg^{2+}	1,290
Ca^{2+}	0,412
K^+	0,399
HCO_3^-	0,140
Br^-	0,067
Sr^{2+}	0,008
B(OH)_3	0,0257
F^-	0,0013

Pour la construction maritime nous avons retenu que l'eau de la mer est très agressive pour les matériaux de construction. Et nous avons identifié la propriété dangereuse par **la salinité** qui est le poids total des sels minéraux dissous dans 1000g de l'eau de mer.

La représentation de la salinité en surface est faite au moyen de lignes d'égales valeur de la salinité appelées isohalines : sur une coupe, la variation de salinité en fonction de la profondeur est représentée par des courbes isohalinobathes. Les diagrammes ST (salinité- température) sont importants car ils caractérisent très nettement un échantillon d'eau de mer- même après remaniement. Les courbes isopignes donnent la densité en fonction de la température et de la salinité [1].

I.3 Modélisation du milieu marin :

Le milieu marin est modélisé en tant qu'un mouvement ondulatoire (oscillatoire), tel que : Les équations de mouvement doivent satisfaire aux équations générales de l'hydrodynamique pour un fluide parfait (viscosité nulle), qui expriment l'égalité des forces extérieurs au fluide et des accélérations, et à l'équation de continuité qui traduit l'incompressibilité de l'eau [1]

I.3.1 Modélisation de la houle :

Les études théoriques de la houle consistent à décrire le phénomène au moyen des formules mathématiques ; les études les plus connues sont relatives à des houles régulières cylindriques caractérisées par :

- H : Hauteur de la houle l'amplitude (dénivellation maximale entre une crête et un creux successif en mètre) ;
- L : Longueur d'onde (distance séparant deux crêtes successives peut atteindre une trentaine de mètres) ;
- T : Période de la houle (temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe dont la variation est de 3 à 25 secondes) ;
- a : Amplitude de la houle (égale à la moitié de la hauteur) ;
- g : Cambrure (rapport H/L) ;
- c : la célérité (la vitesse moyenne de la propagation des crêtes L/T) ;
- d : la profondeur au repos

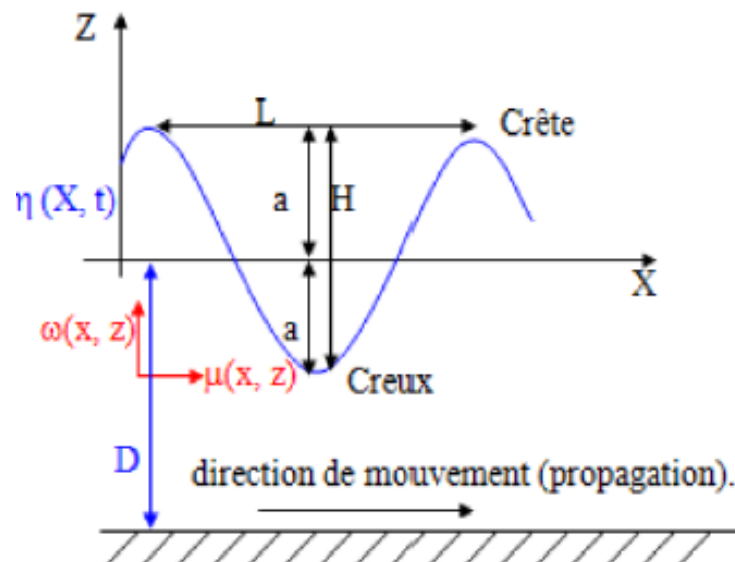


Figure I.1. Les caractéristiques de houle

Déformations de la houle :

a. Déferlement : La hauteur de la houle ne peut pas prendre une valeur trop élevée, les vagues ne sont plus stables lorsque leur cambrure atteint, une valeur limite. Cette valeur critique peut être atteinte soit par accroissement local du creux, soit par réduction de la longueur d'onde qui résulte de la diminution de la profondeur. Alors la vague est partiellement ou totalement détruite on dit que la houle déferle. [1]

b. Réflexion : Lorsque la houle aborde une paroi imperméable (quai, digue, talus), elle se réfléchit partiellement c'est-à-dire son amplitude devient inférieure ou égale à l'amplitude d'incidence. La houle réfléchi en se combinant à la houle incidente donne naissance à des oscillations stationnaires appelées clapotis. [1]

c. La réfraction : Lorsque la houle se propage dans un milieu à profondeur variable, sa célérité varie. La vitesse n'est pas la même tout le long du front de la houle, les crêtes se déforment en plan : la houle réfracte. [3]

d. La diffraction : Lorsqu'un ouvrage n'arrête qu'une partie du front de houle, des oscillations se manifestent derrière l'ouvrage ; la houle contourne l'obstacle : elle diffracte. [1]

I.3.2 Modélisation des seiches :

L'origine de ces ondes de seiches est mal connue. Divers auteurs les considèrent comme des oscillateurs forcés dues au déferlement des trains de la houle des tempêtes sur les plages qui réfléchissent une certaine énergie sous forme d'ondes très longues (théorie de surf-beats de Munk, théorie de M.Biesel).

On a constaté des ondes de seiches dans les ports voisins des côtes plates (Alger) alors qu'on n'a jamais mentionné ce phénomène dans des ports construits sur une côte accore (Oran) [1]

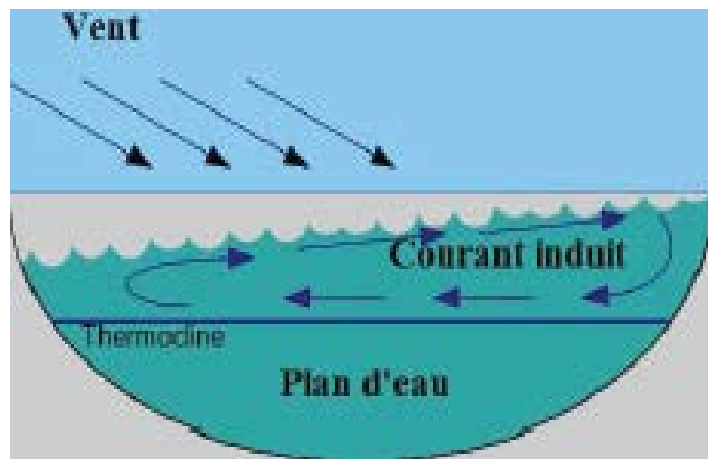


Figure I.2. Oscillation des eaux en bassin fermé « La seiche »

I.3.3 Modélisation de la marée :

Diverses théories ont été avancées pour expliquer le phénomène de la marée ; nous les rappelons de façon très sommaire, en exposant les résultats les plus intéressants auxquels elles ont conduit :

- 1) Théorie statique de Newton
- 2) Théorie dynamique de Laplace
- 3) Théorie de lord Kelvin Analyse harmonique
- 4) Théorie de l'onde progressive
- 5) Théorie des bassins océaniques

I.3.4 Modélisation des courants :

- **Courants généraux** : ce sont des courants océaniques à caractère pratiquement permanent et uniforme. Ils non pas d'influence sur les petites profondeurs. Les principaux courants sont :

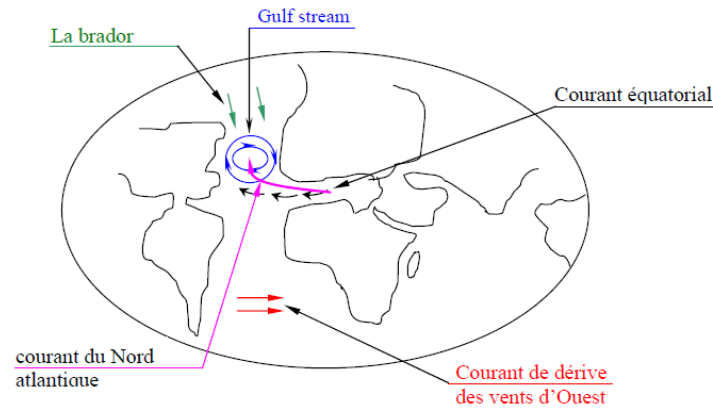


Figure I.3. schéma représentatif des principaux courants

Le long des côtes algériennes il y a un courant qui va de l'Ouest en Est sa vitesse est de **1 à 2 nœuds (1 nœud = 0,5 m/s)**. Il s'agit du courant équatorial.

- **Courants de marée (courants gravitationnels) :** Constituent au large, le phénomène primitif de la marée (théorie dynamique 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 lasses de matériaux, conditionnent le model des fonds et le tracé des rivages.

- **Courants liés au vent :** Ils sont assez importants en Méditerranée, c'est en général des courants de surface qui peuvent attendre 1 nœud par des fonds d'une dizaine de mètres.

- **Courants liés à la houle :** Ils sont alternatifs et très forts lors des tempêtes. Ils se classent en 3 catégories :

- Courants littoraux ;
- Courants de retour ;
- Courants d'expression.

I.4 Conclusion :

Les eaux des mers et des océans sont en perpétuel mouvement, ce qui définit la grande complexité à réaliser des constructions et à poursuivre des activités humaines qui s'avèrent être nécessaires tel que la pêche et le commerce. Les mouvements de la mer sont complexes ; pour mieux les analyser, ils sont décomposés en mouvements élémentaires, dont les causes et les lois peuvent être étudiées séparément. Donc à travers ce chapitre nous avons mis en évidence les notions fondamentales portant sur les mouvements de la mer et les phénomènes naturels pouvant influencer une structure quelconque dans un milieu marin.

Chapitre II

Généralités sur les ouvrages maritimes

II. Généralités sur les ouvrages maritimes

II.1 Introduction :

Un ouvrage maritime est le résultat de l'ensemble des opérations complexe comme : la construction d'un port, son équipement, l'aménagement de ces accès...etc. Il joue un rôle considérable dans le développement d'un état, d'une région et d'une ville. Il assure le relais pour le transport des marchandises et des passagers à travers la mer ou l'océan.

II.2 Patrimoine des infrastructures maritimes en Algérie

L'infrastructure maritime en Algérie est constituée de 40 ports, dont :

- 11 ports mixtes (pêche, commerce, hydrocarbures)
- 02 ports spécialisés en hydrocarbures (Skikda, Arzew) ;
- 26 ports et abris de pêche (dont 06 à l'intérieur des ports de commerce) ;
- 01 port de plaisance (Sidi fredj).

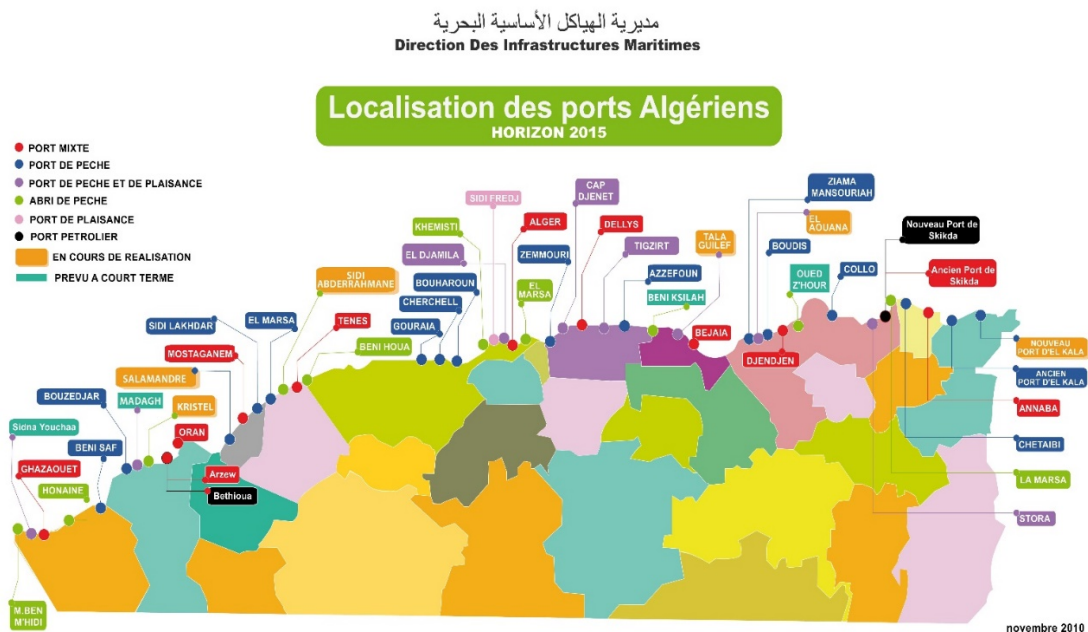


Figure II.1. Carte des ports algériens

Actuellement il y a des projets en cours de réalisation ou de rénovation :

- 05 ports de pêche en cours de construction (El Kala, El Marsa, Salamandre, Marsa Ben M'hidi, Tizirt) ;
- 11 Protections des rivages ;
- Confortement, rempiètement, et renforcement d'ouvrages portuaires au niveau des ports d'Alger, d'Arzew, de Skikda et de Ténès ;
- Aménagement portuaire de pêche à l'intérieur des ports de Béjaïa et Annaba
- Protection du port de Bouzedjar contre l'ensablement et le revêtement du port de pêche de Ziam Mansouriah ;
- Dragage de la passe d'entrée du port de pêche de Boudis.

II.3 Définition d'un port :

Un port est une infrastructure construite par l'homme. C'est une plateforme intermodale d'échange entre l'eau et la terre, situé sur le littoral maritime, et destinée à accueillir des bateaux et des navires.



Figure II.2. Vue de ciel sur le port d'Alger

II.4 Exemples de ports maritimes

II.4.1 Dans le monde

Le port de Shanghai : Shanghai, premier port mondial, en 2006 dépassant les 500 millions de tonnes de trafic (561 millions en 2007).

La première voie maritime au monde, qui dispose de nombreux ports majeurs, en Chine mais aussi au Japon, en Corée du sud, Singapour et Taiwan.



Figure II.3. Port de Shanghai

Le port de Rotterdam : Le port de Rotterdam, principal port européen et un des trois principaux ports mondiaux depuis plus de 30 ans (1er port mondial de 1962 à 1986), est la véritable porte d'entrée de l'Europe. Le complexe portuaire de Rotterdam, sur plus de 30 km de quais, est un port polyvalent qui assure la majeure partie des importations et des exportations de l'UE.



Figure II.4. Port de Rotterdam

II.4.2 Exemples en Algérie

Port de Bejaia : Le port de Bejaia est un port mixte (port pétrolier, commercial et un quai pêcheur). La situation géographique du Port de Bejaia offre des commodités exceptionnelles : Il se trouve à quelques minutes seulement d'un Aéroport international (5 Km). La gare ferroviaire est localisée dans le même site que le Port, ce qui offre, entre autres, des facilités en matière de transfert de marchandises de toute nature vers d'autres destinations. Le port de Bejaia présente 2.8 Km de quai avec une capacité de production de 2 800 T/an en matière de pêche et 10 985 920 T/an pour le commerce.



Figure II.5. Port de BEJAIA

Port de Jen Jen (Jijel) : Le port de Djen-Djen est situé à 10 Km à l'est de Jijel, à l'embouchure de l'Oued Djen-Djen dont il porte le nom. C'est une infrastructure portuaire moderne de création récente (1985- 1991) avec 2 Km de quai extensibles à 4 ou 5 Km et des profondeurs variant de 10.5 à 20 m.



Figure II.6. Port de Djen-Djen (Jijel)

II.5 Rôle de port :

D'un point de vue économique, un port fait référence à une installation servant à recevoir des navires pour assurer la continuité des transports entre la mer et la terre. On peut définir deux rôles essentiels :

- **Rôle industriel** : Les ports peuvent inclure des installations conçues pour traiter ou convertir des matières premières importées ou exportées
- **Rôle de marché** : le rôle de transbordement d'un moyen de transport terrestre ou fluvial à un navire de mer (et inversement) peut s'accompagner d'opérations commerciales faisant du port un lieu de marché ; cette fonction nécessite de puissants moyens de stockage et de conditionnement de la marchandise.

Sur le plan physique, le port doit d'abord permettre aux navires de stationner à l'abri de la houle et du vent, pour :

- Effectuer leurs opérations de transit (chargement et déchargement des marchandises, embarquement et débarquement des voyageurs) ;
- Effectuer leurs ravitaillement (combustible ou carburant, eau, produits nécessaires à la vie de l'équipage et des passagers) ;
- Assurer leurs entretiens et leurs réparations. [2]

II.6 Types de port :

On peut définir le type de port selon leurs activités, mission, implantation géographique et les types des bateaux accueillis. Deux critères importants de classification est établit :

II.6.1 Classification par fonctions principales :

II.6.1.1 Le port de plaisances :

C'est un endroit destiné aux activités des loisirs maritimes et principalement aménagés pour les navigations de plaisance. Ce type de ports est souvent situé près du centre des villes pour des raisons touristiques et pratiques. Il comporte :

- Une capitainerie,
- Différents services d'avitaillement, de mise à sec et de réparation.
- Une pompe à carburant et divers services pour les équipages.

II.6.1.2 Les ports de commerce :

C'est un endroit destiné aux activités commerciales, dont l'une des fonctions est le chargement et le déchargement de marchandises commerciales et le trafic des passagers.

La nécessité économique d'un port de commerce et de la réduction des coûts de transport terrestre et il comporte :

- Des zones d'attente pour les cargaisons roulantes.
- Des espaces de stockage et des silos pour les marchandises solides.
- Des installations pour la construction et la réparation navales.
- Des réservoirs tuyauteries pour les marchandises liquides (pétroliers, chimique)

II.6.1.3 Le port de pêche :

C'est un endroit destiné à la commercialisation du poisson, et gérer l'ensemble des activités liées à la pêche. Les ports de pêches sont les plus nombreux dans le monde et de faible importance. Il comporte :

- Des installations de stockage et de commercialisation de ces produits.
- Des installations permettant l'avitaillement des navires en produits nécessaires à la pêche.
- Des équipements permettant l'accueil des navires et le transbordement à terre des produits de la pêche.
- Des équipements pour l'entretien et les réparations des navires.

II.6.1.4 Le port militaire :

C'est un endroit aménagé pour l'accueil et le stationnement des navires de guerre. Il nécessite des installations lourdes de protection, et il doit localiser dans un endroit stratégique avec accès direct à la mer. Il comporte :

- Un arsenal.
- Une école navale.
- Des moyens de ravitaillement.
- Des installations pour l'armement et l'entretien des navires.
- Des logements et entraînement pour les équipages.

II.6.1.5 Le port de travaux :

C'est un endroit destiné à abriter les engins flottants. Il est créé pour l'exécution des grands travaux.

II.6.2 Classification par implantation géographique :

II.6.2.1 Port au large :

Des installations spécialisées peuvent être créées au large des côtes sans aucune protection particulière, si les conditions naturelles sont satisfaites pour obtenir une exploitation normale des postes.

II.6.2.2 Ports en rade abritée :

Ils sont installés dans des sites particulièrement protégés ne nécessitent pas d'ouvrage de protection contre la houle.

II.6.2.3 Ports extérieurs :

Ils sont creusés sur terre ou gagnés sur la mer ou à ces deux principes à la fois.



Figure II.7. Port de Lavandou

On a trois types :

- **Ports gagnés sur la mer** : Toutes les installations sont alors placées en avant de la ligne du rivage, et protégées par des digues importantes.
- **Ports creusés dans les terres** : Les ports de ce type peuvent comporter des bassins de marée, qu'il y a intérêt à protéger de l'action directe de la houle.
- **Ports mixtes** : On est ainsi conduit à étendre le port vers la mer en créant des bassins de marée à l'abri de nouvelles digues extérieures aux anciennes jetées que l'on conserve plus ou moins.

II.6.2.4 Ports intérieurs :

Ils sont établis le long de cours d'eau, fleuve ou canal maritime. Leurs débouchés à la mer peuvent être soit naturels, soit aménagés, le débouché à la mer peut être équipé par des écluses.



Figure II.8. Port de Rotterdam

II.7 Schéma de principe d'un port maritime :

Ci-après un plan de masse montrant les différents infrastructures et superstructures d'un port.

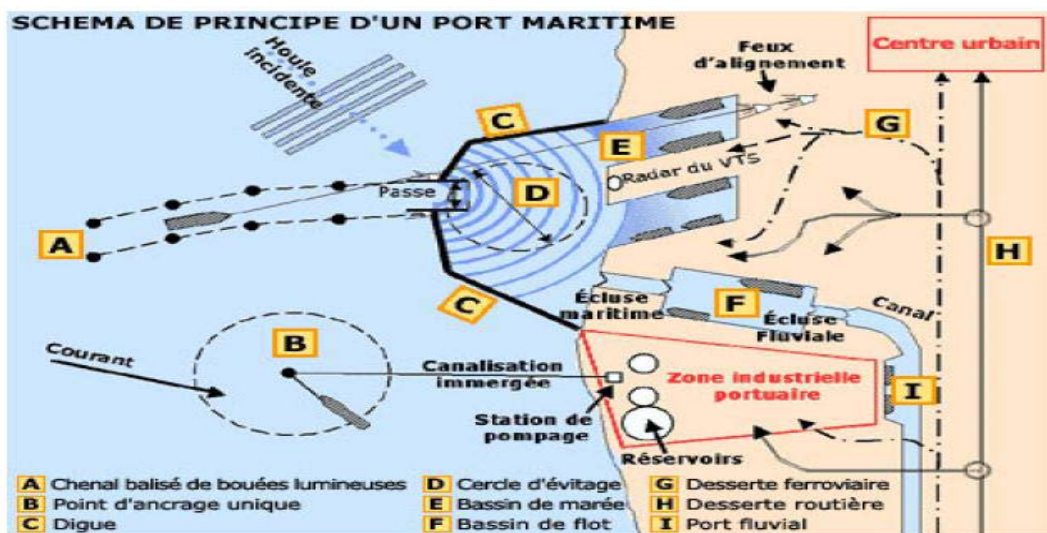


Figure II.9. Schéma de principe d'un port

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 tourné sur lui-même de 180°) de façon à pouvoir être amarré à son poste d'opérations cap vers la sortie

- **Les postes d'accostage** (conçus sous forme de quais, d'appontements ou de ducs d'Albe)

- Les postes sont desservis par des voies de transport intérieures (routes, rails, voies navigables (G, H, I) 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. [3]

II.8 Les ouvrages portuaires :

Pour le bon fonctionnement des ports plusieurs ouvrages. On peut classer les ouvrages portuaires dans deux catégories :

II.8.1 Les ouvrages extérieurs :

Ce sont des ouvrages de protection, soumis aux effets directs de la mer

II.8.1.1 Chenal d'accès :

C'est la voie d'accès à un port ou à une zone de mouillage, Elle à une trace rectiligne constitue par une succession de parties droites faisant entre elle un angle qui ne dépasse pas une trentaine de degrés. Sa longueur est de 5B (B longueur du plus grand navire du port), La largeur égale à la longueur du grand navire et la profondeur du chenal tient compte à plusieurs critères (Tirant d'eau, niveau de référence,).

