

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



المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

National School of Built and Ground Works Engineering

Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

ETUDE DE LA PROTECTION MARTIME
DU DEDOUBLEMENT DE LA RN09 AOKAS

Présenté par :

CHACHOUA Kousseila

YOUSFI Hanane

Encadré par :

RAHMANI Douadi

ABDELGHANI Abderrahmane

Dédicaces

A cette source d'amour, à ma Mère.

Chachoua Kousseïla

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À MES CHÈRES PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MES CHÈRES ET ADORABLE FRÈRES ET SŒURS

Saïd, Mustapha, Rafik, Idir, Nassima, Fetta, Yanis, toutes mes belles sœurs et beaux frères.

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À MES CHÈRES PETITS NEVEUX ET NIECES

Rayan, Lina, Akram, Youran, Amasten, darine, Aylan, Massil, Amélice.

À MON FIANCÉ OUABA DALIL ET TOUTE MA BELLE FAMILLE.

HANANE YOUSFI

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force, la santé, la patience, le courage et la volonté d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions

En second lieu, nous remercions nos deux encadreurs Mr. RAHMANI et Mr.ABDELGHANI pour leur sérieux, leur compétence, leurs orientations, et pour la sollicitude avec laquelle ils ont suivi et guidé notre travail

Nos remerciements aussi aux ingénieurs du LEM en particulier Mm.LOUANCHI et Mm.YETTOUI ainsi qu'à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Finalement nous tenons à remercier vivement l'ensemble des enseignants et le personnel administratif de l'ENSTP.

Résumé

L'aménagement et la protection du littoral constitue l'un des domaines les plus importants de nos jours en Algérie, d'où la nécessité de mener à bien l'étude et la réalisation d'ouvrages maritimes.

L'objectif principal du projet de fin d'études est d'intégrer l'étudiant au monde professionnel, pour cela nous avons choisi d'effectuer notre stage au sein du laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM), afin d'acquérir les connaissances et capacités nécessaires pour mener à bien un projet maritime.

Notre sujet consiste en l'étude de la protection maritime du rivage d'AOKAS suite au dédoublement de la RN09 sur un linéaire de 600 mètres, une protection de type digue à talus ainsi que l'étude d'une esplanade à l'arrière de cette protection destinée à différents usages.

Ce projet de dédoublement permettra de réduire la saturation du trafic, en particulier lors de la saison estivale.

Pour la réalisation de cette étude nous avons élaboré un plan de travail qui consiste en :

- Collecte d'informations et de données liés au milieu marin et au projet.
- Détermination des caractéristiques de la houle à la cote partir de celles au large.
- Etude et dimensionnement de la digue de protection avec la méthode de Hudson.
- Calcul des éléments constituant l'aménagement à l'arrière de la protection.

Mots clés : houle, digue à talus, réfraction, esplanade.

Abstract:

Nowadays, the coast construction and protection constitutes one of the main fields in Algeria, hence it is important to carry out a successful study and implementation of the marine structures.

The main objective of the end-of-studies project is to help student to join the professional world, reason why we choose to complete training within “Laboratoire d’Etudes Maritimes (LEM), in order to acquire the necessary knowledge and capacities to complete the marine project successfully.

The subject consists in studying the marine protection of Aokas’ shoreline after the enlargement of the highway no. 09 over a line of 600 meters, a protection of rubble-mound breakwater type, as well as the study of the plaza located on the backside of this protection which can be used for different purposes.

This project of enlargement will ensure a traffic flowing mainly during summer.

In order to achieve this study we have designed a working plan consisting in:

- Information and data gathering linked to the marine environment and to the project,
- Determination of the characters of the swell from the open sea to the shoreline,
- Studying and sizing the protection breakwater with Hudson method,
- Calculating the components constituting the construction on the backside of the protection.

Key words: swell, rubble-mound breakwater, plaza.

المخلص

تمثل حماية الشريط الساحلي و تهيئته أحد الميادين الأكثر أهمية في الجزائر، لذلك فمن الضروري إجراء دراسة ناجعة للمشاريع البحرية و إنجازها بأحسن صورة.

يتمثل الهدف الرئيسي لمشروع التخرج هذا في إدماج الطالب في الحياة المهنية، ومن أجل ذلك فقد اخترنا إجراء تربصنا على مستوى مخبر الدراسات البحرية التي تسمح لنا باكتساب الخبرات والقدرات اللازمة للنجاح في مشروعنا البحري.

يتمثل موضوعنا في دراسة حواجز حماية الساحل ببجاية وبالضبط على مستوى بلدية أوقاس بعد توسيع الطريق الوطني رقم 09 وإنجاز طريق مزدوج على طول 600 متر. بالإضافة الى دراسة الباحة متعددة الاستعمالات الواقعة وراء الحاجز

سيسمح هذا المشروع في تسهيل حركة المرور خاصة خلال فصل الاصطياف.

ومن أجل إنجاز هذه الدراسة، قمنا بإعداد مخطط عمل يتمثل فيما يأتي:

- جمع المعلومات والبيانات المتعلقة بالبيئة البحرية وكذا المشروع،
- تحديد مميزات الأمواج التي تضرب في الشاطئ انطلاقا من عرض البحر بواسطة برمجة ماب أنفو،
- دراسة وقياس أبعاد حاجز الحماية بواسطة طريقة هودسون،
- حساب عناصر التهيئة الموجودة وراء الحماية.
- الكلمات الدلالية: موج، حاجز، بحر، شاطئ، الباحة

Tables des matières

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des notations et indices.....	IV
Introduction générale.....	VII
CHAPITRE I: : GENERALITES.....	1
I.1 GENERALITES SUR LE MILIEU MARIN.....	2
I.1.1 INTRODUCTION.....	2
I.1.2 GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER.....	2
I.1.3 PROPRIETES PHYSIQUES DE L’EAU DE MER.....	6
I.1.4 PROPRIETES CHIMIQUES DE L’EAU DE MER.....	7
I.1.5 ACTION CHIMIQUE DE L’EAU DE MER SUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....	7
I.1.6 LES SEDIMENTS MARINS.....	8
I.2 GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES :.....	11
I.2.1 INTRODUCTION.....	11
I.2.2 LES TYPES DE DIGUES DE PROTECTION.....	11
CHAPITRE II: PRESENTATION DU PROJET.....	15
II.1 INTRODUCTION.....	16
II.2 HISTORIQUE SUR LA VILLE DE BEJAIA.....	16
II.2.1 PORT DE BEJAIA.....	16
II.2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	16
II.2.3 BASSINS DU PORT.....	17
II.3 PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	17
II.3.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	17
II.3.2 DESCRIPTION DU SITE.....	18
II.4 DESCRIPTION DU PROJET.....	19
CHAPITRE III: COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES.....	20
III.1 LES CONDITIONS DU VENT DE LA ZONE DE BEJAIA.....	21
III.1.1 Données du Summary of Synoptic Meteorological observations (1914-1970).....	21
III.1.2 DONNEES DE MEDATLAS (1999-2004).....	21
III.1.3 LA HOULE.....	22
CHAPITRE IV: : ÉTUDE DE LA REFRACTION.....	30
IV.1 INTRODUCTION.....	31
IV.2 PRINCIPE DE CALCUL DE LA REFRACTION DE LA HOULE.....	31

IV.3	MODELE MATHEMATIQUE SWAN	31
IV.4	MODELISATION NUMERIQUE DE LA REFRACTION PAR SWAN	31
IV.4.1	DEFINITION	31
IV.4.2	DESCRIPTION DES LOGICIELS ET OUTILS UTILISES.....	31
IV.4.3	DONNEES D'ENTREE	32
IV.4.4	ETAPES DE LA MODELISATION	32
IV.5	RESULTATS DE L'ETUDE	33
IV.6	INTERPRETATION.....	35
IV.7	CONCLUSION	36
CHAPITRE V:	ETUDE DE L'OUVRAGE DE PROTECTION.....	37
V.1	INTRODUCTION	38
V.2	LES FORMULES DE PRE-DIMENSIONNEMENT DES DIGUES A TALUS	38
V.3	PRE-DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE A TALUS.....	39
V.3.1	DIEMENSIONNEMENT DE LA CARAPACE.....	40
V.3.2	DIEMENSIONNEMENT DE LA SOUS-COUHCE (FILTRE)	41
V.3.3	DIEMENSIONNEMENT DE LA BUTEE DE PIED.....	43
V.3.4	DIMENSIONNEMENT DU NOYAU	44
V.3.5	REVANCHE DE LA CRETE « Rc »	46
V.3.6	FRANCHISSEMENT DE LA HOULE.....	47
V.3.7	CONCLUSION	48
CHAPITRE VI:	ETUDE DU MODELE REDUIT PHYSIQUE EN CANAL A HOULE	50
VI.1	INTRODUCTION	51
VI.2	DEFINITION.....	51
VI.3	LOIS DE SIMILITUDE.....	51
VI.4	CHOIX DE L'ECHELLE	52
VI.4.1	LES DIFFERENTES CATEGORIES DE MODELES REDUITS	52
VI.5	RESUME DE L'ETUDE EN MODELE REDUIT PHYSIQUE.....	52
VI.5.1	CADRE DES ESSAIS	52
VI.5.2	CONDITIONS DE HOULE.....	53
VI.5.3	EVALUATION DES DEGATS.....	54
VI.5.4	ReSULTATS DES ESSAIS	54
VI.6	CONCLUSION	60
CHAPITRE VII:	ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE L'ESPLANADE	61
VII.1	INTRODUCTION	62
VII.2	LES OUVRAGES EN BETON.....	62
VII.2.1	LES MURS DE SOUTÈNEMENT	62

VII.2.2	LES ESCALIERS.....	80
VII.2.3	GARDE-CORPS.....	88
VII.3	REVETEMENTS.....	90
VII.3.1	REVETEMENT DE L'ESPLANADE.....	90
VII.3.2	REVETEMENTS DES ACCES ET DES AIRES DE STATIONNEMENT.....	90
VII.3.3	DRAINAGE DES EAUX PLUVIALES.....	91
VII.4	CONCLUSION.....	91
	CONCLUSION GENERALE.....	92
	ANNEXES.....	93
	Bibliographie.....	140

Liste des figures

Figure I—1	Caractéristiques de la houle	3
Figure I—2	les trois types de déferlement des lames.....	4
Figure I—3	la marée	5
Figure I—4	Les sédiments	9
Figure I—5	Principales dimensions d'une digue verticale	13
Figure I—6	Digue verticale à bassin de déversement.....	13
Figure I—7	Digue verticale a parois perforées	14
Figure I—8	Digue mixte horizontale	14
Figure I—9	Digue mixte verticale	14
Figure II—1	Situation géographique de la wilaya de Bejaia	16
Figure II—2	Situation géographique du port de Bejaia	17
Figure II—3	Situation géographique de la ville d'Aokas	18
Figure II—4	Situation géographique du site	18
Figure II—5	Photos des différentes sections du site	19
Figure III—1	Données du Summary of Synoptic Meteorological Obsevation (19914-1970).....	21
Figure III—2	Rose des vents _ données de MEDATLAS (1999-2004)	22
Figure III—3	Profils bathymétriques Est et Ouest.....	27
Figure III—4	Profil topo-bathymétrique EST.....	27
Figure III—5	Profil topo-bathymétrique OUEST	28
Figure III—6	Superposition de profils topo-bathymétriques EST de 1994 et actuel.....	28
Figure III—7	Superposition de profils topo-bathymétriques OUEST de 1994 et actuel.....	29
Figure IV—1	Epures de réfraction de la houle	34
Figure IV—2	Epures de réfraction de la houle	34
Figure V—1	Abaque de la méthode de Feuillet.....	39
Figure V—2	section transversal suggérée (profil 1)	48
Figure V—3	section transversal suggérée (profil 2)	49
Figure VI—1	localisation des deux profils du canal à houle	54
Figure VI—2	Variante 1 avant l'essai	55
Figure VI—3	Variante 2 avant l'essai	56
Figure VI—4	Variante 3 avant l'essai	57
Figure VI—5	Variante 4 avant l'essai	58
Figure VI—6	Variante 5 avant essai	59
Figure VI—7	Profil P1 de la variante retenue.....	60
Figure VI—8	Profile P2 de la variante retenue.....	60
Figure VII—1	pré-dimensionnement du mur de soutènement.....	62
Figure VII—2	Schéma représentatif de l'ouvrage.....	64
Figure VII—3	modélisation de l'ouvrage.....	71
Figure VII—4	Caractéristique du sol et les surcharges.....	71
Figure VII—5	Résultat de la modélisation numérique : cas statique.....	72
Figure VII—6	Résultats de la modélisation numérique : cas dynamique.....	72
Figure VII—7	Sections critiques.....	73
Figure VII—8	Forces appliquées sur le voile	74
Figure VII—9	Forces appliquées sur le patin	76
Figure VII—10	Récapitulatif des forces appliquées sur le voile	77

Figure VII—11 Forces appliquées sur le patin arrière	78
Figure VII—12 ferrailage du mur de soutènement (H=5 m)	79
Figure VII—13 dimensions des escaliers.....	80
Figure VII—14 schéma statique des escaliers	82
Figure VII—15 diagramme des moments à l'ELU.....	82
Figure VII—16 diagrammes des moments à l'ELS.....	83
Figure VII—17 Section du béton à ferrailée	83
Figure VII—18 disposition des armatures	84
Figure VII—19 diagramme de l'effort tranchant	85
Figure VII—20 schéma des poteaux et semelles	85
Figure VII—21 schéma de la semelle	86
Figure VII—22 disposition du ferrailage de la semelle	88
Figure VII—23 dimensions de la poutre.....	88
Figure VII—24 sections d'acier.....	89
Figure VII—25 Ferrailage de la poutre (garde-corps)	90

Liste des tableaux

Tableau I-1 Composition chimique de l'eau de mer.....	7
Tableau III-1 Fréquences d'observation de la houle au large.....	23
Tableau III-2 Fréquences par direction des différents états de la mer	23
Tableau III-3 Relation amplitude-période de la houle au large.....	24
Tableau III-4 Probabilité d'apparition de la houle associée à la période de retour	24
Tableau III-5 statistiques de la houle au large (m) : source SSMO (1963-1970)	25
Tableau III-6 Estimation du transit sédimentaire	26
Tableau IV-1 Données de houle au large (région centre)	32
Tableau IV-2 Données de houle extrêmes au large (région centre) en mètre (Source : SSMO 1963-1970)	32
Tableau IV-3 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle biennale.....	35
Tableau IV-4 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle cinquantennale.....	35
Tableau IV-5 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle annuelle.....	35
Tableau V-1 Paramètres de calcul.....	39
Tableau V-2 les matériaux des différents couches de la digue à talus	39
Tableau VI-1 Caractéristique de la houle à -15m	53
Tableau VII-1 Dimensions du mur de soutènement.....	63
Tableau VII-2 Récapitulatif des forces et moments appliqués sur le mur (ELS).....	65
Tableau VII-3 Récapitulatif des forces et moment appliqués sur le mur(ELU)	66
Tableau VII-4 Récapitulatif des forces appliquées sur le voile.....	75
Tableau VII-5 Evaluation des charges et surcharges de la paillasse	81
Tableau VII-6 Evaluation des charges et surcharges du palier	82

Liste des notations et indices

Q_{adm} : Capacité portante

ΔH : Tassement

η_0 : Dénivellation due au vent

h_{mean} : Profondeur moyenne

v : Vitesse du vent

F : Le fetch

H_{s0} : Hauteur des vagues significative en eau profonde

T_s : Période des vagues significatives en eau profonde

T_p : Période de pointe des vagues

h : Profondeur d'eau

H_0' : Changement du niveau d'eau

K_r : Coefficients de réfraction

K_s : Coefficients de profondeur

H_s : Hauteur de la houle incidente

W : Poids des blocs

γ_s : Masse volumique de bloc de carapace

γ_w : Masse volumique de l'eau de mer

α : Angle du talus avec l'horizontal

K_D : Coefficient de stabilité

e : Epaisseur de la carapace

p : Porosité moyenne

n_i : Nombre de lit des blocs

C : Coefficient de couche

$W_{carapace}$: Poids des blocs de la carapace

N_s : Nombre de blocs

D_{n50} : Diamètre médian

B : Largeur de la crête

W_{moy} : Poids moyen

e_b : Épaisseur de la butée

L_b : Largeur de la butée

h_t : Position de la butée

T_m : Période moyenne de la houle

H_{slocal} : Hauteur de la houle à la cote

H_{slarge} : Hauteur de la houle au large

w_{noyau} : Poids du noyau

B_n : Largeur du noyau

w_i : Limites inférieures du poids de l'enrochement

w_s : Limites supérieures du poids de l'enrochement

φ_i : Diamètre constitue la couche inférieure

φ_s : Diamètre constitue la couche supérieure

$R_{u,\%}$: Niveau factice de la dénivellation dépassant de 2% des ondes incidente

γ_b : Facteur de réduction

γ_f : Facteur de rugosité

γ_h : Paramètre des hauteurs du fonds	σ_{\min} : Contrainte minimale du sol
γ_β : Angles des vagues obliques	Φ : angle de frottement
ξ_p : Déferlement pour T_p	β : Inclinaison du sol
g : vitesse de la pesanteur	λ : Inclinaison du mur
ξ_{m-} : Déferlement similaire pour T_p	$\gamma_{\text{béton}}$: Poids volumique du béton
R_c : Revanche de la crête	γ_{sol} : Poids volumique du sol
L_s : Longueur de la zone d'éclaboussement	C : Cohésion
ψ : Importance du facteur de structure	f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours
R_u : Élévation des vagues	f_{t28} : Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours
V_{\max} : Volume de franchissement	F_e : Acier « fer »
q : Franchissement des vagues	E : Elasticité
S : Niveau de dommages	HA : Haute adhérence
N : Nombre de vagues	G : Poids propre
T_{m-1} : Période spectrale de la vague significative (sec)	Q : Charge d'exploitation
γ_{f-c} : Rugosité à la crête	K_a : Coefficient de poussée
$R_{u,\%}$: Niveau factice de la dénivellation dépassant de 1% des ondes incidente	H : Hauteur du mur
F_v : Force verticale	V : l'Effort sismique
F_{SR} : Facteur de sécurité au renversement	T : Période de la structure
F_{SG} : Facteur de sécurité au glissement	ξ : Pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau de construction
$M_{\text{stabilisant}}$: Moment stabilisant	W : Poids de la structure
$M_{\text{renversant}}$: Moment renversant	Q : Facteur de qualité
e_0 : Tiers central	W_{semelle} : Poids de la semelle
$\sigma_{\text{adm, sol}}$: Contrainte admissible du sol	
σ_{\max} : Contrainte maximal du sol	

W_{rideau} : Poids du rideau

A : Coefficient d'accélération de zone

D : Facteur d'amplification dynamique moyen

η : Facteur de correction d'amortissement

K_h : Coefficient sismique des forces descendantes

K_v : Coefficient sismique des forces ascendantes

M_{ser} : Moment à l'état limite de service

N_{ser} : Effort normal à l'état limite de service

N_u : Effort normale a l'état ultime

M_u : Moment à l'état limite ultime

e : Excentricité

σ_{st} : Contrainte de traction de 'acier

A_{ser} : Section d'acier

A_r : Armature de répartition

e_p : Epaisseur de la paillasse

e_v : Epaisseur de volé

Q_u : Combinaison de charge à l'ELU

Q_s : Combinaison de charge à l'ELS.

L_f : Longueur de flambement

I : Inertie de la section

Les éléments chimiques

$Na Cl$: chlorure de sodium

$Mg SO_4$: sulfate de magnésium

$Ca SO_4$: sulfate de calcium

$K_2 SO_4$: sulfate de potassium

$Ca CO_3$: calcium carbonate

$Mg Br$: Bromure de magnésium

Al_2O_3 : Oxyde d'aluminium

$3CaO$: Oxyde de calci

Introduction générale

Les opportunités de développement du secteur maritime sont de plus en plus nombreuses et pour causes, l'intérêt minime porté avant à ce dernier et la présence de nombreuses surfaces à aménager. Cela se confirme plus particulièrement au littoral de Bejaia qui fera l'objet de notre étude.

Notre projet de fin d'études est articulé autour du thème « la protection du littoral de la commune d'AOKAS, wilaya de BEJAIA ».

Notre étude est partagée en trois phases qui s'étaleront chacune sur un certain nombre de chapitre. En premier lieu nous allons définir et exposer les généralités sur le milieu marin, ainsi que les caractéristiques générales sur les ouvrages maritimes, choses indispensables pour cette étude. Durant cette phase nous effectuerons aussi une présentation globale du projet et son environnement qui regroupera historique de Bejaia, une description du port qui est d'une grande renommée en Algérie et enfin une présentation de la zone d'étude. Se poursuivra après une collecte et analyse de données qui seront nécessaires à notre étude, à savoir, les conditions de vent de la zone, les données de houle, la marée, les courants et la bathymétrie.

Ensuite, dans une deuxième phase, nous procéderons au choix de la variante définitive retenue parmi celles proposées, après l'étude sur canal à houles. Mais avant cela, nous allons effectuer une étude de réfraction à l'aide du logiciel Mapinfo et du modèle mathématique SWAN qui a pour but de déterminer les caractéristiques de la houle à la cote à partir de celles au large. En effet après avoir déterminé ces caractéristiques nous allons pouvoir dimensionner la digue à talus et déterminer les différentes variantes qui seront soumises à l'étude sur canal à houles pour le choix définitif.

Enfin, nous effectuerons une étude détaillée de la variante retenue, ainsi que l'aménagement à l'arrière de la digue de protection, à savoir, une esplanade de 23 m de largeur, une aire de stationnement pour véhicules et ses accès, des escaliers reliant l'esplanade à la route et un espace vert. Nous effectuerons en premier lieu un dimensionnement des différents éléments incluant une étude de stabilité pour le mur de soutènement et la vérification à l'aide du logiciel TALREN qui déterminera le cercle de glissement. Après cela nous détermineront le ferrailage de chaque élément qui nécessitera une modélisation sur le logiciel robot pour déterminer les moments de flexion et les efforts tranchants notamment pour les escaliers qui présente une complexité dans sa forme. Nous terminerons cette phase avec une méthodologie d'exécution et nous exposerons les problèmes rencontrés lors de la réalisation.

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I: GENERALITES

I.1 GENERALITES SUR LE MILIEU MARIN

I.1.1 INTRODUCTION

Le milieu marin est l'ensemble des mers et des domaines qu'elles occupent au moins temporairement, ces dernières sont soumises à de nombreux mouvements dont la violence rend le travail à partir de la surface très délicat.

L'espace littoral fait objet de plusieurs aménagements effectués par l'homme. Or, cet espace d'interface entre la mer et la terre est fragile, il est le siège d'un équilibre précaire entre plusieurs facteurs naturels ou humains. Ce qui met l'homme dans l'obligation de le protéger avec la mise en place de différents ouvrages de protection.

La mise en place de tels ouvrages de protection nécessite une connaissance approfondie des facteurs naturels et notamment des divers mouvements de la mer et les sédiments constituant les fonds ainsi que les pentes

I.1.2 GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE LA MER

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.1.2.1 LES MOUVEMENTS ONDULATOIRES

Un mouvement ondulatoire définit tout mouvement caractérisé par une période, une amplitude, une célérité et une longueur d'onde. Nous dénombrons trois types de mouvements, qui sont :

- La houle.
- Les seiches.
- La marée.

➤ La houle

La houle est l'ensemble des ondulations parallèles presque identiques qui se propagent d'une façon uniforme à la surface de la mer vers la côte, et elles sont dues au vent. Ces dernières sont caractérisées par une période de 3 à 25 secondes, et une amplitude pouvant atteindre une dizaine de mètres.

Trois facteurs sont responsables de la houle : la force du vent, la durée de son action et la distance (ou fetch) le long de laquelle le vent peut exercer son action sur l'eau.

a) Caractéristiques de la houle

Amplitude, hauteur ou creux H : la dénivellation (moyenne ou maximale) entre les crêtes et le creux.

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

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

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

Cambrure : le rapport $\frac{H}{L}$ entre l'amplitude et la longueur d'onde.

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

Fréquence $\frac{1}{T}$: le nombre de trains de houle passant en un point fixe en une seconde (en Hertz).

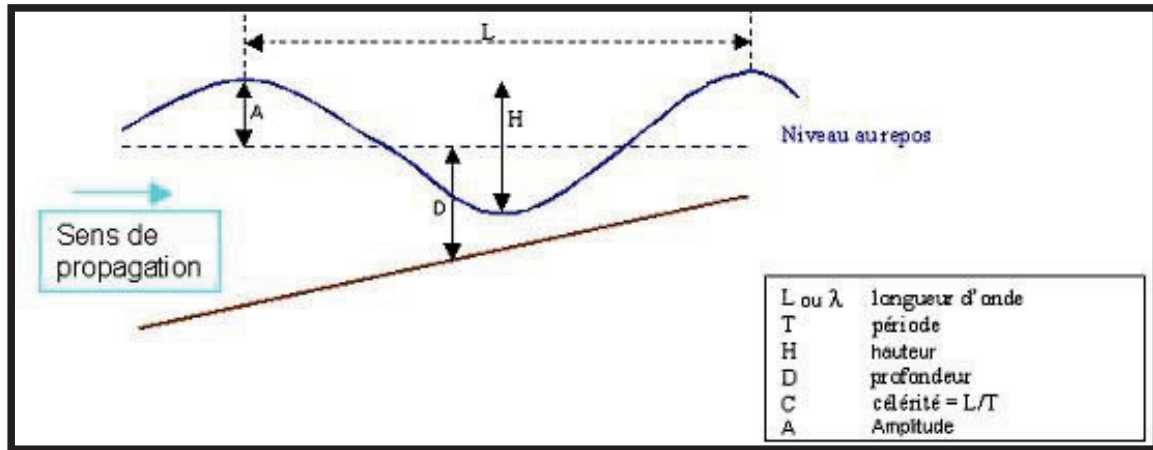
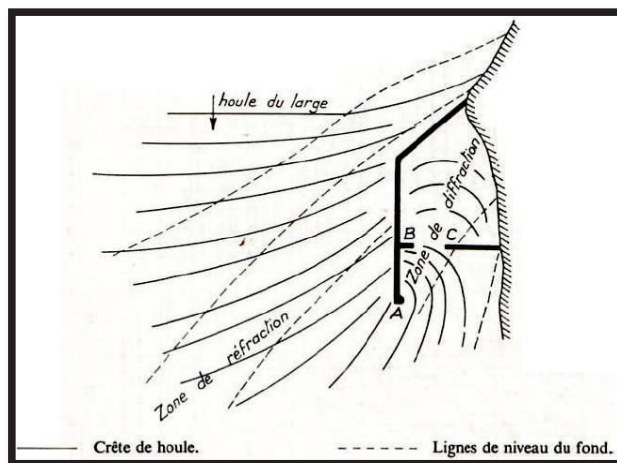


Figure I—1 Caractéristiques de la houle

b) Phénomènes intervenants dans la propagation de la houle

- **La réflexion** : Lorsque la houle aborde sans déferler un mur vertical ou incliné, la vitesse de chaque particule d'eau se réfléchit sur la paroi imperméable. Une onde réfléchie, identique à l'onde incidente, mais de direction opposée, prend naissance, ce qui engendre l'apparition du « clapotis ». La réflexion est totale sur une paroi verticale imperméable, et partielle dans le cas d'une digue à talus ou d'une protection en enrochement.
- **La réfraction** : Lorsque la houle arrive près des côtes, les crêtes des vagues (lignes de phase) ont tendance à s'aligner avec les lignes d'iso-profondeur (isobathes). Ce phénomène de réfraction se généralise à toutes les ondes qui se propagent dans un milieu inhomogène lentement variable. Les rayons, qui sont perpendiculaires aux lignes de phase pour les ondes de surface, convergent les uns vers les autres à l'approche des caps et divergent dans les baies. Comme l'énergie est conservée entre deux rayons, on comprend pourquoi les vagues sont plus fortes près des caps.



- **La diffraction** : Le passage de la houle à travers une passe ou à proximité d'une digue unique entraîne la rotation des crêtes et une réduction de l'amplitude par diffraction. D'une façon générale, l'amplitude des vagues décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne des musoirs et des digues, dans l'ombre géométrique de la houle incidente. La longueur d'onde et la période ne sont pas modifiées par diffraction.

- Le déferlement des lames : On appelle déferlement des lames leur dissociation et l'apparition presque instantanée d'un bouillonnement sur leur face intérieure, lorsqu'elles ne trouvent plus de profondeurs suffisantes au cours de leur progression vers la rive. On dit alors que la houle déferle ou se brise. Nous distinguons trois types de déferlements, glissant, plongeant et gonflant. [3]

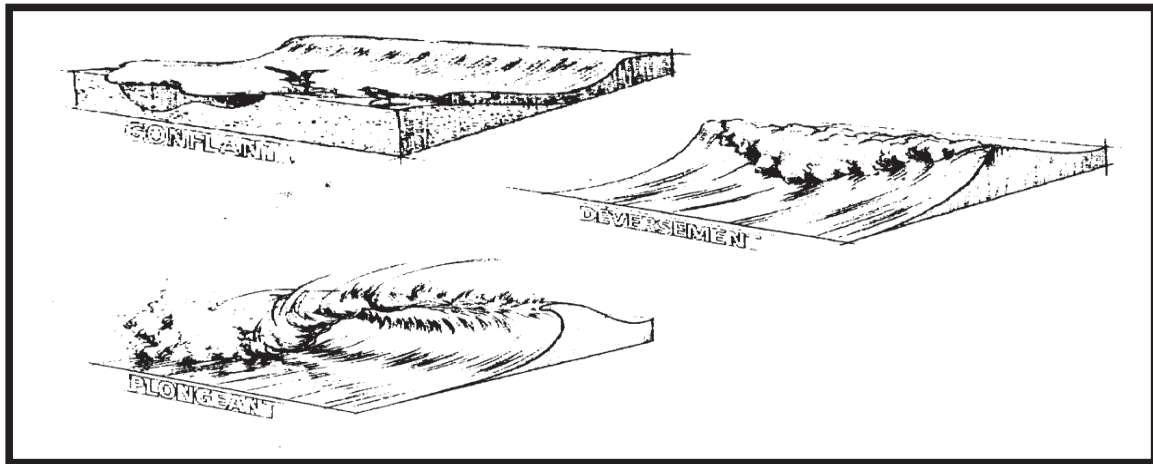


Figure I—2 les trois types de déferlement des lames

c) Efforts de la houle sur les obstacles

L'action d'une houle non déferlante sur des obstacles isolés a fait l'objet de deux théories, on ne connaît pas encore de théorie pour les houles déferlantes.

L'action de houle sur un obstacle vertical comporte deux termes :

- L'un (force d'inertie) est proportionnel à l'accélération exercée sur la masse d'eau déviée de sa trajectoire par obstacle.
- L'autre (force dynamique) est proportionnel au carré de la vitesse des particules fluides.

En général, la force d'inertie est prépondérante et si l'obstacle a des dimensions horizontales faibles par rapport à la longueur d'onde de la houle, sa valeur maximale est de la forme :

$$F_M = \rho g d^2 H f\left(\frac{D}{L}\right)$$

F_M : effort horizontal maximal causé par la houle à l'obstacle.

ρ : masse volumique de l'eau.

g : accélération de la pesanteur.

d : diamètre ou largeur de l'obstacle normalement à la provenance de la houle.

H : amplitude de la houle au droit de l'obstacle.

L : longueur d'onde de la houle au droit de l'obstacle.

D : profondeur sous le niveau de repos au droit de l'obstacle.

$f\left(\frac{D}{L}\right)$ est une fonction du rapport $\left(\frac{D}{L}\right)$.

➤ **La marée**

La marée est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la lune, du soleil et des astres dont les mouvements peuvent être calculés avec précision sur des périodes de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années. L'un des principaux buts de l'étude des marées est la recherche des relations existant entre le mouvement des astres et la réponse des océans à l'action de ces forces gravitationnelles afin d'établir des formules de prédiction. A ces mouvements d'allures régulières se superposent des variations de hauteur d'eau d'origine météorologique, appelées surcotes-décotes, dont l'étude relève essentiellement de méthodes statistiques. On trouve deux types de marée, marée haute et marée basse (figure I-3).

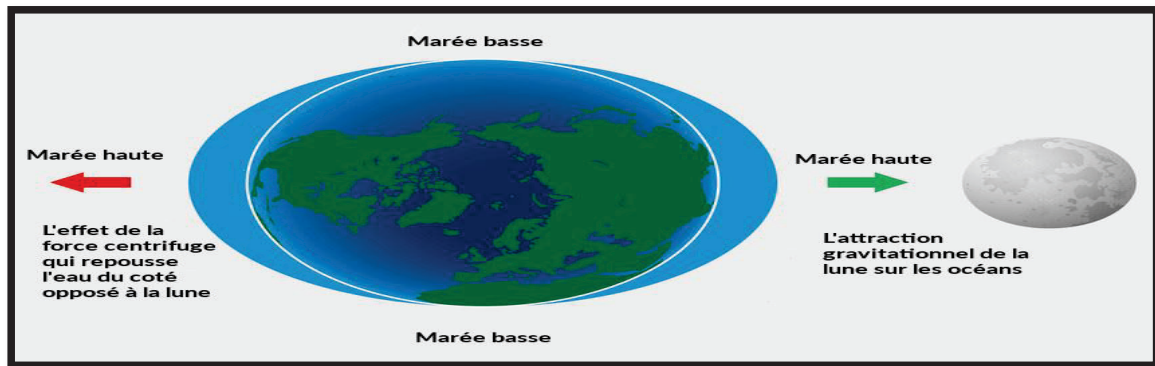


Figure I—3 la marée

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée ; elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et est le plus souvent masquée par la surélévation ou l'abaissement du niveau de l'eau engendré par des variations de conditions climatologiques.

En moyenne, nous pouvons dire que la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm.

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

De forts vents marins locaux peuvent aussi par action directe sur la surface de la mer entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau.

➤ **Les seiches**

La seiche est l'oscillation d'onde stationnaire rencontrée dans des étendues d'eau closes, ou presque closes, superposée sur les ondes de marée de l'océan, avec une période variant de quelques secondes à 1 heure ou plus, mais quelque peu inférieure aux périodes de la marée.