II.8.1.2 L'avant-port :

Il est un port implanté en aval du port traditionnel afin de bénéficier de conditions nautiques mieux adaptées à l'accueil des navires modernes, Il doit permettre au navire de s'arrêter en attendant l'assistance de remorqueurs pour gagner son poste d'opération. 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.

II.8.1.3 Jetées :

Les jetées sont des structures rigides construites, s'avancant dans la mer, un lac ou un fleuve. Ses fonctions sont :

- La protection du port de la houle et du vent.
- Offrir un lieu de divertissement pour les promeneurs ou les touristes.

Il existe deux types de jetées :

- ✓ Les jetées principales
- ✓ Les jetées secondaires

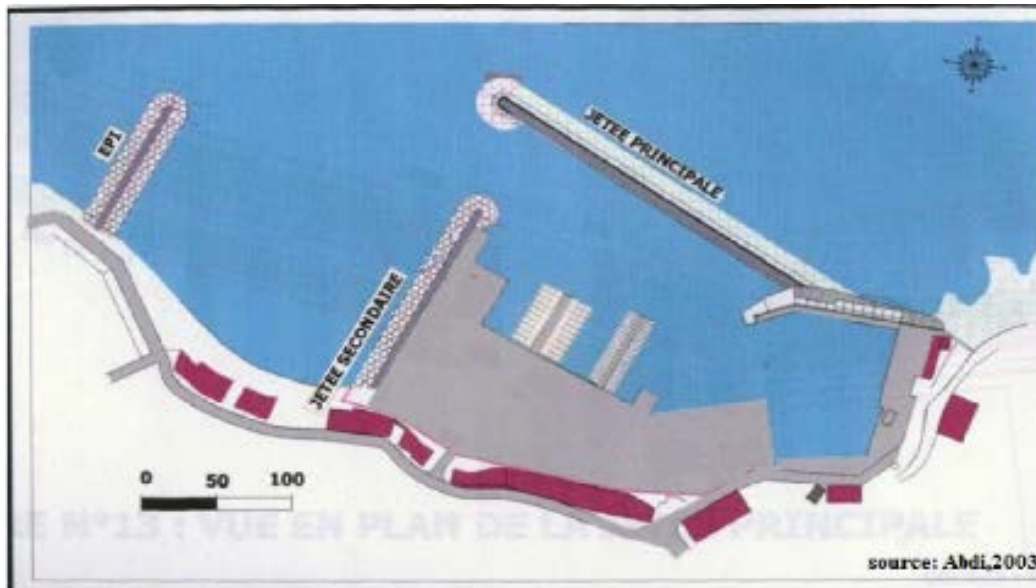


Figure II.10. Plan de masse de nouveau port d'EL Djamilia

II.8.1.4 Digues :

Les digues sont des remblais longitudinaux, de nature artificielle et le plus souvent compose de terre. Elles protègent les ports contre les agressions de la houle du large et permettent de réduire l'agitation intérieure. On a trois types de digues :

▪ Digue à talus :

La digue à talus est constitué de matériaux rocheux et blocs plus ou moins grossiers, arrangés sous forme de trapèze qui vont opposer à la progression de la houle, la résistance est d'autant plus efficace quand le massif sera élevé et peu poreux.

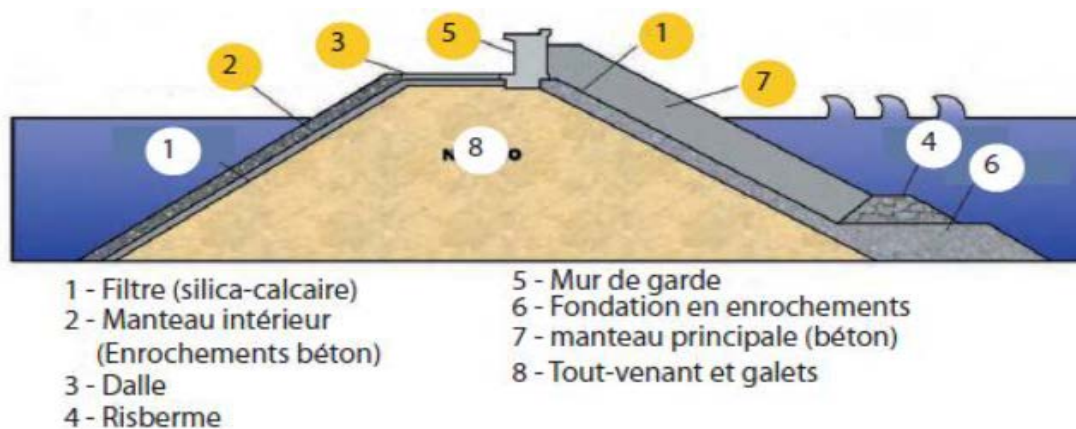


Figure II.11. Schéma d'une digue à talus

▪ **Digue verticale :**

Elle est composée essentiellement d'un mur vertical constitué par les blocs ou des caissons en béton armé (supérieur à 100 tonnes) qui résistent, par leur poids propres, aux efforts imposés par la houle. 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.

Les digues verticales sont calculées pour la hauteur de la plus haute vague constatée au cours de 100 ans.

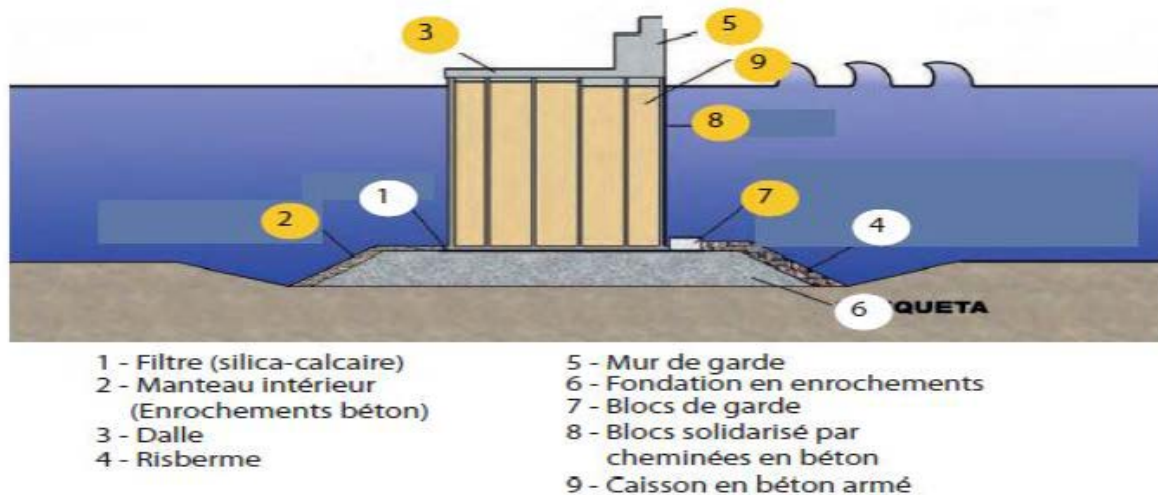


Figure II.12.Schéma d'une digue verticale

▪ **Digue mixte :**

Lorsque on est dans des grandes profondeurs la digue mixte est la solution car la partie inférieure est constituée sous forme d'un ouvrage à talus, surmonté par un ouvrage de type vertical. Les dimensions et la structure de l'ouvrage vertical doivent être suffisantes pour résister aux efforts des vagues déferlantes.

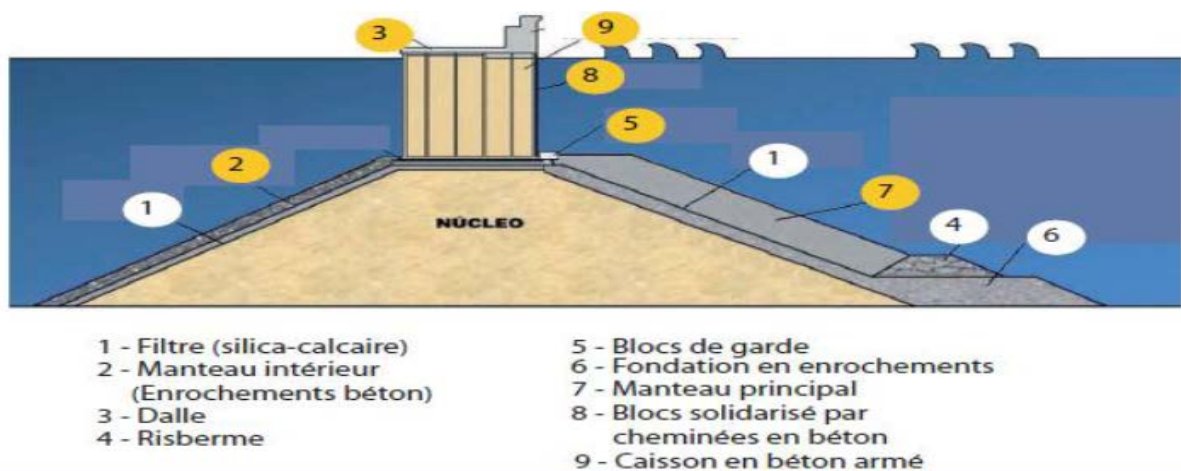


Figure II.13.Schéma d'une digue mixte

II.8.2 Les ouvrages intérieurs :

Ce Sont des ouvrages situés à l'intérieur du port, qui permettent de protéger ou d'améliorer la protection contre les actions de la houle sur le port ou sur une partie du port.

II.8.2.1 Les bassins :

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

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

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

II.8.2.2 Les ouvrages d'accostage et d'amarrage :

Ces ouvrages sont réalisés pour permettre aux navires de stationner en toute sécurité dans le port, pendant leurs escales. Ils ont pour but de :

- Fournir au navire un dispositif d'appui, pour permettre son amarrage.
- Assurer la liaison entre le navire et la terre.
- Soutenir les terres à la limite du plan d'eau.

On a trois types d'ouvrages d'accostage et d'amarrage :

➤ Ducs D'albe (Deophin) :

Ils sont ancrés dans le fond des bassins ou des chenaux, sur lequel un navire peut s'amarrer ou s'appuyer, en bief, aux abords d'une écluse, dans les darses d'un port de mer. Ils sont aujourd'hui réalisés au moyen de tubes métalliques ou de caissons en palplanches soudées entre elles, battus verticalement dans le sol.

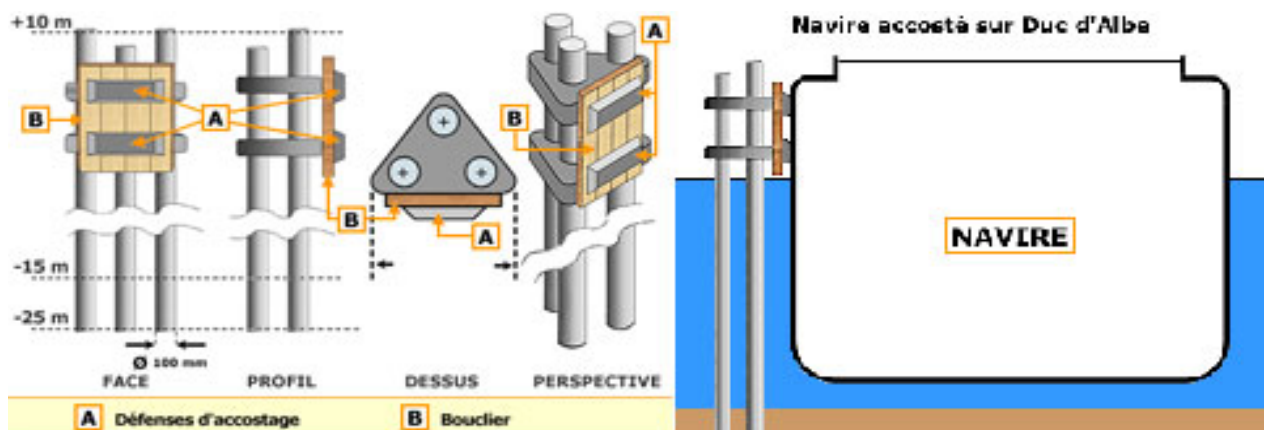


Figure II.14. Schémas d'un "duc d'Albe" en tubes métalliques

➤ Appontements :

Ce sont des ouvrages permettant l'accueil et le stationnement des navires, mais n'assurant pas une liaison directe avec les parties terrestres. Ils peuvent servir aussi au dépôt de marchandises.

➤ Quais :

Ce sont des dispositifs aménagées au bord de l'eau du port pour amarres et accostés les navires. Ils assurent une liaison directe entre le navire et les infrastructures terrestres du port.

Ils peuvent être :

- Massif, en béton coulé en place, en paroi moulée ou constitué de blocs ou de caissons en béton préfabriqués,
- Sur appui, constitué d'une plate-forme en béton armé reposant sur des piles et des pieux en béton armé.

Ces fonctions sont :

- Organe d'accostage et d'amarrage des navires
- Assurer une liaison entre la terre et le navire.
- Soutenir les terres à la limite du plan d'eau.
- Le soutènement des terres en arrière du front de quai.
- Chargement et déchargement de passagers ou de marchandise.

II.8.2.3 Les ouvrages de réparations :

Ce sont les ouvrages dont le rôle est la réparation et l'entretien des navires et bateaux.

Ils se répartissent en :

- Forme de radoub :
- Cale de halage.
- Docks flottants.
- Ecluses maritimes

II.9 Conclusion :

Ce chapitre est consacré aux généralités sur les ouvrages maritimes. Nous avons montré les différents types d'ouvrages maritimes et les éléments qui les constituent.

Chapitre III

Généralité sur les cales sèches

III. Généralité sur les cales sèches

III.1 Introduction :

Tout port quel qu'il soit doit de disposer des moyens de réparation pour garantir le maintien dans de bonne conditions de service de tous navires. Donc, on doit réaliser des travaux d'entretiens qui utilisent des équipements spécifiques. Parmi ces équipements, nous avons les cales sèches.

III.2 Définition de cales sèches :

La cale sèche est un ouvrage maritime de type infrastructure portuaire situées à l'intérieur du port. C'est une installation de mise en sec pour l'entretien des bateaux et leurs réparations.

La cale sèche est un bassin étanche, fermée par une ou deux portes dans laquelle on peut mettre un navire provisoirement à sec par pompage pour l'examiner, le nettoyer ou le réparer.



Figure III.1. Vue du ciel des cales sèches du port Gdynia

III.3 Historique de la cale sèche :

La construction de navires et de ports appartient sans aucun doute aux domaines les plus anciens de l'ingénierie. Alors que les ports construits dans les temps anciens présentent une grande similitude avec ceux d'aujourd'hui. Aucun équivalente de la cale sèche contemporaine ne peut être trouvé dans les temps anciens. Les navires de cette époque étaient, en principe, très petits et donc le lancement ainsi que le nettoyage et la réparation sous-marins étaient beaucoup plus facile.

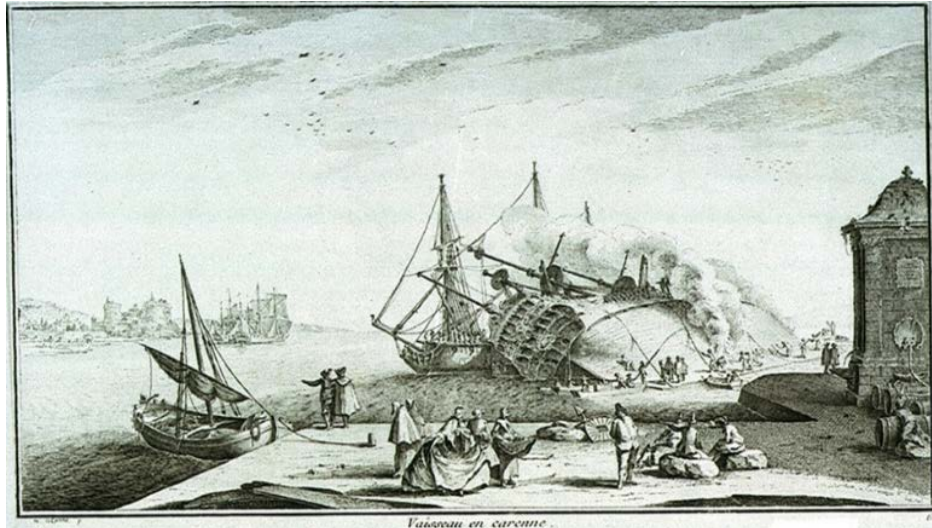


Figure III.2. Vaisseau abattu en carène vers 1750-60. (N. Ozanne)

Avec le développement des navires, on peut supposer, cependant, que les navires de grande taille nécessitent un endroit pour les réparer.

À l'époque de la marine en bois, les installations mises à la disposition des navires nécessitant des réparations sont assez rudimentaires.

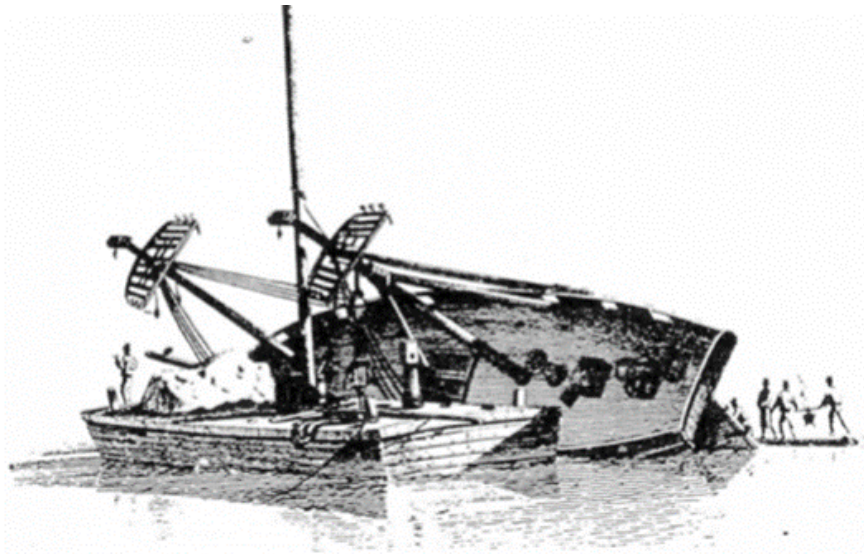


Figure III.3. Ancienne méthode de réparation des navires

Lorsque les travaux d'entretiens sont achevés le navire est relevé puis de nouveau basculer de manière à découvrir son second flanc. Si ce système permet d'intervenir sur des navires jaugeant jusqu'à 200 tonneaux, il est cependant long à mettre en œuvre, et nécessite une main d'œuvre importante et ne permet d'intervenir que sur un seul côté à la fois. Face à ce problème, les Anglais mettent au point au XVIIe siècle le principe de la forme de radoub. Cette installation se compose d'un bassin fermé par un barrage mobile et d'appareils d'épuisement permettant la vidange de la cale de manière à mettre le navire à sec. Ce système a l'avantage de faire reposer celui-ci sur sa quille ce qui permet de travailler sur les deux flancs de la carène en même temps, d'où une durée d'immobilisation moins longue.

Compte tenu de développement des ports, la construction de nouvelles formes de radoub est autorisée par le gouvernement français en 1871.



Figure III.4. La forme supérieure de la « forme double » à Rochefort, conçue au XVIIe siècle.



Figure III.5. Le bassin de radoub de la Darse de Villefranche-sur-Mer, 1730

III.4 Description des diverses parties d'une cale sèche

Une cale sèche doit être régulièrement mise à sec à l'aide de ces diverses parties.