I.1.2.2 LES COURANTS

Un courant marin est un mouvement d'eau de mer régulier, continu et cyclique. Ce type de mouvement est dû aux effets combinés du vent, de la force de Coriolis, de différences de température, de densité et de salinité ; ainsi qu'évidemment aux contours des continents mais aussi aux reliefs de profondeur et à l'interaction entre courants. Du point de vue quantitatif, un

courant marin est caractérisé par sa vitesse et son débit, mais également par sa température et bien entendu, son sens de direction.

Les types de courants

➤ Le régime général

Le courant Atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe, d'Ouest en Est, les côtes d'Afrique du nord ; sa vitesse est de l'ordre de 1,5 à 2 nœuds. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques et son action se fait sentir jusqu'à une profondeur de 200 m. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), son action va diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée.

Ce courant de surface est compensé en profondeur par un contrecourant qui longe les côtes espagnoles. La vitesse de ces courants peut augmenter par régime de vent d'Ouest pour atteindre 2,5 à 3 nœuds.

➤ Les courants de marée

Sur les côtes algériennes les courants de marée, du fait du faible marnage des marées, sont négligeables voire même inexistantes.

➤ Les courants de houle

Quand la houle déferle avec une certaine obliquité par rapport au rivage, elle donne naissance à un courant parallèle au rivage dont le sens est celui de la composante suivant le rivage de la célérité des vagues. Ce courant est localisé dans la zone comprise entre le déferlement et la côte. A titre d'exemple pour un littoral de pente 3%, une houle se présentant au déferlement avec une incidence de 10° engendre pour :

$H_b = 3$ m un courant de 1,15m/s

$H_b = 5$ m un courant de 1,5m/s

Des échanges importants peuvent se faire entre la côte et le large par des courants orientés vers les larges appelés courants de retour ; ces courants traversent la zone de déferlement. Les écoulements sont concentrés dans des zones étroites, sensiblement perpendiculaires à la côte et séparés de façon régulière.

• Les courants côtiers

Les courants agissent pendant l'hiver et ont une direction Ouest - Est par houle NW, le reste de l'année les courants ont une direction Est - Ouest. Ces courants locaux peuvent favoriser le transport près de la côte, induit par le déferlement des houles et des courants de houles le long de la côte (transport littoral et transport perpendiculairement au rivage).

I.1.3 PROPRIETES PHYSIQUES DE L'EAU DE MER

Les caractéristiques étudiées sont reliées à la composition chimique de l'eau de mer.

I.1.3.1 TEMPERATURE

La connaissance de la température est utile pour la pêche et pour les études relatives à l'énergie thermique des mers. Elle conditionne, pour une certaine part, l'action de la mer sur les mortiers, les bétons et les aciers ; l'action destructrice et corrosive augmentant avec la température.

Les variations annuelles sont de l'ordre de 2° au pôle et à l'équateur, de 5 à 10° dans les régions tempérées, et de 15 à 20° dans les mers intérieures. Sur les côtes algériennes, la température est de 12° en hiver et de 22° en été.

Pour ce qui est de la température en profondeur, elle est plus faible qu'en surface, et corrélativement la densité est plus grande. La variation de température en profondeur est également plus faible qu'en surface, elle est pratiquement nulle au-delà de 300m de profondeur.

I.1.3.2 DENSITE

La connaissance de la densité est particulièrement utile pour l'étude des transports solides dans les fleuves à marée (coin salé). Elle est également importante pour le tirant d'eau des navires.

Toutefois, la densité étant essentiellement liée à la salinité de l'eau de mer, on tend de plus en plus à utiliser la mesure de la salinité pour connaître la densité.

I.1.4 PROPRIETES CHIMIQUES DE L'EAU DE MER

L'eau de mer est très agressive aussi bien pour les mortiers et bétons que pour les aciers. La connaissance de son action chimique est nécessaire pour le choix des matériaux constituant les ouvrages et les navires ainsi que pour leur protection contre la corrosion.

La composition chimique de l'eau de mer est la suivante, pour un échantillon de 1 000g contenant 35 g de sels minéraux dissouts (d'après Dittmar) :

Tableau I-1 Composition chimique de l'eau de mer

Eléments	CINa	MgCl ₂	So ₄ Mg	So ₄ Ca	So ₄ K ₂	CO ₃ Ca	MgBr ₂
g	27,21	3,81	1,66	1,26	0,86	0,12	0,07
%	77.70	10,88	4,70	3,60	2,46	0,34	0,22

- La salinité est le poids total des sels minéraux dissouts dans 1 000g d'eau de mer, à une valeur moyenne de 35g et varie d'une mer à une autre (43g en Mer Rouge, 38g en Méditerranée, 32g dans l'Atlantique Nord et 10g en Mer Baltique), mais la proportion des différents sels reste sensiblement la même.
- Le PH alcalin de l'eau de mer est compris entre 7,7 et 8,4 ; dans les estuaires, le mélange avec des eaux acides peut abaisser le PH et favoriser la dissolution de certains sels.

I.1.5 ACTION CHIMIQUE DE L'EAU DE MER SUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Action sur le ciment

L'attaque du ciment par l'eau de mer est due à la réaction chimique des sulfates de chaux et de magnésie sur les composants du ciment, cette dernière se manifeste par un ramollissement des mortiers et bétons avec perte de résistance, puis par leur gonflement avec éclatement, décomposition des mortiers et bétons, mise à nu des armatures du béton armé qui sont alors rapidement oxydées.

Cette attaque s'effectue en trois phases :

- Hydratation de la chaux libre avec accroissement du volume (gonflement des bétons).
- Combinaison du sulfate de magnésie avec la chaux hydratée (ramollissement).
- Formation du sel de CANDLOT avec gonflement important [Al₂O₃, 3 CaO, 3 SO₄Ca, 30 H₂O].

On peut conclure que les meilleurs ciments pour travaux à la mer sont ceux qui contiennent le moins d'alumine et de chaux libre.

Action sur l'acier

La corrosion de l'acier sous l'action de l'eau de mer est due aux effets galvaniques, l'eau salée ou même les embruns constituant l'électrolyte.

Pour y remédier, on fait appel aux techniques suivantes :

- Peinture à base de bitume.
- Métallisation par zingage : consiste à recouvrir l'acier ou le fer à protéger par une pellicule de zinc fondu.
- Cimentage : consiste à recouvrir l'acier d'un mortier de ciment.
- Protection cathodique : La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier immergées ou enterrées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par l'eau de mer (ou le sol), c'est-à-dire la corrosion.

La protection cathodique peut être utilisée selon deux méthodes qui sont, la protection Cathodique à *courant imposé* ou la protection cathodique par *anodes sacrificielles*.

Action sur le bois

L'attaque biologique, due à la formation de champignons ou par des animaux marins, est particulièrement importante pour les bois soumis au marnage ou batillage, contrairement à ceux qui sont constamment immergés.

- Immersion prolongée dans l'eau saumâtre.
- Carbonisation superficielle par flambage.
- Doublage en cuivre.
- Injection de résines.

Action sur le plastique

Utilisé surtout dans la construction navale, certains résistent mal au soleil (pvc).

Action sur les hydrocarbures.

L'eau de mer n'a pas d'action particulière sur les asphaltes, goudrons et bitumes. Il faut évidemment prendre les précautions habituelles contre le désenrobage des agrégats utilisés dans les bétons mastic bitumineux.

Les ouvrages de protection sont plus fréquemment installés près des côtes, là où le transit littoral est le plus important. De façon à prévoir l'impact du nouvel ouvrage, il est primordial d'avoir une idée précise de la sédimentologie actuelle.

I.1.6 LES SEDIMENTS MARINS

Les marées et les vagues génèrent des courants marins dont l'énergie permet le débet du détachement des sédiments et leur transport au-dessus du fond du lit. Le transport des sédiments s'effectue différemment selon la nature du sédiment et la taille du grain, à des niveaux variables de profondeur et de proximité du fond. Ce phénomène dépend essentiellement de deux paramètres : la vitesse de cisaillement et la taille du grain des sédiments.



Figure I—4 Les sédiments

En un point donné, le régime sédimentologique du littoral est tributaire de celui d'un domaine plus vaste, dit « province sédimentologique » ; cette dernière peut être définie comme étant une zone (domaines côtier et marin) où les phénomènes de sédimentologies sont indépendants de ceux des unités adjacentes.

Les fonds marins constituent bien souvent, le prolongement naturel des structures terrestres et il y a donc des relations fréquentes entre la géomorphologie du littoral et celle du fond marin. La diversité morphologique et géologique du littoral conduit à une grande variété de sédiments :

- fonds rocheux ; l'action des houles et des courants est alors sans effets réels,
- blocs de grosses tailles (éboulis de falaises), galets, graviers ; ce type de matériaux n'est déplacé qu'en bordure du littoral (zone de déferlement) où dans les cours d'eau et leur débouché en mer en période de débits soutenus,
- sables plus ou moins grossiers que l'on peut trouver jusqu'à des fonds de -25 m en Méditerranée (et de -40 m en Atlantique),
- vases dans lesquelles on englobe les limons, boues, argiles que l'on trouve essentiellement :
 - ✓ dans les baies ou zones abritées des houles et des courants,
 - ✓ dans les fonds marins au large des zones sableuses,
 - ✓ dans les estuaires.

Dans les zones constituées de sédiments meubles, la répartition granulométrique est liée aux variations dans le profil de l'action de la houle. Les vagues exercent des actions qui varient le long du profil et les sédiments «se trient » pour s'adapter à ces conditions. Sur l'estran, la houle induit une dérive littorale et, dans les fonds inférieurs à une quinzaine de mètres, un mouvement saisonnier dans le profil par suspension graduée.

D'une manière générale, les triages granulométriques dans le profil se font de telle sorte que :

- les matériaux les plus grossiers se trouvent au niveau de la ligne de déferlement,
- de cette ligne vers la terre, il y d'abord diminution de la granulométrie puis augmentation jusqu'au haut de plage,
- au large du déferlement, le sédiment s'affine avec l'augmentation de profondeur. Au-delà de 15 m l'énergie de la houle est généralement trop faible pour induire un transport du sable et la faible turbulence permet la décantation des vases en suspension.

Le triage parallèlement au rivage est lié au déplacement des sédiments le long de ce dernier. Lors de ces transports, il s'effectue une sélection des matériaux en fonction de leur taille, de leur forme et de leur densité.

C'est ainsi, que classiquement :

- les sédiments sont plus grossiers au centre des baies, là où l'énergie est plus forte, qu'aux extrémités généralement abritées,
- dans une zone littorale en érosion du fait d'une sous-alimentation en sédiments, ceux y restant sont plus gros, car moins mobiles, que ceux que l'on trouve plus loin.

I.1.6.1 CLASSEMENT DES SEDIMENTS

Les sédiments sont classés selon leur taille, c'est-à-dire leur diamètre apparent (diamètre minimal de la sphère entourant le sédiment) par exemple, selon l'échelle de Wentworth. On peut distinguer 3 grands types de sédiments :

- Les galets et les gravillons qui proviennent de l'embouchure des fleuves torrentiels ou de l'érosion des falaises.
- Le sable dont la taille du grain varie de quelques dizaines de micromètres à 2 millimètres, produit ultime de l'érosion des roches cristallines par les fleuves et les glaciers disparus.
- Les limons et les vases dont la taille du grain est inférieure 60 micromètres.

D'autre part, il faut distinguer 2 configurations de sédiments :

- Les Sédiments Cohésifs

La cohésion des sédiments a un effet significatif sur l'érosion des sédiments et résulte de la présence d'argile (même en faible proportion : 5 à 10 % du total des sédiments déposés). Les particules ont tendance à former des congglomérats dans lesquels les flocons sont liés entre eux par de fortes forces électrostatiques

- Les Sédiments Non Cohésifs

Les sédiments non cohésifs contiennent des sédiments de grosse taille, non soumis à des forces d'interaction, leur permettant de bouger indépendamment les uns des autres. Ils incluent les sables et les limons.

I.1.6.2 TRANSPORT DES SEDIMENTS

Un transport de sédiment de 50 000 m³/an en un point donné peut être la résultante de deux transports importants et de sens contraires, de 2 000 000 m³/an et de 250 000 m³ / an, et l'implantation d'un ouvrage interrompt non pas le transport résiduel mais bien l'ensemble des deux transports. Ces matériaux se déposeront de part et d'autre de l'ouvrage et des côtes avoisinantes reculeront par manque d'apport.

A l'inverse, si l'on veut implanter une digue dans une zone érosive, il y aura lieu de prévoir des dispositions constructives permettant de stabiliser le pied.

I.2 GENERALITES SUR LES OUVRAGES MARITIMES :

I.2.1 INTRODUCTION

L'homme a, de tout temps, utilisé les mers comme voie de communication et il a été obligé de créer des abris pour assurer la liaison terre-mer. Il a également dû défendre son territoire contre les assauts de la mer et les effets destructifs de la houle ; Pour ce faire, l'homme a construit des dispositifs capables de dissiper l'énergie des vagues. Parmi ces dispositifs on trouve par exemple les digues de protection, qui présentent des avantages importants et relativement simples à construire.

I.2.2 LES TYPES DE DIGUES DE PROTECTION

Une digue est un ouvrage linéaire, en surélévation par rapport au terrain naturel, faisant partie d'un système de protection contre les intrusions de l'eau de la mer. Il existe plusieurs types de digues, et le choix d'une digue ou d'une autre dépend des conditions hydrauliques, conditions géotechnique, conditions de construction, hauteur de la houle...etc. En général les digues sont classées, suivant leur géométrie comme :

- Digues à talus
- Digues verticales
- Digues mixtes
- Digues de types spéciaux

I.2.2.1 DIGUES A TALUS

Les digues à talus sont des ouvrages constitués de matériaux rocheux, habituellement protégés par une carapace de blocs d'enrochement naturel ou de blocs artificiels de plus grandes dimensions. Les digues servent généralement à mettre à la disposition des navires des eaux calmes pour l'amarrage ou le mouillage, à l'abri de la houle ou des courants.

Plusieurs variantes envisageables, qui dépendent principalement de la fonction de la digue, de l'accès, de l'utilisation faite de la face arrière, des exigences en matière de hauteur de crête ainsi que des considérations économiques ou des exigences de maintenance.

Les éléments constitutifs de la digue à talus :

- Le soubassement : le soubassement des ouvrages à talus, entre le terrain naturel et le niveau de fondation de l'ouvrage, est très généralement constitué par des matériaux de qualité suffisante, mais de faible poids unitaire. Il peut s'agir de matériaux extraits sur le site par dragage (graviers, galets) ou de matériaux de carrière de faible granulométrie.
- Le noyau : le noyau doit assurer une transition satisfaisante entre le soubassement en matériaux fins, ou le terrain naturel, et les matériaux plus grossiers du filtre. En général on utilise bon marché provenant des carrières proches, matériaux tout-venants, pour les ouvrages un peu conséquents on cherche à se rapprocher d'un matériau calibré.
- Le filtre : le filtre, que l'on désigne aussi comme « sous-couche de la carapace » assure la transition entre le noyau et la carapace. D'une part il empêche l'entraînement, par l'eau, des matériaux fins du noyau, d'autre part, la qualité du frottement entre la carapace et sa sous-couche améliore la stabilité de cette carapace. Il s'en suit qu'il n'est pas souhaitable d'avoir des matériaux de poids unitaire inférieur à $W/10$, et qu'il est préférable d'avoir par exemple $W/2$ et ensuite $W/10$ en partant de la carapace vers le noyau.

- La carapace : c'est la partie de l'ouvrage qui reçoit directement l'attaque de la houle et que l'on caractérise par le poids unitaire W des blocs naturels ou artificiels qui la composent. La stabilité de la carapace dépend du poids unitaire des blocs, de la qualité du frottement avec la sous-couche (le filtre), de la qualité de la butée de pied.
- Butée de pied : il s'agit d'une partie importante de l'ouvrage qui assure un double rôle, d'une part un blocage en pied des blocs de carapace pour éviter leur glissement, d'autre part, une protection contre les affouillements de pied.
Les matériaux utilisés se situent en général entre deux catégories extrêmes représentés par celle de la carapace et du filtre. Pour les petits ouvrages on choisira de préférence des matériaux identiques ou tout au moins assez proche de ceux de la carapace ; par contre pour les ouvrages plus importants les matériaux de la butée de pied pourront être identiques à ceux du filtre. Dans le premier cas il faut malgré tout prévoir une couche filtre sous la carapace pour éviter son enfouissement progressif dans le sable.
- Risbermes : la risberme est constituée par des couches de matériaux disposés devant l'ouvrage, sur une certaine longueur, pour diminuer la hauteur d'eau devant cet ouvrage et provoquer ainsi le déferlement des houles les plus importantes en avant de la carapace. En quelque sorte, filtre les houles pouvant atteindre la carapace, ce qui est définitive permet de diminuer le poids unitaire des blocs qui la constituent.
- Superstructures : leurs présence n'est pas indispensable, mais en fonction de l'environnement, elles peuvent être utile pour assurer un des rôles suivant :
 - Protéger la partie supérieure de l'ouvrage
 - Assurer la butée supérieure des blocs de carapace
 - Limiter les franchissements par la houle
 - Permettre la circulation, notamment celle des piétons

I.2.2.2 DIGUES VERTICALES

Une digue verticale est essentiellement composée d'un mur vertical monolithique ou constitué d'éléments assemblés entre eux destinés à renvoyer l'énergie de la houle par la réflexion totale. Elle est assise sur un massif de fondation généralement constitué d'encrochements de petite taille (ballast concassé par exemple), protégé contre l'action de la houle par des éléments de taille beaucoup plus importante.

La figure (I-5) indique les principales dimensions à donner à l'ouvrage en fonction de la houle de projet H dans le cas où la digue n'est soumise qu'à l'action d'une houle non déferlante.

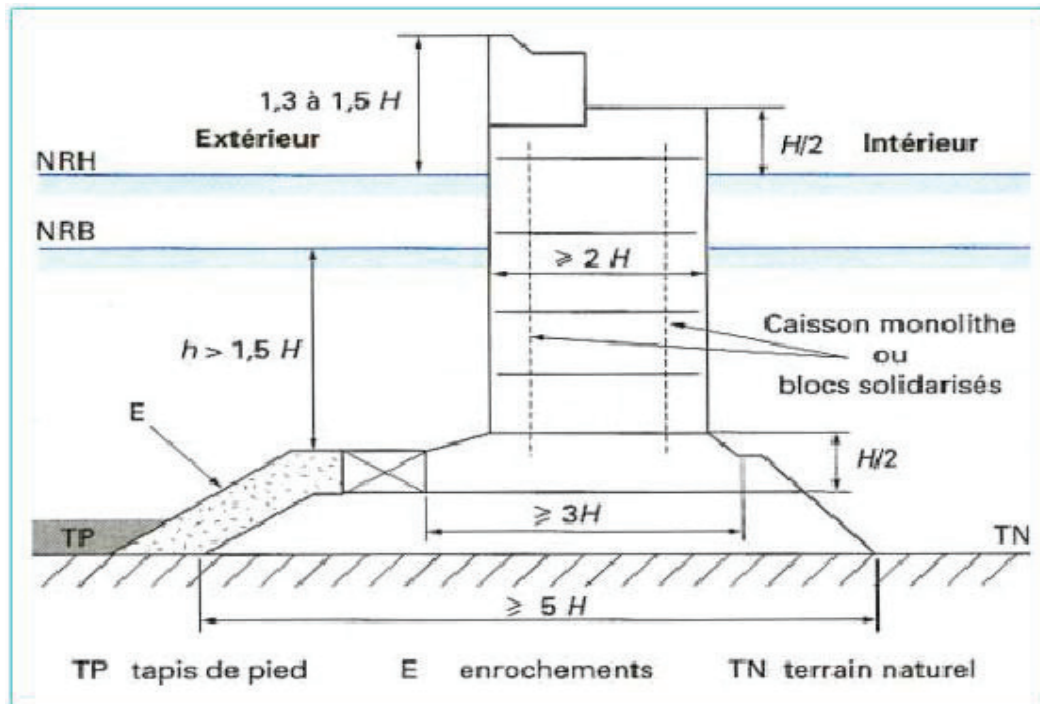


Figure I—5 Principales dimensions d'une digue verticale

Les digues verticales présentent l'inconvénient majeur d'être presque totalement réfléchissantes et donc de renvoyer la quasi-totalité de l'énergie de la houle incidente. De nombreuses techniques sont mises en place afin de réduire cet aspect réfléchissant de la digue, en l'occurrence :

- Système à bassin de déversement : Ce procédé mis au point par la SOGREAH pour la construction de la digue de Fontvieille à Monaco (figure I-6).

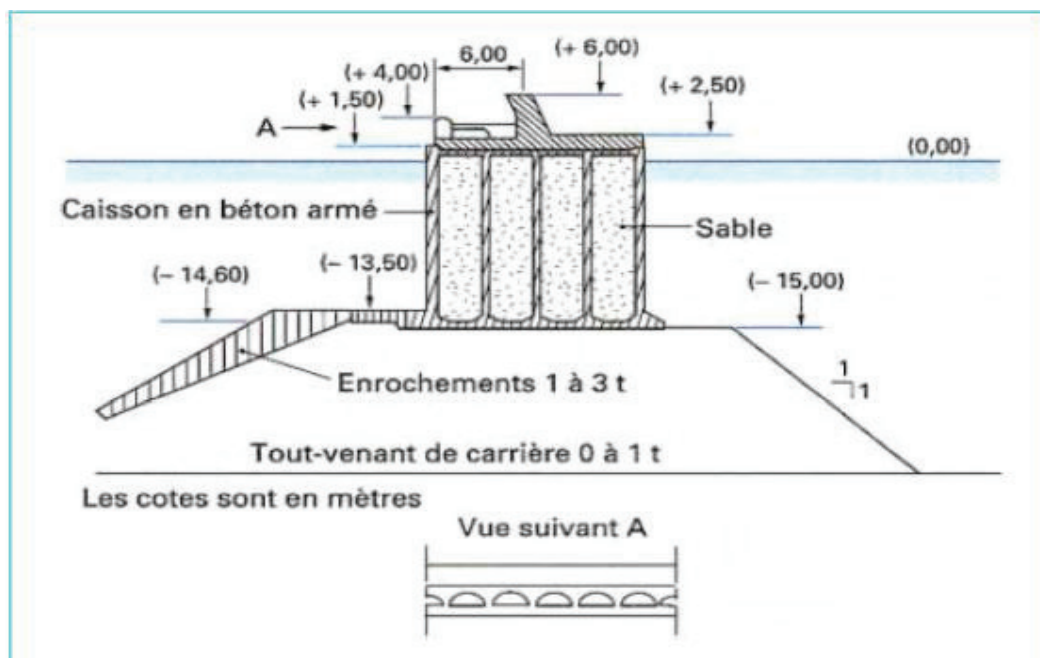


Figure I—6 Digue verticale à bassin de déversement

- Digue à parois perforées : Ces digues, mises au point par G.E. Jarlan, sont composées de caissons en béton armé comportant en face avant une paroi perméable percée de trous circulaires (habituellement de 90 cm de diamètre) et une chambre d'expansion.

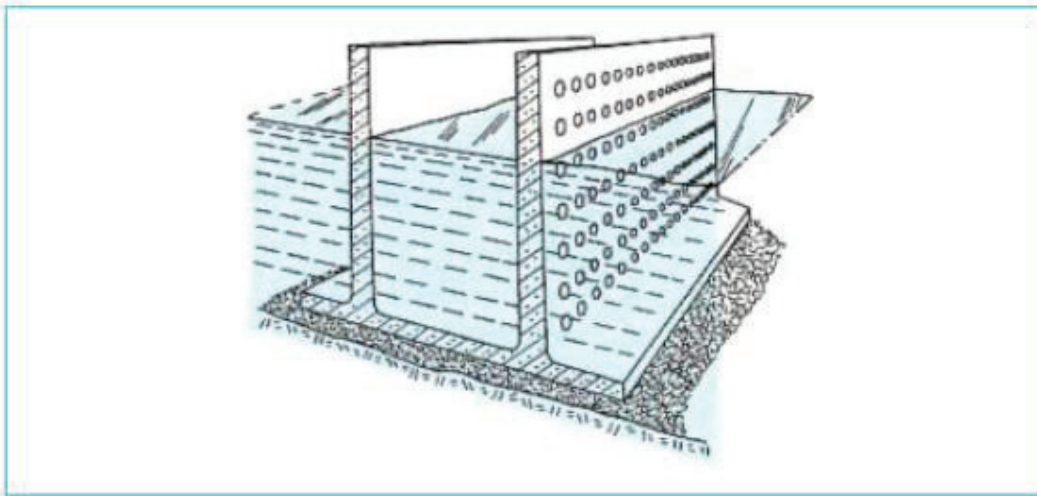


Figure I—7 Digue verticale a parois perforées

I.2.2.3 DIGUES MIXTES :

C'est une combinaison entre les deux types de digues cités ci-dessus. En général, à marée basse elle se comporte comme une digue à talus et à marée haute comme une digue verticale.

Lorsque la hauteur d'eau ($h > 1.5H$) disponible au-dessus de la berme est suffisante, on peut considérer que la digue fonctionne exactement comme une digue verticale et on peut donc la calculer comme telle. On distingue deux configurations de digues mixtes, digue mixte verticale et digues mixtes horizontale.

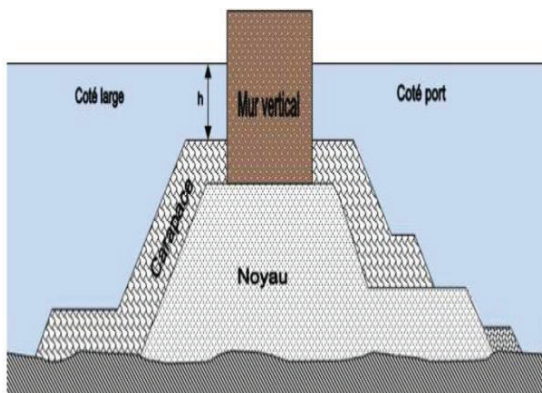


Figure I—9 Digue mixte verticale

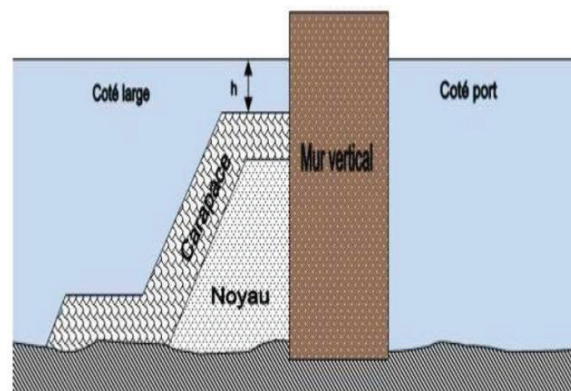


Figure I—8 Digue mixte horizontale

I.2.2.4 DIGUES DE TYPES SPECIAUX

- Digue vertical perméables
- Plaques minces horizontales

CHAPITRE II: PRESENTATION DU PROJET

II.1 INTRODUCTION

Lors de l'élaboration du dédoublement de la RN09 reliant la ville BEJAIA à celle SETIF, une protection contre les effets de la mer, au niveau de la commune d'Aokas, a été nécessaire à cause de l'emplacement de la route sur le littoral. Pour cela, dans une première phase, un ouvrage de protection frontal (digue en BCR) a été réalisé et arasé à une hauteur de +4.00m. La deuxième phase de la protection à savoir, jusqu'aux côtes prévues, devrait être exécutée pendant la réalisation de la voie du dédoublement de la route.

Cet élargissement de la route nationale n° 9 au niveau d'Aokas en deux (02) voies express a aussi nécessité le creusement d'un autre tunnel et la réalisation d'une deuxième chaussée du côté mer pour le dédoublement de l'ancienne route

II.2 HISTORIQUE SUR LA VILLE DE BEJAIA

Bejaia, bougie de son ancien nom français, est l'une des grandes villes de Kabylie. Ville et chef-lieu de la wilaya du même nom, elle dispose d'un des plus grands ports pétroliers et commerciaux de Méditerranée.

La wilaya de Bejaia est située au nord-est de l'Algérie dans la région de la Kabylie à 239 Km de la capitale (Alger). La superficie de la wilaya est de 3 621 Km pour une population totale de 915 836 habitants en 2008. Bejaia est peuplée de berbères kabyles, souvent trilingue parlant kabyle, arabe et français. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, au sud par les wilayas de Bouira et Bordj Bou-Argeridj, à l'ouest par la wilaya de Tizi-Ouzou et l'est par les wilayas de Sétif et Jijel. La zone côtière longue de plus de 120 Km, alternant criques rocheuses et plages de sable fin d'est vers l'ouest. La cote s'étend de l'embouchure d'Oued Soummam à celui d'Agrion. Cette bande côtière, retardée au niveau des villages de Tichy et Aokas, étroite et principalement composée de terre sablonneuse du fait de la pression maritime proche.



Figure II—1 Situation géographique de la wilaya de Bejaia

II.2.1 PORT DE BEJAIA

A l'époque Bejaïa joua un grand rôle dans la transmission du savoir dans le bassin méditerranéen. Grâce au dynamisme de son port, la sécurité de la région, la bonne politique et les avantages douaniers, bougie a su attirer beaucoup de puissants marchands.

II.2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le port de Bejaïa est situé à une altitude Nord 36 45'24 '' et une longitude Est 05 05'50''. Son positionnement au cœur de la méditerranée occidentale et au centre de la côte algérienne

présente une originalité économique et une place de choix sur les routes maritimes. Le port de Bejaia jouit d'une situation géographique privilégiée. Bien protégé naturellement, sa rade est l'une des plus sûres. Le port dispose aussi de dessertes routières reliant l'ensemble des villes du pays, de voies ferroviaires et d'un aéroport international. Ce dernier est délimité par :

Au nord par la route nationale N°9.

Au sud par les jetées de fermeture et du large sur une longueur de 2.750m.

A l'est par la jetée Est.

A l'ouest par la zone industrielle de Bejaïa.

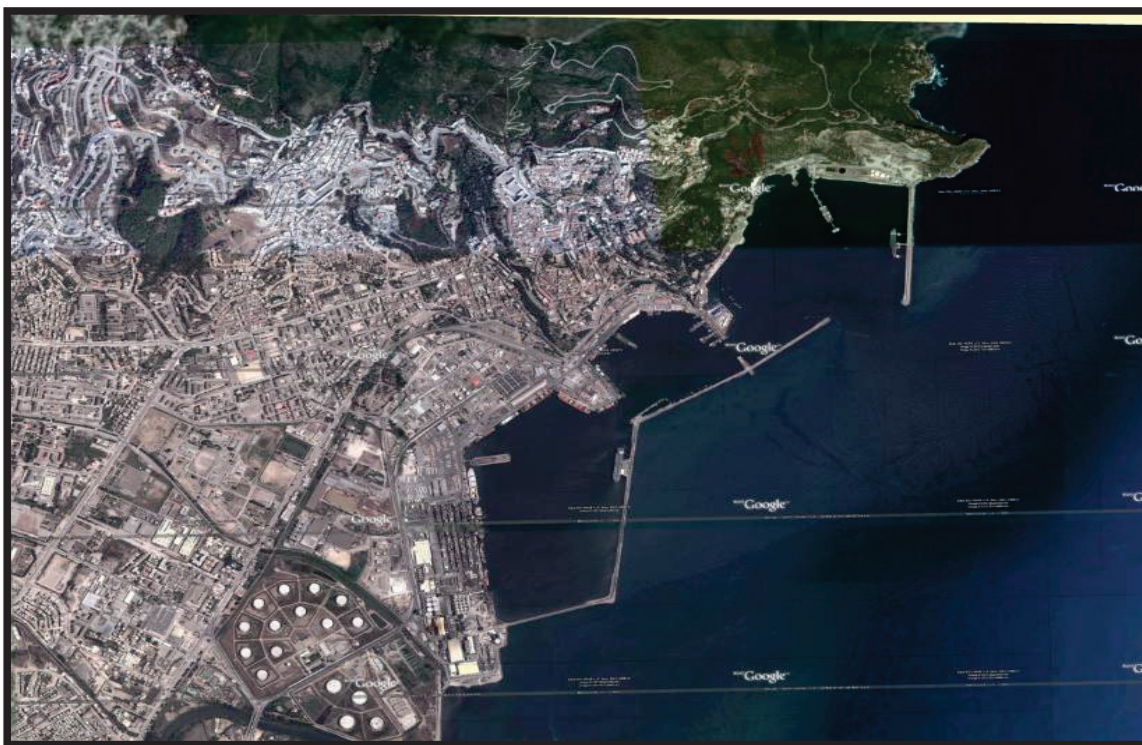


Figure II—2 Situation géographique du port de Bejaia

II.2.3 BASSINS DU PORT

Bassin de l'avant-port : sa superficie est de 75 hectares et ses profondeurs varient entre 10.5m et 13.5m. Disposant d'installations spécialisées, l'avant-port est destiné à traiter les navires pétroliers.

Bassin du vieux port : sa superficie est de 26 hectares et ses profondeurs de quai varient entre 6 et 8m. Il est destiné aux navires de pêche.

Bassin de l'arrière port : sa superficie est de 55 hectares et ses profondeurs varient entre 10.5m et 12m. Il est destiné aux navires de transport.

II.3 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.3.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La commune de Aokas est située sur la plaine côtière qui borde sur le golfe de Bejaia à une vingtaine de kilomètres de la ville de Bejaia. Desservie par la route nationale N°09. Elle est limitée à l'ouest par la commune de Tichy, à l'est par celle de Souk EL Tenine et au nord par la mer méditerranéenne.

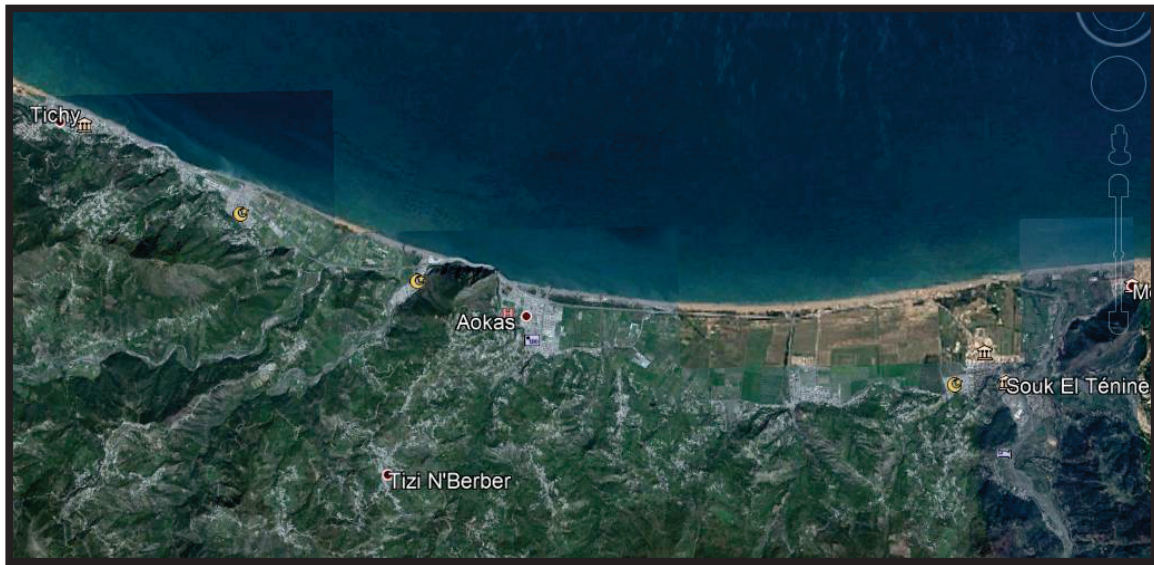


Figure II—3 Situation géographique de la ville d'Aokas

II.3.2 DESCRIPTION DU SITE

La zone qui fait l'objet de notre étude, est une zone littorale s'étalant sur une longueur d'environ 800m de côte face au nord. Cette zone se présente sous forme d'un cap à falaise rocheuse qui constitue le flanc Nord du massif de « Imma Tadarat ». Au pied de ce massif, la route nationale N°09 longe la côte et débouche sur la ville d'Aokas en traversant un tunnel à l'extrémité Est. En contre bas de la route une digue frontale en blocs de béton BCR (blocs cubiques rainurés) de 3 tonnes a été réalisée pour protéger cette dernière contre l'érosion marine.



Figure II—4 Situation géographique du site

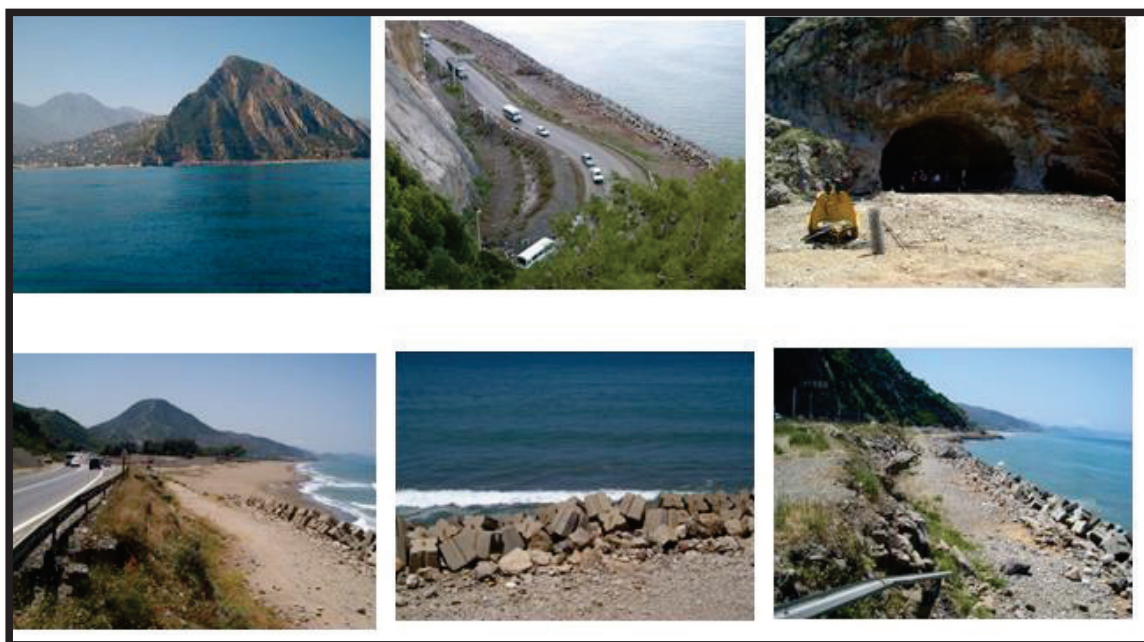


Figure II—5 Photos des différentes sections du site

II.4 DESCRIPTION DU PROJET

Le tracé du dédoublement de la RN09 se trouve inséré entre la falaise d'Aokas et la mer, ce qui a nécessité une protection maritime. La DTP de Bejaia a choisi d'aménager l'arrière de cette protection maritime. Ce choix s'articule sur le principe de la création d'un espace supplémentaire parallèle à la voie express 2x2 (dédoublement) tout le long l'ouvrage de la protection existant de type digue en blocs artificiels. Pour se faire, ce dernier devra être déplacé vers le large afin de permettre de gagner du terrain sur la mer. L'axe de déplacement aura une longueur de 25 m, ceci permettra ainsi de dégager une bande de 785 ml de long et 23 m environ de large.

L'emprise de terrain dégagée par cette solution a fait l'objet d'une proposition d'aménagement et une étude d'occupation du sol pour différents usages (VL, Piétons, Cycles, loisirs...) incluant deux zones de stationnement pour véhicules légers et une esplanade avec garde-corps réservée comme un lieu de promenade aux piétons.

Cette emprise pourrait aussi être utilisée selon le besoin, comme une zone de stationnement, zone d'évitement, zone d'immobilisation, zone de sécurité ou réservée à d'autres fins.

L'aménagement de cet esplanade a exigé la réalisation de :

- Murs de soutènement : Un mur de soutènement est prévu dans l'aménagement le long de la route afin de conforter le talus à droite de la route et protéger l'esplanade.
- Escaliers : Des escaliers reliant les trottoirs projetés de dédoublement à la promenade. sont également prévus. Ces escaliers sont en nombre de trois.
- Garde-corps : Le long de l'esplanade sera réalisé un garde-corps côté mer.
- Revêtement de l'esplanade.
- Revêtement des accès et aires de stationnements.
- Aménagement des espaces verts

CHAPITRE III: COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

III.1 LES CONDITIONS DU VENT DE LA ZONE DE BEJAIA

L'analyse du régime des vents est effectuée à partir de deux sources de données météorologiques qui sont :

- les données du Summary of Synoptic Meteorological Observations (S.S.M.O) de 1914 à 1970,
- les données de MEDATLAS de 1999 à 2004.

III.1.1 DONNÉES DU SUMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATIONS (1914-1970)

Les résultats des observations du vent, effectuées au large des côtes algériennes, sont rapportés sous forme de roses de vents pour chaque trimestre et pour toute l'année (figure III-1).

Ces roses montrent, que pendant l'hiver (Octobre à Mars), les vents des secteurs Ouest et Sud-Ouest sont dominants et qu'une grande partie de ces vents présente une vitesse supérieure à 16 nœuds (8m/s).

Les vents d'Est et Nord-Est dominent au cours de l'été et la majorité de ceux-ci à des vitesses inférieures à 16 nœuds.

Les vents des secteurs Nord-Est et Est se distinguent beaucoup plus par leur fréquence que par leur vitesse. Par contre, les vents du secteur Nord-Ouest et Nord-Nord-Ouest sont appréciables par leur force mais non par leur fréquence.

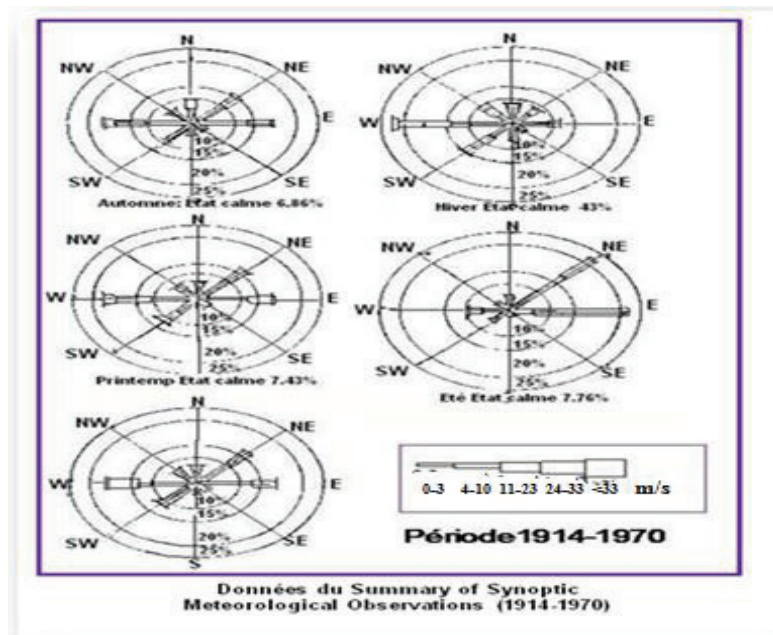


Figure III—1 Données du Summary of Synoptic Meteorological Observation (1914-1970)

III.1.2 DONNEES DE MEDATLAS (1999-2004)

La reconstitution du climat de vents a été établie à partir des données de MEDATLAS (1999-2004) en modèle numérique d'un point situé en Méditerranée à une profondeur dépassant 2500 m selon les coordonnées géographiques (3°00' E, 37°00' N).

Les résultats de cette étude mettent en évidence une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, avec des vitesses maximales qui atteignent 20 m/s pour les directions comprises entre 240° et 270°N.

Aussi pour les directions comprises entre 45° et 90°N on observe des vitesses de vent qui atteignent 16 m/s.

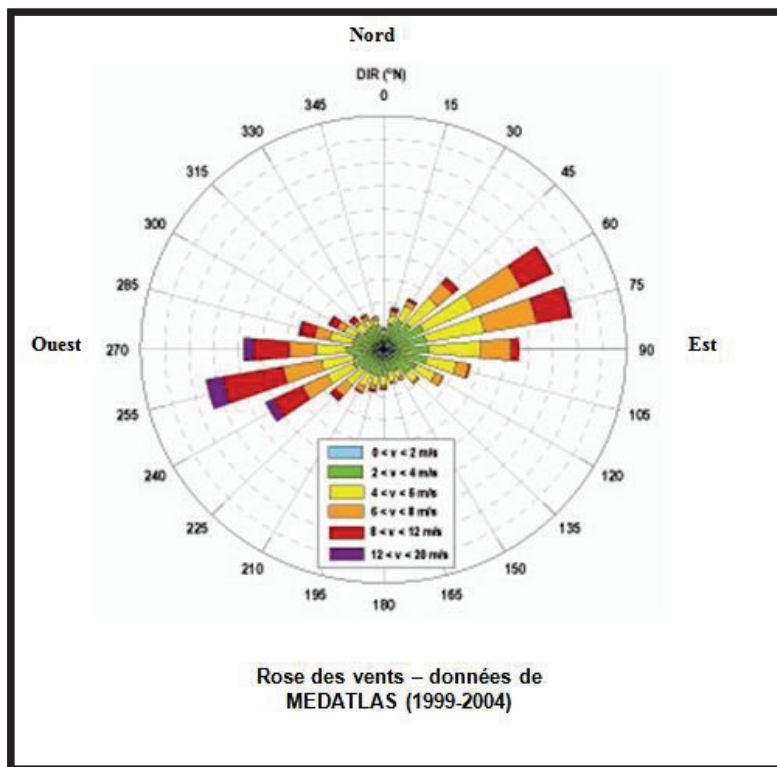


Figure III—2 Rose des vents _ données de MEDATLAS (1999-2004)

III.1.3 LA HOULE

La houle est l'ensemble des ondulations parallèles presque identiques qui se propagent d'une façon uniforme à la surface de la mer vers la côte, et elles sont dues au vent.

III.1.3.1 LA HOULE AU LARGE

L'analyse des observations de la houle au large (1963 à 1970) permet de définir les secteurs de houles prédominants et leurs amplitudes respectives. Ses observations sont classées (SSMO) mensuellement et annuellement. Le nombre d'observations de la houle par mois est montré sur le tableau suivant :

Tableau III—1 Nombre d'observation de la houle

Mois	Jan	Fév	Ma	Avr	Ma	Jun	Jui	Au	Sep	Oct	No	De	Total
par secteur de vent	684	629	727	691	665	601	601	675	626	657	643	616	7815
Toutes directions par secteur de vent	726	673	769	741	743	661	681	731	699	716	683	647	8470
Avec période	802	757	834	817	822	750	750	791	786	782	746	703	9340

Nous constatons que le nombre d'observations par mois est régulier le long de l'année pour chacun des 3 cas. Nous remarquons aussi que le nombre total d'observation pour le dernier cas (observation avec période de houle) est plus élevé, ceci est dû aux observations de l'état de mer sans prendre en compte l'état du vent.

- **Direction de la houle au large :**

Les fréquences d'observation de la houle au large sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau III-1 Fréquences d'observation de la houle au large

Direction	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est	Est
Annuel %	31.2	16.3	9.1	10.9	16.8

Les résultats du tableau au-dessus montrent que les houles de direction Ouest, Nord-Est et Est sont les plus observées. Nous remarquons une prédominance des fréquences d'observation des houles de direction Ouest.

- **Amplitude – direction de la houle au large :**

Une étude de la relation amplitude-direction a été faite. Les résultats sont montrés sur le tableau au-dessous :

Tableau III-2 Fréquences par direction des différents états de la mer

Etat de la Mer au large (Degré)	PERIODE DE LA HOULE				
	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord Est	Est
Calme	2.60%	1.90%	2.30%	2.70%	3.20%
0	8.00%	4.20%	4.30%	7.00%	6.60%
1	14.20%	6.70%	3.70%	7.50%	6.10%
2	4.40%	2.30%	0.40%	1.20%	0.70%
3	1.10%	0.80%	-	0.00%	-
4	0.60%	0.30%	-	0.00%	-
Total	30.90%	16.20%	10.70%	18.20%	16.60%

Nous constatons que les houles les plus fortes proviennent de la direction Ouest (houle dépassant 3.75m). De plus, les houles provenant des directions Nord-Ouest et Est sont fréquents, pour un état de mer de degré 2. Pour les autres directions, les houles sont moins importantes.

- **Amplitude-période de la houle au large :**

Les observations du S.S.M.O font ressortir la relation entre les amplitudes et les périodes de la houle au large. Les résultats figurent sur le tableau ci-dessus :

Tableau III-3 Relation amplitude-période de la houle au large

Etat de la Mer	PERIODE DE LA HOULE					
	< 6 s	6 à 7s	8 à 9s	10 à 11s	11 à 12 s	> 13 s
Calme	5.10	0.10	-	-	-	-
0	2.00	1.60	0.20	0.10	-	-
1	23.60	12.7	2.60	0.60	0.20	-
2	3.00	5.70	3.90	1.10	0.30	0.10
3	0.40	1.20	1.40	0.70	0.30	-
4	0.30	0.30	0.70	0.80	0.10	-
Total	52.40 %	21.60 %	8.80 %	3.30 %	0.90 %	0.10 %

A partir des résultats du tableau, On peut constater que les houles d’amplitudes faibles (entre 0.25 et 0.75m) correspondent à des périodes courtes comprises entre 6 et 7s.

- **Caractéristiques statistiques de la houle au large :**

On définit la probabilité (P_n) d’apparition d’une houle d’une amplitude donnée, associée à la période de retour pluriannuelle n (voir tableau II-5) par la relation suivante :

$$P_n = \frac{1}{3 \times 365 \times n}$$

n : période de retour.

Cette relation suppose qu’en 24 heures, on constate trois (03) états de mer différents. On définit donc la probabilité associée aux périodes de retour sur le tableau ci-après :

Tableau III-4 Probabilité d’apparition de la houle associée à la période de retour

PERIODE DE RETOUR	PROBABILITES ASSOCIEES
Biennale	4.57 10 ⁻⁴
Quinquennale	1.83 10 ⁻⁴
Décennale	9.13 10 ⁻⁴
Vingtennale	4.57 10 ⁻⁴
Cinquantennale	1.83 10 ⁻⁴
Centennale	9.13 10 ⁻⁴

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 amplitude.

Les valeurs significatives des amplitudes des houles sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau III-5 statistiques de la houle au large (m) : source SSMO (1963-1970)

DIRECTION DE HOULE	EST	NORD EST	NORD	NORD OUEST	OUEST	TOUTES DIRECTION S
Biennale	3.51 m	4.00 m	5.46 m	7.03 m	7.92 m	8.41 m
Quinquennale	4.01 m	4.67 m	6.50 m	6.10 m	9.03 m	9.44 m
Décennale	4.36 m	5.16 m	7.27 m	6.90 m	9.66 m	10.21 m
Vingtennale	4.75 m	5.67 m	8.05 m	9.71 m	10.70 m	10.96 m
Cinquantennale	5.24 m	6.33 m	9.08 m	10.76 m	11.81 m	12.01 m
Centennale	5.61 m	6.83 m	9.85 m	11.56 m	12.64 m	12.76 m

Nous remarquons que les amplitudes les plus importantes appartiennent aux houles provenant des directions Nord-Ouest et Ouest.

III.1.3.2 LA MAREE ET LE NIVEAU D'EAU

Sur la cote algérienne la marée est faible, elle est de l'ordre de 20cm environ. Sur la base de différentes source, nous estimons le niveau de la mer à Bejaïa à :

- Niveau maximum : +50 cm NGA
- Moyenne haute mer de vives eaux : +10 cm NGA
- Moyenne basse mer : -10 cm NGA
- La plus basse mer (Z_h) : -34 cm NGA

III.1.3.3 LES COURANTS

Vu l'importance du courant algérien dans la circulation méditerranéenne, à Gibraltar, les eaux de la Méditerranée et de l'Atlantique se croisent. Les eaux atlantiques entrent en surface dans la Méditerranée et les eaux méditerranéennes, plus denses, sortent dans l'Atlantique par le fond du détroit en formant une veine d'eau méditerranéenne.(source : mémoire de ASSASSI Charefeddine université de Aix Marseille).

On note que les courants généraux sont connus comme étant des courants qui viennent par le détroit de Gibraltar et se dirigent vers l'est (0.5 à 1 m/s) ces courants forment dans la baie de Bejaia des contre-courants littoraux vers l'ouest.

Le sens et l'intensité des courants côtiers sont fonction de l'amplitude, de l'incidence et de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments marins. D'autres types de courants sont observés tels que les courants de retour et les courants de dérive littorale.

III.1.3.4 LE TRANSIT SEDIMENTAIRE

A son arrivée à la cote, la houle devient par deux mécanisme principaux un facteur prépondérant dans le transport sédimentaire ; elle peut tout d'abord remettre en suspension des particules pour les déplacer par la suite, et d'autres part engendrer un courant littoral parallèle au cotes susceptible de déplacer le sable tout comme le ferait un courant de marée.

Dans le cas de la baie de Bejaia, l'estimation du transit sédimentaire entre cap carbon et Aokas, réalisée dans le cadre de l'étude de la carte sédimentaire (1^{ere} tranche), montre qu'il y a prédominance du transport des sédiments vers l'Est

Ceci est dû essentiellement à une forte fréquence des houles d'amplitudes élevées issue des secteurs Ouest-Nord et Ouest les houles provenant des directions Nord-Est et Est atteignent le site de façon plus au moins frontale engendrant la formation de courants de retour et de ce fait, la dispersion des sédiments vers le large

La carte sédimentaire donne un volume annuel de sédiments transportés équivalent à 59 000 m³/an, avec une direction principale orientée Ouest-est. Ce volume est évalué sur la tableau (II-7).

Tableau III-6 Estimation du transit sédimentaire

Sites	Direction du transit Dominant	Volume de matériaux déplacés M ³ / an
Cap Carbon – Aokas	Ouest – Est	67.050
Aokas – Ziama	Est – Ouest	8.176
Volume total	Ouest - Est	58.874

III.1.3.5 LE LEVE BATHYMETRIQUE

Ce levé réalisé par le LEM (laboratoire d'études maritimes) couvre les fonds de la côte du site jusqu'à une profondeur de comprise entre 2.5 et 4 m, avec deux profils bathymétriques à l'Est et l'Ouest du site ont été levés pour le besoin de l'étude de stabilité en canal a houle. Ces deux profils ont comme origine le bord de la RN09 allant jusqu'à une profondeur de -15m. Ils sont sensiblement perpendiculaires à la ligne du rivage et aux isobathes.

L'analyse globale des profils bathymétriques de la zone contigüe à la ligne du rivage indique que les fonds sont relativement de faibles profondeurs (isobathes de profondeurs -1, -2, -3, et -4) avec présence de deux rochers au côté Est du site. Des sondes de -2m et de -3 m sont relevés à, respectivement, 100 m et 150 m à partir du rivage.

La nature sableuse des fonds étant connue, la disposition des isobathes indique alors qu'il s'agit de la zone de déferlement avec la présence localement et en alternance de barres d'avant côte et de chenaux de courants de retours.

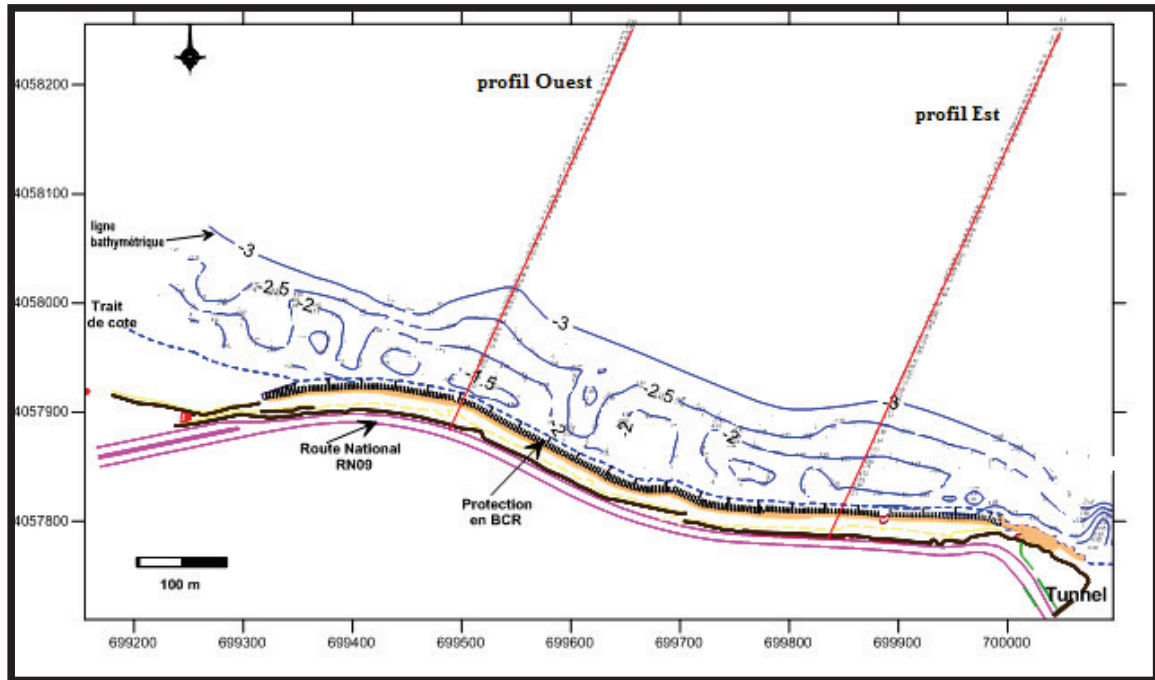


Figure III—3 Profils bathymétriques Est et Ouest

III.1.3.6 LES PROFILS TOPO-BATHYMETRIQUES

Lors de l'étude des fonds marins du site deux profils bathymétriques ont été levés. Les deux figures suivantes (II-5 et II-6) présentent la morphologie du site au niveau des deux profils, Est et Ouest.

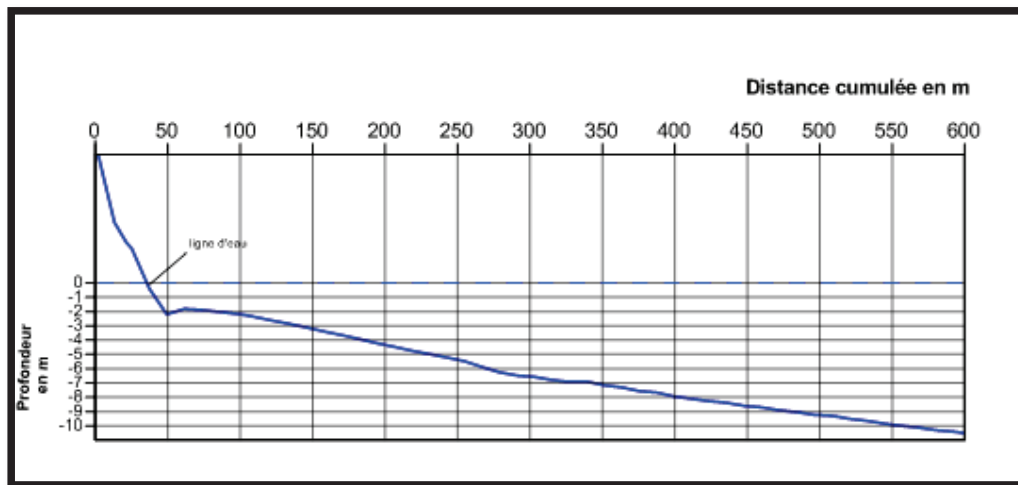


Figure III—4 Profil topo-bathymétrique EST

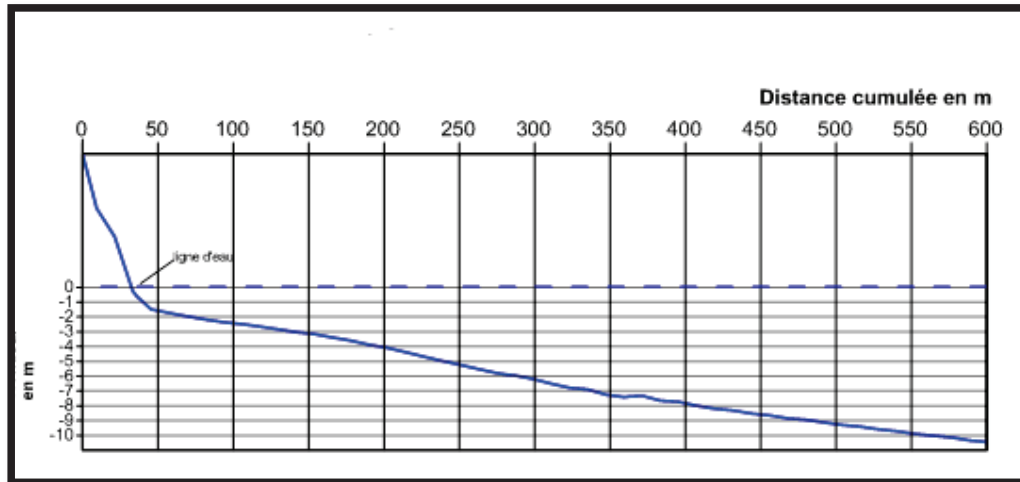


Figure III—5 Profil topo-bathymétrique OUEST

L'étude de la morphologie de la plage sous-marine permet de différencier les deux profils représentatifs. Pour le profil Est on distingue 3 domaines caractéristiques, en prime abord, une dépression du fond nommée fosse, puis, une barre sableuse à corne plate nommée barre d'avant cote et finalement, une pente douce vers le large. Pour le profil Ouest, on constate une pente régulière le long du profil, avec une petite bosse à environ 360m de la côte et à une profondeur de -7 m.

La profondeur moyenne devant le pied de l'ouvrage existant est d'environ -2 m. nous remarquons que les fonds marins s'enfoncent doucement et régulièrement, avec une pente moyenne de l'ordre de 2%. Les profils ci-haut montrent que le fond marin commence à atteindre des profondeurs de -10 m à partir de 550 m de la côte.

III.1.3.7 COMPILATION DES PROFILS TOPO-BATHYMETRIQUES

Pour estimer les mouvements des fonds marins, une comparaison entre les profils (Est et Ouest) topo-bathymétriques de 1994 et actuels a été réalisée en compilant ces derniers. On note que les campagnes topo-bathymétriques de 1994 et actuelle, ont été effectuées dans la même période de l'année.

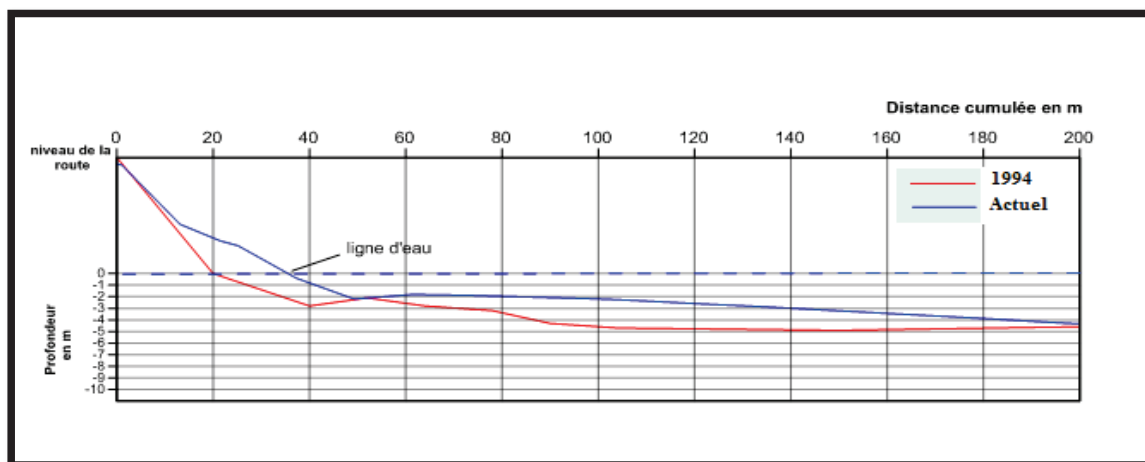


Figure III—6 Superposition de profils topo-bathymétriques EST de 1994 et actuel

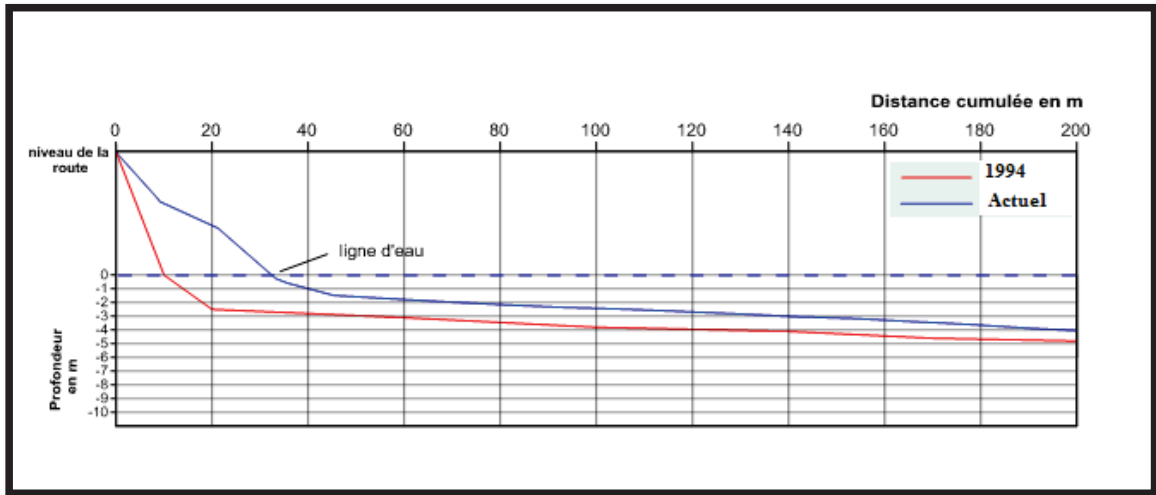


Figure III—7 Superposition de profils topo-bathymétriques OUEST de 1994 et actuel

A partir des deux profils ci-dessus, nous relevons deux informations importantes :

- Déplacement de la ligne d'eaux visible sur le profil actuel par rapport à 1994, ceci est dû à la réalisation de l'ouvrage de protection en 2003.
- Diminution des fonds au droit de l'ouvrage et jusqu'à environ 160 m du pied de ce dernier à cause de l'accumulation de matériaux sableux. Cette accumulation est comprise entre 1 et 3m.

CHAPITRE IV: ÉTUDE DE LA REFRACTION

IV.1 INTRODUCTION

En se déployant du large vers la côte, la houle va subir des modifications dans sa célérité, sa direction et sa hauteur. C'est ce que nous appelons le phénomène de la réfraction. Cette étude a pour objectif d'exploiter les résultats de la houle au large pour déterminer les caractéristiques de la houle sur le site, ce qui nous permettra d'en tirer la nature et la taille de l'ouvrage projeté.

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

Une statistique de la houle au large est établie à partir de la climatologie, elle est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = \frac{H_{s\text{local}}}{H_{s\text{large}}}$$

Le coefficient de réfraction K_r est calculé par SWAN.

IV.3 MODELE MATHEMATIQUE SWAN

L'étude de la réfraction de la houle entre le large et la côte a été effectuée par le modèle mathématique SWAN (Simulating Waves in the Nearshore) en se basant sur les données bathymétriques des cartes SHOM complétées par le levé bathymétrique du terrain réalisée par le LEM.

Les calculs de la réfraction sont réalisés pour différentes conditions de la houle au large (hauteur, période et direction).

Le logiciel est capable de modéliser la propagation de la houle avec la prise en compte des phénomènes de :

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

De ce fait, il est parfaitement adapté à la problématique du littoral.

IV.4 MODELISATION NUMERIQUE DE LA REFRACTION PAR SWAN

IV.4.1 DEFINITION

La modélisation numérique de la réfraction se base sur l'utilisation de deux logiciels et de deux outils informatique à savoir :

- Logiciels: SWAN (simulating Waves in the Nearshore) et Mapinfo 7.8.
- Outils : Vertical Mapper et la moulinette Sogreah.

IV.4.2 DESCRIPTION DES LOGICIELS ET OUTILS UTILISES

- ✚ Simulating Waves in the Nearshore « SWAN » : Stage développé à l'université de technologie de DELFT, au pays bas, SWAN est un modèle numérique de propagation (par réfraction induite par les fonds) et de génération de la houle au large vers la côte. Il permet de calculer les fonctions de transferts entre le large et la côte. C'est-à-dire de connaître l'état de mer local à partir de l'état de mer au large.
- ✚ Mapinfo Professional V7.8 : c'est un outil de type système d'information géographique qui sert à créer de l'information géographique, traiter, manipuler cette information et la cartographier de différentes manières.