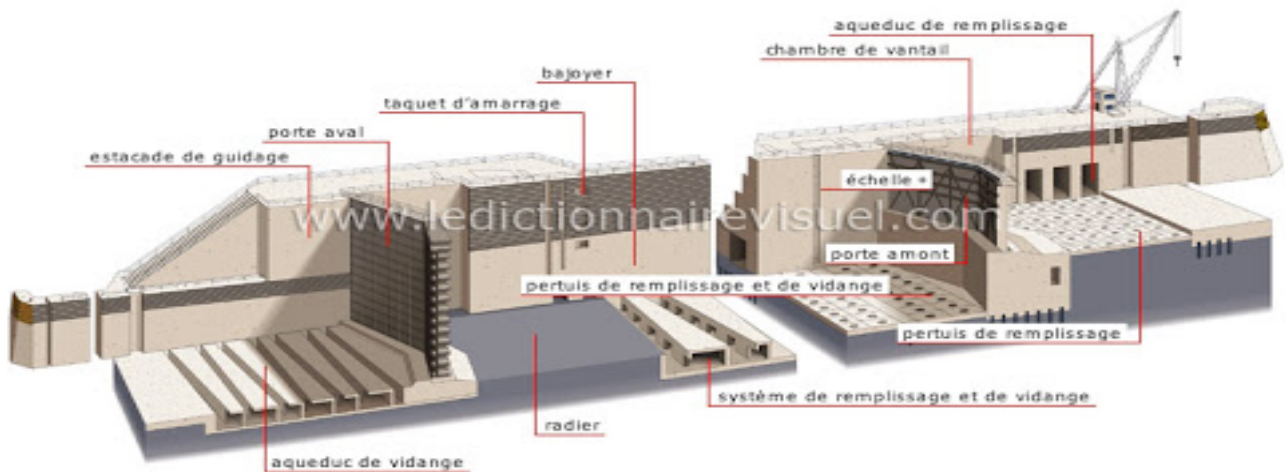


Figure III.6. Les diverses parties d'une cale sèche

A. Le radier :

Le radier doit avoir une étanchéité maximale et prévoir un réseau de drainage et d'évacuation efficace. Ce type de radier apparaît le plus souvent comme très économique et de plus très facile à adapter aux largeurs et tirants d'eau.

Le radier est une seule plaque encastrée dans les bajoyers et le seuil, radiers et bajoyers peuvent être encrés dans le sol afin de mieux résister aux sous-pressions

B. Les bajoyers :

Les bajoyers sont construits sous formes d'ouvrages de soutènement massif en béton. Les grandes formes modernes comportent des bajoyers verticaux, les navires modernes étant à fond plats et muraille droites, il n'apparaît plus nécessaire de les accoter.

Les bajoyers sont conçus pour résister à la poussée des terres mais aussi au poids des engins (grues, PL). Ils contiennent divers équipements comme les vannes, les canalisations d'eau, l'air, le réseau incendie, ... etc.

C. Les têtes de bajoyers et du radier :

Les têtes sont renforcées pour permettre de jouer le rôle d'appui de l'ouvrage. Elle comporte le dispositif d'appuis ou de logement de la porte ainsi que les aqueducs et vannes diverses.

D. Les dispositifs de fermeture :

Ils sont en général constitués d'un vantail à flottabilité réglable (permet de l'alléger à l'ouverture, l'alourdir à la fermeture) s'appuyant sur la passe à fermer.

On échoue le bateau porte dans une rainure du radier.

L'appui des bateaux porte sur les maçonneries de la tête qui se fait par l'intermédiaire de fourrures d'étanchéité : pièce en bois garnis de torons en chanvre ou de caoutchouc.

E. Les dispositifs de remplissage et de vidange des formes de radoub :

Ces installations comportent les moyens de pompage et sont disposés dans les têtes d'ouvrages.

Les pompes d'épuisement (plus puissantes) sont complétées par des pompes moins puissantes dites d'assèchement qui permettront le drainage des eaux d'infiltration ou de pluie.

La durée de pompage est de l'ordre de 3 à 4 heures.

III.5 Accessoires des cales sèches :

➤ Les organes d'amarrage :

Afin de permettre la tenue du navire on trouve les mêmes installations que sur les quais

➤ Les organes de manœuvre :

On prévoit des cabestans et des treuils sur les têtes des formes pour aider les manœuvres, les moyens propulsifs étant à proscrire (surtout à l'entrée, tenue de la ligne de tin) l'aide des remorqueurs moins efficaces le navire une fois bien engagé dans l'ouvrage.

Ces mêmes treuils et cabestans serviront à mettre le navire en position au plus juste sur la ligne de tin. On disposera un système de crocs montés sur chariots tractés eux même montés sur rail qui permettront le déhalage du navire en fond de forme et le centrage de celui-ci sur la ligne de tins.



Figure III.7. Photo d'un cabestan

➤ Les organes de soutien :

Les navires reposent sur des lignes d'appuis, les lignes de tins. Les tins sont des pièces (en général en bois ; leurs faces arêtes peuvent être protégées par des tôles et cornières en acier) de faible section d'une hauteur réglable de 1.50 m. environ, elles peuvent supporter une charge de 1000 tonnes.

Les formes modernes peuvent comporter jusqu'à cinq lignes, réparties en une centrale et deux à quatre latérales. Afin de mieux supporter la coque relativement fragile des grands navires les tins doivent pouvoir être déplacés et mis en position précise afin de pouvoir porter aux points précisés par l'armateur.

Pour les navires dits en « forme » les accords et épontilles sont des pièces en bois placés entre les angles des redans et le bordé du navire pour le caler et éviter son basculement autour de la quille.



Figure III.8. Une ligne des tins

III.6 Types de cales sèches :

➤ Les docks flottants :

❖ Dispositions principales :

Un dock flottant est un flotteur en forme de U, dont on peut régler la flottabilité par des mouvements de lest liquide et qui peut recevoir un navire entre les branches du U en position immergée et le maintenir à sec en position haute. Le navire repose sur le fond du dock par l'intermédiaire d'une ou plusieurs lignes de tins.

Les murailles sont les flotteurs d'équilibre dont la partie émergente assure à l'ensemble une certaine stabilité de forme. Ils servent en outre à supporter l'équipement : pompes, grues, treuils, cabine de manœuvre, groupes électrogènes, ...



Figure III.9. Dock flottante de l'Australien marine

❖ Dimensions et constitution :

On appelle « force de levage » du dock, le poids du plus gros navire qu'il peut recevoir et soulever.

Ils sont construits en acier, compartimentés et cloisonnés de manière à former les caisses de lest et éviter les mouvements de carène liquide. Le système de pompe est conçu pour permettre une correction rapide de la gîte ou assiette de l'installation. L'amarrage du dock est en général sur appontement qui sert aussi d'accès.

La stabilité du dock sera particulièrement vérifiée au moment où le navire émerge et le dock est encore immergé.

➤ Les cales de halage (slip-ways) :

Une cale de 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.

Il existe :

A. Les cales longitudinales ou en long : Perpendiculaire à la rive.

❖ Dispositions principales :

Elles comportent généralement un chemin de roulement constitué de deux rails, d'une pente de l'ordre de 5 %. Le ber, roule sur ces rails, comporte une ligne de tins fixes et deux mobiles que l'on peut manœuvrer pour les appuyer sur la coque. Les passerelles de part et d'autre peuvent servir d'appui au navire par l'intermédiaire d'accords. Le berceau est halé par un câble de forte section et un puissant treuil, à une vitesse de l'ordre de 2 à 3 mètres/ minutes.

La partie immergée sera construite en béton, par éléments préfabriqués, la partie supérieure en béton et aménagée de manière à accueillir les ateliers, locaux et aménagements divers utiles au chantier.

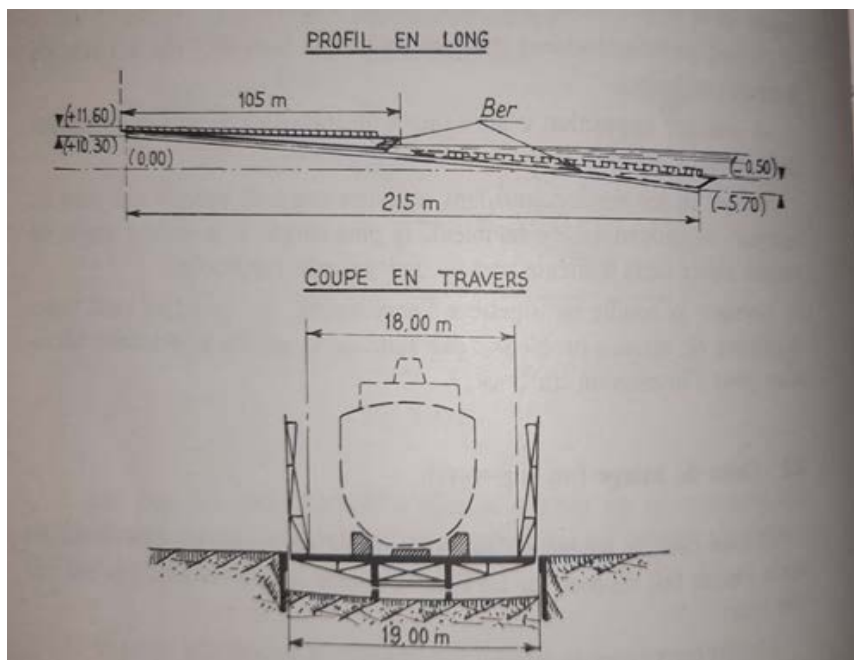


Figure III.10. cale en long

B. Les cales transversales ou en travers : parallèles à la rive.

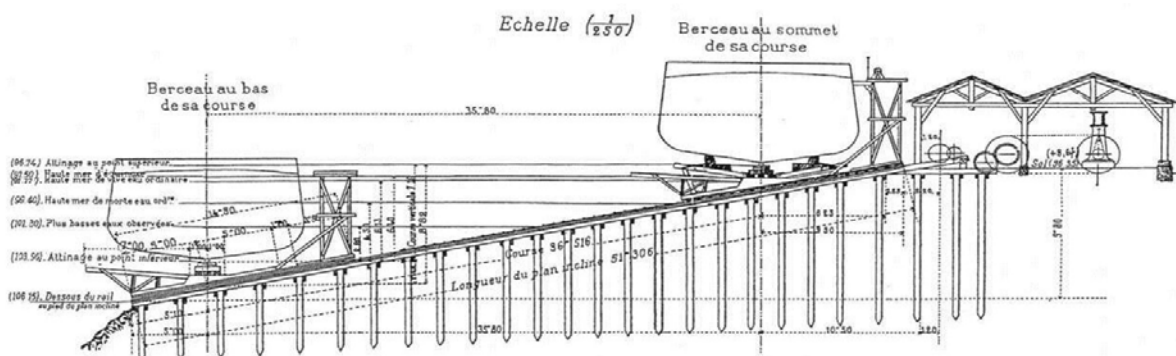


Figure III.11. Cale en travers

❖ Dispositions principales :

Le chemin de roulement est constitué par deux cours de rails :

- le cour inférieure sur lequel roule le train de galet avant du ber de hissage,
- le cour supérieure sur lequel roule le train arrière.

Les deux cours de rails sont décalés l'un par rapport à l'autre et permettent un mouvement de translation pendant lequel le ber reste horizontal.

La pente de la partie inférieure est assez forte 15 à 20 % la partie supérieure de 1%.

➤ Les grills de carénage :

Les grills de carénage sont des installations que l'on rencontre dans les ports à forte amplitude de marée. Ils comportent une plate-forme d'échouage constituée d'une ligne de tins fixe et de grande longueur. Le navire se place en flottaison et s'y échoue en marée descendante.

➤ Les élévateurs à bateaux :

Ils sont constitués par une plate-forme se déplaçant verticalement sous l'action de treuils ou de vérins. Le navire placé sur un chariot d'échouage est ensuite déplacé vers une aire de travail. Ce système est bien adapté pour créer rapidement un chantier permettant la réparation simultanée de plusieurs navires. Il nécessite néanmoins un terre-plein vaste et stable. La force des élévateurs est de l'ordre de 5.000 à 10.000 tonnes.



Figure III.12. Portique élévateur via une darse

III.7 Critères de choix de cales sèches :

Les critères de sélection d'un type de cale sèche pour un navire dépendent des facteurs suivants :

- **La taille du navire :** Le quai de gravage est utilisé pour accueillir une plus grande taille par rapport à tout autre type. Si l'armateur / gestionnaire doit mettre en cale sèche un gros pétrolier, il ira à la cale sèche. Si le navire est d'environ 10000 tonnes, le type de chemin de fer maritime peut être utilisé. Si un bateau ou un petit yacht jusqu'à 250 tonnes a besoin d'une réparation dans le quai, un ascenseur marin mobile peut être utilisé.

- **L'état du navire :** si l'installation de propulsion du navire ne fonctionne pas ou s'il y a des dommages qui peuvent rendre un navire immobilisé, des quais flottants sont couramment utilisés dans de telles conditions.

- **Types de réparation :** Le choix du type de cale sèche dépend également des types de réparation que le navire souhaite subir. Pour la cale sèche programmée normale, une cale

flottante peut être sélectionnée, cependant, s'il y a des rénovations majeures ou si des pièces massives / un montage de machine sont nécessaires, la cale sèche est sélectionnée car ils sont généralement situés à proximité du chantier naval et il est facile à déplacer. le matériau de la terre au quai par rapport au quai flottant.

- **Horaire du navire :** L'emplacement et le type de cale sèche seront décidés selon l'horaire actuel du navire et la facilité avec laquelle le navire peut atteindre le quai après avoir déchargé toute la cargaison vers le dernier port d'escale.

- **Budget :** Le facteur le plus important pour sélectionner le type de cale sèche est le budget alloué au navire.

III.8 Conclusion :

La cale sèche est un outil nécessaire pour mener des travaux d'entretien et de nettoyage des navires. C'est une structure qui nécessite un dimensionnement qui touche beaucoup de domaines comme la résistance des matériaux et la mécanique des sols.

Chapitre IV

Présentation du projet et collecte des données

IV. Présentation du projet et collecte des données :

IV.1 Introduction :

L'Algérie est pratiquement absente de l'industrie internationale de la réparation navale. D'où les ouvrages de réparation des navires dans nos ports sont insuffisants et de moindre importance. Vu que la majeure partie des opérations de réparation navale se font à l'étranger ce qui occasionne des sorties de devises. Il est donc d'un grand intérêt pour un port de pouvoir disposer de moyens permettant la mise hors d'eau des navires pour la réparation et l'entretien. Dans ce cadre l'entreprise portuaire de Skikda à lancer le projet de « l'aménagement d'une cale sèche » pour répondre à ces besoins.

Cette étape préliminaire a été consacrée à des contacts et des visites auprès des sociétés concernées par le projet : la direction des travaux publics (DTP) de Skikda, l'entreprise portuaire de Skikda (l'E.P.S), et le laboratoire d'études maritimes (LEM).

IV.2 Présentation de l'ancien port de Skikda :

L'ancien port de Skikda a été construit en 1861 pendant la période coloniale. Est devenu aujourd'hui l'un des fleurons de l'économie nationale et un pion essentiel d'un pôle hydrocarbures intégré, qui véhicule l'essor et le développement économique de l'Algérie.

➤ Présentation géologique :

C'est un port de commerce qui se situe dans la partie sud de la baie de STORA, il occupe une surface de 35 hectares. Ses coordonnées géographiques sont :

- 36°53'20'' Nord
- 6°54'30'' Est

Du point de vue physique le port est abrité :

- Au Nord par la grande jetée qui est enracinée à l'Est sur la pointe de Skikda, s'allongeant dans une direction légèrement divergente par rapport à la côte ;
- À l'Est par le massif de Skikda ;
- À l'Ouest par le môle du château vert laissant libre une passe d'entrée d'environ 130m de large.



Figure IV.1. Position du port de Skikda

➤ Présentation physique :

Le port comprend deux bassins : la darse et l'avant-port. Ces deux bassins sont séparés par une traverse ménageant une passe d'environ 80m de largeur.

Il offre une passe d'entrée de 130m de largeur. L'axe de la passe est parallèle à la « ligne de base » distant de 143m de cette ligne.

Un cercle d'évitement des navires dans l'avant-port comme suit :

- selon un cercle de diamètre 300m, de façon ordinaire.
- selon un cercle de diamètre 360m, en cas de vacance du poste pétrolier P3.

Les marchandises générales transitent par douze (12) postes à quai dont un (01) poste à céréalier, un quai qui forme le quai de la Marinelle, un port de servitude et trois (03) postes pétroliers P1, P2, P3 greffés sur la jetée principale.

Les tirants d'eau varient entre 6 et 9 mètres pour les quais et entre 11m et 14m pour les postes pétroliers.

Par ailleurs, le fond marin est constitué principalement de schistes et de micaschistes.



Figure IV.2. Plan de masse du port de skikda

IV.3 Collecte des données :

IV.3.1 Données météorologiques :

A. Climat :

Le climat de Skikda est dit tempéré chaud. L'emplacement étant classé climat méditerranéen chaud avec été sec (Csa) selon la classification de Köppen-Geiger. La wilaya affiche les températures suivantes :

Tableau IV.1 Températures caractéristiques de la ville de Skikda

	Jan	Feb	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	annuelle
TM	23.8	24.1	31.1	30.5	38.8	38.8	41.1	46.6	38.8	36.1	31.1	25.0	46.6
MM	13.8	14.4	17.2	18.8	21.6	25.0	28.8	28.8	26.6	22.7	18.3	15.0	20.5
Mm	7.2	7.2	8.8	10.0	13.3	16.6	19.4	20.5	18.8	15.0	11.6	8.8	13.6
Tm	1.1	1.6	1.6	2.7	7.17	11.1	15.0	14.4	12.7	8.8	4.4	1.6	1.1

TM : Température maximale absolue en °C
 MM : Température moyenne maximale en °C
 Mm : Température moyenne minimale en °C
 Tm : Température minimale absolue en °C

La précipitation moyenne annuelle est de 728.6 mm

B. Le vent :

Le vent dominant est un vent d'ouest et de nord-ouest. Les secteurs centrés à 270, 300 et 330 ° N représentent environ 42% de tous les records de vent. Les vents les plus forts proviennent de secteurs centrés sur les 300 ° N et 330 ° W.

Les vents proviennent principalement des trois directions :

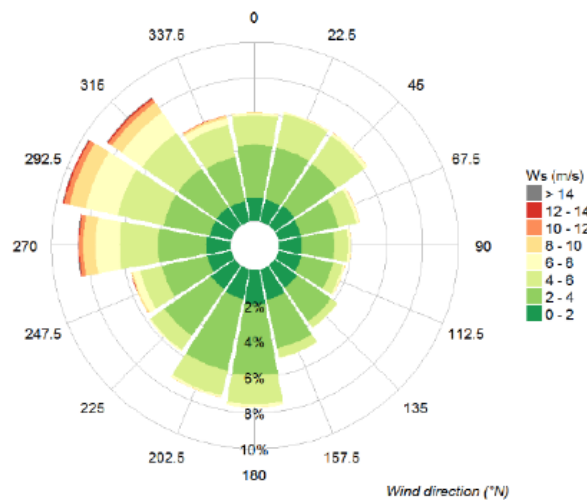


Figure IV.3. Rose des vents.

- L'ouest-nord-ouest, qui totalise environ 51% des occurrences et la valeur la plus élevée qui est d'environ 19 m/s.
- Le nord-est, qui totalise ~ 24% des occurrences.
- Le vent du sud, qui totalise~ 25% des occurrences.

B. Profondeurs d'eau :

Le couloir délimité entre la digue Nord et le môle du château vert et en dehors de la zone draguée présente des profondeurs d'eau supérieures à 14.00m ZH (variant de 15.00m à 18.00m ZH). Les fonds au niveau de la passe d'entrée ont été dragués jusqu'à -14.00m ZH sur une largeur de 121m.

Les profondeurs d'eau au niveau du cercle d'évitage après dragage se répartissent comme suit :

Zone Sud draguée jusqu'à -11.00m ZH

Zone Nord-Ouest draguée jusqu'à -14.00m ZH (zone du poste P3)

Zone Nord-est draguée jusqu'à -12.50m ZH (zone du poste P2)

C. Les courants :

Les courants généraux dans la région de Skikda, ne constituent pas un facteur important à l'extérieur des ports construits dans la région, les renseignements extraits des instructions nautiques signalent l'existence d'un courant général dirigé vers l'Est pouvant atteindre 1 à 1.5 nœuds et passant à quelques milles au large et d'un courant de 0.5 à 1.5 nœuds qui circulerait plus près de la côte.

D. Houle au large :

Sur la base des données de houle traitées en fonction de la direction, de l'amplitude et de la période.

Un calcul de la fréquence d'apparition est effectué pour chaque classe d'amplitude.

Les valeurs significatives des amplitudes des houles, en mètre, sont indiquées dans le tableau N°02 ci-dessous :

Tableau IV.3 Amplitude de la houle au large par direction (Source : S.S.M.O. 1963-1970)

Direction Période d'occurrence	Ouest	N.Ouest	Nord	N.Est	Est	Toutes directions
Bi-annuelle	7.92	7.03	5.46	4.00	3.51	8.41
Quinquennale	9.03	8.10	6.50	4.67	4.01	9.44
Décennale	9.86	8.90	7.27	5.16	4.30	10.21
Vingtennale	10.70	9.17	8.05	5.67	4.75	10.96
Cinquantennale	11.61	10.71	9.06	6.35	5.24	12.01
Centennale	12.64	11.56	9.65	6.83	5.61	12.76

IV.3.4 Les données géotechniques :

On ne peut pas faire une étude géotechnique sans connaître la géologie de la zone d'étude.

L'étude est faite par la compagnie Française SOCOTEC.

IV.3.4.1 Géologie :

L'ancien port de Skikda est implanté dans un relief constitué principalement de schistes et de micaschistes gris-bleuâtres.

Des roches métamorphiques peuvent être observées :

- En bordure de mer, à l'Est de la grande jetée,
- Le long de la route limitant au Sud la zone portuaire,
- Dans la carrière, à 200m au Sud du quai céréalier.

IV.3.4.2 Géotechnique :

Six (06) sondages carottés (A1 et A2 dans le terre-plein arrière, C1 et C2 à travers le quai existant et B1 et B2 dans le bassin de l'ancien port) répartis sur deux profils perpendiculaires au quai céréalier ont été réalisés.

- Sondages A :

Les sondages A, dans le terre-plein, ont mis en évidence à partir de 8m de profondeur en moyenne (à environ 6,40m au-dessous de la surface libre de l'eau) un substratum constitué par un micaschiste fracturé mais compact.

Ce substratum est recouvert par 3m à 3,50m de petits blocs de schiste et de quartz, puis de 4,50m à 5m jusqu'à la surface par un remblai d'argile sablo-graveleuse et de blocs de schiste.

Des essais mécaniques effectués sur des échantillons de ce substratum ont donné, selon le degré de fracturation, des résistances à la compression simple comprises entre 50 et 110 Kg/cm².

- Sondages C :

Les sondages C, à travers le quai existant, ont mis en évidence sur près de 9m de profondeur (Jusqu'à environ 7,40m au-dessous de la surface libre de l'eau) un béton composé de blocs de schiste sain de 5 à 30cm et d'un mortier de chaux.

Le substratum de fondation du quai au-delà de 9m est constitué d'un micaschiste altéré et fracturé en tête devenant très fracturé mais compact ensuite.

Les essais mécaniques effectués sur des échantillons de béton du quai existant ont tous donné des résistances à la compression simple de l'ordre de 80 Kg/cm² et révèlent ainsi une certaine homogénéité de ce matériau.

Par contre, les essais effectués sur des échantillons du substratum ont donné des valeurs de résistances à la compression simple assez dispersées et variant de 9 Kg/cm² pour le micaschiste très altéré à 61Kg/cm² pour celui très fracturé mais sain.

- Sondages B :

Les sondages B, dans le bassin, ont été réalisés en des points d'un tirant d'eau de 7m.

Le sondage B1, à 1m du bord de quai, a mis en évidence sur 5m d'épaisseur (jusqu'à 12m en dessous de la surface libre de l'eau) un micaschiste très altéré ; la récupération était de 25%.

Le sondage B2, à 3m du bord du quai, a traversé :

- 3m de cailloux et petits blocs de schiste vraisemblablement noyés dans une vase,
- 2m d'un schiste séliciteux très altéré passant à une argile onctueuse,
- 4m (de 12m à 16m au-dessous du niveau d'eau) d'un micaschiste très fracturé.

Le substratum du bassin est ainsi constitué de schistes et de micaschistes assez altérés. Il ne devrait donc, pour l'essentiel, poser aucun problème particulier de déroctage.

IV.3.5 Caractéristiques de la flottille :

L'entreprise portuaire de Skikda a transmis au LEM les données à retenir pour l'aménagement de la cale sèche. Elles sont les suivantes :

Tableau IV.4.caracteristiques de flottille de remorqueurs

logueur	largeur	Tirant d'eau	Poids	Nombre
De 20 à 30m	De 7.62 à 8.6m	De 4.00 à 4.30m	De 190 à 239 Dwt	14

Le cas le plus défavorable est celui des navires ayant les plus grandes dimensions.

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini l'objectif de ce projet avec une présentation d'une collecte des données nécessaire pour le réaliser.

Chapitre V

Etude d'aménagement

V. Etude d'aménagement

V.1 Introduction :

Aménager désigne à Installer une construction de manière à rendre habitable. C'est une démarche pour obtenir une installation optimale en prenant en considération tous les données possibles.

Dans ce chapitre, on va justifier notre choix d'aménagement de la cale sèche tous en introduisant les facteurs, les avantages de notre choix, et les étapes de la réalisation de notre ouvrage.

V.2 Facteurs d'aménagement :

Une multiplicité des facteurs détermine l'aménagement.

- ✓ Les règles d'aménagement du territoire.
- ✓ Les critères du choix de réalisation de l'ouvrage.
- ✓ Les contraintes imposées lors de la réalisation de l'ouvrage.

Pour notre cas, l'aménagement de la cale sèche rentre dans le cadre de l'opération de l'extension du port et le renforcement de ces outils de gestion « Exécution du port de Skikda ». Ce qu'il nous permet de dire que cette opération obéit aux règles d'aménagement de territoire.

V.3 Les critères du choix de réalisation de la cale sèche :

Le choix de réalisation de la cale sèche découle d'un grand nombre d'avantage :

- Grande sécurité de l'ensemble de l'ouvrage (pompes, bajoyers et radiers).
- Excellente stabilité du navire en cours et une fois terminé l'assèchement.
- Stabilité absolue pour l'ensemble (navires + cale sèche).
- Facilité des manœuvres d'assèchement.

V.4 Choix de site :

L'implantation d'une cale sèche dans un port résulte d'un compromis entre de nombreux impératifs souvent contradictoires car on va analyser évaluer et comparer les différentes implantations susceptibles d'être réalisées pour choisir la plus convenable.

Les impératifs retenus pour notre cas sont :

Impératifs d'implantation :

- Bonne accessibilité pour les navires.
- Bonne desserte routière.
- Existence de terrains disponibles à proximité immédiate pour l'aménagement des surfaces courtes (ateliers) et non couvertes nécessaires à l'exploitation.

Impératifs technologiques et géologique :

- Terrain de fondation résistant, homogène, et si possible étanche.
- Volume minimal de terrassement, notamment en terrain dur.
- (le cas échéant) dimensions minimales de l'enceinte batardée de construction à sec ou tracé minimal de rabattement de nappe ; étanchéité maximale de l'enceinte pour limiter le volume de pompage pendant la construction à sec.

✚ Le port de Skikda est doté préalablement d'une cale de halage construite pendant la période coloniale en 1861, cette cale présente beaucoup de malfaçon tant sur les équipements électromécaniques que sur les éléments de construction génie civil. L'EPS le maître d'ouvrage à susciter un grand intérêt pour ce site. En effet, on se basant sur les impératifs technologiques, géologiques et d'implantation, l'EPS (le maître d'ouvrage), a fini par retenir l'emplacement de la cale de halage afin de réaliser la cale de sèche.

V.4.1 Justification du choix de site :

V.4.1.1 Description de l'état actuel de la cale de halage :

Pour faire la description de l'état actuel de la cale de halage existante, il faut d'abord connaître ses équipements, ensuite présenter le résultat de l'entretien de cette dernière.

Tableau V.1 Les équipements de la cale de halage existante

	Les équipements électromécaniques	Les équipements de génie civil
Les équipements de la cale de halage existante	-Un treuil et poulies de renvoi et retour équipés d'un moteur de 18 cv démontés sous 380 volts et tournant en l'état initial à 1000 tr/mn (vitesse de rotation théorique). -De bers pour le transport des embarcations. De voie de roulement constituées de rails de type Vignole. -De câble de liaison bers. -D'un local abritant les équipements électromécaniques (treuil, moteurs, réducteurs, système de freinage commande).	-Poutres en béton armé reposant sur le plan incliné et supportant les voies de roulement de l'équipement de halage -Le plan incliné est prolongé par cinq piles en béton reposant sur des massifs d'encrochement surmontés de poutres entretoisées en béton armé sur lesquelles sont fixés les rails du chemin de roulement des bers.

Tableau V.2 Les résultats d'entretien de ces équipements

	Les équipements électromécaniques	Les équipements de génie civil
<p>Les résultats d'entretien des équipements</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Détérioration du câble pour le mouvement des bers. -Galets des bers bloqués (usure des axes). -Fonctionnement difficile des poulies de renvoi et de retour. -Rupture des soudures et rivets de fixation des éléments métalliques constituant les chariots. -Accès difficiles aux embarcations mises à sec et ce compte tenu de la position des berceaux. -Bers non équipés de calages adéquats rendant difficiles les opérations de mise à terre et mise à l'eau des embarcations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Apparition des fissures et des poutres entretoisées supportant les voies de roulement de bers. - Tassements différentiels des 5 piles suite à la déstabilisation des fondations en massif d'enrochement (affouillement). - Glissement de 5 dalles du plan incliné partie immergée. - Perte des propriétés chimiques et mécaniques du béton constituant les ouvrages - Corrosion des armatures des longrines. - Mauvais état des rails (partie sous eau)

✚ En analysant tous ces paramètres, nous remarquons que la rénovation de la cale de halage d'ancien port de Skikda s'impose sans conditions. L'administration chargée de l'exploitation du port a opté pour la destruction pure et simple de la cale de halage existante et remplacer cette dernière par une cale sèche.

V.4.2 Exécution des travaux :

Avant de commencer les travaux d'exécution. Nous devons maintenir une stabilité de l'endroit à démolir. Nous proposons des pieux pour une profondeur de 12m.

L'exécution des travaux nécessitent trois étapes pour la destruction de la cale de halage existante.

V.4.2.1 La démolition :

Une opération de démolition a pour but la destruction des structures génie civil et intègre les études préalables aux travaux de démolition ainsi que la gestion. Au sens large, des matériaux et déchets produits.

Pour notre cas, on opte à démolir la cale d'halage pour des raisons durable (duré de vie expiré). Les méthodes de démolition sont nombreuses et variées. Et le choix de cette dernière est imposé par le maitre d'ouvrage.



Figure V.1. Vu en plan de la cale de halage existante

V.4.2.2 Nettoyage

Après la démolition on doit nettoyer le chantier.

Nettoyer après une démolition est obligatoire. Il ne s'agit pas d'une nécessité. Le processus de nettoyage fournit l'opportunité d'inspecter le site dans les moindres détails. Ceci permet aux propriétaires de s'assurer que l'endroit est en bonne place et ne pose aucun risque avant de commencer la construction.

V.4.2.3 Dragage :

Le but du dragage est d'améliorer et entretenir la profondeur des accès, bassins et plan d'eau. Il sert aussi à la création de ces ouvrages. La technique de dragage dépendra, du matériau à déblayer, du courant, de l'état de la mer (houle) ou du plan d'eau (courant), de la profondeur de travail, de la distance du rivage et enfin de la fréquentation du lieu. Quel que soit la méthode, la vérification du travail se fait au « passage du rail ». Un rail immergé et remorqué à la profondeur draguée ne doit rencontrer aucun obstacle.

Ces opérations s'effectuent en trois phases :

- l'extraction des déblais,
- le transport,
- la mise en dépôt.

Les engins conçus pour ce travail sont des navires robustes (chocs, manœuvre état du chargement donc stabilité), soumis aux règles de classifications et certificats liés aux conditions de navigation.

Les cales de chargements sont séparées en différents puits renforcés pour résister aux chocs des matériaux et conçus avec des parois en léger surplomb afin d'éviter un effet de voûte.

Les équipages sont formés à ce travail, ce sont des marins et techniciens du génie civil.

Pour notre cas, on fait un dragage à -6.50m sur une surface de 65×29 m.

V.5 Description des variantes :

Afin de réaliser la cale sèche au niveau de l'ancien port de Skikda. Nous proposons un plan d'aménagement sur le site choisi.

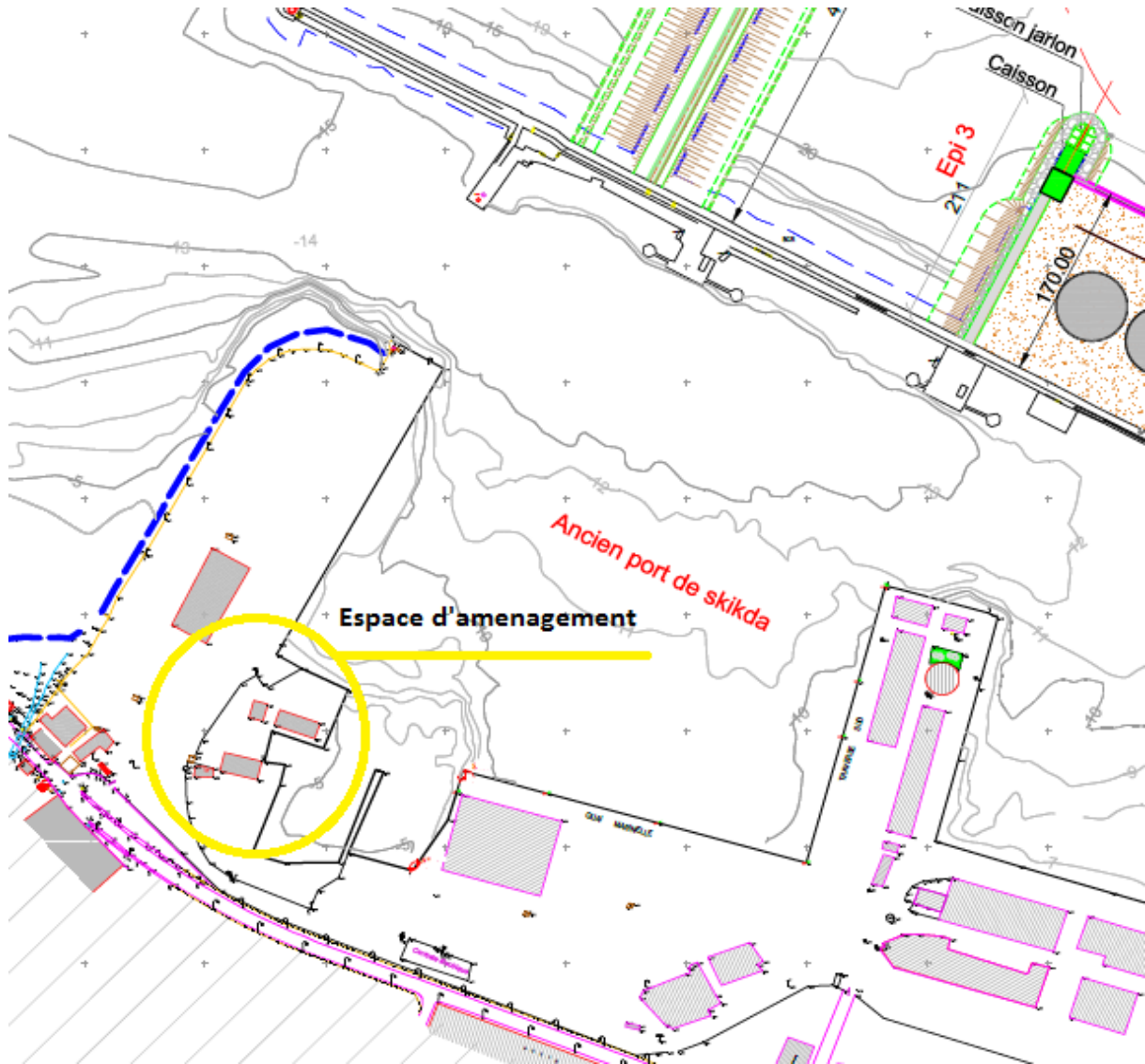


Figure V.2. Espace d'aménagement

On va proposer un plan d'aménagement qui comporte :

- une darse de levage
- le terre-plein
- un garage

Nous rencontrons un problème au niveau de la darse de levage qui repose sur le choix entre des blocs ou des caissons. Pour faire un choix optimal, nous analysons deux variantes.

V.5.1 Variante 1 :

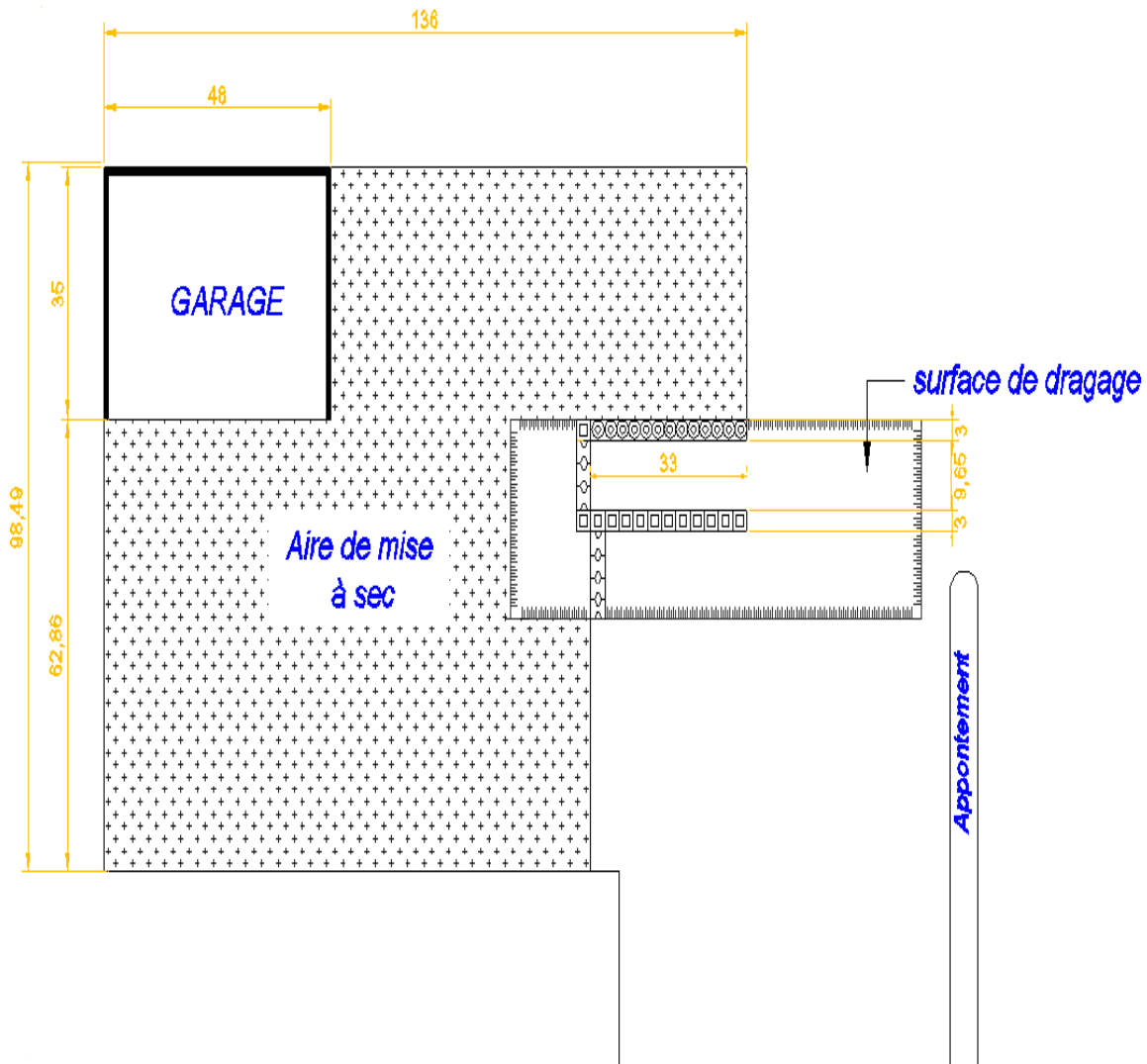


Figure V.3. Présentation de la première variante

- Surface terre-plein :
 Une aire de mise à sec de 1.12 ha
 Un Garage de 48×35 m
- Nombre d'embarcation :
 Embarcation des remorqueurs égale à 14 unités
- Ouvrages d'accostage et d'amarrage :
 Un appontement de 47×5 m
- Ouvrage de réparation :
 Une darse de levage composer de :
 - Un mur en pieux pour le maintien en stabilité du quai existant.
 - Un quai en bloc et un quai caisson.

V.5.3 Aménagement du terre-plein :

Un terre-plein est un ensemble de couches talutées servant à l'assise d'une mondiale, d'un immeuble, d'un dallage ou d'une infrastructure de transport, généralement conçu pour supporter un poids important, des vibrations et incorporant divers systèmes d'évacuation

Le terre-plein est composé généralement de

- le bon sol.
- une couche de tout-venant (environ 30cm)
- une couche de sable de carrière (environ 5 cm)
- un isolant en polystyrène expandre ou extrudé, de classe incompressible.
- un film plastique polyéthylène étanche (200 μ m).

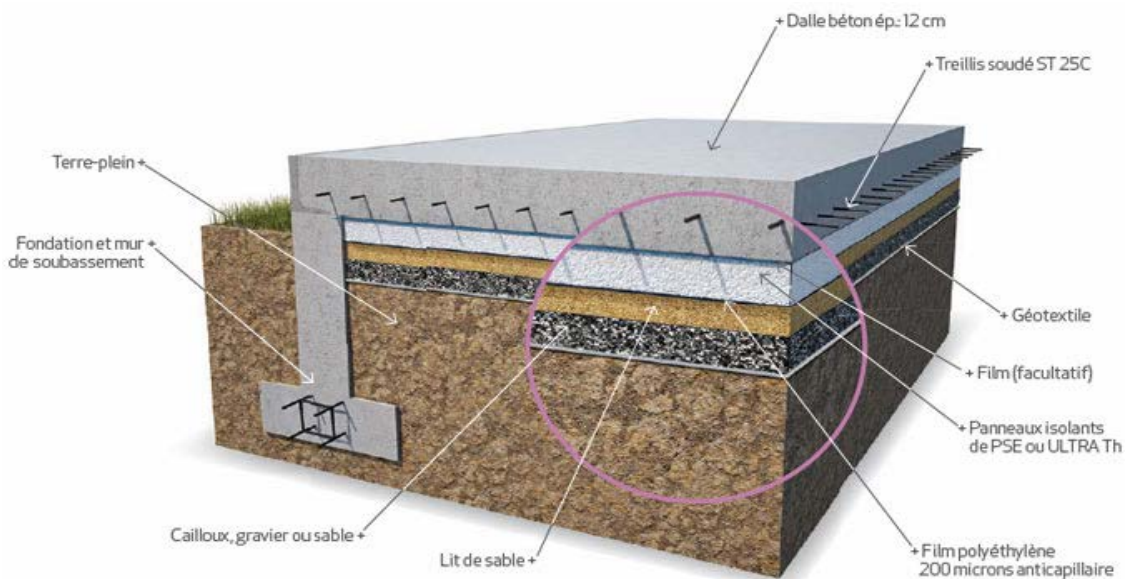


Figure I.1. Exemple d'un terre-plein.