- ✚ Vertical Mapper 3.0 : c'est un outil de création et d'exploitation de l'information géographique sous forme de grilles assez puissant (MNT, exploitation d'images raster en relief).
- ✚ La moulinette SOGREAH : c'est une sorte de convertisseur permettant la création de fichiers reconnaissables par SWAN.

IV.4.3 DONNEES D'ENTREE

IV.4.3.1 LES DONNEES BATHYMETRIQUES

La bathymétrie utilisée pour cette étude est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM intitulée « septentrionale d'Afrique partie comprise entre Cap Sigli et Djidjeli » ainsi que celle de campagne de reconnaissance sur site réalisé par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du littoral.

IV.4.3.2 LES DONNEES DE HOULE AU LARGE

Les données de houle au large sont extraites d'un document intitulé " SUMMUREY SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATIONS (SSMO) Tome 2 relatif à la zone centre qui regroupe des données de houles effectuées sur 8 ans (1963 à 1970).

Tableau IV-1 Données de houle au large (région centre)

Période (s)	Hauteur de la houle annuelle par direction				
	Nord	Nord Est	Ouest	Nord-Ouest	Est
6,00	1,00	1,09	1,19	1,10	1,06
8,00	2,67	2,56	2,67	2,64	2,53
10,00	4,92	5,05	5,54	4,53	6,52

Tableau IV-2 Données de houle extrêmes au large (région centre) en mètre (Source : SSMO 1963-1970)

Direction de houle	EST	NORS-EST	NORD	NORS-OUEST	OUEST	Toutes directions
Biennale	4,12	4,93	4,90	4,16	7,36	7,44
Quinquennale	4,70	5,67	5,75	4,87	8,43	8,34
Décennale	5,14	6,23	6,38	5,40	9,22	9,02
Vingtennale	5,59	6,79	7,02	5,94	10,02	9,70
Cinquantennale	6,17	7,53	7,87	6,65	11,08	10,60
Centennale	6,62	8,08	8,50	7,18	11,88	11,27

IV.4.3.3 CHOIX DES DIRECTIONS

Le secteur angulaire choisi est en fonction, d'une part, des limites naturelles imposées par la configuration géographique du site, d'autre part, du secteur d'intérêt des houles au large. Ainsi trois directions ont été retenues en prenant compte des données des houles au large ainsi que leur incidence par rapport à la zone d'étude :

- Une direction perpendiculaire à la cote (N360°).
- Deux directions de houle à incidence oblique (N45, N330).

IV.4.4 ETAPES DE LA MODELISATION

1. Calage de la carte marine de la wilaya de Bejaia dans la projection Universal Transverse Mercator (WGS 84), UTM Zone 31, Northern Hemisphere sur Mapinfo. (PREVOT,

- 2013) (Barbier, juin 2002) (B.Cambou, 1983) (M.Benredouane, 2016/2017; BADAoui, 2016/2017; CIRIA, 2009)
2. Digitalisation des points et des lignes sur Mapinfo.
 3. Extraction des points à partir des lignes digitalisées par Vertical Mapper.
 4. Extraction des coordonnées des points existants par Mapinfo.
 5. Création de la table BathyAokas par Mapinfo.
 6. Création de la table des fonds par Mapinfo.
 7. Création de la grille d'interpolation par Vertical Mapper
 8. Choix de l'emprise du modèle :
 - Modèle d'ensemble de dimensions 6×8 Km
 - Modèle de détail de dimensions 2.4×3.5 Km
 9. Construction de la grille régulière des points :
 - La grille du modèle d'ensemble.
 - La grille du modèle de détail.
 10. Interpolation sur la grille régulière des points de MNT : les grilles régulières des points seront interpolées sur le MNT, pour en extraire les valeurs des profondeurs en chaque point de la grille créée.
 11. Exportation des fichiers fonds par la moulinette Sogreah. Pour créer les fichiers Hiswa :
 - Grid_mod_ens
 - Grid_mod_det
 12. Création des fichiers .BOT en renommant les fichiers Hiswa en fichiers .BOT.
 13. Regroupement des fichiers nécessaires au calcul dans le dernier calcul :
 - Ens.SWA
 - Det.SWN
 - Goswan
 - SWAN_411.EXE
 - SWAN_411.BOT
 - Det.BOT
 14. Lancement du calcul et résultats en double clique sur le fichier goswan, pour avoir les fichiers suivants :
 - Fichiers avec extension .PRT qui donne le compte rendu du calcul.
 - Fichiers avec extension .SWA sont les fichiers résultats en chaque nœud de la grille du calcul.
 - Fichiers avec extension .NST donnent des résultats sous forme de graphes.
 - Fichiers avec extension .RES donnent des résultats sous forme de tableaux
 15. Procéder à la mise en page sur Mapinfo pour avoir les cartes montrant les caractéristiques de la houle.

IV.5 RESULTATS DE L'ETUDE

Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle sont représentés par :

- Les épures de réfraction qui montrent les variations de la hauteur et la direction des houles au cours de sa propagation.
- Les tableaux qui synthétisent, pour chaque période de retour, la hauteur de la houle H et le coefficient de réfraction Kr en fonction de la profondeur et la direction (tableaux IV-2, IV-3, IV-4) (résultats détaillés voir annexe II).

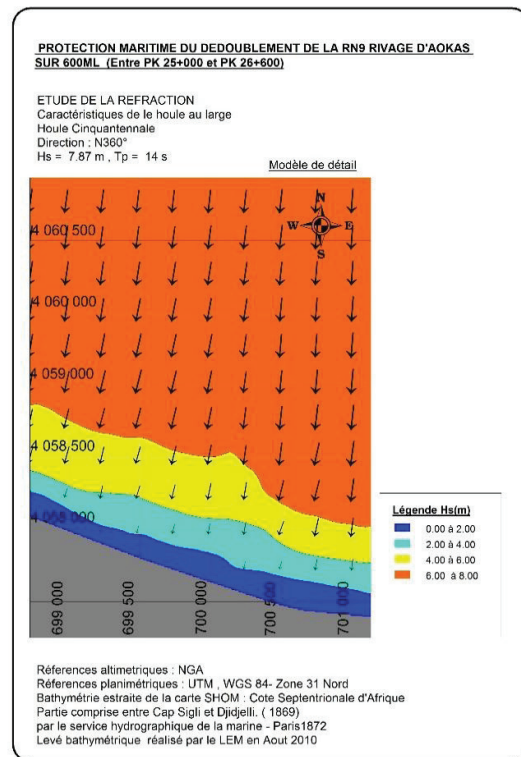
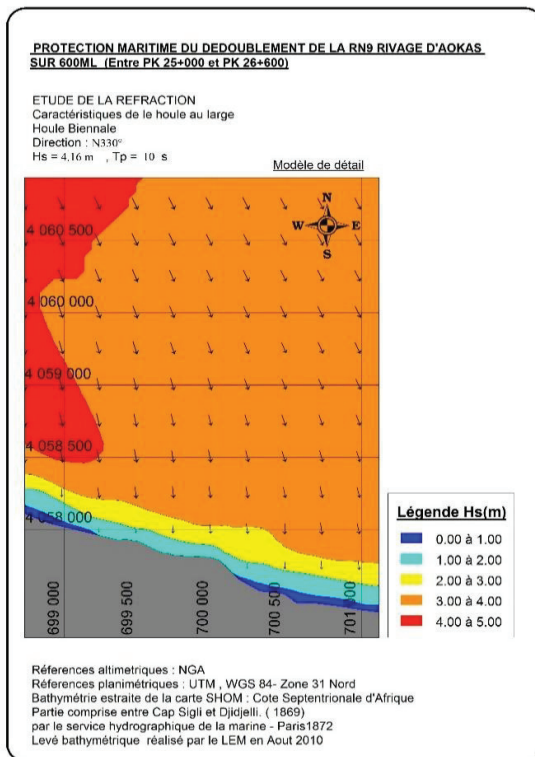
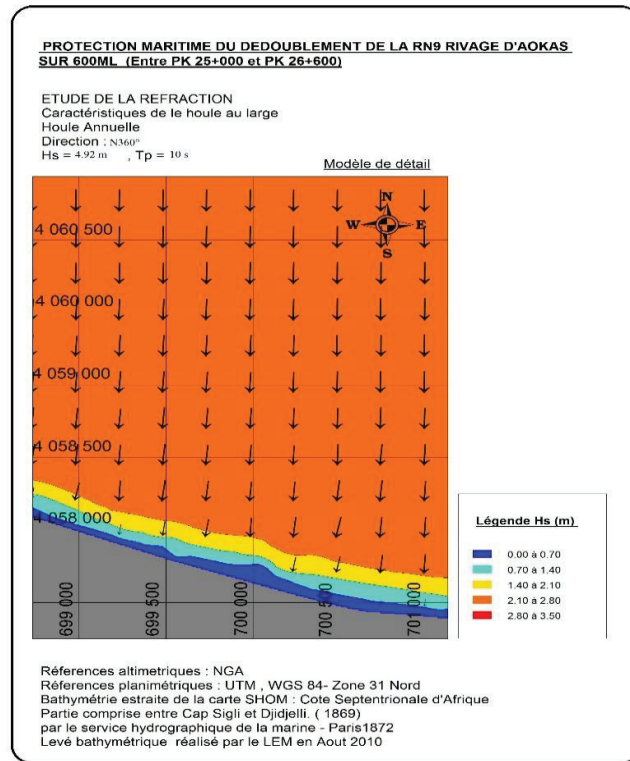


Figure IV—1 Epures de réfraction de la houle

Tableau IV-3 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle biennale

Direction	H(m) Au large	Profondeur							
		-1	-2	-3	-5	-7	-10	-15	
N45°	4.93	H(m)	1.18	1.17	2.39	3.13	3.80	4.40	4.30
		Kr	0.24	0.36	0.49	0.63	0.77	0.89	0.87
N360°	4.90	H(m)	1.21	1.81	2.43	3.17	3.88	4.39	4.36
		Kr	0.25	0.37	0.50	0.65	0.79	0.9	0.90
N330°	4.16	H(m)	1.16	1.65	2.21	2.92	3.44	3.71	3.66
		Kr	0.28	0.40	0.53	0.70	0.83	0.89	0.88

Tableau IV-4 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle cinquantennale

Direction	H(m) Au large	Profondeur							
		-1	-2	-3	-5	-7	-10	-15	
N45°	7.53	H(m)	1.34	2.02	2.73	3.53	4.40	5.52	6.54
		Kr	0.18	0.27	0.36	0.47	0.58	0.73	0.87
N360°	7.87	H(m)	1.33	2.00	2.74	3.60	4.50	5.60	6.86
		Kr	0.17	0.25	0.35	0.46	0.57	0.71	0.87
N330°	6.65	H(m)	1.34	1.99	2.65	3.41	4.20	5.15	6.11
		Kr	0.20	0.30	0.40	0.51	0.63	0.77	0.92

Tableau IV-5 Hauteur significative et coefficient de réfraction pour la houle annuelle

Direction (degré)	Période (s)	Amplitude de la houle au large (m)	Amplitude de la houle à -10 m	Coefficient de réfraction à -10 m	Angle d'arrivée (degré)
N45°	6	1.09	1.01	0.92	42
	8	2.56	2.31	0.90	38.9
	10	5.05	2.31	0.46	38.9
N360°	6	1	0.93	0.93	2.5
	8	2.67	1.04	0.38	5.5
	10	4.92	2.43	0.49	6.5
N330°	6	1.1	1.02	0.92	345
	8	2.64	2.12	0.80	343.5
	10	4.53	3.97	0.88	349.5

IV.6 INTERPRETATION

Houle Annuelle

Le tableau ci-dessus (tableau IV-4) montre l'amplitude de la houle et le coefficient de réfraction à une profondeur de -10m ainsi que son angle d'arrivée pour une houle annuelle. Le coefficient de réfraction le plus important est celui de la houle de direction N360° et de période 6s,

équivalent à une amplitude de houle égale à 0.93m. De plus, la hauteur significative la plus importante est celle de la houle de direction 360° et de période 10s

Houle Biennale

Nous constatons que la houle de direction Nord - Est (45°) est la houle la plus réfractée; pour une profondeur de -5 m, le coefficient de réfraction est le plus faible et vaut 0.63; la hauteur significative de la houle pour cette direction est de 3.13 m. Quant à la houle de direction Nord-Nord - Ouest (330°), celle-ci est la moins réfractée car elle présente un coefficient de réfraction de 0.70. Cette dernière (houle de direction 330°) garde le maximum de son énergie du large par rapport aux houles des autres directions.

Houle Cinquantennale

Pour les résultats de la houle de période de retour Cinquantennale (tableau IV-3), il est constaté en comparant les valeurs des coefficients de réfraction pour les différentes profondeurs que la houle de direction Nord (360°) est la plus réfractée et la houle de direction Nord Nord-Ouest (330°) est la moins réfractée ; à 5 m de profondeur le coefficient de réfraction pour la direction Nord (360°) est de 0.46 et est de 0.51 pour les houles de direction Nord Nord-Ouest (330°).

IV.7 CONCLUSION

D'une manière globale, l'amplitude de la houle et le coefficient de réfraction dépendent de la profondeur de la mer, plus la profondeur diminue, plus le coefficient de réfraction diminue à son tour, ce qui se traduit par la réfraction de la houle provenant du large et la diminution de son amplitude.

Dans notre étude nous nous intéressons aux valeurs des hauteurs significatives de la houle cinquantennale réfractées qui vont être retenues pour le pré-dimensionnement de l'ouvrage de protection.

CHAPITRE V: ETUDE DE L'OUVRAGE DE PROTECTION

V.1 INTRODUCTION

Les digues à talus présentent des avantages importantes, relativement simple à construire, elles présentent la particularité de ne subir que des destructions progressives comme ils sont relativement peu réfléchissant (30 % à 50 % environ selon la cambrure). Plusieurs études de dimensionnement des digues à talus ont été réalisées, on distingue les modèles réduits physiques, les modèles mathématiques et les modèles hybrides.

Dans la suite de ce chapitre nous allons procéder au pré-dimensionnement de la digue à talus protégeant le dédoublement de la RN09 et l'aménagement prévu.

V.2 LES FORMULES DE PRE-DIMENSIONNEMENT DES DIGUES A TALUS

La détermination de la taille et de la disposition des éléments constitutifs de la section transversale est l'objectif principal du pré-dimensionnement. Pour cela il existe plusieurs formules permettant de calculer le poids théorique des blocs artificiels ou enrochements naturels de la carapace (Hudson, Van Der Meer, feuillet).

- **Formules de Hudson**

Cette formule donne le poids (W) des blocs constitutifs de la carapace :

$$W = \frac{1}{K_D} \frac{\gamma_s H_s^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \text{ctg}\alpha}$$

- **Formules de Van Der Meer**

Une formule dite de « Van Der Meer en forte profondeur 1988 » qui se traduit par les deux cas suivants :

- Pour un déferlement plongeant ($\xi_m < \xi_{cr}$) :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pi} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}$$

- Pour un déferlement gonflant ($\xi_{cr} \leq \xi_m$)

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\text{cot}\alpha} \xi_m^p$$

- **Méthode de Feuillet**

C'est une méthode basée sur la formule de Hudson, elle prend en compte la pente des fond (m), la longueur d'onde de la houle ainsi que la profondeur au pied de l'ouvrage. Cette méthode fait appel à l'abaque de la figure

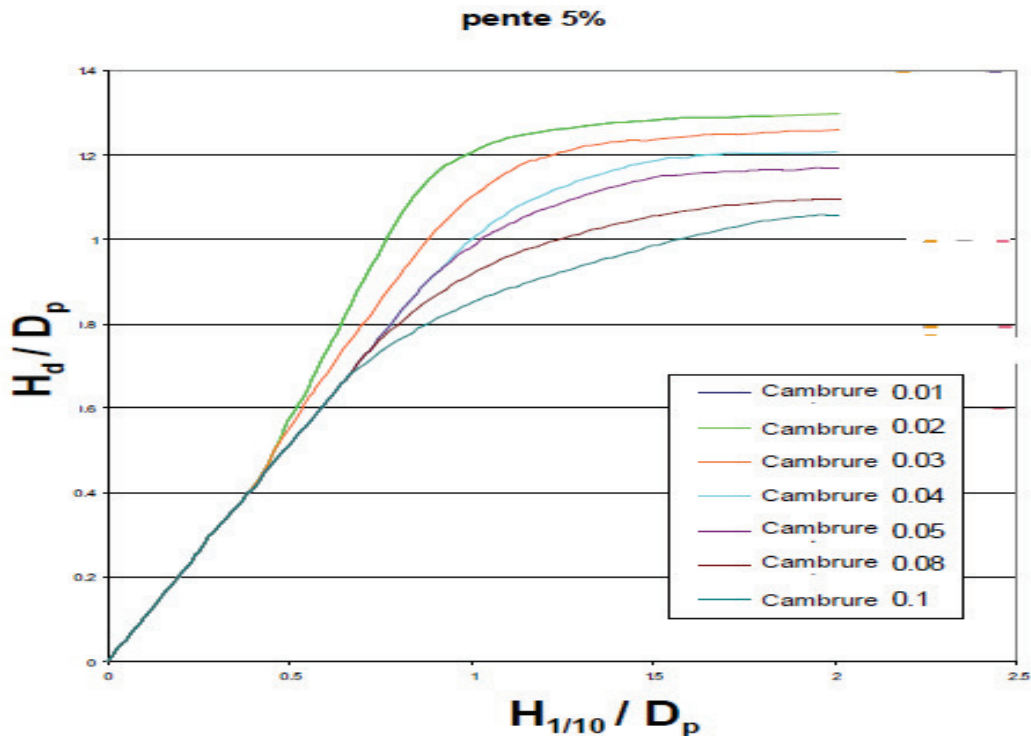


Figure V-1 Abaque de la méthode de Feuillet

V.3 PRE-DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE A TALUS

La formule de pré-dimensionnement la plus utilisée de nos jours est celle d'Hudson, car elle donne des résultats plus satisfaisants que les autres formules. De ce fait, nous allons employer cette formule pour le pré-dimensionnement.

Le tableau suivant récapitule les paramètres nécessaires pour le calcul et le dimensionnement de la digue de protection de notre projet :

Tableau V-1 Paramètres de calcul

Hauteur significative des vagues au pied de l'ouvrage	H_s	2 m
Profondeur au pied de l'ouvrage	h	2 m
Hauteur des vagues au large	H_{s0}	7.87 m
Période des vagues au large	T_s	14 s

Pour le dimensionnement d'une digue à talus, généralement, les matériaux utilisés dans les différentes couches sont bien définis à l'avance, et ce choix repose sur plusieurs critères : disponibilité, accessibilité, choix du modèle réduit...

Tableau V-2 les matériaux des différents couches de la digue à talus

Carapace	Blocs Antifer (BCR)
Sous couche (filtre)	Enrochements naturels
Noyau	Tous venants de carrière (TVC)
Butée de pied	Enrochements naturels

V.3.1 DIEMENSIONNEMENT DE LA CARAPACE

- Le poids des blocs de la carapace est donné par la formule suivante :

$$W_{carapace} = \frac{1}{K_D} \frac{\gamma_s H_s^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \text{ctg}\alpha}$$

Avec :

W : Poids des blocs de la carapace en tonne.

γ_s : Masse volumique du matériau en t/m^3 . $\gamma_{s \text{ BCR}} = 2.4 t/m^3$.

γ_w : Masse volumique de l'eau de mer. $\gamma_w = 1.026 t/m^3$.

α : angle du talus de la carapace avec l'horizontale.

K_D : Coefficient de stabilité.

H_s : Hauteur de la houle.

Pour notre cas :

$\alpha = 3/2$ (vu que c'est des enrochements artificiels).

$K_D = 6$. (Tableau annexe).

Donc :

$$W_{carapace} = \frac{1}{6} \frac{2.4 \times 2^3}{\left(\frac{2.4}{1.026} - 1\right)^3 \times 3/2}$$

$$W_{carapace} = 0.9 \text{ T}$$

Et on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.9 \times 0.75 = 0.675 \text{ tonnes} \\ 0.9 \times 1.25 = 1.125 \text{ tonnes} \end{array} \right.$$

D'où le poids des blocs de la carapace est compris entre 0.675 T et 1.125 T

$$0.675 \text{ T} < W_{carapace} < 1.125 \text{ T}$$

Ce qui donnera une catégorie de blocs de [1 – 3 T].

Nous avons choisi d'utiliser des blocs BCR de 3 tonnes pour la réalisation de la carapace, un choix justifié par :

- La disponibilité de ces blocs de 3 tonnes qui ont été utilisés dans la protection existante (digue à talus réalisée en 1994).
- Les difficultés rencontrées dans le perfectionnement des blocs lors des essais sur canal à houle vu l'échelle utilisée ($1/40^{\text{ème}}$)

Par conséquent : $W_{carapace} = 3 \text{ tonnes}$

- L'épaisseur de la carapace :

$$e_{carapace} = \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3} n_i c$$

n_i : Nombre de lit de blocs.

c : Coefficient de couche.

Nous avons : $n_i = 2$, $c = 1.1$ et $W = 3$

Donc :

$$e_{carapace} = \left(\frac{3}{2.4}\right)^{1/3} \times 2 \times 1.1$$

$$e_{carapace} = 2.369 \text{ m} \approx 2.4 \text{ m}$$

- Diamètre médiane de la carapace :

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{carapace}}{\gamma_s}\right)^{1/3}$$

$$D_{n50} = \left(\frac{3}{2.4}\right)^{1/3} = 1.07 \text{ m} \approx 1.1 \text{ m}$$

$$D_{n50} = 1.1 \text{ m}$$

- Nombre de blocs par unité de surface :

$$N_s = n_i c \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\gamma_s}{W}\right)^{2/3}$$

Avec :

N_s : Nombre de blocs par unité de surface (m^3).

P : porosité de la carapace.

Dans notre cas on a des BCR type Antifer donc $P = 48$ (tableau annexe). $n_i = 2$, $c = 1.1$

D'où :

$$N_s = 2 \times 1.1 \left(1 - \frac{46}{100}\right) \left(\frac{2.4}{3}\right)^{2/3}$$

$$N_s = 1.02 \text{ blocs / m}^3$$

$$\text{Soit } 102 \text{ blocs par } 100 \text{ m}^3$$

- Largeur de la crête :

$$B_{min} = 4 \times D_{n50} = 4 \times 1.1 = 4.4 \text{ m}$$

$$B_{min} = 4.4 \text{ m}$$

V.3.2 DIMENSIONNEMENT DE LA SOUS-COUCHE (FILTRE)

Le premier rôle que doivent assurer les sous-couches est un rôle de filtre granulométrique permettant de retenir les matériaux les plus fins. On pourra à cet effet vérifier que les règles énoncées par « Terzaghi » sont bien respectées.

$$D_{15}(\text{Filtre}) \leq 5D_{85}(\text{Noyau})$$

$$D_{50}(\text{Filtre}) \leq 25D_{50}(\text{Noyau})$$

$$4 < \frac{D_{15}(\text{Filtre})}{D_{150}(\text{noyau})} < 20$$

Par ailleurs, Aucune formule n'est applicable pour le dimensionnement des sous-couches. Seules des recommandations effectuées par le SPM (Shore Protection Manual) nous renseignent sur une proportionnalité entre les éléments de la carapace et ceux de la sous-couche.

Poids des enrochements du Filtre :

$$W_{\text{filtre}} = W_{\text{carapace}} / 10$$

$$W_{\text{filtre}} = \frac{3}{10} = 0.3 \text{ tonnes}$$

Et nous avons d'autre part

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.3 \times 0.7 \approx 0.25 \text{ tonnes} \\ 0.3 \times 1.3 \approx 0.5 \text{ tonnes} \end{array} \right.$$

D'où, le poids des enrochements du filtre est compris entre 0.25 et 0.5 tonnes.

Dans la pratique nous allons prendre une catégorie d'enrochements de [0.5-2 T] afin d'assurer une transition entre le matériau constituant le noyau et celui de la carapace.

Donc le filtre est constitué d'enrochements naturels de catégorie [0.5-2 T].

Donc : $W_{\text{moy.filtre}} = \frac{0.5+2}{2} = 1.25 \text{ tonnes}$

- Epaisseur du filtre :

$$e_{\text{filtre}} = \left(\frac{W_{\text{filtre}}}{\gamma_s} \right)^{1/3} n_i c$$

On a : $n_i = 2$; $\gamma_s \text{ enrochement} = 2.65 \text{ t/m}^3$; $c = 1.15$

D'où

$$e_{\text{filtre}} = \left(\frac{1.25}{2.65} \right)^{1/3} 2 \times 1.15$$

$$e_{\text{filtre}} = 1.8 \text{ m}$$

- Diamètre médiane :

$$D_{n50 \text{ filtre}} = \left(\frac{W_{\text{filtre}}}{\gamma_s} \right)^{1/3}$$

$$D_{n50 \text{ filtre}} = \left(\frac{1.25}{2.65} \right)^{1/3}$$

$$D_{n50 \text{ filtre}} = 0.8 \text{ m}$$

- Nombre de blocs par unité de surface :

$$N_s = n_i c \left(1 - \frac{P}{100} \right) \left(\frac{\gamma_s}{W} \right)^{2/3}$$

On a : $n_i = 2$; $c = 1.15$; $P = 37$.

D'où :

$$N_s = 2 \times 1.15 \left(1 - \frac{37}{100}\right) \left(\frac{2.65}{1.25}\right)^{2/3}$$

$$N_s = 3.3 \text{ blocs/m}^2$$

$$\text{Soit } 330 \text{ blocs par } 100 \text{ m}^2$$

V.3.3 DIEMENSIONNEMENT DE LA BUTEE DE PIED

$$W_{butée} = \frac{0.1}{K_D} \frac{\gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3} \frac{H_s^3}{ctg\alpha} \left(\frac{H_s}{h}\right)$$

Avec :

K_D : Coefficient de stabilité.

H_s : Hauteur significative de la houle.

h : hauteur d'eau au pied de l'ouvrage

Dans notre cas, on a : $K_D = 4$; $H_s = 2m$; $h = 2m$

Donc le poids des blocs de la butée de pied est :

$$W_{butée} = \frac{0.1}{4} \frac{2.65}{\left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3} \frac{2^3}{3/2} \left(\frac{2}{2}\right)$$

$$W_{butée} \approx 0.1 \text{ tonnes}$$

- Epaisseur de la butée de pied

$$e_{butée} = \left(\frac{W_{butée}}{\gamma_s}\right)^{1/3} n_i c$$

Et on a : $n_i = 2$; $c = 1.15$; $\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3$

D'où :

$$e_{butée} = \left(\frac{0.1}{2.65}\right)^{1/3} \times 2 \times 1.15$$

$$e_{butée} = 0.8 \text{ m}$$

- Diamètre médiane

$$D_{n50 \text{ butée}} = \left(\frac{W_{butée}}{\gamma_s}\right)^{1/3}$$

$$D_{n50 \text{ butée}} = \left(\frac{0.1}{2.65}\right)^{1/3}$$

$$D_{n50 \text{ butée}} = 0.35 \text{ m}$$

- Largeur de la butée pied :

$$L_{butée} = 4D_{n50 butée}$$

$$L_{butée} = 4 \times 0.35 = 1.4 \text{ m}$$

- Position de la butée de pied :

Pour calculer la profondeur de la butée de pied (h_t), on doit d'abord calculer le rapport :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50 butée}} = \frac{2}{\left(\frac{2.65-1.026}{1.026}\right) \times 0.35} = 3.6$$

Ainsi, à partir du tableau de l'annexe numéro IV (stabilité de la butée de pied) on tire le rapport :

$$\frac{h_t}{h}$$

On a $\frac{H_s}{\Delta D_{n50 butée}} = 0.35 \rightarrow h_t/h = 0.525 \rightarrow h_t = 2 \times 0.525 = 1.05 \text{ m}$

$$h_t = 1.05 \text{ m}$$

V.3.4 DIMENSIONNEMENT DU NOYAU

- Poids du matériau du noyau :

$$W_{noyau} = \frac{W_{carapace}}{200}$$

$$W_{noyau} = \frac{3}{200} = 0.015$$

$$W_{noyau} = 0.015 \text{ tonnes}$$

Correction du poids $\left\{ \begin{array}{l} 0.015 \times 0.5 = 0.008 \text{ tonnes} \\ 0.015 \times 1.5 = 0.023 \text{ tonnes} \end{array} \right.$

Donc pour le noyau on adopte le tout venant de carrière de catégorie (0-500kg).

- Largeur du noyau

La largeur du noyau est, par convention, celle qui permet la circulation de 2 camions et une grue lors de la réalisation de la digue

$$B_n = (1 \text{ grue} + 2 \text{ camions}) = 12 \text{ m}$$

Vérification des règles de TERZAGHI

$$D_{15}(Filtre) \leq 5D_{85}(\text{Noyau})$$

$$D_{50}(Filtre) \leq 25D_{50}(\text{Noyau})$$

$$4 < \frac{D_{50}(Filtre)}{D_{50}(\text{noyau})} < 20$$

Les indices 15, 50,85 indiquent le pourcentage en poids des matériaux de diamètre inférieur à D. On calcule le petit ainsi que le plus grand diamètre constituant la couche par les formules :

$$\varphi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{w_i}{4 \times \pi \times \gamma_s} \right)^{1/3}$$

$$\varphi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{w_s}{4 \times \pi \times \gamma_s} \right)^{1/3}$$

Où w_i et w_s sont respectivement les limites inférieures et supérieures du poids de l'enrochement constituant la couche considérée.

Ainsi, le pourcentage en diamètre est donné par la formule : $D_i = i(\varphi_s - \varphi_i) + \varphi_i$

- **Pour le filtre** $0.5 T < W_{filtre} < 2 T$:

$$\varphi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.65} \right)^{1/3} = 0.7 \text{ m}; \quad \varphi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{2}{4 \times \pi \times 2.65} \right)^{1/3} = 1.12 \text{ m}$$

Donc : $D_{15} = 0.15(1.12 - 0.7) + 0.7 = 0.763 \text{ m}$

$D_{50} = 0.5(1.12 - 0.7) + 0.7 = 0.91 \text{ m}.$

$D_{85} = 0.85(1.12 - 0.7) + 0.7 = 1.057 \text{ m}.$

- **Pour le noyau** $0 T < W_{noyau} < 0.5 T$:

$$\varphi_i = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.65} \right)^{1/3} = 0 \text{ m}; \quad \varphi_s = 2 \times \left(3 \times \frac{0.5}{4 \times \pi \times 2.65} \right)^{1/3} = 0.7 \text{ m}$$

Donc : $D_{15} = 0.15(0.7 - 0) + 0 = 0.105 \text{ m}$

$D_{50} = 0.5(0.7 - 0) + 0 = 0.35 \text{ m}.$

$D_{85} = 0.85(0.7 - 0) + 0 = 0.595 \text{ m}.$

- **Vérification** :

$$\frac{D_{15}(filtre)}{D_{85}(\text{Noyau})} = 1.28 < 5. \text{ Vérifiée.}$$

$$\frac{D_{50}(filtre)}{D_{50}(\text{Noyau})} = 2.6 < 25. \text{ Vérifiée.}$$

$$\frac{D_{15}(filtre)}{D_{15}(\text{Noyau})} = 7.2 \text{ d'ou } 4 < 7.2 < 20. \text{ Vérifiée.}$$

V.3.5 REVANCHE DE LA CRETE « R_c »

Cette hauteur est souvent déterminée par le débit de franchissement ou la transmission admissible de la houle. Dans certaines situations l'aspect visuel de l'ouvrage est pris en compte.

- **Calcul du Run-up (Méthode de Ahrens et Allsop ; Rock manual) :**

$$R_{u2\%}/H_s = \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_h (A \xi_p + B)$$

Avec :

$R_{u2\%}$: Run-up dépassé par 2% des vagues.

γ_b : Facteur de réduction de berme. (Égal à 1, pas de berme)

γ_f : Facteur de réduction de rugosité. (Égal à 0.47 pour les BCR)

γ_h : Paramètre de profondeur. $\gamma_h = (H_{2\%}/H_s)/1.4$.

γ_β : Facteur de réduction de l'oblicité de la houle. (Égal à 1, pas d'oblicité de vagues)

ξ_p : Paramètre de déferlement similaire à T_p .

A et B : coefficients d'ajustements.

On a : $\xi_p = \frac{tg\alpha}{\sqrt{S_0}}$ et $S_0 = \frac{2\pi H_s}{gT^2}$.

$T = 13s$; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; $H_s = 2 \text{ m}$

Donc : $S_0 = \frac{2 \times \pi \times 2}{9.81 \times 14^2} = 0.083$ d'où $\xi_p = \frac{\frac{2}{3}}{\sqrt{0.083}} = 8.07 > 2.5 \rightarrow A = -0.2$ et $B = 4.5$

$\frac{H_{2\%}}{H} = \sqrt{-\ln\left(\frac{p}{100}\right)}$ D'où $H_{2\%} = 3.95$ et $\gamma_h = \frac{3.95/2}{1.4} = 1.41$.

$$R_{u2\%} = 2 \times 1 \times 1 \times 0.47 \times 1.41 \times (-0.2 \times 8.07 + 4.5)$$

$$R_{u2\%} = 3.83 \text{ m}$$

A partir des résultats au-dessus, le sommet du franc-bord peut être estimé 4 m.

$$R_c = 4 \text{ m.}$$

- **Calcul du Run-down**

$R_{d2\%}/H_s = 0.33\xi_p$ Pour $0 < \xi_p < 4$.

$R_{d2\%}/H_s = 1.5$ Pour $\xi_p \geq 4$.

Dans notre cas : $\xi_p = 8.07 \geq 4$ donc $R_{d2\%}/H_s = 1.5$

Donc : $R_{d2\%} = 3 \text{ m}$

V.3.6 FRANCHISSEMENT DE LA HOULE

Le franchissement des vagues est calculé comme étant la quantité d'eau qui franchit, par mètre linéaire, le bord franc de la crête ($m^3/s/m$ ou $l/s/m$).

- **Méthode d'Owen (1980)**

$$Q^* = q / (T_m g H_s)$$

Où :

q : Débit de franchissement spécifique moyen (m^3/s par m).

Q^* : Débit de franchissement spécifique adimensionnel $Q^* = a \exp(-\frac{bR^*}{\gamma_f})$.

T_m : Période moyenne.

On a: $R^* = \frac{R_c}{(T_m \sqrt{g H_s})} = \frac{4}{(14 \sqrt{9.81 \times 2})} = 0.064$

D'où : $Q^* = a \exp(-\frac{bR^*}{\gamma_f})$ avec $a = 8.84 \cdot 10^{-3}$ et $b = 19.9$ (tableau annexe)

$$Q^* = 8.84 \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{19.9 \times 0.064}{0.47}\right) = 5.88 \times 10^{-4} \text{ m}^3/s \text{ Par m.}$$

A partir de la première équation : $q = Q^* \times (T_m g H_s)$

Donc : $q = 5.88 \times 10^{-4} \times 14 \times 9.81 \times 2 = 0.16 \text{ m}^3/s /m$.

Correction du résultat de la d'Owen :

$$q_{houle} = q_{owen} \cdot F$$

Avec $F=0.1$ $q_{houle} = 0.16 \times 0.1 = 0.016 \text{ m}^3/s /m$.

$$q_{houle} = 0.016 \text{ m}^3/s /m.$$

- **Méthode de TAW (2002a)**

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = \frac{A}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp\left(-B \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\xi_{m-1,0} \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta}\right) \text{ Pour } \xi_{m-1,0} \leq 2 \text{ Vague déferlante.}$$

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = C \exp\left(-D \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_b \gamma_f}\right) \text{ Pour } \xi_{m-1,0} > 2 \text{ Vague non-déferlante.}$$

Dans notre cas, nous avons :

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \text{ Avec } S_0 = \frac{2\pi H_s}{g T_{m-1,0}^2} \text{ et } T_{m-1,0} = \frac{T_p}{1.1} = 12.27 \text{ s}$$

Donc $S_0 = 8.46 \cdot 10^3$ et $\xi_{m-1,0} = 7.24 > 2$ donc on est dans le cas d'une houle non-déferlante.

On a $C = 0.2$ et $D = 2.3$ (tableau de l'annexe). $R_c = 4$; $H_{m0} = 2$; $\gamma_f = 0.47$; $\gamma_b = 1$.

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.3 \frac{4}{2} \times \frac{1}{0.47}\right) = 1.12 \cdot 10^{-5}$$

$$q = 9.95 \cdot 10^{-5} \approx 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}.$$

Interprétation des résultats du franchissement

Le tableau de l'annexe VII présente les valeurs critique de q suggérées pour différents scénarios de dimensionnement. Dans notre cas, l'arrière de la digue à talus est aménagé comme étant une esplanade (promenade) accessible aux piétons et véhicules.

1. Pour les piétons ($q = 10^{-4}$) : dangereux pour des piétons conscients des risques, pas facilement contrariés ou effrayés, capables de tolérer d'être mouillé, bonne visibilité sur la mer.
2. Pour la digue à talus ($q = 10^{-4}$) : aucun dégât.

Bien que la valeur du franchissement soit importante et menace les piétons sur l'esplanade, il n'y aura pas de problème vu le niveau de cette promenade est suffisamment élevé.

V.3.7 CONCLUSION

Le pré-dimensionnement de la digue à talus a donné une section transversale présentée sous forme de deux profils, le premier est à la sortie du tunnel et le deuxième au milieu de l'aménagement comme le montrer ci-dessous :

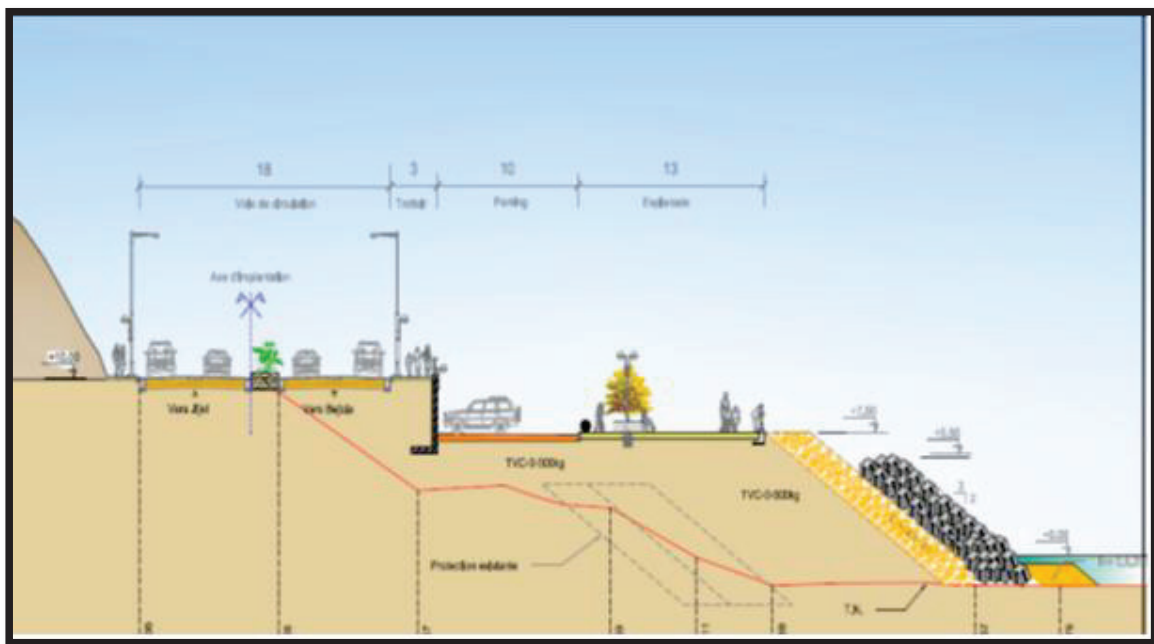


Figure V—2 section transversal suggérée (profil 1)

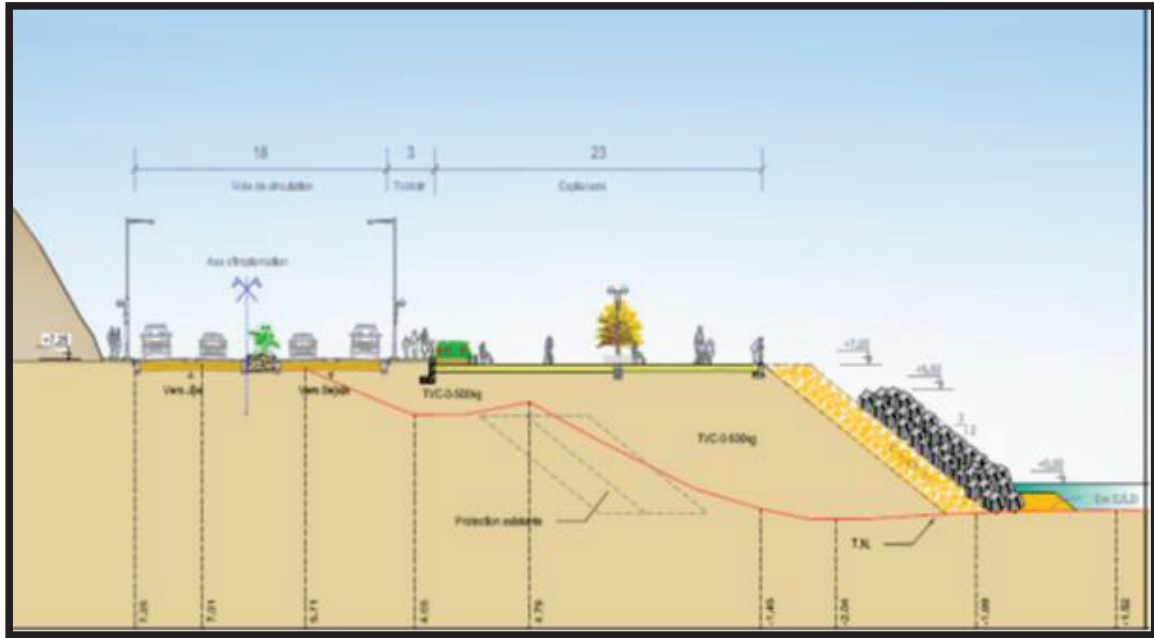


Figure V—3 section transversal suggérée (profil 2)

La stabilité hydraulique de la digue à talus dépend de plusieurs paramètres. Dans la pratique, la réalisation d'essais sur modèle physique (canal à houle) est généralement requise pour la vérification du comportement de ce type de structures.

De ce fait, des essais sur canal à houle ont été exécutés par le Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM) afin de proposer une section transversale finale de la digue à talus.

**CHAPITRE VI: ETUDE DU
MODELE REDUIT PHYSIQUE EN
CANAL A HOULE**

VI.1 INTRODUCTION

Tout problème de mécanique des fluides est régi par des équations complexes et difficiles à résoudre. Il devient donc impératif d'avoir recours à l'expérience, que ce soit par l'utilisation de modèles numériques ou des modèles physiques. Il est possible alors de faire converger les différentes approches, mais les essais sur maquettes sont plus intéressants dans un premier temps, car ils permettent de trouver des solutions, d'acquérir des données ou de vérifier des calculs. La technique des modèles réduits est basée sur les règles de similitude, donc sur l'analyse dimensionnelle. Ces règles permettent d'une part de concevoir et d'exploiter le modèle, mais aussi de transposer les résultats obtenus à la réalité.

Les études sur modèle réduit permettront donc au concepteur de valider son projet, de le vérifier, mais aussi de mettre en évidence les éventuels points faibles.

VI.2 DEFINITION

Un modèle est une représentation d'un projet (port, digue...), d'un état (dégradation) ou d'un évènement (tempête, crue...). Le modèle réduit physique exprime l'idée d'essayer de voir en « petit » ce qui va se passer en « grand ».

Les modèles réduits doivent être construits à une échelle convenable de telle sorte à reproduire fidèlement ce qui se passe sur la nature en vraie grandeur « prototype ». Pour que le modèle et le prototype soient semblables il faut réaliser certaines conditions résultant des lois de similitudes.

VI.3 LOIS DE SIMILITUDE

Il y a lieu tout d'abord de rappeler que les modèles réduits physiques hydrauliques doivent satisfaire à une similitude géométrique et à une similitude cinématique et dynamique. En effet, le but de tels modèles est de reproduire des mouvements de l'eau et son action sur des obstacles (ouvrages,...).

En hydraulique maritime, les deux phénomènes à représenter sont la marée et la houle. Dans notre cas (Méditerranée) seule la dernière est prise en considération. Les problèmes liés à la propagation de la houle étudiés sur le modèle réduit, sont surtout ceux liés à la combinaison de la réfraction et la diffraction.

L'échelle de réduction géométrique « λ » étant choisie pour satisfaire du mieux possible les différentes contraintes de réalisation du modèle tout en garantissant une représentativité des phénomènes et une précision de leur mesure suffisante, le choix de la similitude consiste à convenir d'une ou de plusieurs relations entre l'échelle de réduction géométrique et les échelles de représentation des autres grandeurs.

Pour ce type d'essai, la nature des principaux phénomènes mis en jeu (propagation d'une onde de gravité, équilibre de corps solides, etc.) suggère de privilégier la représentation des forces déterminantes que sont les forces liées aux accélérations (gravité et inertie). Pour cela, il est nécessaire que la similitude adoptée laisse invariant le nombre de Froude :

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Avec :

V : Vitesse caractéristique (vitesse orbitale, célérité...).

g : Accélération de la pesanteur.

D : Dimension caractéristique (dimensions d'un bloc, hauteur d'eau...).

VI.4 CHOIX DE L'ECHELLE

Pour modéliser un site, on fixe d'abord l'échelle de longueur et celle de hauteur, car ces grandeurs sont imposées par la taille de l'emplacement dont on dispose pour mettre en place le modèle réduit. Ensuite l'échelle des diamètres est déduite de la condition d'équivalence du nombre de Reynolds. Enfin l'échelle de masse volumique est donnée par la condition de début de charriage.

Pour l'étude du modèle réduit physique de notre projet, nous devons respecter certaines conditions liées au canal à houle du LEM pour le choix de l'échelle et qui sont :

- La hauteur d'eau et la bathymétrie ne doivent pas dépasser 50cm.
- La hauteur de l'ouvrage ne doit pas dépasser 80% de la hauteur du canal.
- La hauteur d'eau au modèle doit être minimum deux fois supérieure à la hauteur significative de la vague au pied de l'ouvrage. ($h \geq 2H_s$)
- La distance entre l'ouvrage et le batteur doit être égale trois à cinq fois la longueur d'onde.

Game d'échelle

- Pour le modèle en 2D (canal à houle) elle varie de 1/50 à 1/40, en fonction de l'ouvrage.
- Pour le modèle en 3D (bassin à houle) elle varie de 1/85 à 1/80.
- Pour l'étude d'agitation et de tenue de navire on peut aller jusqu'à 1/100.

VI.4.1 LES DIFFERENTES CATEGORIES DE MODELES REDUITS

- Modèle de stabilité : il permet de tester la stabilité des ouvrages et de quantifier les franchissements.
- Modèle d'agitation : ce modèle permet de déterminer l'agitation résiduelle dans le port en fonction de la houle incidente.
- Modèle de tenu de navire : ce modèle donne les mouvements des navires (rotation et translation) ainsi que les tensions dans les câbles et les efforts appliqués sur bollards
- Modèle de mesure de pression : grâce aux capteurs installés sur l'ouvrage, ce modèle permet de déterminer la pression exercée sur ce dernier.

VI.5 RESUME DE L'ETUDE EN MODELE REDUIT PHYSIQUE

VI.5.1 CADRE DES ESSAIS

Les essais se sont déroulés dans le canal à houle du centre d'essais sur modèle du Laboratoire d'Etudes Maritimes,

Les dimensions principales de ce canal sont :

Largeur : 0,60m.

Profondeur : 1,10m.

Longueur : 40,0m.

Le canal est équipé d'un générateur de houle régulière et aléatoire constitué :

- D'un volet plan.
- D'un vérin hydraulique asservi en position sur un signal de commande continu.

- D'un générateur électronique qui élabore le signal de commande lié à un programme de génération à l'aide d'un ordinateur, représentant un train de houle réel enregistré en nature et converti en train de houle en modèle de type Jonswap.

Dans le cas de la houle aléatoire (houle utilisée pour l'ensemble de l'étude), le signal est effectivement aléatoire suivant une durée de tempête préalablement fixée.

Deux grandes baies vitrées (6,00 m de longueur) permettent l'observation directe des évolutions des maquettes de l'ouvrage.

Une conduite met en communication permanente la partie du canal située à l'arrière de la maquette de l'ouvrage et la partie profonde où se trouve le batteur. Ce dispositif évite une éventuelle surélévation du plan d'eau par suite de franchissements répétés.

Compte tenu des dimensions du canal et des paramètres de l'ouvrage ainsi que de son implantation, l'échelle du modèle retenue est $1/40^{\text{ème}}$. En appliquant la loi de similitude de Froude, nous avons obtenu les échelles suivantes :

L'échelle géométrique : $\lambda = L_m/L_p = 1/40 = 0.025$

L'échelle des surfaces : $\lambda_s = \lambda^2 = 6.25 \times 10^{-4}$

L'échelle des volumes : $\lambda_v = \lambda^3 = 1.562 \times 10^{-5}$

L'échelle des angles : $\lambda_\theta = 1$

L'échelle des temps : $\lambda_t = \sqrt{\lambda} = 0.158$

L'échelle des poids : $\lambda_p = \lambda^3 = 1.562 \times 10^{-5}$

L'échelle des débits : $\lambda_Q = \lambda^{5/2} = 9.88 \times 10^{-5}$

VI.5.2 CONDITIONS DE HOULE

En tenant compte des conditions hydrographiques et l'étude de la réfraction de la houle (chapitre IV), la direction de houle retenue pour l'étude en modèle réduit physique en canal à houle est : Nord 360°.

Les conditions de houles retenues pour les essais sont obtenues par des points d'extractions relevés à -15 m de profondeur par le LEM, ils sont résumés comme suit :

Tableau VI-1 Caractéristique de la houle à -15m

Direction	Nord 360°
Période de retour	H(m)
Biennale	4.11 m
Quinquennale	4.86 m
Décennale	5.42 m
Vingtennale	5.98 m
Cinquantennale (50ans)	6.73 m
Centennale	7.29 m

Cette étude hydraulique, en modèle réduit physique en canal à houle, a été exécutée sur deux profils, le premier « P1 » localisé au centre de la protection courante et le deuxième « P2 » localisé au niveau de la sortie du tunnel comme le montre la figure(VI-1)

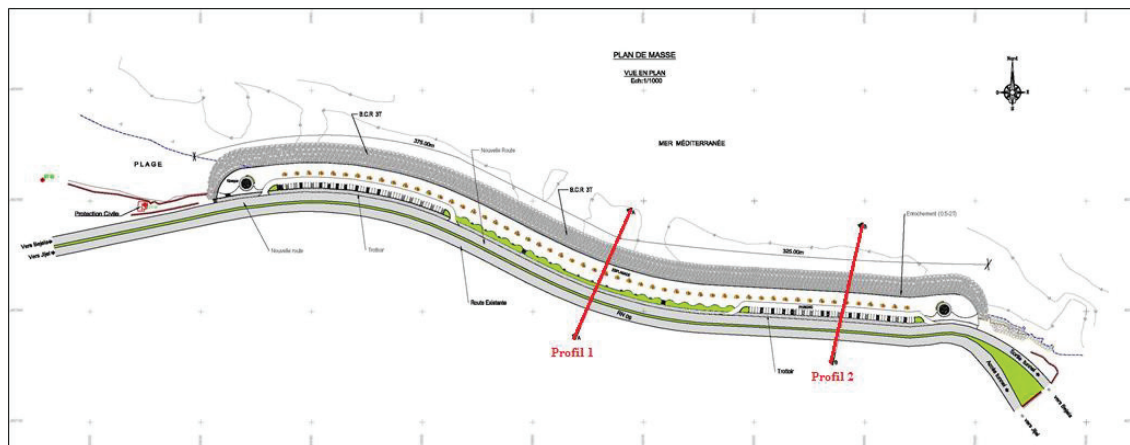


Figure VI—1 localisation des deux profils du canal à houle

L'objectif de ces essais est de vérifier la stabilité des blocs de protection et quantifier les franchissements au niveau de la partie aménagée (l'esplanade).

VI.5.3 EVALUATION DES DEGATS

L'estimation des dégâts lors des essais en canal à houle se fait comme suit :

- Carapace : nous nous intéressons aux blocs de la carapace en observant leurs déplacement et tassements (si le déplacement du bloc est supérieur à sa propre dimension, il est dit déplacé).
- Contre butée : elle est étudiée en observant l'évolution de son profil.
- Observation des franchissements et déferlement de la houle (localisation et type).

VI.5.4 RESULTATS DES ESSAIS

Plusieurs variantes, des deux profils, ont été proposées et testées par le LEM en modèle réduit physique en canal à houle. Les résultats de ces essais sont résumés ci-après

VI.5.4.1 VARIANTES DU PROFIL 1

i. Variante 1

La variante 1 se caractérise par :

- Un noyau en T.V.C (0-500kg) arasé à la côte +6.50 m.
- Une sous couche en enrochements de catégorie (0.5-2 T) arasée à la côte +7.00 m suivant une pente de talus de 3/2.
- Une carapace en BCR de 3 T, arasée à la côte +5.50 suivant une pente de talus de 3/2.
- Une contre butée en enrochements de (0.5-2 T), dont la risberme est de 4.00 m suivant une pente de talus de 3/2.

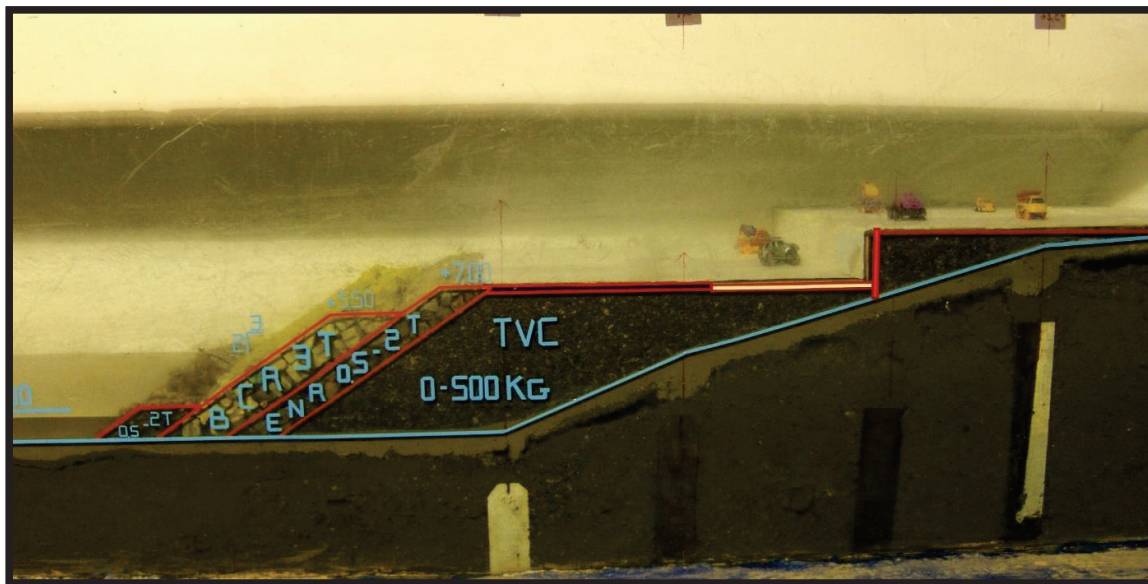


Figure VI—2 Variante 1 avant l'essai

- **Observations :**

Lors des essais, il a été observé ce qui suit :

- La houle déferle avant l'ouvrage.
- Remonté de 3 enrochements de (0.5-2t) de la contre butée sur la carapace en BCR à partir de la houle décennale.
- Un franchissement sur la carapace en BCR sans dépasser la sous couche des enrochements de (0.5-2t).
- Etalement de la contre butée en enrochements de (0.5-2t) pendant l'essai de la houle centennale.
- Etalement important de la contre butée en dû à la remontée des enrochements de (0.5-2t) de la contre butée sur la carapace en BCR de 3t pendant l'essai d'endurance.

- **Conclusion :**

La contre butée de la protection est instable.

ii. Variante 2

La variante 2 se diffère de la variante par :

- L'élargissement de la berme de la contre butée de 2 m avec une pente de 2/1, donc la berme est de 6 m.

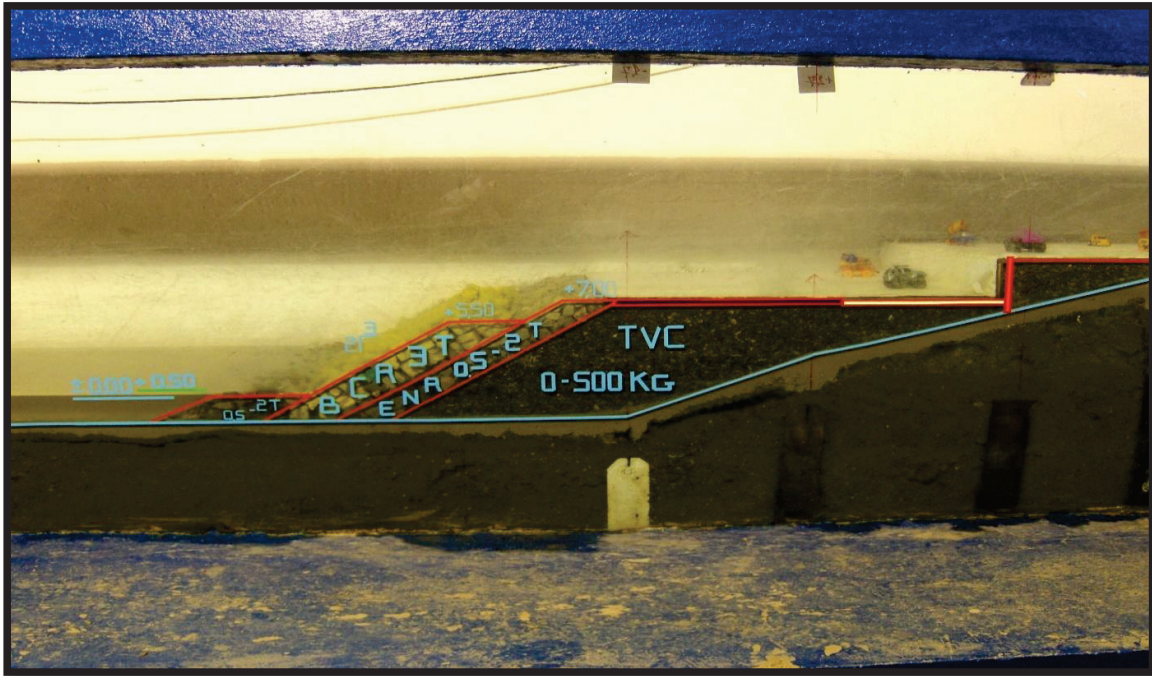


Figure VI—3 Variante 2 avant l'essai

- **Observations :**

- Déferlement de la houle avant l'ouvrage.
- Glissement de 2 enrochements de (0.5-2t) de la contre butée à partir de la houle quinquennale.
- Etalement léger de la contre butée dû à la remontée des enrochements de (0.5-2t) sur la carapace pendant la houle décennale.
- Quelques franchissements sur la carapace en BCR de 3t sans dépasser la cote de la sous couche des enrochements de (0.5-2t) pendant l'essai de la houle décennale.

- **Conclusion :**

Instabilité de la contre butée.

iii. Variante 3

Le profil de la variante 3 diffère de la variante 2 par le remplacement des enrochements de (0.5-2 t) de la contre butée par des enrochements de (1-3 t) suivant une pente de 3/1.

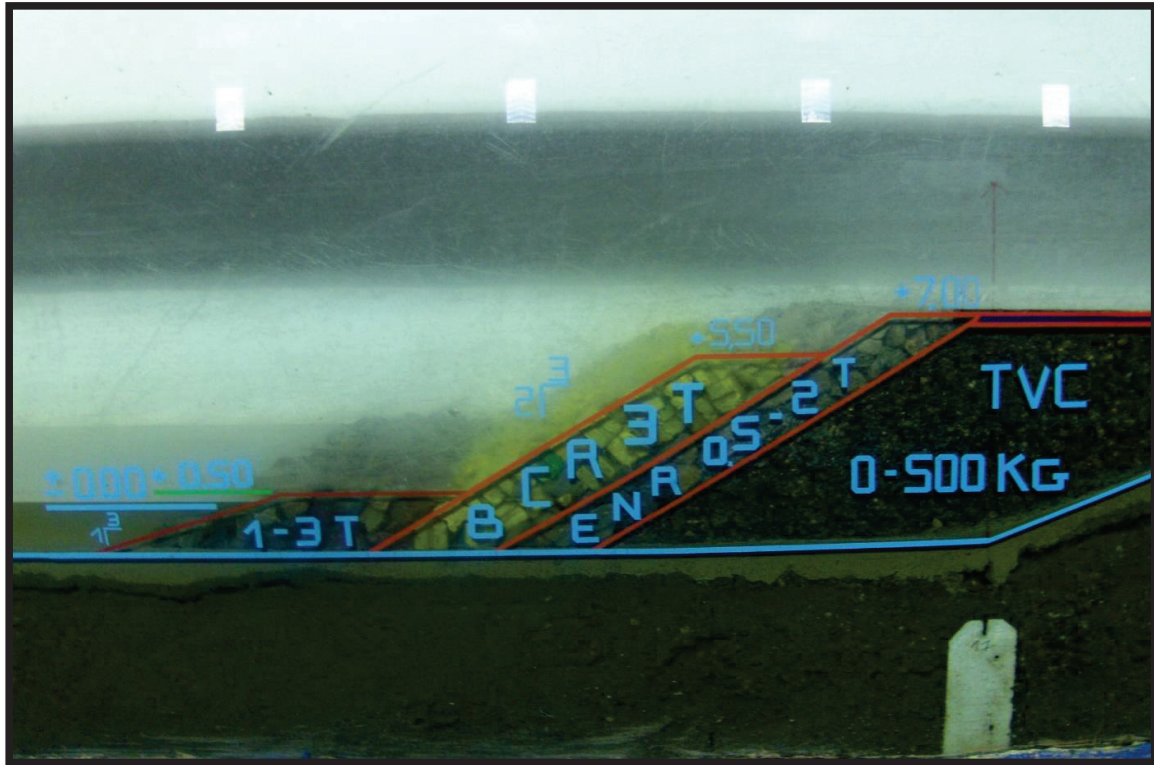


Figure VI—4 Variante 3 avant l'essai

- **Observations :**

- Déferlement de la houle avant l'ouvrage.
- 2 franchissements sur la berme de la carapace en BCR de 3 t sans dépasser la cote de la sous-couche en enrochements de (0.5-2t) pendant l'essai de la houle décennale.
- Remontée de quelques enrochements de (1-3t) de la contre butée sur la carapace en BCR de 3 t pendant la houle centennale (dommage acceptable).

- **Conclusion :**

Le profil de la variante 3 est stable.

iv. Variante 4

Le profil de la variante 4 diffère de la variante 3 par la suppression de la contre butée et son remplacement par une souille arasée à -2.55 m.

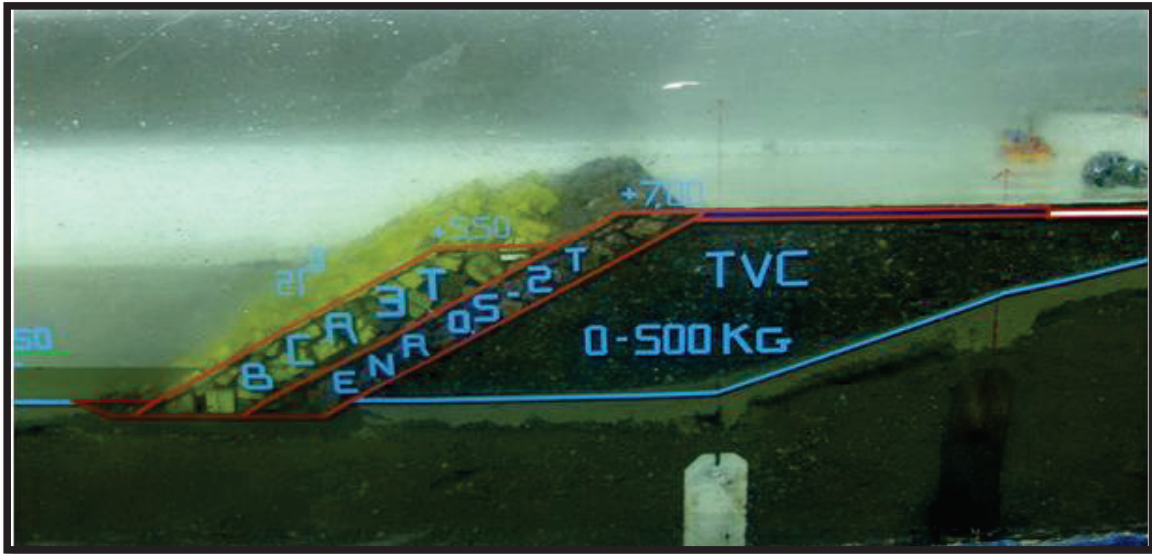


Figure VI—5 Variante 4 avant l'essai

- **Observations :**

- Déferlement de la houle avant l'ouvrage.
- Deux (2) franchissements sur la berme de la carapace en BCR de 3 tonnes sans dépasser la côte de la sous couche en enrochements de (0.5-2t) à partir de la houle quinquennale.
- Rocking de deux (2) enrochements de (0.5-2t) dans la souille pendant l'essai d'endurance.

- **Conclusion :**

Le profil, après les essais, est stable.

v. **Variante 5**

Le profil de la variante 5 est une optimisation de la variante 3 en diminuant la berme de la contre butée de 6.00 m à 4.20 m et suivant une pente de 3/2 au lieu de 3/1 comme le montre la figure (VI-6).

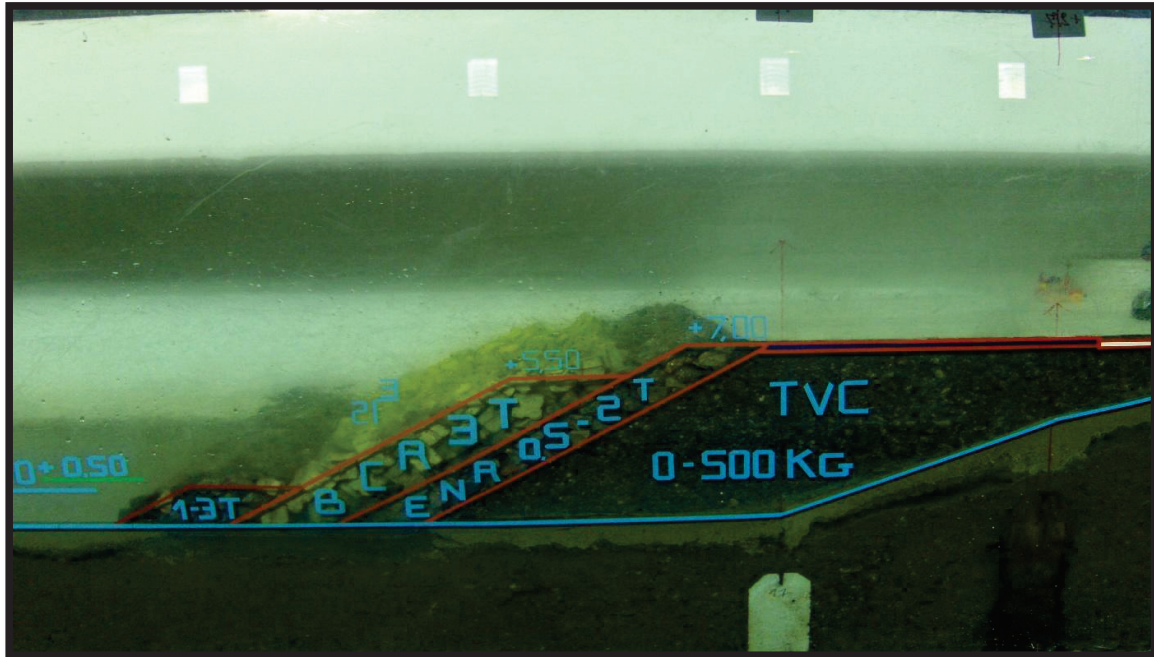


Figure VI—6 Variante 5 avant essai

- **Observations :**

- Déferlement de la houle avant l'ouvrage.
- Quelques franchissements sur la berme de la carapace en BCR de 3 tonnes sans dépasser la sous couche en enrochements de (0.5-2t) à partir de la houle décennale.
- Remontée de quatre (4) enrochements de (1-3t) de la contre butée sur la carapace de 3 tonnes.