Pour notre cas, la surface de terre-plein est la même pour les deux variantes. Elle doit être terrassée, donc on obtient un volume des déblais. Puis on doit faire un revêtement qui va supporter la charge des remorqueurs.

On propose de construire un garage en charpente métallique de $48 \times 35m$ pour faire l'entretien des remorqueurs à sec dans la période de pluie. On a choisi la charpente métallique car elle présente de nombreux avantages :

- La simplicité et la rapidité de mise en œuvre.
- La facilité de montage.
- La meilleure solution pour les grandes surfaces avec des grandes hauteurs.
- Economique et durable.

V.5.4 Choix de type d'élévateur :

Le choix de type d'élévateur (roulev) dépend de deux critères :

- Le poids des navires.
- Le budget attribué

Dans notre cas le poids des navires ne dépasse pas 235 tonnes donc on choisit un élévateur qui peut supporter la charge des navires et qui répond au budget attribué par l'EPS.

V.6 Analyse des variantes :

V.6.1 Avantages et inconvénients des quais en bloc et caisson :

Tableau V.3 Comparaison entre un quai caisson et quai en bloc

	Avantage	Inconvénient
Quai caisson	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réalisation rapide ✓ Absorption de charge importante 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Condition géotechnique requises ✓ Moyens spéciaux
Quai en bloc	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réalisation facile ✓ Moyens conventionnels ✓ Durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Condition géotechniques requises ✓ Délai d'exécution lent

V.6.2 Estimation budgétaire :

Tableau V.4 Estimation budgétaire des étapes d'aménagement de la cale sèche

Opération	Estimation budgétaire en DA
Dragage	1.000.000
Remblai	7.150.000
Protections des terre-pleins	896.000
Frais généraux de chantier + imprévus	4.417.200

Sur la base des estimations unitaires par mètre linéaire établis par le Laboratoire d'Etudes Maritimes. L'estimation des variantes est :

- Variante n°1 : 69 874 950 DA-TTC
- Variante n°2 : 53 756 325 DA-TTC.

V.6.3 Comparaison des variantes et recommandations :

Les critères retenus pour la comparaison entre les deux variantes sont les suivants :

- Coût de réalisation ;
- Délai et condition de réalisation ;
- Impact sur l'exploitation portuaire.

Les notations A, B, C 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 V.5 Comparaison des variantes

	Variante 1	Variante 2
Cout de réalisation	P	F
Délai de réalisation de l'aménagement	D	F
Impact sur l'exploitation portuaire	F	F
Notation globale	19	30

Donc on opte pour la deuxième variante.

V.7 Conclusion :

L'aménagement est une tâche très compliquée, il est basé sur une analyse multicritère, c'est un calcul classique de la recherche opérationnelle. C'est le point indispensable de n'importe quelle opération de construction.

L'aménagement de la cale sèche nécessite plusieurs étapes. Comme on tient à mentionner que le gain économique se porte à long terme.

Chapitre VI :

Dimensionnement du quai en bloc

VI. Dimensionnement du quai en bloc

VI.1 Introduction :

Pour effectuer un dimensionnement d'une cale sèche, il est impératif de déterminer les différents efforts qui agissent sur l'ouvrage, qui peuvent être dus aux : poussées des terres, surcharges d'exploitation, à la poussée hydrostatique et hydrodynamique, et à l'effort sismique.

Pour notre ouvrage, nous avons une darse de levage (les élévateurs à bateaux) constituée de 2 quais en bloc fondés à (-5.00m) Composé de 3 types de blocs.

VI.2 Hypothèse de calcul :

Le tableau ci dessous représente les différentes données nécessaires pour effectuer le dimensionnement de quai en bloc :

Tableau VI.1 Données physiques et géotechniques

Elément	Paramètre	Attribut
Béton non armé	$\gamma_b(t/m^3)$	2.4
	$\gamma'_b(t/m^3)$	1.4
Béton armé	$\gamma_b(t/m^3)$	2.5
	$\gamma'_b(t/m^3)$	1.5
Remblai à l'arrière du mur et dans les évidements	$\gamma_d(t/m^3)$	1.80
	$\gamma' (t/m^3)$	1.10
	$\varphi(^{\circ})$	37.00
	$C (t/m^2)$	0.00
	$\delta(^{\circ})$	$\frac{2}{3} \varphi$
Assise en enrochement	$\gamma' (t/m^3)$	1.10
	$\varphi(^{\circ})$	37.00
	$C (t/m^2)$	0.00
	$\sigma_{adm}(t/m^2)$	50.00
Sol de fondation	$\gamma_d(t/m^3)$	1.80
	$\gamma' (t/m^3)$	1.10
	$\varphi(^{\circ})$	35.00
	$C (t/m^2)$	0.00

VI.3 Présentation de l'ouvrage :

Le quai en blocs seront fondés à -5.00 leur structure est composée de :

- D'un empilement de trois (03) blocs préfabriqués de béton non armé en forme de « I ».
- D'un couronnement en béton armé supporté par la pile de blocs ;
- D'un remblai en arrière du quai en TVC (0-500kg) ;
- Couche sous le bloc type 1 en ballast (20-40 mm) ;
- Deux configurations de couche d'assise en enrochement (0-50kg)

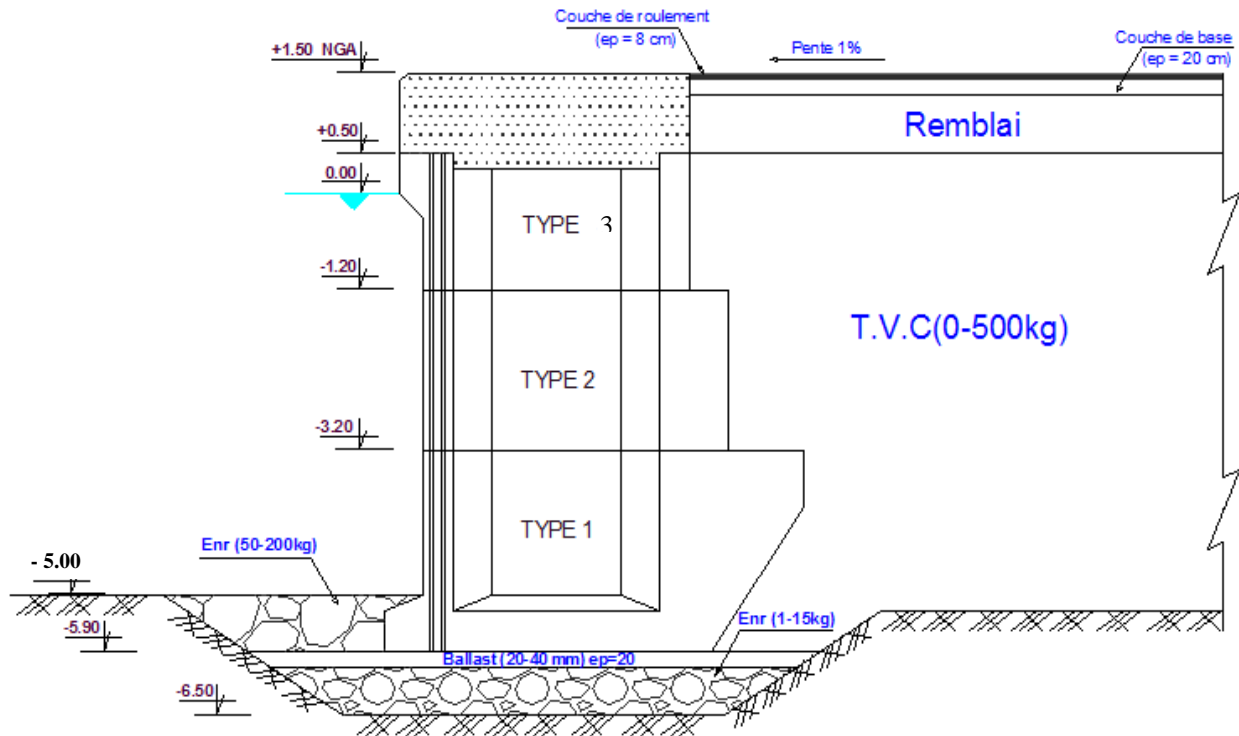


Figure VI.1. Schéma du quai en bloc à -5.00m

VI.3.1 Caractéristiques géométriques des blocs :

Pour déterminer les caractéristiques géométriques des blocs, nous utiliserons les formules suivantes :

$$V = S \times H$$

$$P = V \times \gamma_b \text{ ou } V \times \gamma' \text{ (selon le cas d'immersion)}$$

$$M = P \times d$$

$$d_{V,H} = \frac{\sum M_{V,H}}{P}$$

Avec :

- V : Volume de l'élément considéré ;
- S : Surface de l'élément considéré ;
- H : Hauteur de l'élément considéré ;
- P : Poids de l'élément considéré ;
- γ_b : Poids volumique du béton ;
- γ' : Poids volumique déjaugé du béton
- $M_{V, H}$: Moment de l'élément considéré ;
- $d_{V, H}$: Bras de levier de l'élément considéré.

A. Bloc type 1 :

Tableau VI.2 Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 1

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _V (m)	M _V (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
Stot	5.5*2.5*3	41.25	57.75	1.25	72.19	2.75	158.81
S1	-0.5*1*1.8*3	-2.7	-3.78	0.60	-2.27	4.70	-17.77
S2	-1.8*0.5*3	-2.70	-3.78	1.60	-6.05	0.25	-0.95
S3	-0.5*3*0.2*0.5	-0.15	-0.21	0.63	-0.13	0.17	-0.04
2*S4	-2*((1.7+2.7)/2)*0.9	-3.96	-5.54	1.6	-8.86	2.25	-8.91
2*S5	-2*((1.7+2.7)/2)*0.2/2	-0.44	-0.62	0.63	-0.39	2.25	-1.20
Total		31.30	43.82	1.25	54.49	2.93	129.94

B. Bloc type 2 :

Tableau VI.3 Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 2

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _V (m)	M _V (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
Stot	4*2*3	24.00	33.60	3.50	117.6	2.4	80.64
2*S1	-2*((1.7+2.7)/2)*2	-8.80	-12.32	3.50	-43.23	2.25	-27.72
Total		15.20	21.28	3.50	74.38	2.14	52.92

C. Bloc Type 3 :

Tableau VI.4 Valeurs des caractéristiques géométriques du bloc de type 3

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _V (m)	M _V (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
S1 im	1.2*3.8*3	13.68	19.15	5.1	97.67	2.1	40.22
S2 im	-0.3*1.2*3	-1.08	-1.51	4.95	-7.47	0.35	-0.53
S3 im	-0.5*0.3*0.3*3	-0.14	-0.20	5.5	-1.10	0.3	-0.06
2*S5 im	-2*((1.7+2.7)/2)*1.2	-5.28	-7.39	4.5	-33.26	2.25	16.63
S1 sec	3.8*0.5*3	5.7	13.68	5.95	81.40	2.1	28.73
S4 sec	-0.2*2.7*3	-1.62	-3.89	6.1	-23.73	2.25	-8.75
2*S5 sec	-2*((1.7+2.7)/2)*0.3	-2.51	-6.02	4.85	-29.22	2.25	-13.55
Total		8.69	14.22	5.92	84.29	2.38	33.96

D. Poutre de couronnement :

Tableau VI.5 Valeurs des caractéristiques géométriques de la poutre de couronnement

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
Stot	3.8*1.2*3	13.68	34.20	6.7	229.14	2.1	71.82
S1	-0.2*0.7*3	-0.42	-1.05	6.1	-6.41	0.55	-0.58
S2	-0.4*1.2*3	-0.24	-0.60	6.1	-3.66	3.80	-1.50
S3	-0.5*0.1*0.1*3	-0.32	-0.80	6.76	-5.81	3.60	-2.88
Total		12.70	31.75	6.71	213.26	2.11	66.86

VI.3.2 Poids de TVC :

On distingue trois types d'évidements :

- Evidemment 1 entre deux blocs de type 1 ;
- Evidemment 2 entre deux blocs de type 2 ;
- Evidemment 3 entre deux blocs de type 3 ;

Pour cette phase, on déterminera le poids du remblai, les bras de levier verticaux et horizontaux et les moments qui leur correspondent.

Pour l'évidement 3, on distingue deux états du sol : sol immergé et sol non immergé.

Tableau VI.6 Valeurs des caractéristiques géométriques des évidements

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
Evidement 1	2*((1.7+2.7)/2)*(1.8+0.2/2)	8.36	11.70	1.53	17.90	2.25	26.33
Evidement 2	2*((1.7+2.7)/2)*2	8.8	12.32	3.5	43.12	2.25	27.72
Evidement 3im	2*((1.7+2.7)/2)*1.2	5.28	7.39	5.1	37.69	2.25	16.63
Evidement 3sec	2*((1.7+2.7)/2)*0.3	1.32	3.17	5.85	18.55	2.25	7.13
Total		23.76	34.58	3.40	117.26	2.25	77.81

VI.3.3 Poids des terres :

Au-dessus du bloc de type 1

Tableau VI.7 Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du bloc de type 1

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
immergée	0.6*3.2*3	5.76	8.06	3.3	26.60	5.00	40.30
Non immergée	0.6*1.33*3	2.39	3.35	5.23	17.52	5.00	16.75
Total		8.15	11.41	3.87	44.12	5.00	57.05

Au-dessus du bloc de type 2

Tableau VI.8 Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du bloc de type 2

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
immergée	0.3*1.2*3	1.08	1.51	4.00	6.05	4.25	6.42
Non immergée	0.3*1.33*3	1.20	1.68	5.24	8.80	4.25	7.14
Total		2.28	3.19	4.67	14.85	4.25	13.56

Au-dessus du bloc du couronnement

Tableau VI.9 Valeurs des caractéristiques géométriques du remblai au-dessus du couronnement

Élément	Formule	V(m ³)	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
immergée	1.6*0.37*3	1.78	2.49	5.69	14.17	2.35	5.85
Non immergée	-0.5*0.1*0.1*3	-0.02	-0.03	5.53	-0.17	1.53	-0.05
Total		1.76	2.46	5.69	14.00	2.36	5.80

VI.3.4 Efforts agissant sur le quai :

Cette étape consiste à déterminer les efforts à prendre en compte pour la vérification de la stabilité globale et partielle du quai.

Ces efforts sont :

- La poussée des terres ;
- La poussée due aux surcharges ;
- La poussée hydrostatique de marnage ;
- La poussée hydrodynamique ;
- L'effort d'amarrage ;
- L'effort dû au séisme.

VI.3.4.1 Poussée des terres :

Les remblais agissent sur le mur par une poussée des terres. Cette poussée est calculée avec la méthode de « Coulomb » dont la formule générale est la suivante :

$$P_a = 0.5 \times \gamma \times h^2 \times K_{ca} = 0.5 \times \sigma \times h$$

Avec :

γ : Poids volumique des terres

h : hauteur du remblai ;

σ : $\gamma \times h \times K_{ca}$: contrainte due à la poussée des terres ;

K_{ca} : Le coefficient de poussée, calculé avec la formule de « Monobe Okabe »

$$k_{ca} = \frac{\cos(\delta - \lambda - \theta)^2}{\cos(\theta) \times \cos(\lambda)^2 \times \cos(\delta + \lambda + \theta) + [1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \lambda + \theta) \times \cos(\beta - \lambda)}}]^2}$$

Avec :

k_{ca} : Coefficient de poussée ;

$\varphi = 37^\circ$: Angle de frottement interne ;

δ : Angle de frottement du sol sur l'écran :

- Pour un frottement mur-sol : $\delta = \frac{2}{3}\varphi = 23.34^\circ$

- Pour un frottement sol-sol : $\delta = \varphi = 37^\circ$

λ : Angle de l'inclinaison de l'écran avec la verticale ;

$\beta = 0$ Angle d'inclinaison du terre-plein avec l'horizontale ;

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1+k_v} \right]; \text{ Avec :}$$

- k_h : Accélération horizontale ($k_h = A(\%g)$) ;

- k_v : Accélération verticale ($k_v = \pm 0.3 \times k_h$) ;

- $A=0.25$: Coefficient d'accélération de zone ;

La poussée des terres s'applique de 04 manières :

- De la cote 0.00 m à +1.50 m, sur un écran vertical de sol non immergé P_{a1} ;
- De la cote 0.00 m à -3.20 m, sur un écran vertical de sol immergé P_{a2} ;
- De la cote -3.20 m à -3.90 m, sur un écran vertical en béton de sol immergé P_{a3} ;
- De la cote -3.90 m à -5.90m, sur un écran incliné de sol immergé P_{a4} ;

La force de poussée à deux composantes :

$$P_{RV} = P_R \sin \delta : \text{ Composante verticale ;}$$

$$P_{Rh} = P_R \cos \delta : \text{ Composante horizontale.}$$

Avec : P_R : Résultante de la poussée des terres.

Tableau VI.10 Poussée des terres sur le quai à -5.00m (cas statique)

Côte	γ (t/m ³)	δ (°)	λ (°)	h (m)	k_{ca}	σ (t/m ²)	P_a (t/m)	$P_R(t)$	$P_{Rh}(t)$	$P_{Rv}(t)$
+1.50m à 0.0 m	1.80	35.0 0	0.00	1.50	0.16	0.44	0.33	0.25	0.14	0.20
0.00m à -3.20m	1.10	35.0 0	0.00	3.20	0.16	0.55	0.88	2.37	1.36	1.94
-3.20m à -3.90m	1.10	23.4	0.00	0.70	0.22	0.17	0.06	0.61	0.24	0.56
-3.90m à -5.90m	1.10	23.4	-45.00	2.00	0.04	0.09	0.09	1.49	0.59	1.37

Tableau VI.11 Poussée des terres sur le quai à -5.00m (cas dynamique)

Côte	γ (t/m ³)	δ (°)	λ (°)	h(m)	k_{ca}	σ (t/m ²)	P_a (t/m)	$P_R(t)$	$P_{Rh}(t)$	$P_{Rv}(t)$
+1.50m à 0.0 m	1.80	35.00	0.00	1.50	0.22	0.45	0.45	0.34	0.20	0.28
0.00m à -3.20m	1.10	35.00	0.00	3.20	0.22	0.76	1.22	3.24	1.86	2.65
-3.20m à -3.90m	1.10	23.4	0.00	0.70	0.27	0.21	0.07	0.83	0.33	0.76
-3.90m à -5.90m	1.10	23.4	-45.00	2.00	0.07	0.15	0.15	2.06	0.81	1.89

VI.3.4.2 Poussée due aux surcharges :

Pour ce quai, on considère une surcharge de $q=1.5$ t/m². La poussée due aux surcharges est donnée par la formule suivante :

$$P_q = \sigma \times h$$

Avec :

- $\sigma = q \times K_q$: Contrainte due à la poussée ;
 - $K_q = \frac{K_{ca}}{\cos(\beta-\lambda)}$: Coefficient de poussée ;
 - λ : Angle de l'inclinaison de l'écran avec la verticale ;
 - $\beta = 0$: Angle d'inclinaison du terre-plein avec l'horizontale ;
- h : Hauteur du remblai.

La poussée due aux surcharges s'applique de 3 manières différentes sur le quai :

- De la côte +1.50m à -3.20m, sur un écran vertical « P_{q1} » ;
- De la côte -3.20m à -3.63m, sur un écran vertical en béton à partir « P_{q2} » ;
- De la côte -3.63m à -5.9m, sur un écran incliné en béton à partir « P_{q3} » ;

La poussée a deux composantes :

- $P_{qv} = P_q \times \sin \delta$: composante verticale ;
- $P_{qh} = P_q \times \cos \delta$: composante horizontale ;

Tableau VI.12 Poussée due aux surcharges sur le quai à -5.00m (cas statique)

Côte	$\lambda(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	k_{ca}	k_q	σ (t/m ²)	h (m)	P_q (t/m)	P_{qh} (t/m)	P_{qv} (t/m)
+1.50m à -3.2m	0.00	37.00	0.15	0.15	0.23	4.70	1.08	0.86	0.65
-3.2m à -3.63m	0.00	24.70	0.21	0.21	0.31	0.43	0.13	0.12	0.05
-3.63m à -5.9m	-40.00	24.70	0.05	0.06	0.09	2.27	0.20	0.19	0.08

Tableau VI.13 Poussée due aux surcharges sur le quai à -5.00m (cas dynamique)

Côte	$\lambda(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	k_{ca}	k_q	σ (t/m ²)	h (m)	P_q (t/m)	P_{qh} (t/m)	P_{qv} (t/m)
+1.50m à -3.2m	0.00	37.00	0.20	0.20	0.30	4.70	1.41	1.13	0.85
-3.2m à -3.63m	0.00	24.70	0.25	0.25	0.37	0.43	0.16	0.14	0.07
-3.63m à -5.9m	-40.00	24.70	0.08	0.10	0.16	2.27	0.36	0.33	0.14

VI.3.4.3 Poussée hydrostatique de marnage :

Le marnage est l'amplitude de la variation successive du niveau d'eau entre une basse mer et une haute mer lors du phénomène de la marée. Il induit une poussée hydrostatique sur le quai et bien qu'il soit faible en Algérie, il est tout de même pris en considération dans les calculs.