- **Conclusions :**

Le profil de cette variante est parfaitement stable.

VI.5.4.2 VARIANTES DU PROFIL 2

Pour le profil P2 localisé à la sortie du tunnel, une seule variante a été testée en modèle réduit physique en canal à houle. Cette variante est identique à la variante 5 du profil P1 mis à part la côte d'arase de la contre butée qui est à -0.40 m.

- **Observations :**

- La houle déferle avant l'ouvrage.
- Remontée de deux (2) enrochements de (0.5-2t) de la contre butée sur la carapace en BCR à partir de la houle biennale.
- 3 franchissements sur la carapace en BCR sans dépasser la sous couche des enrochements de (0.5-2t) à partir de la houle quinquennale.
- Projection du T.V.C pendant l'essai d'endurance.

VI.6 CONCLUSION

A l'issue de ces essais en canal à houle effectués sur cinq variantes, le laboratoire des études maritime recommande la variante 5 qui se caractérise par :

- **Profil P1 (partie centrale de l'ouvrage de protection)**
 - Un noyau en TVC (0-500kg) arasé à la cote +6.50 m.
 - Une sous-couche en enrochements de catégorie (0.5-2t), arasée à la cote +7.00 m suivant une pente de talus de 3/2.
 - carapace en BCR de 3 t, arasée à la cote +5.50 m suivant une pente de talus de 3/2.
 - Une contre butée de 4.20 m de largeur suivant une pente de 3/2.

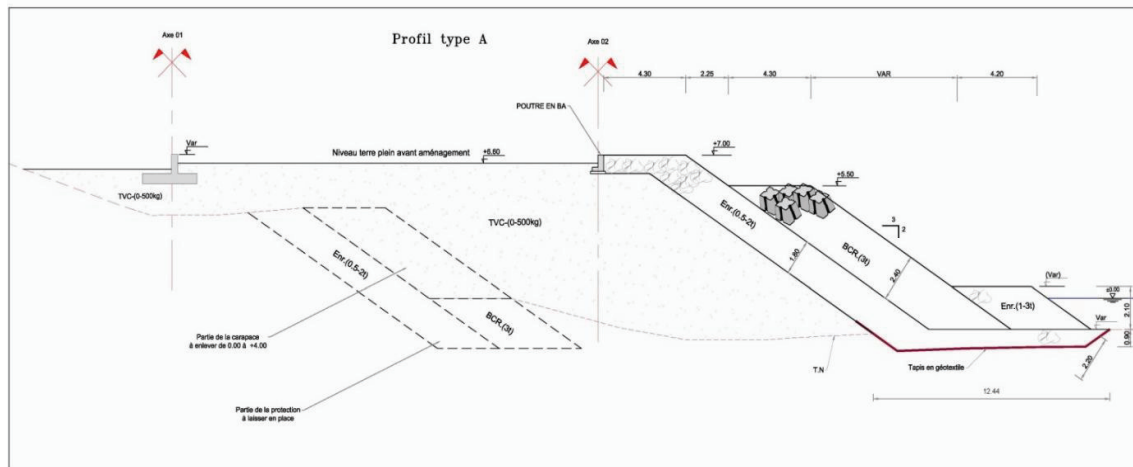


Figure VI—7 Profil P1 de la variante retenue

- **Profil P2 (sortie du tunnel)**
 - Un noyau en T.V.C de (0-500kg) arasé à la cote +9.50 m.
 - Une sous-couche en enrochements de catégorie (0.5-2t), arasée à la cote +7.00 m suivant une pente de talus de 3/2.
 - Une carapace en BCR de 3 tonnes, arasée à la cote +5.50 m suivant une pente de 3/2.
 - Une contre butée de 4.20 m de largeur suivant une pente de 3/2.

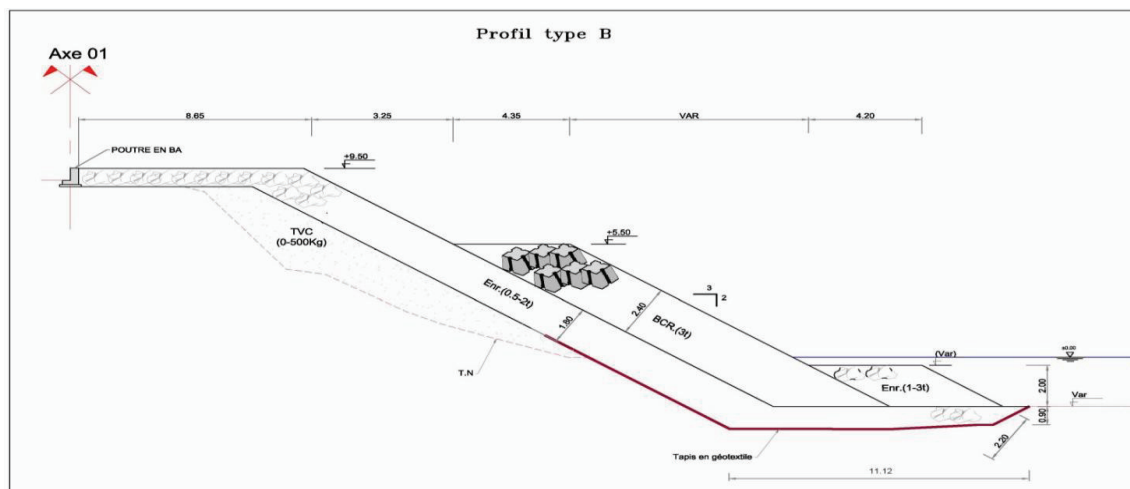


Figure VI—8 Profile P2 de la variante retenue

**CHAPITRE VII: ETUDE DE
L'AMENAGEMENT DE
L'ESPLANADE**

VII.1 INTRODUCTION

Lors de l'étude de la protection maritime du dédoublement de la RN09 au niveau d'Aokas, la DTP de Bejaia a choisi d'aménager l'arrière de cette protection. Cet aménagement est réalisé en créant un espace supplémentaire parallèle à la route, tout le long de l'ouvrage de protection existant. Pour se faire, l'ouvrage doit être déplacé vers le large, ceci permettra de dégager un terrain de 785 m de longueur et 23 m de largeur.

Cet aménagement sera constitué de :

- Une esplanade de 23 m de largeur.
- Une aire de stationnement pour véhicules.
- Des accès au parking.
- Des escaliers reliant l'esplanade à la route.
- Un espace vert.

VII.2 LES OUVRAGES EN BETON

VII.2.1 LES MURS DE SOUTÈNEMENT

Un mur de soutènement est prévu dans l'aménagement de l'esplanade et les aires de stationnement le long de la route ; ces murs sont en béton armé. Ils sont de type mur en « T » renversé, constitués d'un voile fondé sur une semelle.

Ces murs seront construits par des plots de 10,0 m chacun fondés sur une couche de réglage après le remblai de TVC. La profondeur d'ancrage des murs dans le sol est 1,50 m, réglé par une couche d'assise de 10 cm en béton de propreté. La hauteur du voile est variable, il est arasé à des cotes variables selon la cote de projet de la future route de dédoublement.

Dans ce qui suit, nous allons prendre une hauteur du voile $H= 5$ m (le cas le plus défavorable).

VII.2.1.1 PRE-DIMENSIONNEMENT

Le Guide SETRA pour l'étude et la réalisation des soutènements donne quelques règles simples pour le pré-dimensionnement des murs cantilevers en béton. Les dimensions sont montrées sur la figure suivante :

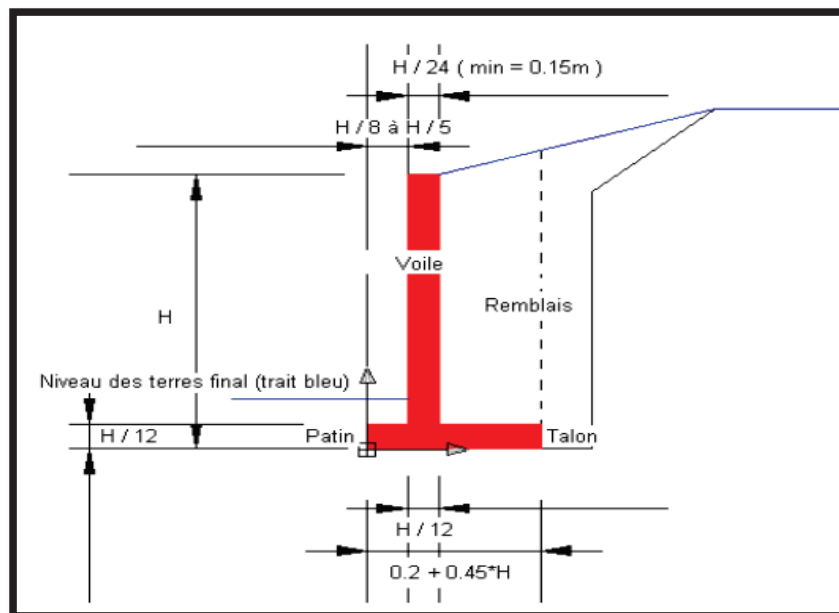


Figure VII-1 pré-dimensionnement du mur de soutènement

Dans notre cas, nous avons un mur de soutènement de hauteur variable. Nous avons choisis le mur le plus haut avec une hauteur $H= 5$ m. le pré-dimensionnement du mur est résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau VII-1 Dimensions du mur de soutènement

Partie du mur	Dimensions (m)
Hauteur du mur (H).	5,00
Largeur de la semelle (B).	3,50
Largeur du patin (semelle avant, C).	1.00
Largeur du talon (semelle arrière, E).	2.00
Epaisseur du voile(A).	0.50
Epaisseur de la semelle (D).	0.50

VII.2.1.2 ETUDE DE LA STABILITE DU MUR DE SOUTENEMENT

Pour assurer la stabilité d'un mur de soutènement il faut vérifier les conditions suivantes :

🚧 CAS STATIQUE

- Vérification du tiers centrale : $e_0 < B/6$

$$\text{Avec : } e_0 = \frac{B}{2} - \left(\frac{M_{\text{stabilisants}} - M_{\text{renversants}}}{\sum F_v} \right)$$

- Stabilité au renversement :

$$F_{SR} = \frac{M_{\text{stabilisants}}}{M_{\text{renversants}}} \geq 1.5$$

- Stabilité au glissement :

$$F_{SG} = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} \geq 1.5$$

- Vérification des contraintes au sol :

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\sum F_v \cdot \left(1 \pm 6 \frac{e_0}{B}\right)}{B}$$

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{3\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4}$$

Vérifier que $\sigma_{\text{ref}} < \sigma_{\text{adm, sol}}$

🚧 CAS DYNAMIQUE :

- Vérification du tiers centrale : $e_0 < B/4$

$$\text{Avec : } e_0 = \frac{B}{2} - \left(\frac{M_{\text{stabilisateurs}} - M_{\text{renversants}}}{\sum F_v} \right)$$

- Stabilité au renversement :

$$F_{SR} = \frac{M_{\text{stabilisateurs}}}{M_{\text{renversants}}} \geq 1.2$$

- Stabilité au glissement :

$$F_{SG} = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} \geq 1.3$$

- Vérification des contraintes au sol :

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sum F_v \cdot (1 \pm 6 \frac{e_0}{B})}{B}$$

$$\sigma_{ref} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4}$$

Vérifier que $\sigma_{ref} < \sigma_{adm,sol}$

VII.2.1.3 HYPOTHESES DE CALCUL :

- Caractéristique du remblai (T.V.C) :
 - Angle de frottement : $\varphi=38^\circ$.
 - Inclinaison du talus : $\beta=0^\circ$.
 - Inclinaison du mur : $\lambda = 0^\circ$.
 - Cohésion : $C = 0$.
 - Poids spécifique du sol (T.V.C) $\gamma_{sol} = 20 \text{ KN}/m^3$.
 - Poids spécifique du béton : $\gamma_{béton} = 25 \text{ KN}/m^3$.
 - Une surcharge d'exploitation prise égale à $15 \text{ KN}/m^2$, soit celle induite par la présence d'une construction au-dessus du talus et l'effort de compactage, lors de la mise en œuvre du remblai sélectionné ou lors d'une opération de maintenance.
- Caractéristique du sol de fondation :
 - Poids spécifique : $18 \text{ KN}/m^3$.
 - Angle de frottement : $\varphi=37^\circ$.
 - Cohésion : $C = 0$.
 - Capacité portante du sol : $Q = 2 \text{ bars}$.
- Caractéristique des matériaux :
 - Béton : $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$; $f_{t28} = 2.4 \text{ MPa}$; $\rho = 25 \text{ KN}/m^3$
 - Acier : haute adhérence (HA) FeE400

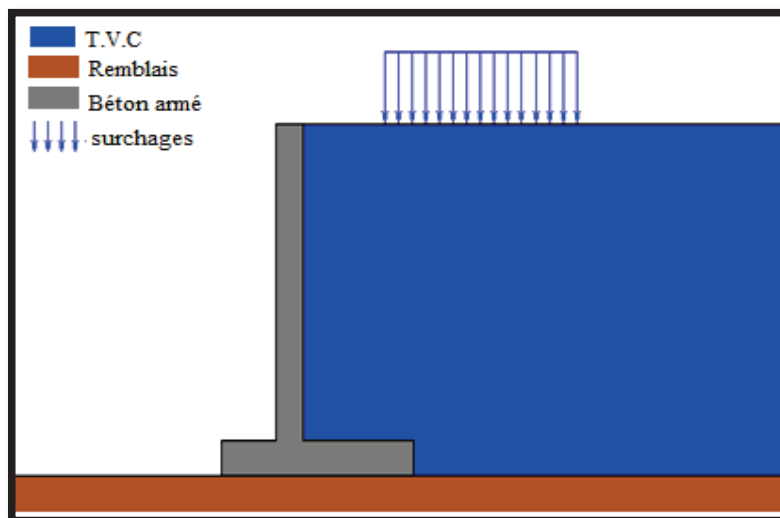


Figure VII—2 Schéma représentatif de l'ouvrage

VII.2.1.4 DEFINITIONS DES FORCES APPLIQUEES SUR LE MUR

Les calculs sont faits dans le cas à vide : on ne prend pas en considération la butée pour plus de sécurité.

- **CAS STATIQUE**

- ✚ **Etat limite de service : G + Q**

Calcul du coefficient de poussée K_a :

Dans notre cas : $\beta = 0$ donc $K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$

D'où : $K_a = 0.25$

Le tableau suivant résume les forces et les moments appliqués sur le mur de soutènement.

Tableau VII-2 Récapitulatif des forces et moments appliqués sur le mur (ELS)

	H(KN)	V(KN)	Bras de levier	Moment stabilisateur (KN/m)	Moment renversant (KN/m)
Poids du voile	/	56.25	1.25	70.31	/
Poids de la semelle	/	43.75	1.75	76.56	/
Poids des terres	/	162	2.5	405	/
Poussée des terres	$\frac{1}{2}ka\gamma_{sol}H^2 = 56.25$	/	1.67	/	93.75
Poussée due à Q	$K_a q h = 18.75$	/	2.5	/	46.875
Total	75	262		551.9	140.62

Vérification du renversement :

$$F_{SR} = \frac{551.9}{140.62} = 3.9 > 1.5 \text{ vérifiée}$$

Vérification du glissement :

$$F_{SG} = \frac{262}{75} \times \tan 38 = 2.7 > 1.5 \text{ vérifiée}$$

Vérification du tiers central

$$E_{max} = 0.475$$

$$e_0 = 0.18$$

$$E_{max} > e_0 \text{ vérifiée}$$

Vérification des contraintes

$$\sigma_{max} = 126.8 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 57 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{ref} = 109.4 \text{ KN/m}^2 = 1.09 \text{ bars} < \sigma_{adm} = 2 \text{ bars. vérifiée}$$

✚ Etat limite ultime : 1.35G + 1.5Q

Tableau VII-3 Récapitulatif des forces et moment appliqués sur le mur(ELU)

	H(KN)	V(KN)	Bras de levier	Moment stabilisateur (KN/m)	Moment renversant (KN/m)
Poids du voile	/	76	1.25	95	/
Poids de la semelle	/	59	1.75	103.2	/
Poids des terres	/	218.7	2.5	546.7	/
Poussée des terres	$\frac{1}{2}ka\gamma_{sol}H^2 \cdot 1.35 =$ 75.93	/	1.67	/	126.55
Poussée due à Q	$1.5.Ka q H =$ 28.12	/	2.5	/	70.3
Total	104.05	353.7	/	745	196.85

Vérification du renversement :

$$F_{SR} = \frac{745}{196.85} = 3.7 > 1.5 \text{ vérifiée}$$

Vérification du glissement :

$$F_{SG} = \frac{353.7}{104.05} \times \tan 38 = 2.6 > 1.5 \text{ vérifiée}$$

Vérification du tiers central :

$$E_{max} = 0.475$$

$$e_0 = 0.2$$

$$E_{max} > e_0 \text{ vérifiée}$$

Vérification des contraintes :

$$\sigma_1 = 165.56 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 20.57 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{ref} = 129.31 \text{ KN/m}^2 = 1.29 \text{ bars} < \sigma_{adm} = 2 \text{ bars. vérifiée}$$

• **CAS DYNAMIQUE**

La poussée active dynamique globale qui s'exerce horizontalement à H/2 à l'arrière du mur est égale à :

$$P_{ad} = \frac{1}{2} K_{ad} (1 \pm K_v) \gamma H^2$$

Lorsque le remblai supporte une surcharge verticale uniforme q, la poussée dynamique est égale à :

$$P_{pd}(q) = K_{ad} (1 \pm K_v) qH / \cos\beta$$

Où :

K_{ad} : Coefficient de poussée dynamique donné par :

$$K_{ad} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2\theta} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cos\beta}} \right]^{-2}$$

γ : poids volumique du sol de remblai

φ : angle de frottement interne du remblai sans cohésion.

H : hauteur de la paroi verticale à l'arrière du mur.

β : angle de la surface du remblai sur l'horizontale.

$\theta = \arctg\left(\frac{K_h}{1 \pm K_v}\right)$.

Selon le RPA 2003, nous avons les données suivantes :

Bejaia est dans la zone sismique : IIa

La catégorie de l'ouvrage : 2

Classe du sol : S2

D'où : $A = 0.15 \rightarrow K_h = 0.15 \rightarrow K_v = 0.3K_h = 0.045$

Nous distinguons deux situations dans le cas dynamique :

– **Séisme ascendant :**

$$\theta = K_h / (1 - K_v) = 8.92^\circ$$

Donc : $K_{ad,ascendant} = 0.347$

– **Séisme descendant :**

$$\theta = K_h / (1 + K_v) = 8.1^\circ$$

Donc : $K_{ad,descendant} = 0.335$

D'autre part, dans le cas dynamique nous allons introduire la force sismique qui sollicite le mur de soutènement. Selon le RPA 2003, la force sismique totale V appliquée horizontalement à la base de la structure est :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W$$

Où :

A : coefficient d'accélération de la zone.

D : facteur d'amplification moyen dynamique.

R : coefficient de comportement global de la structure.

Q : Facteurs de qualité.

W : poids de la structure.

Calcul des coefficients (A, D, R, Q).

Le coefficient d'accélération A :

La wilaya de Bejaia se situe dans la zone IIa et l'ouvrage est classé dans la catégorie 2 selon son importance. Donc le coefficient d'accélération $A = 0.15$.

Le facteur d'amplification D :

On a : la période de la structure : $T = C_T \cdot H_N^{3/4} = 0.075 \times 5^{3/4} = 0.25$ s.

Et d'après RPA : $T_1 = 0.15$ et $T_2 = 0.4$ donc $0 < T < T_2$.

D'où $D = 2.5\eta$ avec $\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)}$

Nous avons un mur en béton armé donc : $\xi = 10\% \rightarrow \eta = 0.76$.

Par conséquent : $D = 1.9$

Coefficient de comportement global de la structure R :

Dans notre cas nous avons un voile en béton armé, donc selon le RPA : $R = 3.5$.

Facteurs de qualité Q :

La valeur de Q est déterminée par la formule suivante :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q$$

Où : P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Dans notre cas : $Q = 1.1$

Le poids de structure W :

$W = W_{semelle} + W_{rideau} = 39.37 + 35.62 = 74.99$ KN.

Donc à la fin nous allons avoir une force sismique égale à :

$$V = \frac{0.15 \times 1.9 \times 1.1}{3.5} \times 74.99$$

$$V = 6.7 \text{ KN}$$

Les deux tableaux suivants résument les forces appliquées au mur de soutènement dans le cas dynamique (descendant et ascendant) :

✚ Cas du séisme descendant (1+K_V)

	H(KN)	V(KN)	Bras de levier	Moment stabilisateur (KN/m)	Moment renversant (KN/m)
Poids du voile	/	59	1.25	73.75	∟
Poids de la semelle	∟	46	1.75	80.5	/
Poids des terres	∟	169.3	2.5	420.2	/
Poussée des terres	78.76	∟	2.5	/	196.9
Poussée due à Q	26.25	∟	2.5	/	65.65
Effort sismique	6.7	∟	1.56	/	10.45
Total	111.5	274.3	/	577.5	273

Vérification du renversement

$$F_{SR} = \frac{577.5}{273} = 2.7 > 1.3 \text{ vérifiée}$$

Vérification du glissement

$$F_{SG} = \frac{274.3}{111.5} \times \tan 38 = 1.92 > 1.2 \text{ vérifiée}$$

Vérification du tiers central

$$E_{max} = 0.875$$

$$e_0 = 0.4$$

$$E_{max} > e_0 \text{ vérifiée}$$

Vérification des contraintes

$$\sigma_{max} = 132 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 24.7 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{ref} = 105.2 \text{ KN/m}^2 = 1.09 \text{ bars} < \sigma_{adm} = 2 \text{ bars. vérifiée.}$$

✚ Cas du séisme ascendant (1- K_V)

	H(KN)	V(KN)	Bras de levier	Moment stabilisateur (KN/m)	Moment renversant (KN/m)
Poids du voile	/	53.7	1.25	67.1	/
Poids de la semelle	/	42	1.75	73.5	/
Poids des terres	/	154.7	2.5	386.7	/
Poussée des terres	78.56	/	2.5	/	196.4
Poussée due à Q	24.85	/	2.5	/	62.12
Effort sismique	6.7	/	1.56	/	26.49
Total	110.11	250.4	/	527.4	203.5

Vérification du renversement :

$$F_{SR} = \frac{527.4}{203.5} = 2.5 > 1.3 \text{ vérifiée}$$

Vérification du glissement :

$$F_{SG} = \frac{250.4}{110.1} \times \tan 38 = 1.77 > 1.2 \text{ vérifiée}$$

Vérification du tiers central :

$$E_{max} = 0.875$$

$$e_0 = 0.46$$

$$E_{max} > e_0 \text{ vérifiée}$$

Vérification des contraintes

$$\sigma_{max} = 172.3 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 3.4 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{ref} = 130.1 \text{ KN/m}^2 = 1.09 \text{ bars} < \sigma_{adm} = 2 \text{ bars. vérifiée.}$$

VII.2.1.5 MODELISATION NUMERIQUE : STABILITE AU GRAND GLISSEMENT

La stabilité au grand glissement du mur de soutènement a été calculée à l'aide du logiciel TALREN v5 dans sa version originale disponible au LEM, suivant des surfaces de glissement circulaire, en utilisant la méthode des tranches de BISHOP.

On considère que la stabilité du talus (ouvrage de soutènement) est assurée lorsque l'on obtient un coefficient de sécurité de : $F_s > 1.5$.

L'étude de stabilité a été menée sur la base du profil type du mur de soutènement obtenue lors du pré-dimensionnement de ce dernier.

- Hypothèse de calcul

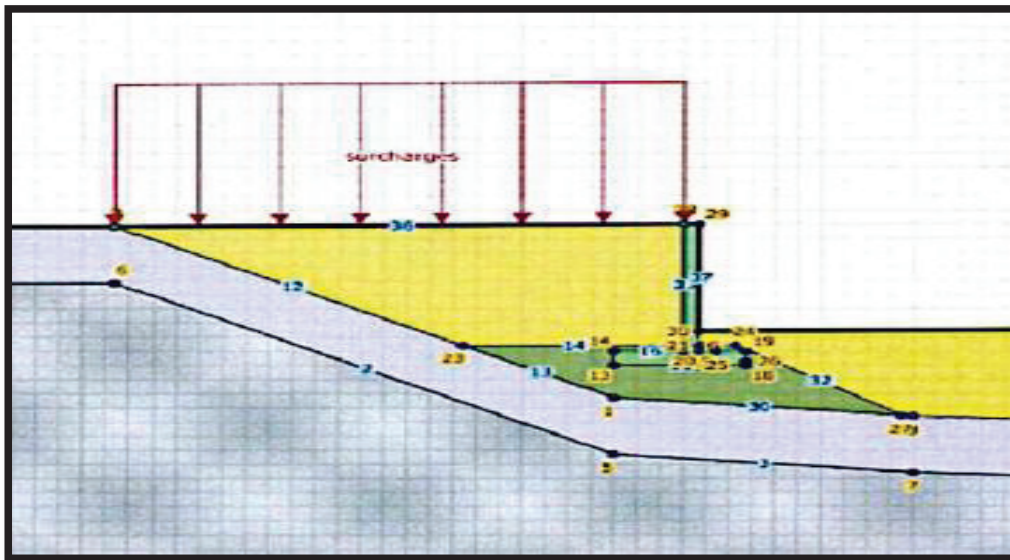


Figure VII—3 modélisation de l'ouvrage

Le schéma ci-dessus représente la modélisation de l'ouvrage sur le logiciel TALREN 5. Les couches du sol et leurs caractéristiques ainsi que les surcharges sont montrés à la figure (VII-4).

Couches de sol					
	Nom	Couleur	γ	ϕ	c
1	remblais		1,80	37,00	0,00
2	TVC		2,00	38,00	0,00
3	sable		1,70	30,00	0,00
4	Béton		2,50	45,00	0,00

Surcharges réparties								
	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	surcharges	-10,800	4,900	1,50	1,500	5,000	1,50	90,00

Figure VII—4 Caractéristique du sol et les surcharges

- **Résultats de l'étude**

Les résultats des calculs (statique et dynamique) sont présentés sur les sorties graphiques ci-dessous également données en annexe numéro VII.

 **Cas statique :**

Nous remarquons que le coefficient de sécurité dans ce cas statique est de : $F_s = 2.68$ (figure VII-5). Ce coefficient correspond au cercle de glissement critique de l'ouvrage. La condition $F_s < 1.5$ est vérifiée, donc pas de risque de glissement circulaire du mur de soutènement.

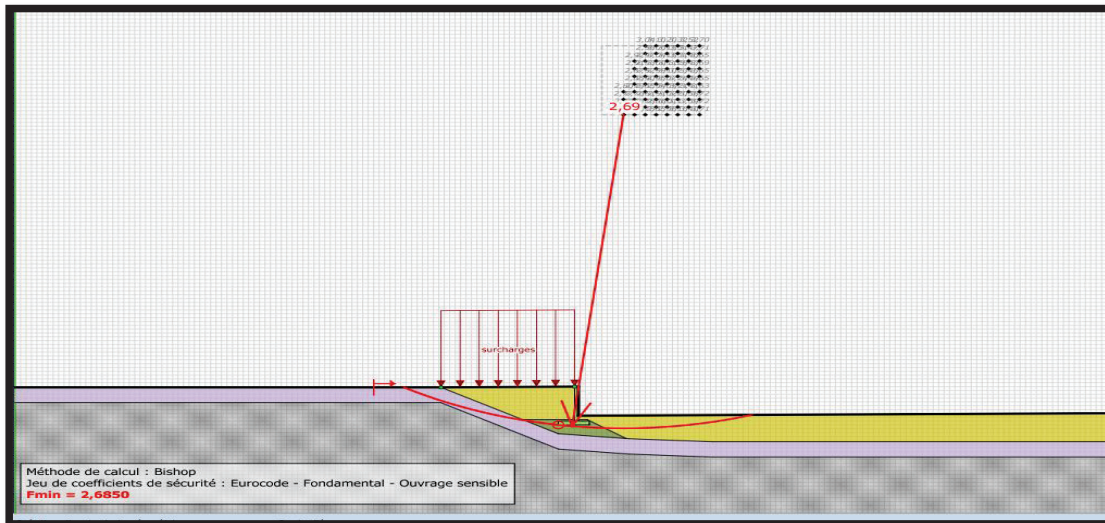


Figure VII—5 Résultat de la modélisation numérique : cas statique

 **Cas dynamique :**

Dans ce cas dynamique, le coefficient de sécurité qui correspond au cercle de glissement critique de l'ouvrage est de : $F_s = 2.68$ (figure VII-6)

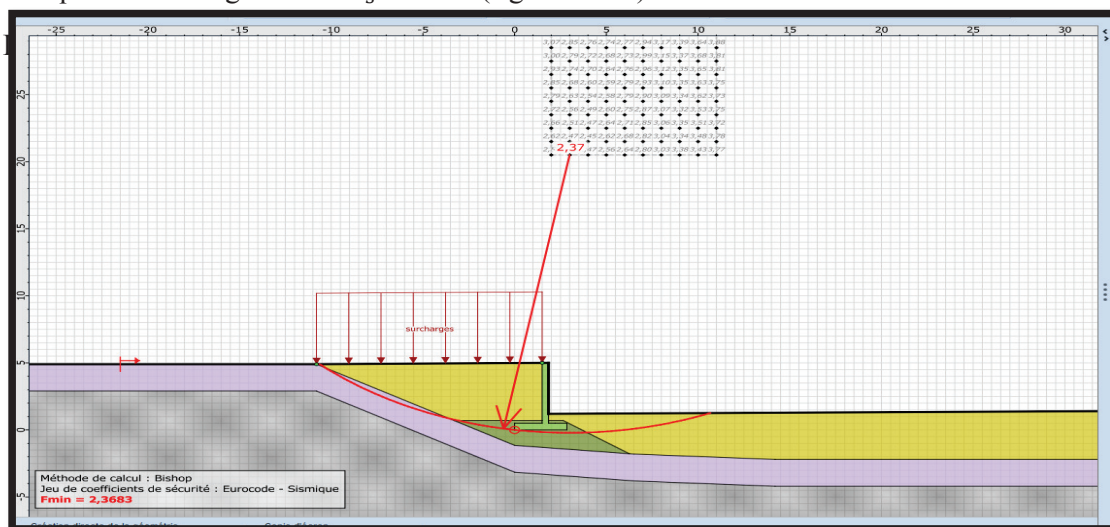


Figure VII—6 Résultats de la modélisation numérique : cas dynamique

VII.2.1.6 CONCLUSION

A l'issue des vérifications au-dessus, on peut conclure que le mur de soutènement de hauteur $H=5$ m est stable vis-à-vis du glissement, renversement, poinçonnement et glissement circulaire.

VII.2.1.7 FERRAILLAGE DU MUR DE SOUTÈNEMENT

L'état-limite de résistance d'un mur de soutènement se vérifie en appliquant les Règles BAEL. Le calcul de la structure d'un mur de soutènement nécessite l'étude de certaines sections critiques comme le montre la figure suivante :

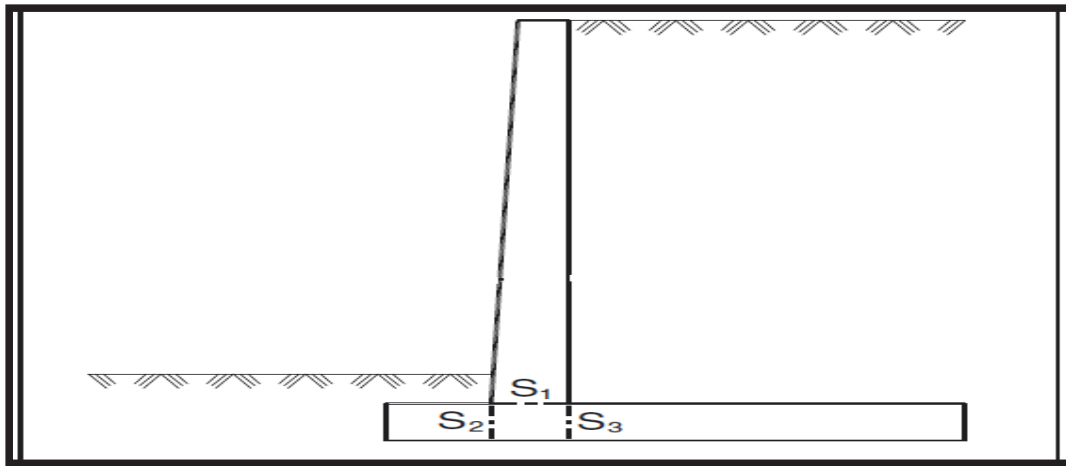


Figure VII—7 Sections critiques

Où :

S1 = encastrement du voile sur la semelle.

S2 = encastrement du patin sur le voile

S3 = encastrement du talon sur le voile

Pour la détermination du ferrailage du voile, on prend en compte les forces horizontales s'exerçant au-dessus des sections S1.

En ce qui concerne le patin avant et le talon arrière de la semelle, on adopte, pour le calcul des moments sollicitant les sections S2 et S3, un diagramme des réactions du sol ainsi que les forces verticales qui s'exercent à l'arrière du mur.

Le calcul ne permet de déterminer que le ferrailage principal. Il est nécessaire de compléter celui-ci par un ferrailage secondaire pour tenir compte des dispositions constructives et des multiples effets secondaires existant dans ce type d'ouvrage. Le ferrailage secondaire est déterminé comme suit :

- **Pour le voile**

L'écartement de deux armatures de même direction d'une même nappe ne doit pas excéder 0,30 m (valable pour le voile et la semelle).

☛ Face arrière (côté terre) :

Fils ou barres de répartition horizontaux de façon que la section d'acier corresponde à :

$$A_h \text{ (En } cm^2 / m) > 0,10e_1.$$

Avec e_1 épaisseur du voile (en cm) à l'encastrement sur la semelle.