La poussée s'applique de 2 manières différentes :

- De la côte +0.40m à 0.00m, la distribution de la poussée est triangulaire « P_{m1} » ;
- De la côte 0.00m à -5.90m, la distribution de la poussée est rectangulaire « P_{m2} » ;

La poussée hydrostatique de marnage est donnée par les formules suivantes :

$$P_m = \frac{1}{2} \times \sigma \times h \text{ (Distribution triangulaire)}$$

$$P_m = \sigma \times h \text{ (Distribution rectangulaire)}$$

Avec :

- $\sigma = \gamma_w \times e$: contrainte due au marnage ;
 - $\gamma_w = 1.026 \text{ t/m}^3$: Masse volumique de l'eau ;
 - $e = 0.40\text{m}$: Marnage ;
- H : Hauteur sur laquelle s'applique le marnage ;

Tableau VI.14 Poussée hydrostatique de marnage sur le quai à -5.00m.

Côte	σ (t/m ²)	h (m)	P_{qm} (t/m)
+0.40m à 0.00m	0.41	0.40	0.08
0.00m à -5.9m	0.41	5.90	2.42

VI.3.4.4 Poussée hydrodynamique :

Les ouvrages immergés, lors d'un séisme, sont soumis à des efforts hydrodynamiques. Les pressions sont généralement évaluées à partir de la théorie de « Westergraard » qui donne une distribution parabolique des surpressions :

$$P_w = \frac{7}{12} \times \gamma_w \times K_h \times h^2 = 3.13\text{t/m}$$

Avec :

- $\gamma_w=1.026 \text{ t/ m}^3$: masse volumique de l'eau de mer ;
- $K_h=0.25 \text{ m/s}^2$: Accélération horizontale ;
- $h = 5.9\text{m}$: Hauteur de l'élément immergé.

VI.3.4.5 Effort d'amarrage :

L'amarrage des navires est assuré par des bollards ancrés au couronnement et disposés lelong du quai. Les amarres du navire sont attachées aux bollards et suite à l'action du courant et du vent, des forces de pression sont générées. La résultante des forces exercées sur le bollard dépend donc du navire qui y est attaché.

Dans notre cas, la force que les remorqueurs exercent en moyenne sur le bollard vaut $F = P_b = 1.5 \text{ t/ml}$. Cette force est appliquée au niveau (+1.80m), 30cm au-dessus du niveau supérieur du quai.

$$M = 1.7 \times (5.9 + 1.5 + 0.30) = 11.55 \text{ t.m/ml}$$

VI.3.4.6 Effort dû au séisme :

L'effort dû au séisme est donné par la formule suivante :

$$SI = P \times K_h$$

Avec :

- $P = 53.23 \text{ T/ml}$: Poids propre de quai par mètre linéaire ;
- $K_h = 0.25\text{m/s}^2$: Accélération horizontale.

Tableau VI.15 Valeurs des caractéristiques géométriques du quai à -5.0m par mètre linéaire

Élément	P(t)	d _v (m)	M _v (t. m)	d _H (m)	M _H (t. m)
Bloc type 1	14.35	1.25	17.94	2.93	42.04
Bloc type 2	7.09	3.50	24.82	2.14	15.17
Bloc type 3	4.74	5.92	28.06	2.38	11.28
Couronnement	9.84	6.79	66.79	1.95	19.18
Remblai au-dessus du bloc type 1	3.80	3.87	14.71	5.00	19.00
Remblai au-dessus du bloc type 2	1.06	4.67	4.96	4.25	4.51
Remblai au-dessus du couronnement	0.82	5.69	4.66	2.36	1.93
Evidement 1	3.90	1.53	5.97	2.25	8.77
Evidement 2	4.11	3.50	14.37	2.25	9.25
Evidement 3	3.52	5.85	20.59	2.25	7.92
Total	53.23	3.81	202.87	2.61	139.05

$$SI=7.98 \text{ T/ml}$$

VI.3.5 Stabilité globale :

Pour pallier les différents risques géotechniques qu'encourt le quai, il est nécessaire de procéder à la vérification de la stabilité externe en tenant compte des différents mécanismes de ruptures connus :

- Stabilité au renversement ;
- Stabilité au glissement ;
- Stabilité au poinçonnement (capacité portante).

On distingue deux cas de vérification :

- Cas statique ;
- Cas dynamique.

Tableau VI.16 Valeurs des coefficients de sécurité

	Coefficient de sécurité	Cas statique	Cas dynamique
Stabilité au renversement	$F_g = \frac{P_v}{P_H} \times \tan \varphi$	≥ 1.5	≥ 1.1
Stabilité au glissement	$F_r = \frac{M_s}{M_R}$	≥ 1.5	≥ 1.1
Stabilité au poinçonnement	$F_p = \frac{\sigma_{sol, assise}}{\sigma_v}$	≥ 3.0	≥ 2.0

Avec :

- F_g : Facteur de sécurité vis-à-vis du glissement ;
- P_v : Résultante des forces verticales appliquée sur le quai ;
- P_h : Résultante des forces horizontales appliquées sur le quai ;
- $\varphi = 37^\circ$: Angle de frottement interne ;
- F_r : Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement ;
- M_s : Moment stabilisant du quai ;
- M_r : Moment renversant du quai ;
- F_p : Facteur de sécurité vis-à-vis du poinçonnement ;
- $\sigma_{sol, assise}$: Contrainte limite supportée par le sol de fondation ou l'assise en enrochement ;
- σ_v : Contrainte imposée par le quai.

VI.3.5.1 Cas statique :

Dans le cas statique, la combinaison de charge est : G+1.5Q

Avec :

- G : charges permanentes (poids propre, poussée des terres, poussée hydrostatique demarnage) ;

- Q : charges d'exploitation (poussée due aux surcharges, effort d'amarrage).

Tableau VI.17 Efforts appliqués sur le quai à -5.00m (cas statique)

Charge		P_v (t/ml)	d_H (m)	M_s (t. m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t. m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	53.23	2.29	121.90	0.00	0.00
		P_{a1}	0.20	5.1	1.02	0.24	5.4
	Poussée	P_{a2}	1.83	5.1	9.33	1.46	2.90
	des terres	P_{a3}	0.59	5.1	3.01	0.35	1.55
		P_{a4}	1.39	4.60	6.39	0.69	0.60
	Marnage	P_{m1}	0.00	0.00	0.00	0.08	4.83
		P_{m2}	0.00	0.00	0.00	2.42	2.5
	Total G		57.24		141.65	5.24	12.92
Charge d'exploitation « Q »	Poussée	P_{q1}	0.62	5.1	3.16	0.80	4.10
	due aux	P_{q2}	0.65	5.1	3.32	1.23	1.35
	surcharges	P_{q3}	0.24	5.1	1.22	0.52	0.60
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	7.7
		Total Q		1.51		7.70	4.05
combinaison	G+1.5Q		59.51		153.2	11.31	38.05

a. Stabilité au glissement :

$F_g = 3.96 \geq 1.5$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

b. Stabilité au renversement :

$F_r = 4.03 \geq 1.5$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

c. Stabilité au poinçonnement :

Selon la méthode de MEYERHOF, la capacité portante est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{sol, assise} = Q_{lim} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times B' \times N_\gamma \times i_\gamma + \gamma' \times D \times N_q \times i_q$$

Avec :

- γ' : Poids volumique des terres déjaugé ;

- $N_\gamma N_q$: Facteur de portance (Tableau en Annexe)
- D : Profondeur d'ancrage ;
- $i_\gamma = \left(1 - \frac{\delta}{\varphi}\right)^2$, $i_q = \left(1 - \frac{\delta}{\pi}\right)^2$: Facteurs d'inclusion ;
 - φ : Angle de frottement interne ;
 - $\delta = \tan^{-1}\left[\frac{P_h}{P_v}\right]$: Inclinaison de la résultante ;

La contrainte imposée par le quai est donnée par :

$$\sigma_v = \frac{P_v}{B'}$$

- **Capacité portante de l'assise en enrochement (-5.90m)**

Tableau VI.18 Capacité portante de l'assise en enrochement du quai à -5.00m (cas statique)

e (m)	B' (m)	φ (°)	N_γ	N_q	δ (°)	D (m)	i_q	i_γ	σ_v (t/m ²)	σ_{assise} (t/m ²)
1.80	3.59	37.00	67.00	42.90	13.26	0.70	0.73	0.41	11.36	81.89

$F_p = 7.21 \geq 3.00$; La stabilité au poinçonnement est vérifiée ;

- **Capacité portante du sol de fondation (-6.50m) :**

Le poids de l'assise en enrochement est calculé en utilisant les formules suivantes :

$$P'_v = P_v + W ; W = \gamma' \times h \times \left(\frac{B + B'}{2}\right)$$

Avec :

- $h = 0.8\text{m}$: hauteur de l'assise en enrochement (diffusion de la charge) ;
- $B = B' + 2 \times h \times \tan \varphi$: Base de l'assise en enrochement (diffusion de la charge).

Tableau VI.19 Capacité portante du sol de fondation du quai à -5.00m (cas statique)

φ (°)	B (m)	W (t/ml)	P'_v (t/ml)	N_γ	N_q	δ (°)	D (m)	i_q	i_γ	σ_v (t/m ²)	σ_{assise} (t/m ²)
35.00	4.71	3.65	44.46	48.00	33.30	12.20	1.50	0.75	0.42	9.43	93.85

$F_p = 9.95 \geq 3.0$; La stabilité au poinçonnement est vérifiée ;

VI.3.5.2 Cas dynamique :

Dans le cas dynamique, la combinaison de charge est : G+1.5Q+SI

Avec :

- G : charges permanentes (poids propre, poussée des terres, poussée hydrostatique demarnage) ;
- Q : charges d'exploitation (poussée due aux surcharges, effort d'amarrage) ;
- SI : force sismique.

Tableau VI.20 Efforts appliqués sur le quai à -5.00m (cas dynamique)

Charge		P_v (t/ml)	d_H (m)	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	53.23	2.29	121.90	0.00	0.00
		P_{a1}	0.26	5.1	1.33	0.20	1.08
	Poussée des terres	P_{a2}	2.33	5.1	11.88	1.80	5.22
		P_{a3}	0.70	5.1	3.57	0.43	0.67
		P_{a4}	1.57	4.60	7.22	0.92	0.55
	P.hydrody	P_w	0.00	0.00	0.00	3.13	5.76
Total G			58.09		145.90	5.24	13.27
Charge d'exploitation « Q »	Poussée due aux surcharges	P_{q1}	0.99	5.1	5.05	1.26	5.17
		P_{q2}	0.08	5.1	0.41	0.34	0.46
		P_{q3}	0.09	5.1	0.46	0.37	0.22
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	11.55
	Total Q			1.16		5.92	4.05
Force sismique	SI		0.00	0.00	0.00	7.98	27.53
combinaison	G+1.5Q+ S I		59.83		154.78	19.30	66.90

a. Stabilité au glissement :

$F_g = 2.34 \geq 1.1$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

b. Stabilité au renversement :

$F_r = 2.31 \geq 1.1$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

c. Stabilité au poinçonnement :

Les mêmes formules sont utilisées pour les cas statique et dynamique.

- **Capacité portante de l'assise en enrochement (-5.90m)**

Tableau VI.21 Capacité portante de l'assise en enrochement du quai à -5.00m (cas dynamique)

e (m)	B'(m)	$\varphi(^{\circ})$	$N\gamma$	Nq	$\delta(^{\circ})$	D (m)	iq	$i\gamma$	$\sigma_v(t/m^2)$	$\sigma_{assise}(t/m^2)$
1.39	2.77	37.00	67.00	42.90	18.17	0.70	0.64	0.26	14.80	50.45

$F_p = 3.41 \geq 2.00$; La stabilité au poinçonnement est vérifiée ;

• **Capacité portante du sol de fondation (-6.50m) :**

Les mêmes formules sont utilisées pour le cas statique et dynamique :

Tableau VI.22 Capacité portante du sol de fondation du quai à -5.00m (cas dynamique)

$\varphi(^{\circ})$	B (m)	W (t/ml)	P'_v (t/ml)	$N\gamma$	Nq	$\delta(^{\circ})$	D (m)	iq	$i\gamma$	$\sigma_v(t/m^2)$	$\sigma_{assise}(t/m^2)$
35.00	3.89	2.93	43.98	48.00	33.30	17.03	1.50	0.66	0.26	11.29	63.21

$F_p = 5.60 \geq 2.0$; La stabilité au poinçonnement est vérifiée ;

VI.3.6 Stabilité partielle :

La situation finale de l'ouvrage n'est pas nécessairement la plus critique, il faut également prêter une attention particulière à l'identification de l'ensemble des situations critiques susceptibles de survenir au cours des travaux de construction. L'analyse des situations transitoires de notre quai comporte :

- La vérification de la stabilité du couronnement ;
- La vérification de la stabilité du couronnement avec le bloc type 3 et le sol ;
- La vérification de la stabilité du couronnement avec le bloc type 3, bloc type 2 et le sol.

VI.3.6.1 Stabilité du couronnement :

Tableau VI.23 Efforts appliqués sur le couronnement du quai à -5.00m (cas statique)

Charge		P_v (t/ml)	$d_H(m)$	M_s (t. m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t. m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	11.71	1.59	18.62	0.00	0.00
	P.des terres	P_{a1}	0.09	3.00	0.27	0.07	0.03
	Marnage	P_{m1}	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
	Total G		11.80		18.89	0.09	0.04
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.18	3.00	0.54	0.37	0.22
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	2.25
	Total Q		0.18		0.54	1.87	2.27
combinaison	G+1.5Q		12.07		19.57	2.90	3.45

a. Stabilité au glissement :

$F_g = 3.14 \geq 1.5$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

b. Stabilité au renversement :

$F_r = 5.67 \geq 1.5$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

Tableau VI.24 Efforts appliqués sur le couronnement du quai à -5.00m (cas dynamique)

Charge			P_v (t/ml)	$d_H(m)$	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	$d_v(m)$	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	11.71	1.39	16.27	0.00	0.00	0.00
	P.des terres	P_{a1}	0.12	3.00	0.36	0.09	0.40	0.03
	Total G			11.83		16.63	0.09	
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.23	3.00	0.69	0.37	0.60	0.22
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	2.00	1.50	3.00
	Total Q			0.23		0.69	2.37	
Force sismique		SI	0.00	0.00	0.00	1.00	0.60	0.60
combinaison	G+1.5Q+SI		12.18		17.61	4.65		5.47

a. Stabilité au glissement :

$F_g = 1.97 \geq 1.1$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

b. Stabilité au renversement :

$F_r = 3.21 \geq 1.1$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

VI.3.6.2 Stabilité du couronnement avec le bloc type 3 et le sol

Tableau VI.25 Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 du quai à -5.00m (cas statique)

Charge			P_v (t/ml)	$d_H(m)$	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	$d_v(m)$	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	24.03	1.68	40.37	0.00	0.00	0.00
	Poussée	P_{a1}	0.20	3.00	0.60	0.14	1.80	0.25
	des terres	P_{a2}	0.41	3.00	1.23	0.29	0.61	0.18
	Marnage	P_{m1}	0.00	0.00	0.00	0.09	1.43	0.13
		P_{m2}	0.00	0.00	0.00	0.54	0.65	0.35
Total G			24.64		42.20	0.97		0.91
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.40	3.00	1.2	0.63	1.40	0.88
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	3.50	5.25
	Total Q			0.40		1.20	2.13	
combinaison	G+1.5Q		25.24		44.00	4.17		10.11

c. Stabilité au glissement :

$F_g = 4.56 \geq 1.5$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

d. Stabilité au renversement :

$F_r = 4.35 \geq 1.5$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

Tableau VI.26 Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 du quai à -5.00m (cas dynamique)

Charge			P_v (t/ml)	d_H (m)	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	24.03	1.68	40.37	0.00	0.00	0.00
	Poussée des terres	P_{a1}	0.26	3.00	0.78	0.18	1.80	0.32
		P_{a2}	0.56	3.00	1.68	0.38	0.61	0.23
	P.Hydrodyn.	P_w	0.00	0.00	0.00	0.15	0.52	0.08
	Total G			24.85		42.83	0.71	
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.53	3.00	1.59	0.37	0.60	0.22
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	3.10	4.65
	Total Q			0.53		1.59	1.87	
Force sismique		SI	0.00	0.00	0.00	2.16	1.40	3.02
combinaison	G+1.5Q+S I		25.65		45.23	5.68		10.96

c. Stabilité au glissement :

$F_g = 3.40 \geq 1.1$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

d. Stabilité au renversement :

$F_r = 4.13 \geq 1.1$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

VI.3.6.3 Stabilité du couronnement avec le bloc type 3, bloc type 2 et le sol

Tableau VI.27 Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 et 2 du quai à -5.00m (cas statique)

Charge		P_v (t/ml)	d_H (m)	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	33.63	1.77	59.52	0.00	0.00
	Poussée des terres	P_{a1}	0.20	3.30	0.66	0.14	3.50
		P_{a2}	1.70	3.30	5.61	1.23	1.23
	Marnage	P_{m1}	0.00	0.00	0.00	0.09	3.13
		P_{m2}	0.00	0.00	0.00	1.23	1.50
Total G			35.56		65.79	2.69	4.16
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.79	3.30	2.61	0.83	2.25
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	5.00
	Total Q			0.79		2.61	2.33
combinaison	G+1.5Q		36.75		69.70	3.59	14.34

e. Stabilité au glissement :

$F_g = 7.71 \geq 1.5$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

f. Stabilité au renversement :

$F_r = 4.86 \geq 1.5$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

Tableau VI.28 Efforts appliqués sur le couronnement et le bloc 3 et 2 du quai à -5.00m (cas dynamique)

Charge		P_v (t/ml)	d_H (m)	M_s (t.m/ml)	P_H (t/ml)	d_v (m)	M_R (t.m/ml)
Charge permanente « G »	Poids propre	P	33.36	1.68	56.04	0.00	0.00
	Poussée des terres	P_{a1}	0.26	3.30	0.86	0.18	3.50
		P_{a2}	2.33	3.30	7.69	1.60	1.23
	P.Hydrodyn.	P_W	0.00	0.00	0.00	0.81	1.20
	Total G			35.95		64.59	2.59
Charge d'exploitation « Q »	surcharges	P_{q1}	0.80	3.30	2.64	1.06	2.25
	Amarrage	P_b	0.00	0.00	0.00	1.50	3.10
	Total Q			0.80		2.64	2.56
Force sismique	SI	0.00	0.00	0.00	3.40	2.25	7.65
combinaison	G+1.5Q+SI		37.15		68.55	9.83	21.78

e. Stabilité au glissement :

$F_g = 2.85 \geq 1.1$; La stabilité au glissement est vérifiée ;

f. Stabilité au renversement :

$F_r = 3.15 \geq 1.1$; La stabilité au renversement est vérifiée ;

VI.3.7 Etude de couronnement :

Le rôle de la poutre de couronnement est de reprendre les différents efforts verticaux et horizontaux

VI.3.7.1 Efforts horizontaux :

La poutre de couronnement est supposée être très rigide d'où sa réaction linéairement répartie. L'effort agissant horizontalement sur la poutre de couronnement est l'effort d'amarrage : $F = 1.70$ t/ml.

$$V_{max} = \frac{ql}{4}$$

$$M_{max} = \frac{ql^2}{32}$$

Tableau VI.29 .Effort interne (horizontaux) du couronnement du quai à -5.00m

V_{max} (t)	M_{max} (t. m)
4.5	6.75

VI.3.7.2 Efforts verticaux :

Sur le plan vertical, la poutre de couronnement est soumise :

- Au poids propre du béton : $G_1 = 5.90$ t/ml ;
- Au poids du remblai au-dessus d'elle : $G_2 = 1.12$ t/ml ;
- À la charge du chariot élévateur : $Q = 12.5$ t.

Tableau VI.30 . Efforts verticaux agissant sur le couronnement du quai à -5.00m

Charge permanente (t)	$G = G_1 + G_2$	7.02
Charge d'exploitation (t)	Q	12.50

VI.3.7.3 Les Cas de charge :

Les cas de charge les plus défavorables sont :

- 1^{er} cas : tassement d'une pile au niveau du joint.
- 2^{ème} cas : Tassement d'une pile à la limite du joint.
- 3^{ème} cas : Tassement d'une pile entre les joints.

Le calcul se fera toujours selon deux cas :

- ✓ Calcul sous l'influence du poids propre.
- ✓ Calcul sous l'influence de la charge du chariot de 12.5 t.

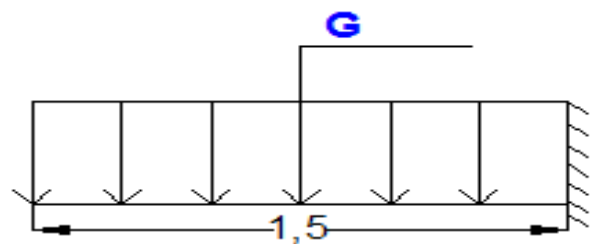
❖ Tassement d'une pile au niveau du joint :

Dans ce cas la poutre travaille en console (encastrée d'un côté et libre de l'autre).

- Calcul sous l'influence du poids propre :

$$M_{max} = -\frac{Gl^2}{2} = -\frac{7.02 \times 1.5}{2} = -7.90 \text{ t.m}$$

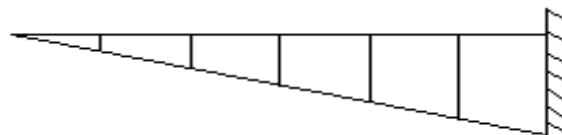
$$V_{max} = G \times l = 7.02 \times 1.5 = 10.53 \text{ t}$$



$$M_{max} = -Gl^2/2$$



$$T_{max} = -Gl$$

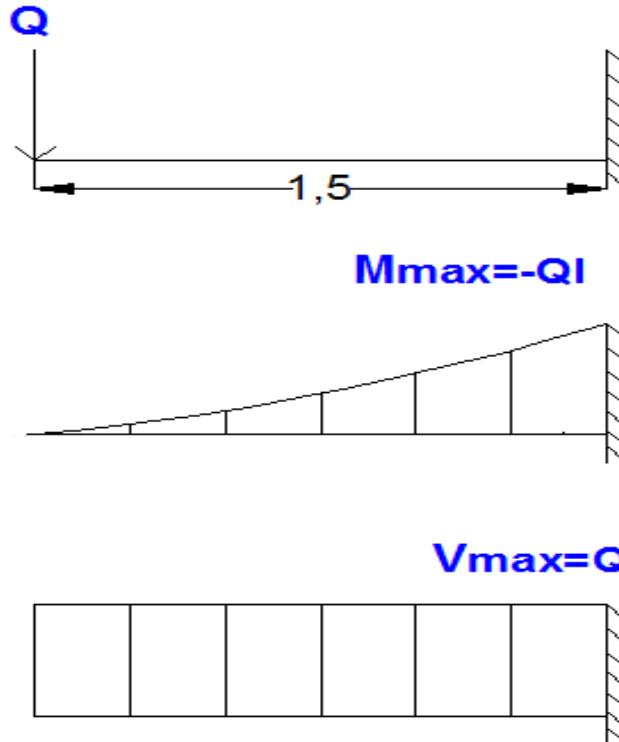


- Calcul sous l'influence de la charge du chariot de 12.5 t :

Le cas le plus défavorable est obtenu lorsqu'on place la charge concentrée du chariot élévateur sur l'extrémité libre :

$$M_{max} = -Ql = -12.50 \times 1.5 = -18.75 \text{ t.m}$$

$$V_{max} = Q = 12.50 \text{ t}$$



❖ Tassement d'une pile à la limite du joint :

La poutre est encastree d'un cote et simplement appuyee de l'autre.

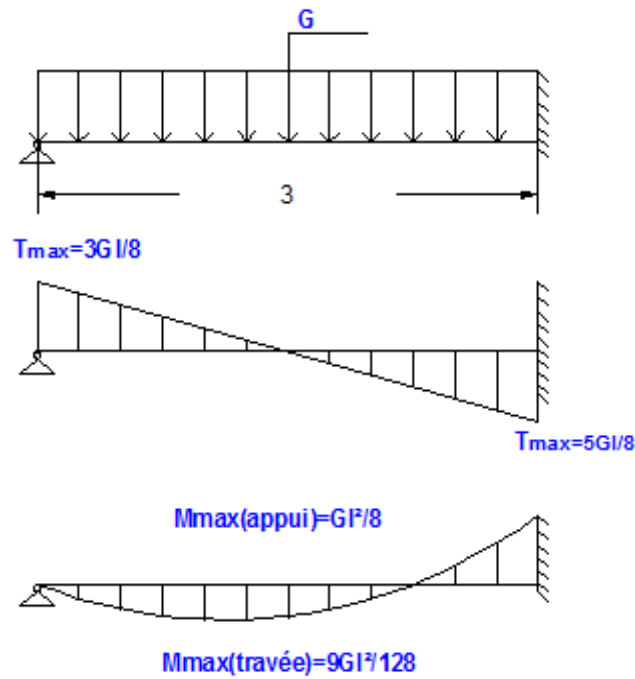
- Calcul sous influence du poids propre :

$$M_{max}^{appui} = -\frac{Gl^2}{8} = -\frac{7.02 \times 3^2}{8} = -7.90 \text{ t.m}$$

$$M_{max}^{travé} = \frac{9Gl^2}{128} = \frac{9 \times 7.02 \times 3^2}{128} = 4.44 \text{ t.m}$$

$$T_{Amax} = \frac{3Gl}{8} = \frac{3 \times 7.02 \times 3}{8} = 7.90 \text{ t}$$

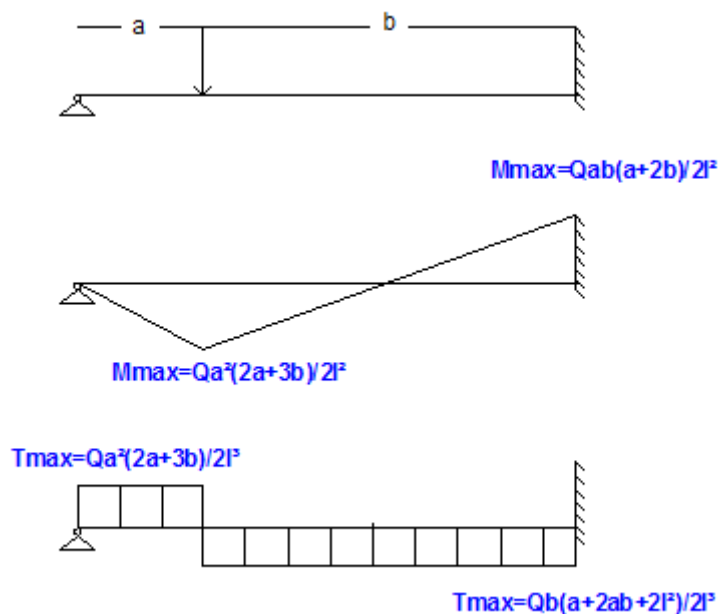
$$T_{Bmax} = -\frac{5Gl}{8} = -\frac{5 \times 7.02 \times 3}{8} = -13.16 \text{ t}$$



- Calcul sous l'influence de la charge du chariot de 12.5t :

Le cas le plus défavorable est obtenu lorsqu'on place la charge concentrée du chariot élévateur comme montre le schéma suivant :

La position critique d'un moment maximal à l'encastrement est donnée par la condition suivante :



$$b = \frac{3}{\sqrt{3}} = 1.73m \rightarrow a = l - b = 3 - 1.73 = 1.27m$$

$$M_{max}^{appui} = -\frac{Qb(a+2b)}{2l^2} = -\frac{12.5 \times 1.73(1.27 + 2 \times 1.73)}{2 \times 3^2} = -5.68t.m$$

$$V_{max} = \frac{Qb(a^2 + 2 \times a \times b + 2l^2)}{2l^2} = \frac{12.5 \times 1.73(1.27^2 + 2 \times 1.27 \times 1.73 + 2 \times 3^2)}{2 \times 3^3} = 9.61t$$

La position critique créant un moment maximal en travée est donnée par condition suivant :

$$b = \frac{3}{2} \times (l - \sqrt{3}) = \frac{3}{2} \times (3 - \sqrt{3}) = 1.9 \rightarrow a = l - b = 3 - 1.9 = 1.1m$$

$$M_{max}^{travé} = \frac{Qa^2b(2a+3b)}{2 \times l^2} = \frac{12.5 \times 1.1^2 \times 1.9(2 \times 1.1 + 3 \times 1.9)}{2 \times 3^2} = 12.61 t.m$$

❖ **Tassement d'une pile entre les joints :**

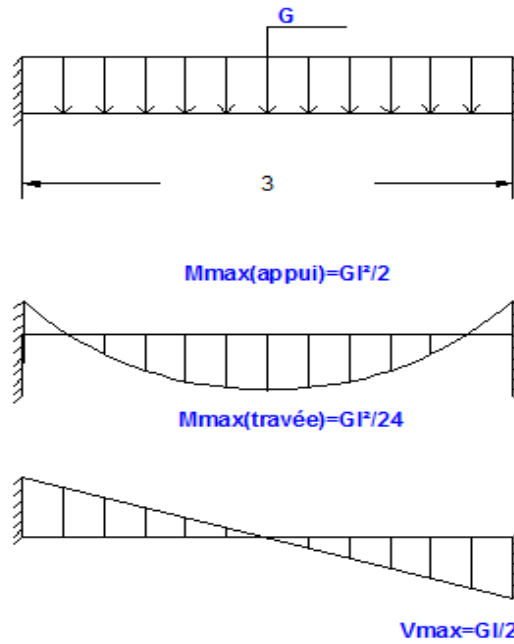
On considère que la poutre est encastree des deux côtés.

- Calcul sous l'influence du poids propre :

$$M_{max}^{appui} = -\frac{Gl^2}{12} = -\frac{7.02 \times 3^2}{12} = -5.27t.m$$

$$M_{max}^{travé} = \frac{Gl^2}{24} = \frac{7.02 \times 3^2}{24} = 2.63 t.m$$

$$V_{max} = \frac{Gl}{2} = \frac{7.02 \times 3}{2} = 10.53 t$$

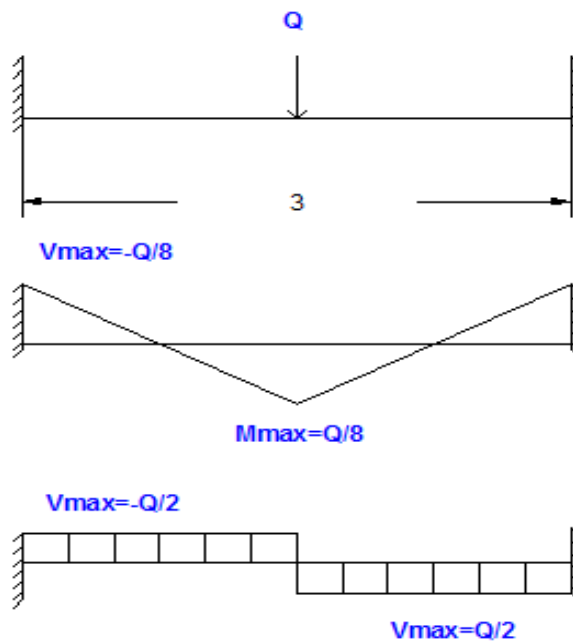


- Calcul sous l'influence de la charge du chariot de 12.5t :

Les sollicitations les plus défavorables sont obtenues en plaçant la charge concentrée à mi-travée :

$$M_{\max} = \frac{Ql}{8} = \frac{12.50 \times 1.5}{8} = 4.69 \text{ t.m}$$

$$V_{\max} = \frac{Q}{2} = \frac{12.50}{2} = 6.25 \text{ t}$$



VI.4 Combinaison des charges :

On fait le ferrailage de la poutre de couronnement à l'ELS, avec une fissuration très préjudiciable (milieu agressif) et les combinaisons prises en compte sont celles de BAEL99.

- A l'ELS $\rightarrow G + Q$
- A l'ELU $\rightarrow 1.35G + 1.5Q$

VI.4.1 Efforts verticaux :

a) Au niveau d'appui :

Dans ce calcul on utilise le moment fléchissant obtenu dans le 1^{er} cas puisqu'il est le plus défavorable.

$$M_{max} = -7.9 - 18.75 = -26.65 t.m$$

\rightarrow le moment est négatif signifie que les fibres supérieures sont tendues.

b) Au niveau de la travée :

Le moment fléchissant le plus défavorable au niveau de la travée est celui obtenu dans le 2^{eme} cas " Tassement d'une pile à la limite du joint "

$$M_{max} = 4.44 + 12.61 = 17.05 t.m$$

\rightarrow le moment est positif signifie que les fibres inférieures sont tendues.

c) Effort tranchant maximal :

On constate que c'est le premier cas " tassement d'une pile au niveau d'un joint " qui nous donne l'effort tranchant maximal.

$$V_{max} = 1.35 \times 10.53 + 1.5 \times 12.50 = 32.97 t.m$$

VI.4.2 Efforts horizontaux :

$$M_{max} = 7.65 t.m \quad ; \quad V_{max} = 5.10 t$$

VI.5 Ferrailage de couronnement :

VI.5.1 Armature longitudinale :

a) Sous l'effet des charges verticales :

• Nappe supérieure :

On a :

$$b = 1.30m ; h = 1.20m ; d = 0.9h = 0.9 \times 1.2 = 1.08m ; f_{c28} = 35Mpa.$$

$$M_{ser} = 32.32 t.m = 0.3232 MN.m$$

➤ **Dimensionnement en flexion simple :**

$$\sigma_{bc}^- = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 35 = 21 MPa$$

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{c28} = 0.06 + 0.006 \times 35 = 2.7$$

$$\sigma_{st}^- = \min \left\{ 0.8 \left(\frac{2}{3} \right) Fe ; (0.4Fe ; 88 \sqrt{\eta f_{tj}}) \right\} = 182.90 MPa$$

$$X = \frac{15\sigma_{bc}^-}{\sigma_{bc}^- + \sigma_{st}^-} d = \frac{15 \times 21}{15 \times 21 + 182.90} \times 0.9 = 0.68m$$

$$Z = d - \frac{X}{3} = 0.9 - \frac{0.68}{3} = 0.85m$$

$$M_1^- = \frac{1}{2} b X \sigma_{bc}^- Z = \frac{1}{2} \times 1.30 \times 0.68 \times 21 \times 0.85 = 7.95 MN.m$$

On a $M_{ser} = 0.3232 < \overline{M}_1 = 7.95 \rightarrow$ alors la section du BA est sans armatures comprimés.

$$\rightarrow A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st}^- Z} = \frac{0.3232}{0.95 \times 192.90} = 20.73 cm^2$$

➤ **Condition de non-fragilité**

$$A_{ser} \geq A_{min} \rightarrow A_{min} = 0.23 \times \frac{f_{tj}}{f_e} \times bd = 0.23 \times \frac{2.7}{400} \times 1.3 \times 1.08 = 21.80 cm^2$$

La condition de non-fragilité n'est pas vérifié $\rightarrow A_{ser} = A_{min} = 21.80 cm^2$.

On prend : $6HA20 + 2HA14 = 18.85 + 3.08 = 21.93 cm^2$.

➤ **Vérification des contraintes :**

$$\frac{b}{2} Y_1^2 - n A_s (d - Y_1) = 0 \rightarrow \frac{130}{2} Y_1^2 - 15 \times 21.80 \times (90 - Y_1) = 0 \rightarrow Y_1 = 19.82 cm$$

$$I = \frac{b}{2} Y_1^3 + n A_s \times (d - Y_1) = \frac{130}{2} (21.50)^3 + 15 \times 21.50 \times (108 - 21.50)^2 = 2705486 cm^4$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} Y_1 = \frac{323200}{3172688} \times 21.50 = 2.37 < 21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I} (d - Y_1) = 15 \times \frac{323200}{3172688} \times (108 - 21.50) = 166.26 \text{ MPa} < 182.90 \text{ MPa}$$

Les contraintes sont vérifiées.

- **Nappe inférieure**

On a :

$$b = 1.30m ; h = 1.00m ; d = 0.9m ; M_{ser} = 20.24t.m = 0.202MN.m.$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 21MPa ; f_{tj} = 2.7 \text{ MPa} ; X = 0.57m ; Z = 0.71m ; \bar{M}_1 = 5.51MN.m.$$

On a :

$$M_{ser} = 0.202 < \bar{M}_1 = 5.52 \rightarrow \text{alors la section du BA est sans armatures comprimés.}$$

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{bc}} = 15.58 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{min} = 18.16 \text{ cm}^2$$

La condition de non-fragilité n'est pas vérifiée \rightarrow on prend $A_{ser} = A_{min} = 18.16 \text{ cm}^2$.

On prend :

$$2HA20 + 6HA16 = 6.28 + 12.06 = 18.34 \text{ cm}^2$$

➤ **Vérification des contraintes**

$$\frac{130}{2} Y_1^2 - 15 \times 18.34 (90 - Y_1) = 0 \rightarrow Y_1 = 17.77 \text{ cm} ; I = 1775362 \text{ cm}^4.$$

$$\sigma_{bc} = 1.61 \text{ MPa} < 21 \text{ MPa} ; \sigma_{st} = 101.20 < 182.90 \text{ MPa} \text{ *verifies.*}$$

b) Sous l'effet des charges horizontales :

- **Nappe extérieur**

On a :

$$b = 1.00m ; h = 1.30m ; d = 0.9h = 1.17m ; M_{ser} = 7.65t.m = 0.0765MN.m$$

$$X = 0.681m ; Z = 0.943m ; \bar{M}_1 = 2.408MN.m.$$

$$\text{On a } M_{ser} = 0.249MN.m < \bar{M}_1 = 2.408MN.m$$

\rightarrow Alors la section du BA est sans armatures comprimés.

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z \sigma_{st}} = 9.50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{min} = 18.16 \text{ cm}^2$$

La condition de non-fragilité n'est pas vérifiée

\rightarrow On prend $A_{ser} = A_{min} = 18.16 \text{ cm}^2$.

On prend la même section d'acier que celle de la nappe inférieure donc les contraintes sont vérifiées

• **Nappe intérieure**

On prend la même section d'armature que celle de la nappe extérieure.

VI.5.2 Armature transversale :

$$b = 1.30m ; d = 0.9m ; V_{max} = 0.431MN ; f_{c28} = 35 \text{ Mpa} ;$$

$$\tau_u = \frac{V_{max}}{bd} = \frac{0.431}{1.30 \times 0.9} = 0.368 \text{ MPa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u \leftrightarrow \text{les armatures droites sont suffisantes}$$

➤ **Diapositives constructives :**

$$\varphi_t \leq \min \left\{ \frac{h}{35} ; \frac{b}{10} ; \varphi_l \right\} \leq \min \left\{ \frac{100}{35} ; \frac{130}{10} ; 2 \right\} = 2 \text{ cm} \rightarrow \varphi_t = 10 \text{ mm}$$

VI.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a vérifié la stabilité de notre quai au glissement au renversement ainsi au poinçonnement dans les différents cas de chargement, et on a déterminé le ferrailage nécessaire pour assurer la stabilité de notre quai.

Chapitre VII

Etude d'impact sur l'environnement

VII. Etude d'impact sur l'environnement :

VII.1 Introduction :

L'évaluation environnementale est un instrument privilégié dans la planification du développement et de l'utilisation des ressources et du territoire. Elle vise la considération des préoccupations environnementales à toutes les phases de la réalisation d'un projet, incluant sa conception, son exploitation et sa fermeture, le cas échéant. Elle aide l'initiateur à concevoir un projet plus soucieux du milieu récepteur, sans remettre en cause sa faisabilité technique et économique.

Dans ce chapitre, nous allons analyser les effets sur l'environnement. Puis, mesurer leur acceptabilité environnementale, afin de proposer des solutions ou recommandations.

VII.2 Nécessité d'une étude d'impact sur l'environnement :

Le développement industriel accru induit des préoccupations environnementales et sociales légitimes à cause de l'engendrement d'un développement considérable d'activités polluantes (hydrocarbures, mines...etc.) générant des rejets et des déchets importants, souvent sans traitement préalable, directement en milieu naturel. Ceci entraîne des situations de pollution, parfois irréversibles, des ressources naturelles et le développement de maladies graves ou invalidantes. D'où la nécessité de réaliser une étude d'impact sur l'environnement, c'est un instrument réglementaire, technique et scientifique visant l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs ou indirects pour chaque projet afin d'éviter les situations alarmantes mentionnées précédemment.

VII.3 Structure et contenu de l'étude d'impact sur l'environnement :

Selon le guide algérien des études d'impact sur l'environnement, document officiel publié par le ministère de l'environnement et des énergies renouvelables en décembre 2019, cette dernière doit être structurée de la manière suivante :

1. La présentation du promoteur du projet, son nom ou raison sociale, son expérience ainsi que la présentation du bureau d'études accompagnée d'une copie de son agrément délivré par le ministre chargé de l'environnement ;
2. L'analyse des alternatives et variantes éventuelles des différentes options du projet en expliquant et en fondant les choix retenus aux plans économiques, technologiques et environnementales ;
3. La délimitation de la zone d'étude et la description détaillée de l'état initial du site et de son environnement accompagnée d'un plan de situation et d'un plan de masse ;
4. La description détaillée des différentes phases du projet et l'estimation des catégories et des quantités de résidus, d'émissions et de nuisances susceptibles d'être générés ;
5. L'évaluation des impacts prévisibles directs et indirects, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement et des effets cumulatifs ;

6. La description des mesures envisagées par le promoteur pour supprimer, réduire et/ou compenser les conséquences dommageables des différentes phases du projet ;
7. Le plan de gestion de l'environnement détaillé avec son planning d'exécution ;
8. Les incidences financières allouées aux mesures préconisées et toute autre information, document ou étude soumis par les bureaux d'études pour fonder le contenu de l'étude d'impact ;
9. Un rapport descriptif du projet, établi par le bureau d'études et mis à la disposition du public durant la période de l'enquête publique.