✚ Face avant (vue) :

«Armatures de peau» dans le sens vertical (A_v) et horizontal (A_h) de façon que la section d'acier dans chaque sens corresponde à :

$$A_v \text{ (En } cm^2 / m) > 0,10e_1 \text{ (cm).}$$

$$A_h \text{ (En } cm^2 / m) > 0,075e_1 \text{ (cm).}$$

- **Pour la semelle (patin et talon)**

Il convient de disposer en armatures de répartition perpendiculaires aux armatures principales, une section A_r d'acier satisfaisant à :

$$A_r \text{ (cm}^2 / m) \geq 0,10e_2 \text{ (cm) pour le patin.}$$

$$A_r \text{ (cm}^2 / m) \geq 0,10e_3 \text{ (cm) pour le talon.}$$

Où : e_2 et e_3 successivement les épaisseurs du patin et talon.

- **Ferraillage du voile(Rideau)**

✚ **Détermination des armatures principales :**

Hypothèse de calcul :

- Fissurations sont très préjudiciables.
- $f_{c28} = 30 \text{ MPa.}$
- $f_{t28} = 2.4$

La détermination du ferraillage principal se fait dans la situation la plus défavorable, dans notre cas la situation la plus défavorable est le « cas dynamique » (présence de l'effort sismique) lors d'un séisme descendant.

Le schéma ci-dessous montre les forces horizontales qui s'exercent sur le voile.

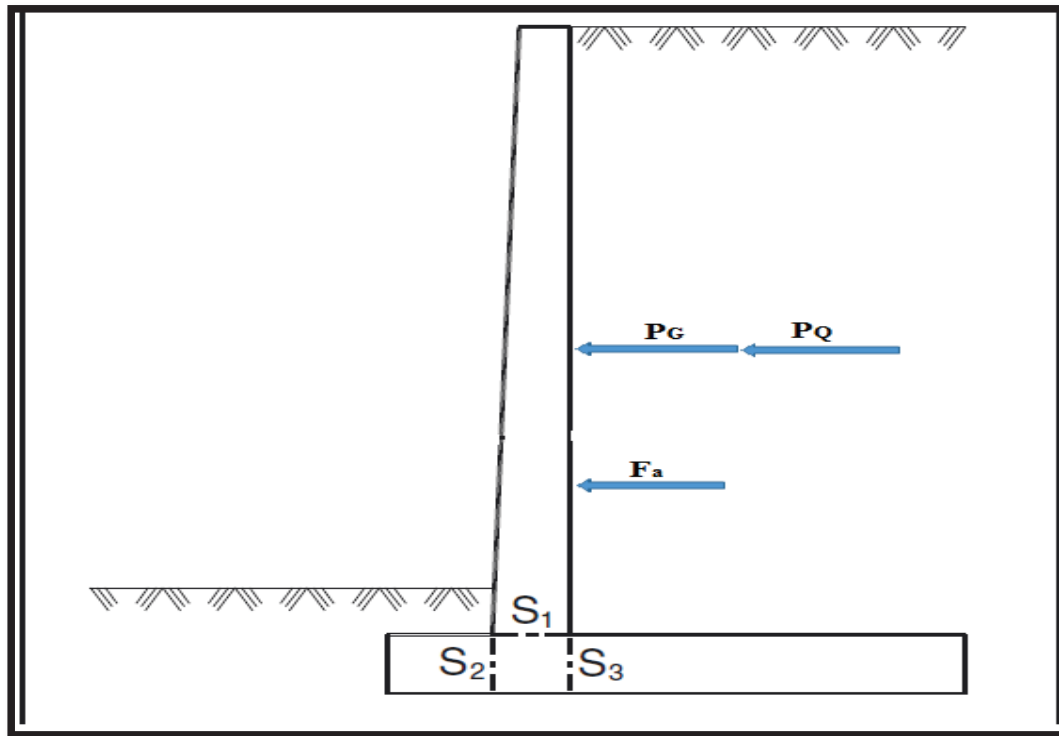


Figure VII—8 Forces appliquées sur le voile

Les sollicitations sur le voile et les moments générés dans la section S1 sont représentés au tableau suivant :

Tableau VII-4 Récapitulatif des forces appliquées sur le voile

Désignation	Force (KN)	Bras de levier (m)	Moment/S1 (KN.m)
Poussée des terres	78.7	2	157
Poussée due à Q	26.2	2	52
Effort sismique descendant	6.7	1.06	7.1

L'état limite déterminant est en fonction du critère de fissurations. Dans notre cas, les fissurations sont très préjudiciables, donc l'état limite déterminant est l'état limite de service (ELS).

La combinaison d'action à prendre en considération est donc : $G + Q + F_a$

$$M_{ser} = M_G + M_Q + M_{F_a}$$

$$M_{ser} = 157 + 52 + 7.1 = 217.1 \text{ KN.m} = 0.217 \text{ MN.m.}$$

$$N_{ser} = (0.5 \times 4.5) \times 25 = 56.25 \text{ KN.m} = 0.0562 \text{ MN.m.}$$

L'excentricité $e = \frac{0.217}{0.0562} = 3.86$ étant grand donc on considère par simplification que la section est soumise à une flexion simple.

Le ferrailage est calculé pour une bande de 1 m du voile d'où la section du ferrailage à pour hauteur $h=0.5$ m et largeur $b=1$ m.

$$\sigma_{bc} = 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{st} = \min\left\{0.8 \left(\frac{2}{3}\right) f_e; \max(0.4f_e; 88\sqrt{\eta f_{tj}})\right\} \text{ Avec } \eta=1.6.$$

$$\sigma_{st} = 172.4 \text{ MPa.}$$

$$X = \frac{15\sigma_{bc}}{15\sigma_{bc} + \sigma_{st}} \cdot d \text{ avec } d = 0.9h = 0.9 \times 0.5 = 0.45 \rightarrow X = 0.27 \text{ m.}$$

$$Z = d - \frac{X}{3} = 0.36 \text{ m}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot X \cdot \sigma_{bc} \cdot Z = 0.88 \text{ MN.m}$$

Donc on a : $M_{ser} = 0.217 < M_1 = 0.88$ d'où la section est sans armatures comprimées.

$$\text{Par conséquent : } A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z \cdot \sigma_{st}} = \frac{0.217}{0.36 \times 172.4} \times 10^4 = 18.1 \text{ cm}^2.$$

$$A_{ser} = 18.1 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non-fragilité :

$$0.23 \frac{f_{tj}}{f_e} \cdot b \cdot d = 0.23 \times \frac{2.4}{400} \times 1 \times 0.45 = 6.21 \text{ cm}^2$$

$A_{ser} > 6.21$ Condition vérifiée.

Choix des barres : 6HA20 espacées de 15 cm avec un enrobage de 5 cm.

✚ Détermination des armatures secondaires :

Face arrière (armatures de répartition) :

$$A_h \text{ (En } cm^2 / m) > 0,10e_1 \rightarrow A_h > 0,10 \times 50 = 5 \text{ } cm^2.$$

Choix des barres : 14HA12 = espacées de 30 cm avec un enrobage de 5 cm.

Face avant :

$$A_v \text{ (En } cm^2 / m) > 0,10 e_1 \text{ (cm)} \rightarrow A_v > 0,1 \times 50 = 5 \text{ } cm^2.$$

$$A_h \text{ (En } cm^2 / m) > 0,075e_1 \text{ (cm)} \rightarrow A_h > 0,075 \times 50 = 3,75 \text{ } cm^2.$$

Choix des barres :

$A_v \rightarrow$ 5HA12 espacées de 18 cm.

$A_h \rightarrow$ 12HA12 espacées de 35 cm.

• **Ferraillage de la semelle**

De même que le voile, la détermination du ferraillage se fait dans le cas le plus défavorable, en l'occurrence le « cas dynamique » lors d'un séisme descendant.

✚ Ferraillage du patin avant :

Le schéma suivant montre les forces qui s'exerçant sur le patin avant :

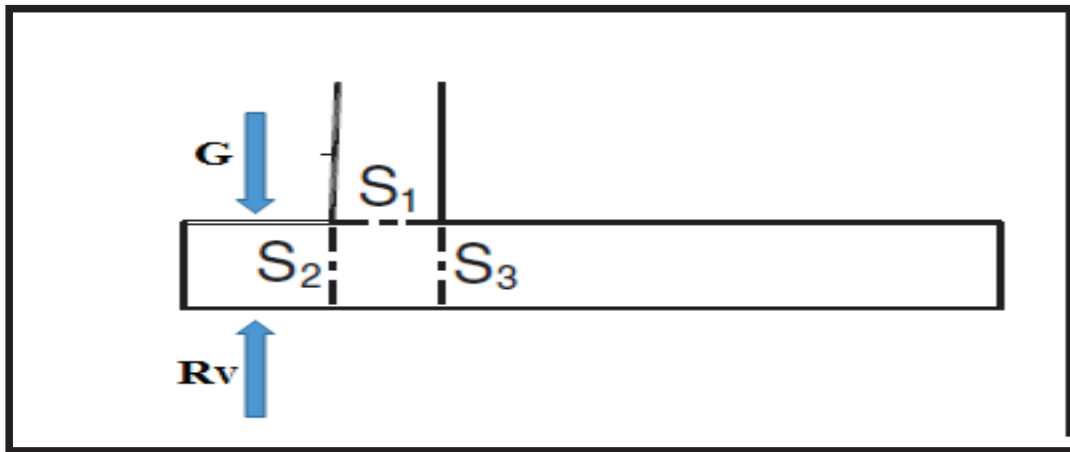


Figure VII—9 Forces appliquées sur le patin

Les forces et moments s'exerçant sur le patin sont résumés dans le tableau suivant :

Figure VII—10 Récapitulatif des forces appliquées sur le voile

Désignation	Forces (KN)	Bras de levier (m)	Moment/S2 (KN.m)
Poids du patin	12.5	0.5	6.25
Résultante de la réaction du sol	116.7	0.5	58.35

Les armatures principales :

Les fissurations sont très préjudiciables donc l'état limite déterminant est l'état limite de service (ELS)

La combinaison de charges dans ce cas est : $G + Q$

La section du béton a ferrillée a pour hauteur $h = 0.5\text{m}$ et largeur $b = 1\text{ m}$.

$$M_{ser} = 58.35 - 6.25 = 52.1 \text{ KN.m} = 0.0521 \text{ MN.m}$$

$$\sigma_{bc} = 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{st} = \min\left\{0.8\left(\frac{2}{3}\right) f_e; \max(0.4f_e; 88\sqrt{\eta f_{tj}})\right\} \text{ Avec } \eta=1.6.$$

$$\sigma_{st} = 172.4 \text{ MPa.}$$

$$X = \frac{15\sigma_{bc}}{15\sigma_{bc} + \sigma_{st}} \cdot d \text{ avec } d = 0.9h = 0.9 \times 0.5 = 0.45 \rightarrow X = 0.274 \text{ m}$$

$$Z = d - \frac{X}{3} = 0.358 \text{ m}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot X \cdot \sigma_{bc} \cdot Z = 0.88 \text{ MN.m}$$

Donc on a : $M_{ser} = 0.0521 < M_1 = 0.88$ d'où la section est sans armatures comprimées.

$$\text{Par conséquent : } A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z \cdot \sigma_{st}} = \frac{0.0521}{0.358 \times 172.4} \times 10^4$$

$$A_{ser} = 8.44 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non-fragilité :

$$0.23 \frac{f_{tj}}{f_e} \cdot b \cdot d = 0.23 \times \frac{2.4}{400} \times 1 \times 0.45 = 6.21 \text{ cm}^2$$

$A_{ser} > 6.21$ Condition vérifiée.

Choix des barres : 8HA12 espacées de 10 cm avec un enrobage de 5 cm.

Les armatures secondaires :

$$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,10 \times 50 = 5 \text{ cm}^2.$$

Choix des barres : 5HA12 espacés de 15 cm avec un enrobage de 5 cm.

 **Ferraillage du talon arrière :**

Les forces appliquées sur le talon arrière de la semelle sont montrées sur le schéma suivant :

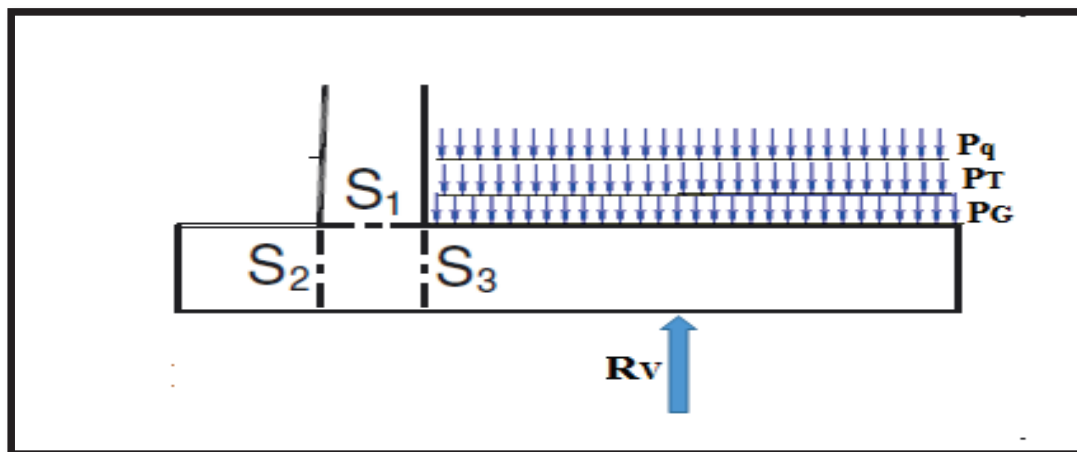


Figure VII—11 Forces appliquées sur le patin arrière

Le tableau ci-dessous résume les forces et moments appliquées sur le patin arrière :

Désignation	Forces (KN)	Bras de levier(m)	Moment/S2 (KN.m)
Poids du patin (P_G)	25	1	25
Poids des terres (P_T)	169.3	1	169.3
Résultante de la réaction du sol (R_V)	5.95	1	5.95

Les armatures principales :

Les fissurations sont très préjudiciables donc l'état limite déterminant est l'état limite de service (ELS).

La combinaison de charges dans ce cas est : $G + Q$

La section du béton a ferrillée a pour hauteur $h = 0.5\text{m}$ et largeur $b = 1\text{ m}$.

$$M_{ser} = 25 + 169.3 + 30 - 5.95 = 218.35 \text{ KN.m} = 0.218 \text{ MN.m}$$

$$\sigma_{bc} = 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{st} = \min\left\{0.8\left(\frac{2}{3}\right)fe; \max(0.4fe; 88\sqrt{\eta f_{tj}})\right\} \text{ Avec } \eta=1.6.$$

$$\sigma_{st} = 172.4 \text{ MPa.}$$

$$X = \frac{15\sigma_{bc}}{15\sigma_{bc} + \sigma_{st}} \cdot d \text{ avec } d = 0.9h = 0.9 \times 0.5 = 0.45 \rightarrow X = 0.274 \text{ m.}$$

$$Z = d - \frac{X}{3} = 0.358 \text{ m}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot X \cdot \sigma_{bc} \cdot Z = 0.88 \text{ MN.m}$$

Donc on a : $M_{ser} = 0.218 < M_1 = 0.88$ d'où la section est sans armatures comprimées.

Par conséquent : $A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z \cdot \sigma_{st}} = \frac{0.218}{0.358 \times 172.4} \times 10^4$

$A_{ser} = 18.3 \text{ cm}^2$

Vérification de la condition de non-fragilité :

$0.23 \frac{f_{tj}}{f_e} \cdot b \cdot d = 0.23 \times \frac{2.4}{400} \times 1 \times 0.45 = 6.21 \text{ cm}^2$

$A_{ser} > 6.21$ Condition vérifiée.

Choix des barres : 6HA20 espacées de 15 cm avec un enrobage de 5 cm.

Armatures secondaires :

$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,10 \times 50 = 5 \text{ cm}^2$.

Choix des barres : 5HA12 espacés de 30 cm avec un enrobage de 5 cm.

Afin de supporter les armatures supérieures de la semelle, il est nécessaire d'intercaler entre celles-ci et le béton de propreté, un certain nombre de « chaises ».

Le ferrailage final du mur de soutènement est présenté sur la figure (VII-11).

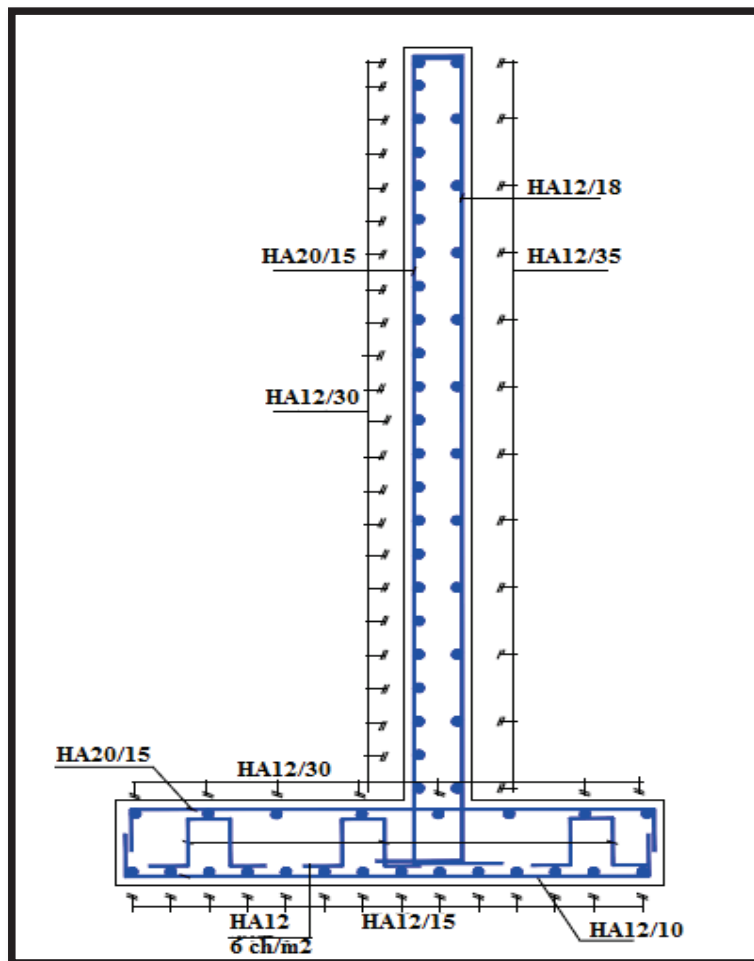


Figure VII—12 ferrailage du mur de soutènement (H=5 m)

VII.2.2 LES ESCALIERS

Des escaliers reliant les trottoirs projetés de dédoublement à la promenade sont également prévus. Ces escaliers sont constituées de deux volées (paillasse) en béton armé sur les quels sont disposés des gardes de corps, et aussi un palier qui s'appuie sur deux poteaux (figure VII-12).

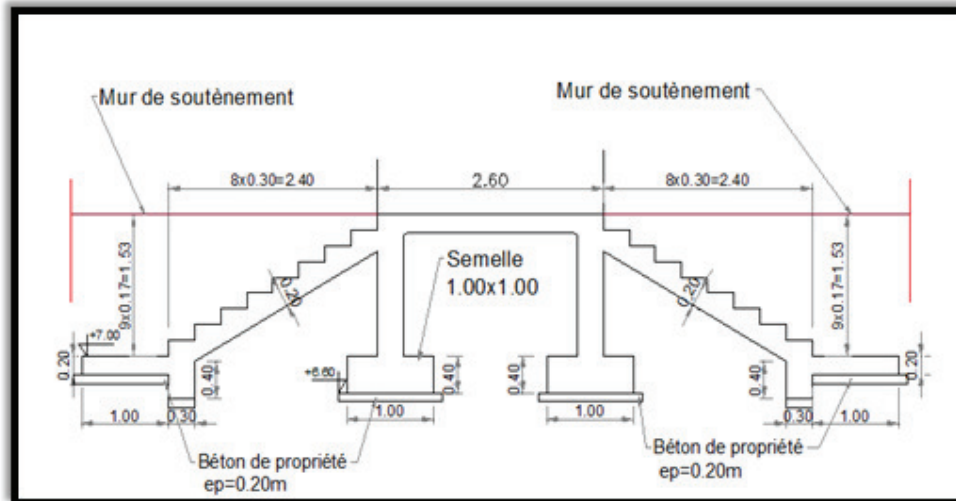


Figure VII—13 dimensions des escaliers

VII.2.2.1 DIMENSIONS DES ESCALIERS

- **Dimensions des marches**

Pour les dimensions des marches « g » et contre marches « h », nous utiliserons la formule de BLONDEL :

$$59 \leq 2h + g \leq 66 \text{ cm}$$

Avec h : hauteur de la marche (contre marche).

g : largeur de la marche.

Nous prendrons $2h + g = 64 \text{ cm}$

H : hauteur entre les faces supérieures entre deux paliers successifs.

n : nombre de contre marches.

L : projection horizontale de la longueur totale de la volée.

Dimensionnement des marches et contre marches

$$H = n \times h \Rightarrow h = \frac{H}{n}$$

$$L = (n-1) \cdot g \Rightarrow g = \frac{L}{(n-1)}$$

$$\text{D'après BLONDEL nous avons : } \frac{L}{(n-1)} + 2 \times \frac{H}{n} = m$$

$$\text{Donc nous aurons : } m n^2 - (m+1+2H) n + 2H = 0$$

$$\text{Avec } m = 64, H = 153 \text{ cm et } L = 240 \text{ cm}$$

$$\text{Donc l'équation devient } 64n^2 - 610n + 306 = 0$$

La solution de l'équation est : $n = 9$ contre marches

Donc le nombre de marches $(n-1) = 8$ marches

Ce qui nous donne :

$$h = \frac{H}{n} = \frac{153}{9} = 17 \text{ cm ; une hauteur de marche de 17 cm.}$$

$$g = \frac{L}{n-1} = \frac{240}{8} = 30 \text{ cm ; une largeur de marche de 30 cm.}$$

- **Epaisseur de la paillasse**

$$\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20} \text{ donc } 0.8 \leq e_p \leq 0.12, \text{ on prend } e_p = 12 \text{ cm}$$

- **Epaisseur du palier**

$$e_v = \frac{ep}{\cos \alpha} = 13.8 \text{ cm avec un angle de } 30^\circ$$

Nous prendrons une même épaisseur pour la paillasse et le palier : $e_p = e_v = 15 \text{ cm.}$

VII.2.2.2 EVALUATION DES CHARGES ET SURCHARGES

- **Paillasse :**

Elle définit la dalle inclinée supportant les marches et contres marches de l'escalier et assure la transmission des charges et surcharges. Elle a une longueur de 2.4 m et une largeur de 2m, cependant le calcul se fera sur une bande de largeur de 1m.

Pour les lieux publics nous prendrons une surcharge de 2.5kn/m² (d'après le document technique règlementaire).

Tableau VII-5 Evaluation des charges et surcharges de la paillasse

Désignation	Poids KN/m
Poids propre des marches	1.87
Enduit en plâtre	0.18
Revêtement en carrelage horizontal	0.44
Mortier de ciment horizontal	0.40
Lit de sable	0.34
Revêtement carrelage vertical	0.25
Mortier de ciment vertical	0.23
Poids propre de la paillasse	3.75
Garde du corps	1

Le poids propre de la paillasse : $G = 9.46 \text{ KN/m.}$

La surcharge appliquée à la paillasse : $Q = 2.5 \text{ KN/m.}$

Combinaison de charge à l'ELU : $Q_u = 1.35G + 1.5Q = 16.52 \text{ KN/m.}$

Combinaison de charge à l'ELS : $Q_s = G + Q = 11.96 \text{ KN/m.}$

- **Palier :**

Le palier est la plateforme située au départ et à l'arrivée de la volée et appuyée sur deux poteaux. Elle mesure 2.6m de longueur et 2m de largeur.

Tableau VII-6 Evaluation des charges et surcharges du palier

Désignation	Poids KN/m
Poids propre	3.75
carrelage	0.44
Mortier de pose	0.40
Lit de sable	0.4
Enduit de plâtre	0.10

Le poids propre du palier $G = 5.14 \text{ kn/m}$

La surcharge appliquée au palier $Q = 2.5 \text{ KN/m}$

Combinaison de charges à l'ELU $Q_u = 1.35G + 1.5Q = 10.7 \text{ KN/m}$

Combinaison de charges à l'ELS $Q_s = G + Q = 7.64 \text{ KN/m}$

Schéma statique

La figure ci-dessous montre schéma statique qui nous a permet de calculer le moment de flexion et l'effort tranchant pour, ensuite, déterminer le ferrailage nécessaire.

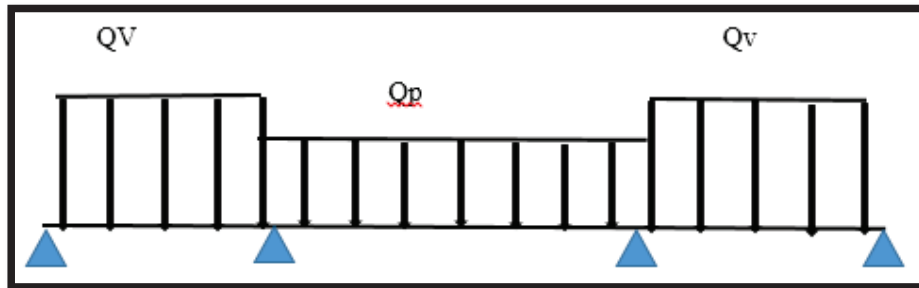


Figure VII—14 schéma statique des escaliers

VII.2.2.3 CALCUL DES MOMENTS SOLLICITANT

Après avoir modélisé les escaliers sous forme de poutre hyperstatique et insérer les données d'entrée concernant la section et les matériaux utilisés sur le logiciel robot nous avons obtenu les résultats suivants :

- **Combinaison des charges à l'ELU :**

$$Q_u = 1.35G + 1.5Q$$

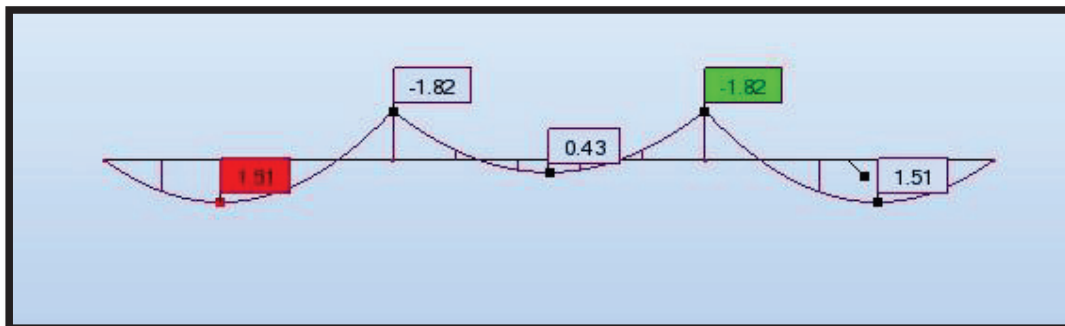


Figure VII—15 diagramme des moments à l'ELU

A partir de la figure (VII-14) nous avons : $M_u = 18.2 \text{ KN.m}$ à mi-travée.

$M_u = 15.2 \text{ KN.m}$ sur appuis.

- **Combinaison de charges à l'ELS :**

$$Q_{ser} = G + Q$$

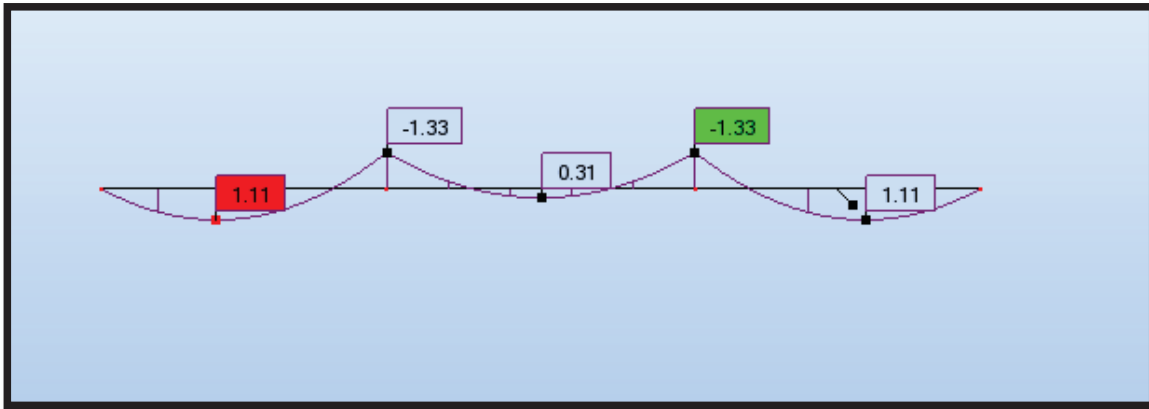


Figure VII—16 diagrammes des moments à l'ELS

Les résultats obtenus pour ce cas de charge sont : $M_{ser} = 13.3 \text{ KN.m}$ sur appuis.

$M_{ser} = 11.1 \text{ KN.m}$ à mi-travée.

VII.2.2.4 DETERMINATION DU FERRAILLAGE DES ESCALIERS

Le ferrailage se fera sur une bande de 1 mètre et une hauteur de 0.15m comme illustré ci-dessous :

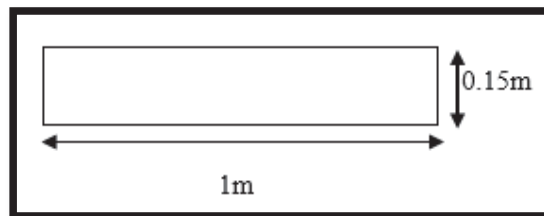


Figure VII—17 Section du béton à ferrillée

- Armature principale

$$h = 0.15 \text{ m}$$

$$b = 1.00 \text{ m}$$

$$d = 0.9h = 0.135 \text{ m}$$

Les fissurations sont très préjudiciables, l'état limite déterminant est l'état limite de service (ELS).

$$\sigma_{st} = 13.3 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_{st} = \min \{0.8 (2/3f_e), \max (0.4f_e, 88\sqrt{nf_{tj}})\} \quad (n = 1.6, \text{ fissuration très préjudiciable})$$

$$\sigma_{st} = \min \{213.3, 172.4\}$$

$$\sigma_{st} = 172.4 \text{ MPA}$$

$$X = \frac{15\sigma_{bc}}{15\sigma_{bc} + \sigma_{st}} \cdot d \quad \text{avec} \quad \sigma_{bc} = 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPA}$$

$$X = 0.08 \text{ m}$$

$$Z = d - \frac{X}{3}$$

$$Z = 0.11\text{m}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot X \cdot \sigma_{bc} \cdot Z$$

$$M_1 = 0.079\text{MPA}$$

$M_{ser} < M_1$ donc nous n'aurons pas besoin d'armatures comprimées.

$$\text{Donc nous obtenons une section } A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z \cdot \sigma_{st}} = \frac{0.0133}{0.11 \times 172.4} \times 10^4 = 7.02\text{cm}^2$$

$$A_s = 7.92\text{cm}^2 \text{ donc } 7\text{HA}12$$

Nous adoptons une section $A_s = 7.92\text{cm}^2$

Condition de non fragilité

$$A_s > 0.23 (f_{tj}/f_c) bd = 2.4 \text{ cm}^2 \quad \text{condition vérifiée.}$$

- Armature de répartition :

$$A_r = A_s / 4 = 1.76 \text{ cm}^2 \text{ } 3\text{HA}10$$

Nous adopterons donc une section $A_r = 2.36\text{cm}^2$

$$A_r = 2.36\text{cm}^2 \text{ donc } 3\text{HA}10$$

Le schéma ci-dessous montre la disposition du ferrailage.

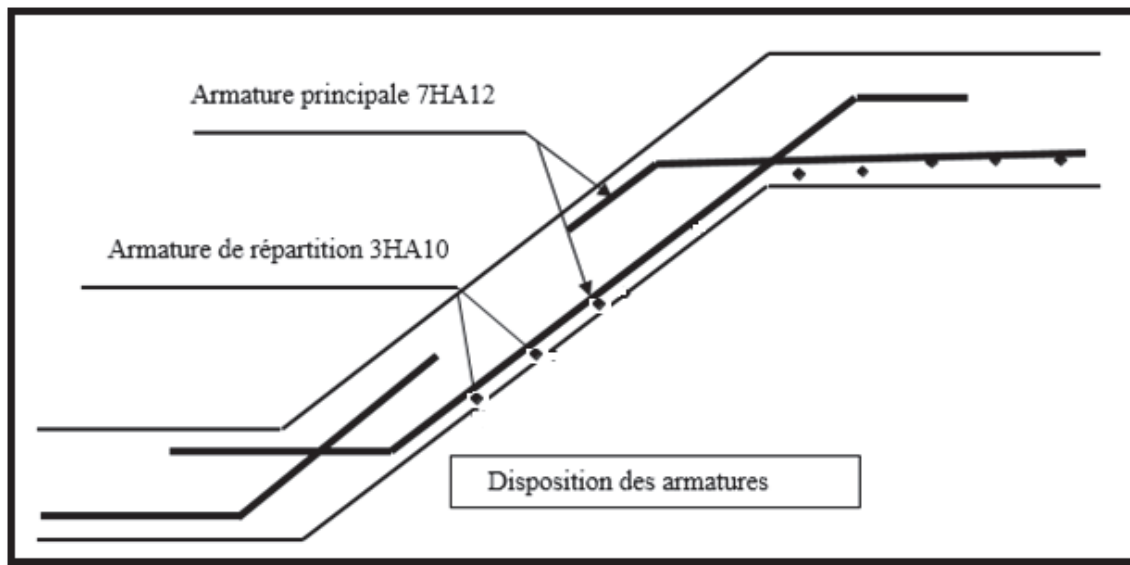


Figure VII—18 disposition des armatures

Vérification d l'effort tranchant :

Voici le résultat obtenu à l'aide du logiciel robot (figure VII-18), nous constatons que la valeur la plus élevée de l'effort tranchant se situe sur les appuis intermédiaires et a pour valeur 46.5KN.