VII.4 Description du projet :

- Promoteur du projet : Direction des travaux publics de la wilaya de Skikda
- Entreprise de réalisation : entreprise portuaire de Skikda (EPS)
- Bureau d'études : Laboratoire des Études Maritimes (LEM), établissement agréé par le ministère de l'Environnement ;
- Contrôle et suivis Hydro marine ingénierie (HMI), établissement agréé par le ministère de l'Environnement.
- Choix de la zone : Le projet d'aménagement de la cale sèche dans l'ancien port de Skikda situé à la wilaya de Skikda a pour objectif de répondre aux nouvelles exigences et besoins d'avancement dans le secteur travaux maritimes.

VII.5 Délimitation et état initial de la zone :

L'ancien port de Skikda est un port de commerce situé au chef-lieu de la ville de Skikda, et qui comprend deux ports, l'ancien port du mouvement des marchandises qui occupe une superficie de 35 hectares et atteint quatre millions et 500 000 tonnes par an, et le nouveau port pour les matériaux pétroliers.



Figure VII.1. L'ancien port de Skikda

VII.6 Phase de projet :

On distingue deux phases de projet :

- Phase de construction : elle contient la prospection préliminaire, l'installation de chantier, les travaux de génie civil, les terrassements, la déconstruction des lieux et de la gestion des déchets ;
- Phase d'exploitation : elle comprend l'entretien et le nettoyage des remorqueurs.

VII.7 Impact et mesures de prévention, d'atténuation ou de compensations :

Les principaux types de pollution imposés par l'aménagement d'une cale sèche est la pollution marine qui touche 03 milieu :

- Le milieu physique
- Le milieu biologique
- Le milieu humain

VII.7.1 Phase de construction :

❖ **Impact du projet sur le milieu physique :**

Tableau VII.1 L'impact du projet sur le milieu physique (phase construction)

Composante de l'environnement	Source d'impact	Impact	Mesures de prévention et d'atténuation
Eau	<ul style="list-style-type: none"> • Dragage • Pénétration de déchet dans les eaux 	Contamination des eaux marines	Définitions des périodes de dragage
Sol	<ul style="list-style-type: none"> • Terrassement et installation de chantier • Dépôt des déblais 	Altération et changement des propriétés	Limitation des décapages et excavations
Air	<ul style="list-style-type: none"> • Manœuvre /activité de construction 	Contamination de l'air par les émissions	<ul style="list-style-type: none"> - Maitrise des émissions hydrocarbures et poussière - Arrosage - Couverture des camions transporteurs de matériau

❖ **Impact du projet sur le milieu biologique :**

Tableau VII.2 L'impact du projet sur le milieu biologique (phase construction)

Composante de l'environnement	Source d'impact	Impact	Mesures de prévention et d'atténuation
Faune (benthique/terrestre)	Détérioration de la qualité de l'eau et changement des pressions Vibrations et effets sonores	Migrations des espèces	Respect des périodes de repos biologique
Flore (benthique/terrestre)	Dragage	Perte du couvert végétale	Limitation des zones de circulation d'engins et installation de panneaux de signalisation

❖ **Impact sur le milieu humain :**

Tableau VII.3 L'impact du projet sur le milieu humain (phase construction)

Composante de l'environnement	Source d'impact	Impact	Mesures de prévention et d'atténuation
Humains	Emploi Santé et Sécurité	Création d'emploi Propagation de maladie Respiratoire Risques de déversement de substances dangereuses	Favoriser les habitants de la région Maitrise des émissions diverses Mise à jour régulière des plans d'urgence

VII.7.2 Phase d'exploitation :

Pour la phase d'exploitation, on remarque une augmentation des niveaux de polluants dans les eaux marines en cas de déversement d'eaux usées non traitées ou de matières dangereuses utilisées quotidiennement lors d'entretiens des remorqueurs et les déchets.

❖ **Impact du projet sur le milieu physique :**

Tableau VII.4 L'impact du projet sur le milieu physique (phase exploitation)

Composante de l'environnement	Source d'impact	Impact	Mesures de prévention et d'atténuation
Eau	L'entretien des remorqueurs	Contamination des eaux marines	Utilisation des produits agréés par le ministère d'environnement.

❖ **Impact du projet sur le milieu biologique :**

Tableau VII.5 L'impact du projet sur le milieu biologique (phase exploitation)

Composante de l'environnement	Source d'impact	Impact	Mesures de prévention et d'atténuation
Faune (benthique/terrestre)	L'entretien des remorqueurs	Augmentation des niveaux de polluants dans les eaux marines	Vérification des produits utilisés

VII.8 Evaluation globale et recommandations :

Le projet d'aménagement de la cale sèche au niveau du port de Skikda est un projet stratégique qui va servir, à booster l'économie nationale, en préservant la devise.

Donc, en dépit des conséquences sur l'environnement, ce projet a d'énormes avantages sur notre pays. En phase de réalisation ainsi qu'en phase d'exploitation.

En tenant compte de tous les effets du projet, avantages et inconvénients, et pour assurer la minimisation de ces effets négatifs, on exige de respecter les recommandations suivantes :

- ✓ Réaliser et exploiter le projet selon les normes nationales et internationales.
- ✓ Respecter les recommandations de la présente étude afin de minimiser les effets négatifs du projet sur l'environnement.
- ✓ Sensibilisation et incitation des travailleurs, quel que soit leur poste de travail, à respecter les consignes de préservation de l'environnement. Des formations sur le sujet peuvent être envisagées.
- ✓ Exiger un contrôle et suivi, rigoureux spécialisé dans la protection de l'environnement, au sein du projet soit en phase de réalisation ou en exploitation afin de s'assurer que les recommandations de cette étude soient respectées.

VII.9 Conclusion :

La construction d'une cale sèche est sans conteste un pas vers l'avant dans le développement de l'économie nationale et de son renforcement. Mais compte tenu des activités portuaires, l'intégration de cette infrastructure dans son environnement avec le minimum de nuisances et de perturbations sur la nature et sur la population ne peut être assuré qu'en respectant sur le terrain les différentes mesures de prévention et d'atténuation définies dans cette étude.

Conclusion générale :

L'infrastructure portuaire en Algérie est en progression, mais il est à signaler que malgré les efforts consentis par l'état algérien dans la rénovation, l'aménagement et la construction de nouveaux ports, il y'a encore énormément à faire pour rehausser l'infrastructure portuaire nationale au niveau des ports méditerranéens ou mondiaux.

L'aménagement est une tâche très compliquée, elle est basée sur une analyse multicritère, c'est un calcul classique de la recherche opérationnelle. C'est le point indispensable de n'importe quelle opération de construction.

L'aménagement de la cale sèche nécessite plusieurs étapes. Comme on tient à mentionner que le gain économique se porte à long terme.

Pour cela, Nous avons choisi une démarche qui consiste, tout d'abord, à collecter les informations générales concernant les milieux marins et leur comportement ainsi que sur les différents ouvrages portuaires existant et leurs fonctions ainsi que des généralités sur les outils logistiques dans un port en l'occurrence les outils de l'entretien et la réparation des navires nous nous sommes focalisés sur les cales sèches. Puis nous sommes passés à la collecte des informations et des données spécifiques au site du projet en termes de climat, températures, étude de la houle, données géotechniques...etc. L'étape suivante a consisté à faire une étude cruciale dans tout projet qui est l'aménagement du site afin de proposer deux variantes, toute en choisissant la variante qui répond aux conditions de l'analyse multicritère, et nous avons proposé un plan d'aménagement. Puis nous avons consacré le chapitre suivant pour le dimensionnement et la vérification de stabilité du quai de la variante choisi. Notre travail a été conclu par une étude d'impact sur l'environnement dont le but est de tenir compte de l'effet de la construction et exploitation de ce projet sur son environnement et de proposer des solutions.

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour moi de découvrir le domaine maritime, ses acteurs ses contraintes et ses enjeux. Il m'a permis de découvrir les étapes de réaliser l'étude d'un projet, les problèmes qu'on peut rencontrer, et il m'a permis d'être une actrice et non pas une spectatrice dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] J. CHAPON, Travaux Maritimes TOME I, Le milieu marin – Le navire – La navigation – Les côtes – Les ouvrages extérieures des ports maritimes, Paris. France Édition Eyrolles (1984)
- [2] J. CHAPON, Travaux Maritimes TOME II, Les ouvrages intérieurs des ports maritimes – Dégagement des accès et plans d'eau des ports, Paris. France Édition Eyrolles (1972)
- [3] Mecheti Nacer-Eddine, Cours Travaux Maritimes Ouvrages Extérieurs, Ecole Nationale supérieurs des travaux publics. Kouba.
- [4] J.LARRAS, Cours d'hydraulique maritime et de travaux maritimes.
- [5] Guide études techniques portuaires Disponible sur : <http://www.equipement.gov.ma/ports/Publications/Pages/Publications.aspx>
- [6] B.K.MAZURKIRWICZ, Design and construction of dry docks.
- [7] John W.GAYTHWAITE, Design of marine facilities for the berthing, mooring and repair of vessels.
- [8] Benredouane Mustapha, Cours Béton Armé, Ecole Nationale supérieurs des travaux publics. Kouba.
- [9] Mecheti Nacer-Eddine, Note de calcul TOME1. Aménagement d'un port de pêche a Jijel.
- [10] Etude de fusibilité d'une form de Radoub .EL MERS EL KBIR. Etabli par : Le Laboratoire des Etudes Maritime (Alger) et Drewry Shipping Consultants (Londres)

Annexe A

VIII. Annexe A : photo de la cale de halage existante :



FigureA.1. Photo réelle de la cale de halage existante

Annexe B

Annexe B : Dimensionnement du quai de -5.00 m:

Dans la présente annexe, nous exposerons les détails des calculs ainsi que les différents documents techniques utilisés pour le dimensionnement des quais a -5.00m.

B.1. Caractéristiques géométriques :

B.1.2. Bloc type 1 :

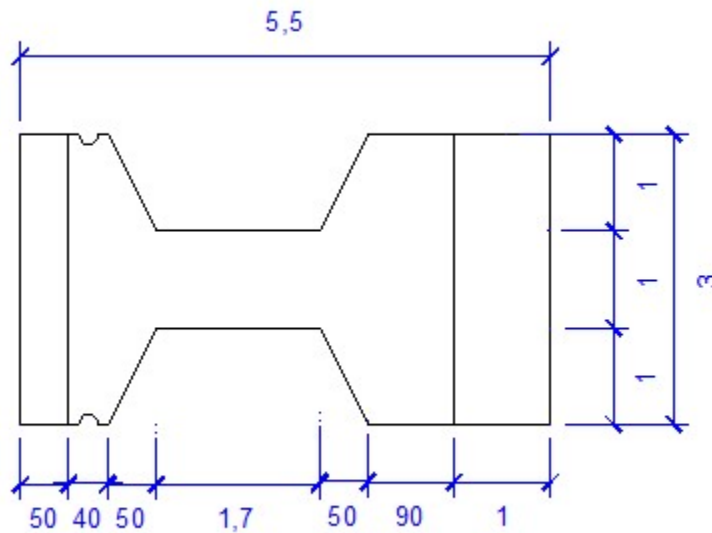


Figure.B.1 : Vu en plan de bloc de type 1

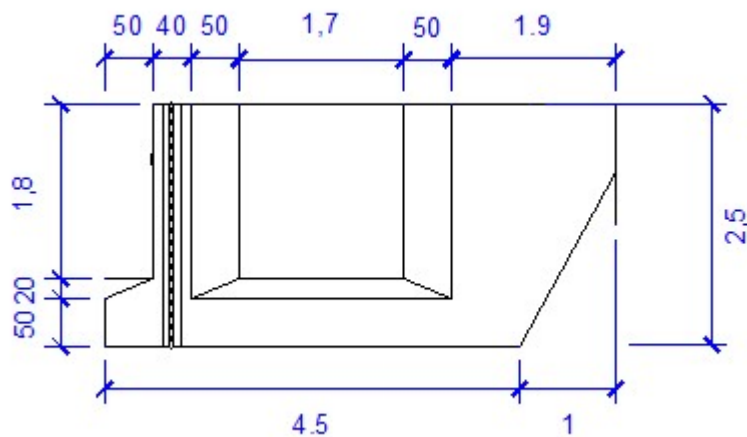


Figure.B.2 : Vu en élévation de bloc de type 1

B.1.2.Bloc de type 2 :

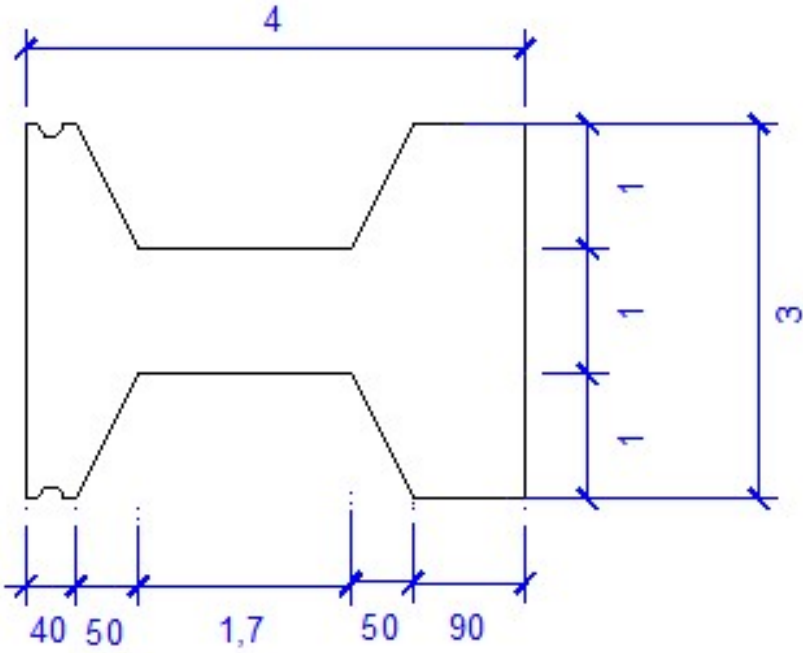


Figure.B.3 : Vu en plan de bloc de type 2

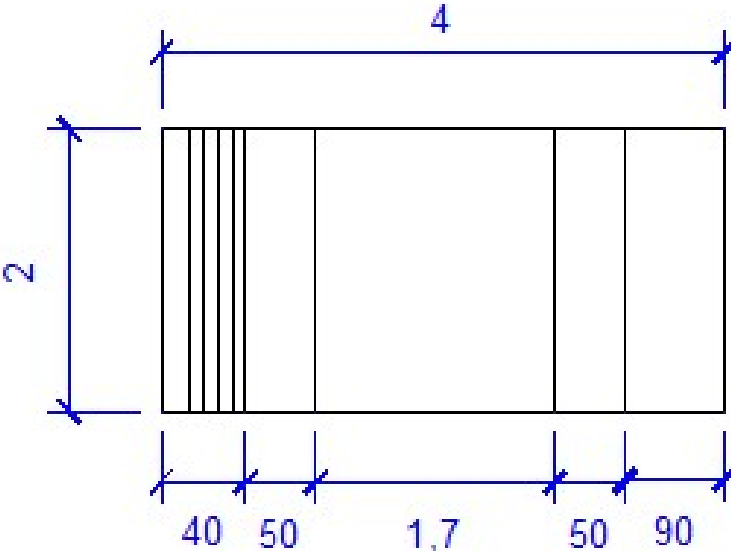


Figure.B.4 : Vu en élévation de bloc de type 2

B.1.3.Bloc de type 3 :

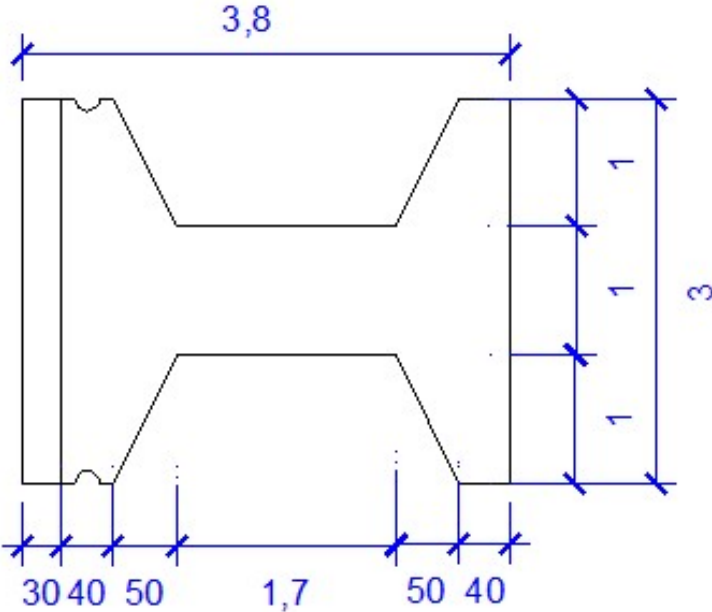


Figure.B.5 : Vu en plan de bloc de type 3

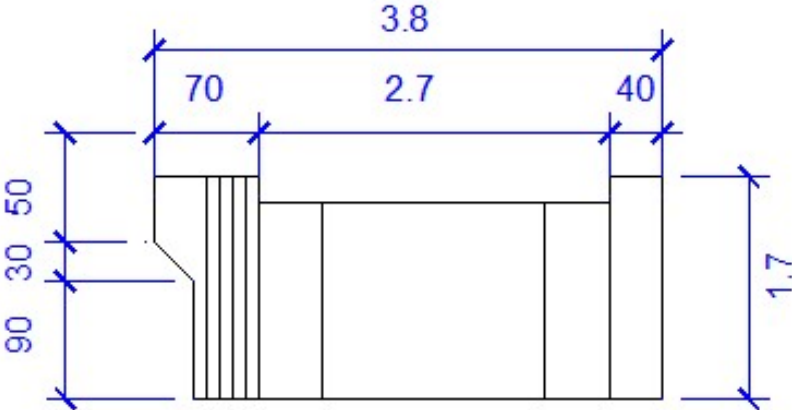


Figure.B.6 : Vu en élévation de bloc de type 3

B.1.4.Poutre de couronnement :

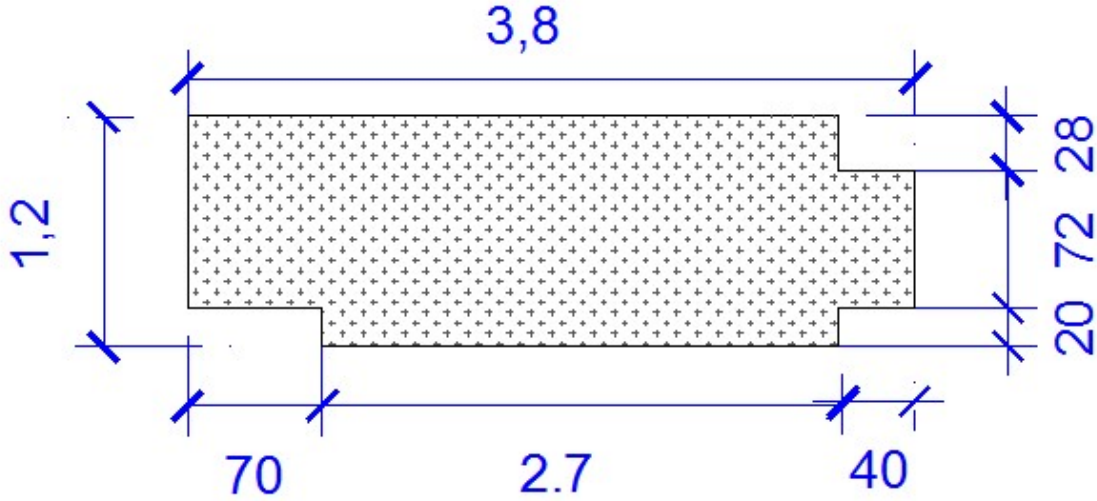


Figure.B.7 : Vu en élévation de poutre la de couronnement

B.2.Facteur de portance :

Facteurs de portance N_q , N_γ , N_c , sont fonction de l'angle de frottement du sol et sont données par l'abaque de CAQUOT et KERISEL présentée ci-après :

Tableau.B.1. Abaque de CAQUOT et KERISEL

φ_s	N_γ	N_q	N_c	φ_s	N_γ	N_q	N_c
0	0.00	1.00	5.14	29	18.80	16.40	27.90
5	0.20	1.56	6.47	30	21.80	18.40	30.10
7	0.52	2.01	7.97	31	25.50	20.60	32.70
10	1.00	2.49	8.45	32	29.80	23.20	35.50
11	1.20	2.71	8.80	33	34.80	26.10	38.70
12	1.43	2.97	9.29	34	40.90	29.40	42.20
13	1.69	3.26	9.80	35	48.00	33.30	46.10
14	1.99	3.59	10.40	36	56.60	37.80	50.60
15	2.33	3.94	11.00	37	67.00	42.90	55.70
16	2.72	4.33	11.60	38	79.50	56.00	67.90
17	3.14	4.77	12.30	39	94.70	56.00	67.90
18	3.69	5.25	13.10	40	113.00	64.20	75.40
19	4.29	5.60	13.90	41	133.00	73.90	83.90
20	4.97	6.40	14.80	42	164.00	85.40	93.70
21	5.76	7.07	15.80	43	199.00	99.00	105.00
22	6.68	7.83	16.90	44	244.00	115.00	118.00
23	7.73	8.66	18.10	45	297.00	135.00	135.00
24	8.97	9.60	19.30	46	366.00	159.00	152.00
25	10.40	10.70	20.70	47	455.00	187.00	174.00
26	12.00	11.80	22.20	48	570.00	223.00	199.00
27	13.90	13.20	24.00	49	718.00	265.00	230.00
28	16.10	14.70	25.80	50	914.00	319.00	267.00