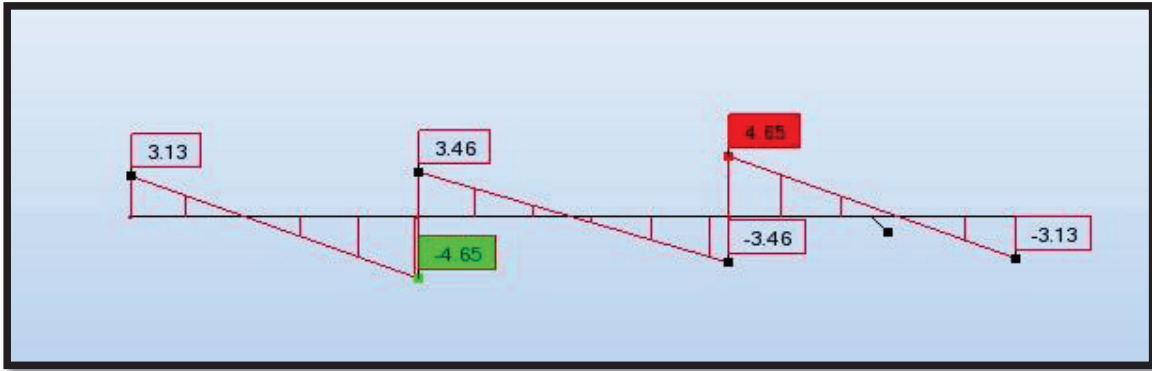


Figure VII—19 diagramme de l'effort tranchant

$$T_{\max} = 46.5 \text{ KN} = 0.0465 \text{ MN}$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{0.0465}{1 \times 0.135} = 0.344 \text{ MPA}$$

$$\tau_u \text{ limite} = \min(0.15 f_c / \gamma_b, 4 \text{ MPA}) \quad \text{cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable}$$

$$\tau_u \text{ limite} = 3.9 \text{ MPA} > \tau_u \text{ vérifiée}$$

$$\tau_u \text{ limite} = 3.9 \text{ MPA} > \tau_u = 0.344 \text{ MPA} \quad \text{condition vérifiée}$$

VII.2.2.5 FERRAILLAGE DES POTEAUX

Le palier s'appuie sur deux poteaux de 1.53m de hauteur sur lesquels se concentrent de façon ponctuelle les charges de la superstructure et par lesquels ces charges se répartissent vers les infrastructures de cet ouvrage (les fondations).

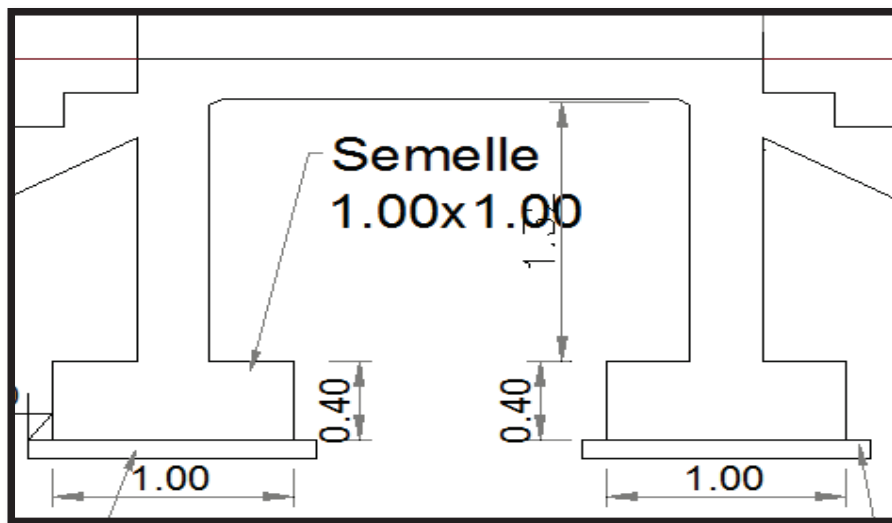


Figure VII—20 schéma des poteaux et semelles

N_u = l'effort repris par le poteau incluant la charge permanente de la superstructure, celle du poteau et la surcharge.

$$N_u = 0.073 \text{ MN}$$

La susceptibilité au flambement d'un poteau est définie par référence à l'élanement mécanique :

$$\lambda = \frac{l_f}{i}$$

Avec :

$L_f = 0.7l_0 = 1.07\text{m}$ (poteau encastré dans sa fondation).

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}}$$

L_f = longueur de flambement, fonction de la longueur libre l_0 et la nature des liaisons d'extrémités.

I : moment d'inertie de la section B par rapport à un axe passant par son CDG et perpendiculaire au plan de flambement.

B : aire totale de la section droite.

$$I = \frac{h^3 b}{12} = \frac{0.3^3 \times 0.3}{12} = 6.75 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{0.000675}{0.3 \times 0.3}} = 0.087$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = 12.3$$

$$\lambda < 50 \text{ donc } \alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = 0.83$$

Armatures principales

$$A_s = \frac{11.5}{f_e} \left[\frac{Nu}{0.85} \left(1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2 \right) - \frac{B' f_{c28}}{1.35} \right] < 0$$

$A > 4.U$ (périmètre) = 4.8cm^2 donc 4HA10 + 2HA8

$A_s = 4.8\text{cm}^2$ donc 4HA10+2HA8

Pourcentage d'armature

$$0.2 < \frac{100 \times A_s}{B} = 0.53 < 5 \text{ condition vérifiée.}$$

Armature transversale

Choix d'armatures : 1 cadre HA8

$$Q_t > \left(\frac{Q_l}{3} = 3.33\text{mm} \right)$$

S_t (l'espacement des cadres) < min [15 Q_t ; 40cm ; a+10cm] donc $S_t = 5\text{cm}$.

VII.2.2.6 FERRAILLAGE DE LA SEMELLE

La semelle carrée est ancrée dans un sol de 2bars de résistance. Elle permet de transmettre la charge ponctuelle.

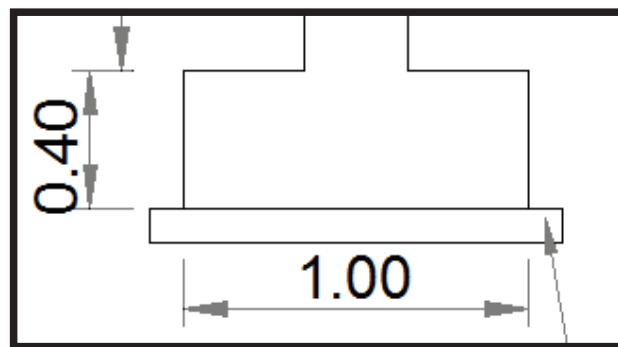


Figure VII—21 schéma de la semelle

Dans ce qui suit, nous utiliserons les notations suivantes :

N_u : effort normal a l'état ultime.

N_{ser} : effort normal en service.

σ_{sol} : Contrainte appliquée par la structure à travers la semelle.

σ_s : Contrainte admissible du sol qui est de 2 bars.

B : largeur de la semelle.

A : longueur de la semelle.

a : largeur du poteau

b : longueur du poteau

d : hauteur utile.

h : épaisseur de la semelle

$N_u = 87\text{KN}$

$N_{ser} = 63\text{ KN}$

$$\sigma_{sol} = \frac{N_{ser} + P_{semelle}}{\text{surface}}$$
$$\sigma_{sol} = 0.073\text{MN/m}^2 = 0.073\text{MPA}$$

$\sigma_{sol} < 0.2\text{ MPA}$ condition vérifiée

$$d = \sup \left(\frac{A-a}{4} ; \frac{B-b}{4} \right)$$

$$d = 0.175\text{m}$$

Calcul de la nappe supérieure

- à l'ELU

$$A_s = \frac{N_u(A-a)}{8.d.\frac{f_e}{1.15}}$$

$$A_s = 1.25\text{ cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$A_s > 0.23 (f_{ij}/f_c) bd = 5\text{ cm}^2$$

- à l'ELS

$$A_s = \frac{N_{ser}(A-a)}{8.d.172}$$

$$A_s = 3.2\text{ cm}^2$$

Donc nous prendrons la section la plus élevée pour plus de sécurité donc $A_s = 5\text{cm}^2$ ce qui nous donne 5HA12

$$A_s = 5\text{ cm}^2 \text{ donc 5HA12}$$

Calcul de la nappe inférieure

La semelle est carrée donc $A=B$ d'où l'obtention de la même section que la nappe supérieure 5HA12.

La disposition du ferrailage est montrée sur la figure suivante :

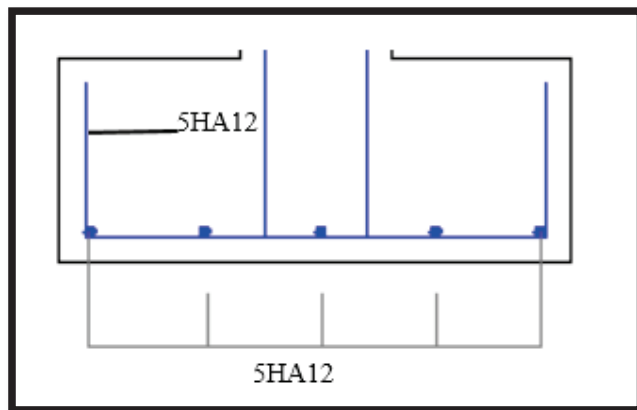


Figure VII—22 disposition du ferrailage de la semelle

VII.2.3 GARDE-CORPS

Le long de l'esplanade sera réalisé un garde-corps côté mer composé d'une poutre en béton armé sur laquelle se reposent les éléments préfabriqués en béton.

VII.2.3.1 DIMENSIONNEMENT DU GARDE-CORPS

- **Hypothèse de calcul :**

- $f_{c28} = 30MPa$.
- $f_{t28} = 2.4MPa$.
- Type d'acier : FeE400.
- Fissurations jugées très préjudiciables.
- Longueur de la poutre : 2.5 m.
- Surcharges (éléments préfabriqués) : 1 KN/m.
- Section de la poutre : (figure VII-12)

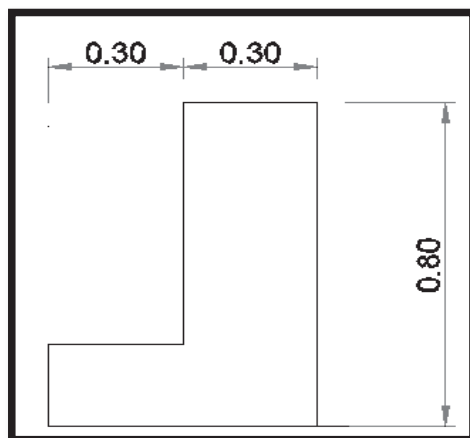


Figure VII—23 dimensions de la poutre

- **Ferrailage de la poutre :**

L'état limite déterminant est l'état limite de service (ELS), vu que les fissurations sont très préjudiciables.

Le moment sollicitant (armatures longitudinales) :

$$M_{ser} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{g \cdot l^2}{8}$$

Avec : q : surcharges uniformes des éléments préfabriqués q = 1 KN/m

G : poids propre de la poutre g = 7.5 KN/m

$$\text{Donc : } M_{ser} = \frac{1 \times 2.5^2}{8} + \frac{7.5 \times 2.5^2}{8} = 6.6 \text{ KN.m}$$

Le calcul de la section des armatures a été fait à l'aide du logiciel EXPERT 2010.

Résultats :

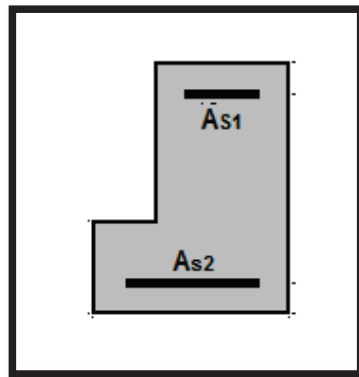


Figure VII—24 sections d'acier

Section théorique : $A_{s1} = 3,3 \text{ cm}^2$; Section théorique : $A_{s2} = 0,0 \text{ cm}^2$ (SSAC)

Section minimum : $A_{s \text{ min}} = 3,3 \text{ cm}^2$.

Choix des barres : 8HA10.

L'effort tranchant (armatures transversales) :

$$V_{max} = 11 \text{ KN} = 0.011 \text{ MN}$$

$$\tau_u = \frac{V_{max}}{b \cdot d} = \frac{0.011}{0.6 \times 0.9 \times 0.8} = 0.025 \text{ MPa}$$

$$\tau_{limite} = 4 \text{ MPa.}$$

$\tau_u < \tau_{limite}$ Condition vérifiée

$$\frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} = \frac{\gamma_s [\tau_u - 0.3 \cdot f_{tj} \cdot k]}{0.9 f_e (\cos \alpha + \sin \alpha)}$$

Avec : $S_t = \min[0.9d; 40\text{cm}] = \min[64.8 ; 40] = 40 \text{ cm}$

Donc : $A_t = 2.2 \text{ cm}^2$.

La figure ci-après montre le ferrailage de poutre du garde-corps :

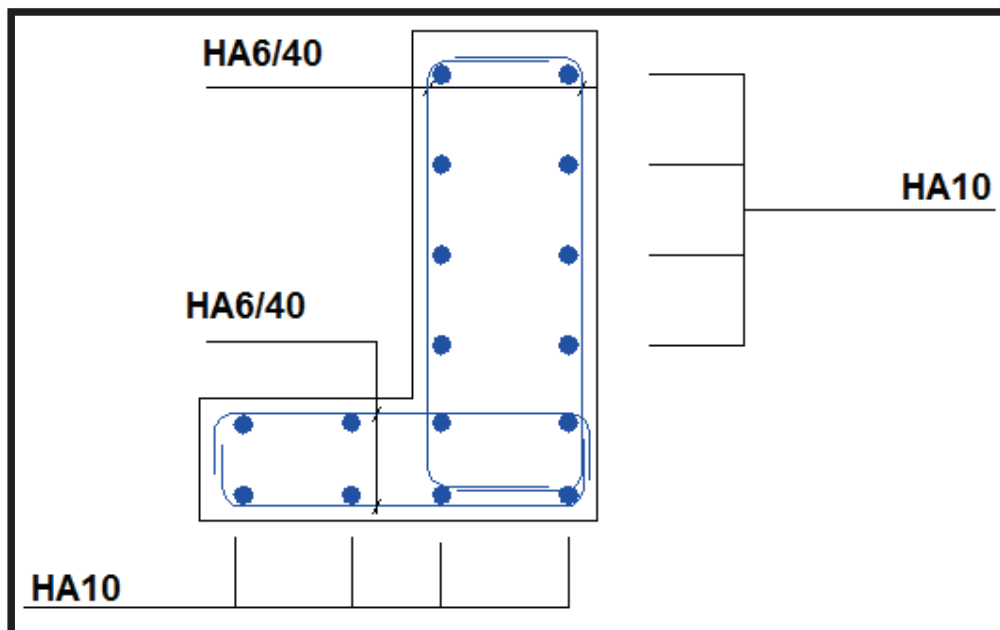


Figure VII—25 Ferrailage de ma poutre (garde-corps)

VII.3 REVETEMENTS

VII.3.1 REVETEMENT DE L'ESPLANADE

Le revêtement de la promenade sera composé de :

- une couche de réglage en grave concassée (0-40 mm) d'épaisseur de 20 cm ;
- pavés autobloquants de 6 cm d'épaisseur, reposant sur un lit de sable de 4 cm d'épaisseur.

VII.3.2 REVETEMENTS DES ACCES ET DES AIRES DE STATIONNEMENT

Le revêtement des parkings et les accès reliant la nouvelle route et les aires de stationnement sera composé de :

- une couche de réglage en grave concassée (0-40 mm) de 20 cm d'épaisseur,
- une couche de 07 cm d'épaisseur de béton bitumineux.

VII.3.3 DRAINAGE DES EAUX PLUVIALES

Le drainage des eaux pluviales de l'esplanade et les aires de stationnement est fait par gravité en surface libre avec une pente de 01%, les eaux seront évacuées vers la mer par des ouvertures chaque 03 m en bas du garde-corps.

VII.4 CONCLUSION

Ce chapitre a fait l'objet de l'étude de l'aménagement de l'esplanade et le dimensionnement des éléments constitutifs de ce dernier (mur de soutènement, escaliers, garde-corps, esplanade). Les figures ci-dessous montrent deux profils de l'esplanade.

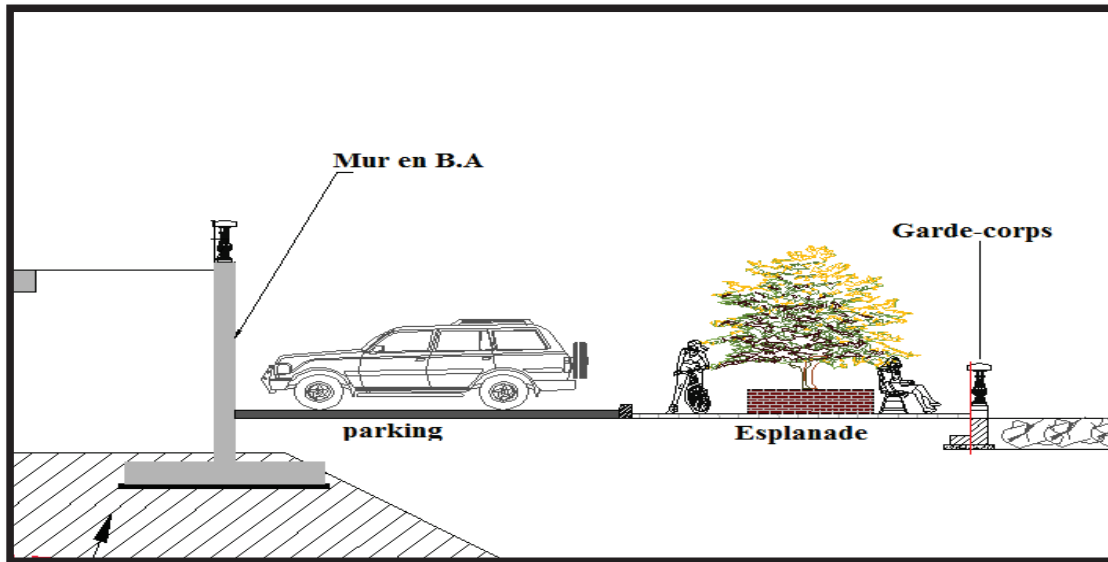


Figure VII—26 Profil de l'esplanade (avec parking)

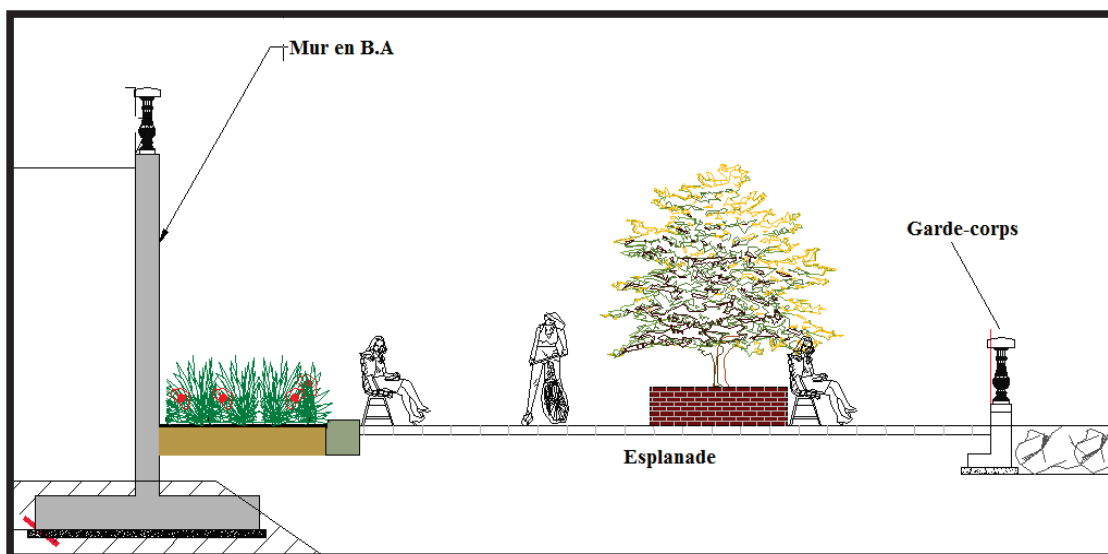


Figure VII—27 profil de l'esplanade (sans parking)

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire de fin d'études nous a permis de tester nos connaissances dans le domaine des travaux maritimes et mettre en pratique les acquis de cinq années d'études. D'une part, nous avons pu atteindre l'objectif du projet, en l'occurrence :

- Collecte et analyse de données d'un projet maritime.
- Etude de la réfraction de la houle.
- Dimensionnement d'une digue à talus.
- Etude d'un modèle réduit physique en canal à houle d'une digue à talus.
- Etude d'une esplanade (dimensionnement d'un mur de soutènement, des escaliers, d'un garde-corps...).

D'autre part, ce projet constitue pour nous une première expérience, nous a été très bénéfique que ce soit dans l'aspect scientifique ou technique, et ça reste une étape très importante qui demande des connaissances de certaines notions de base des sciences de l'ingénieur.

ANNEXES

ANNEXE I

Epures de réfraction

PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)

ETUDE DE LA REFRACTION

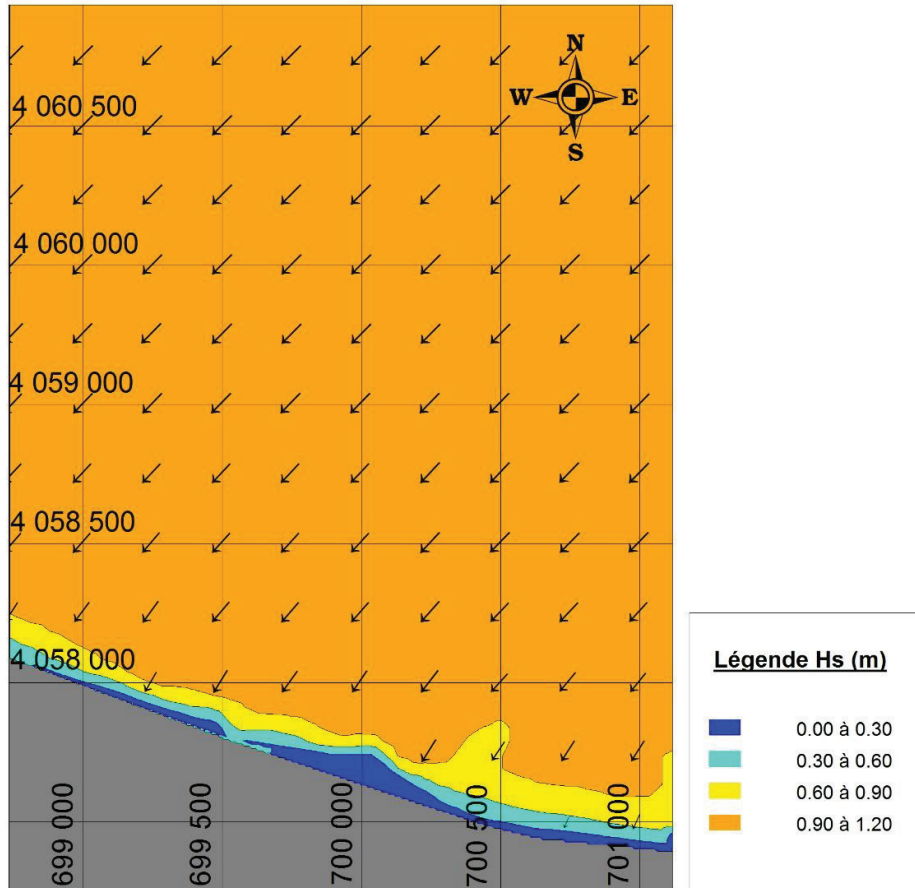
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N45°

Hs = 1.09 m , Tp = 6 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)

ETUDE DE LA REFRACTION

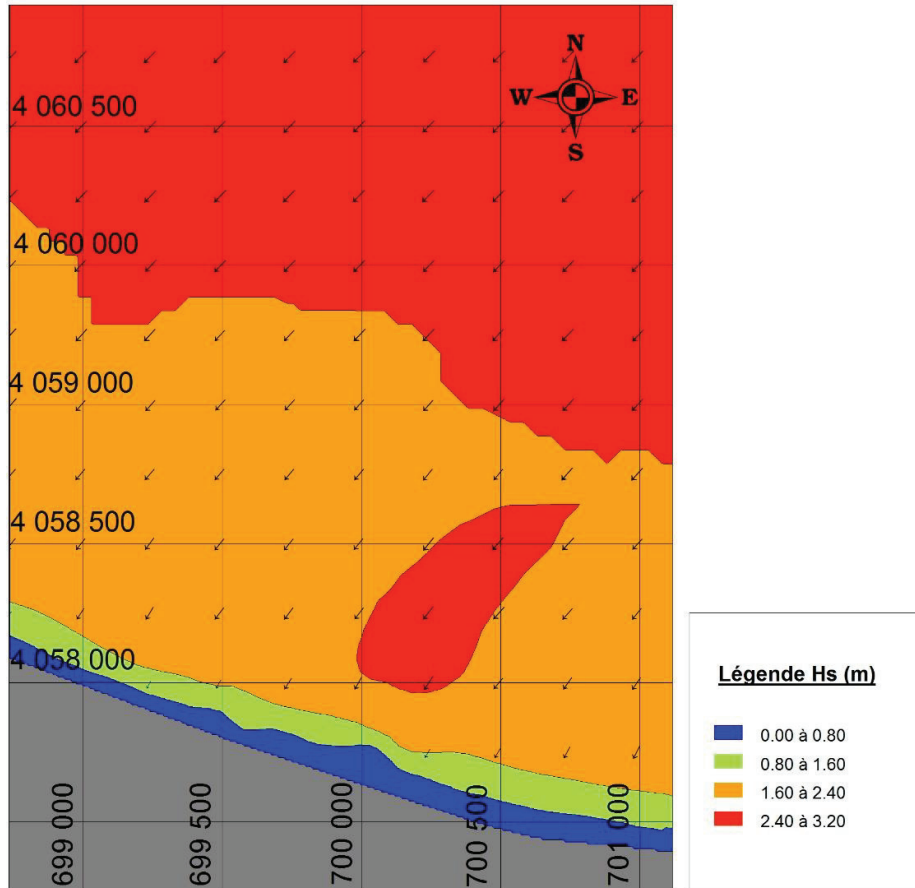
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N45°

Hs = 2.56 m , T_p = 8 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)

ETUDE DE LA REFRACTION

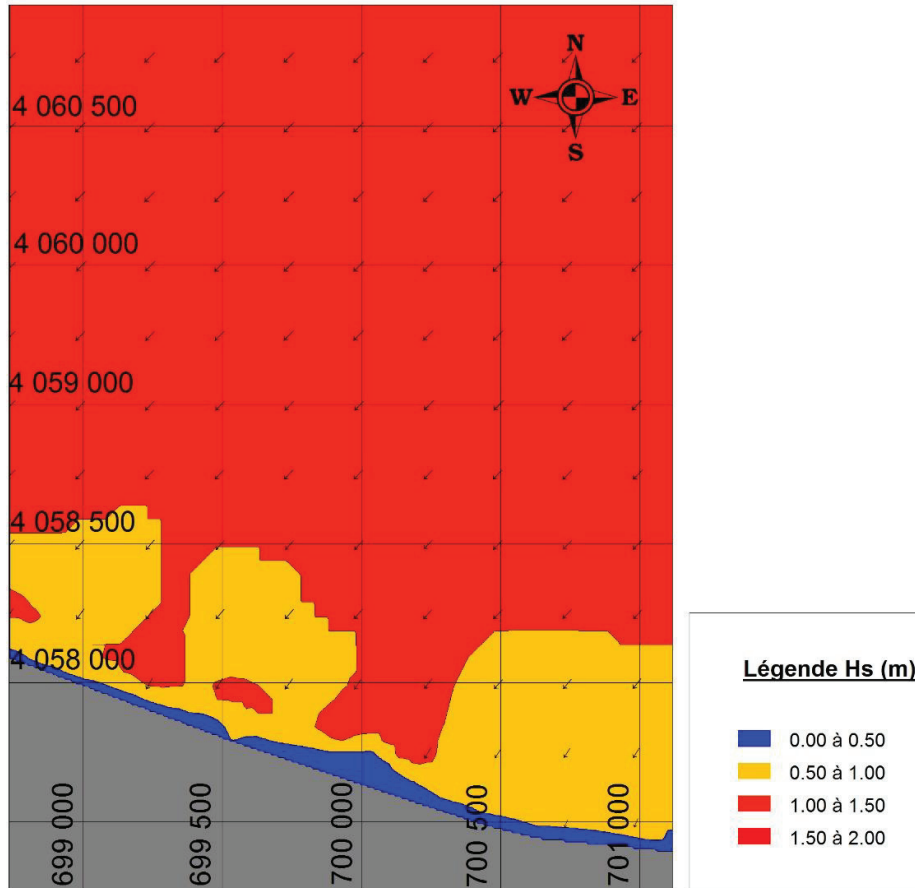
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N45°

Hs = 5.05 m , T_p = 10 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)

ETUDE DE LA REFRACTION

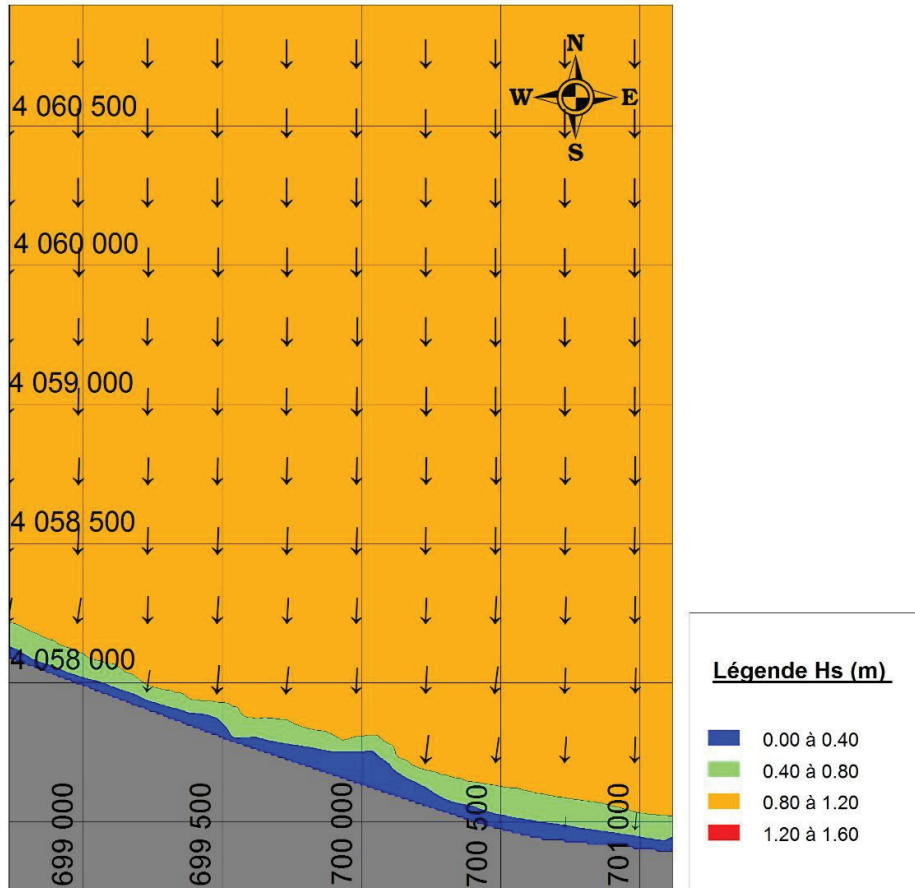
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N330°

Hs = 1.1 m , Tp = 6 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)

ETUDE DE LA REFRACTION

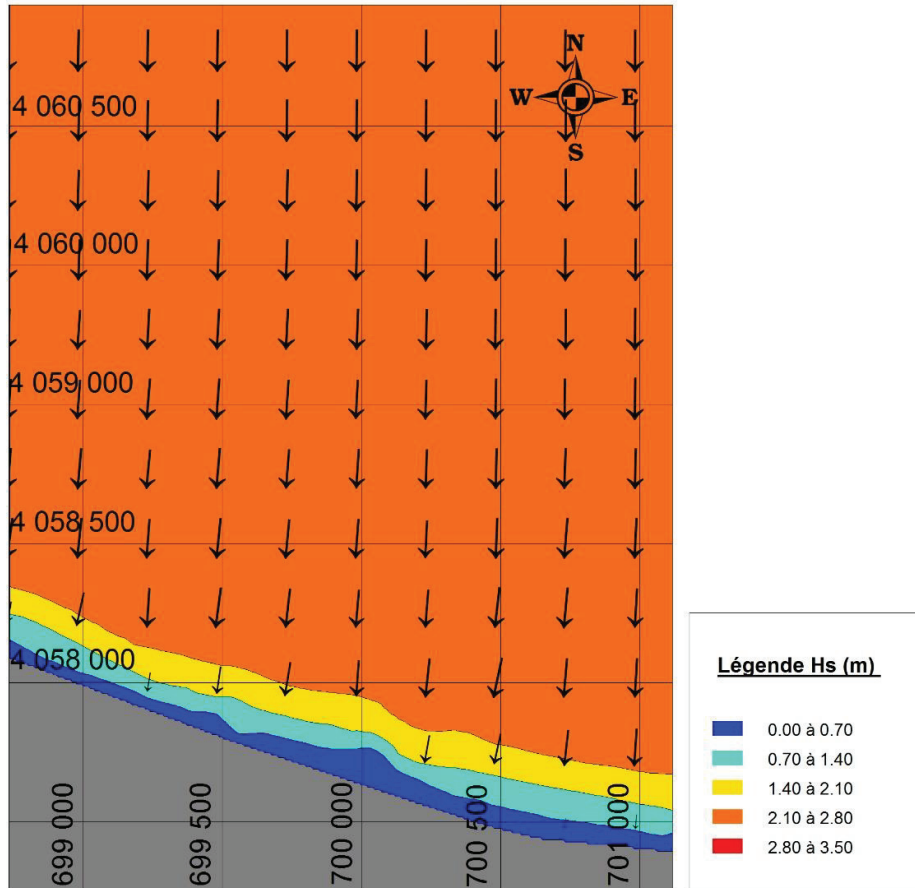
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N330°

Hs = 2.64 m , Tp = 8 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

**PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)**

ETUDE DE LA REFRACTION

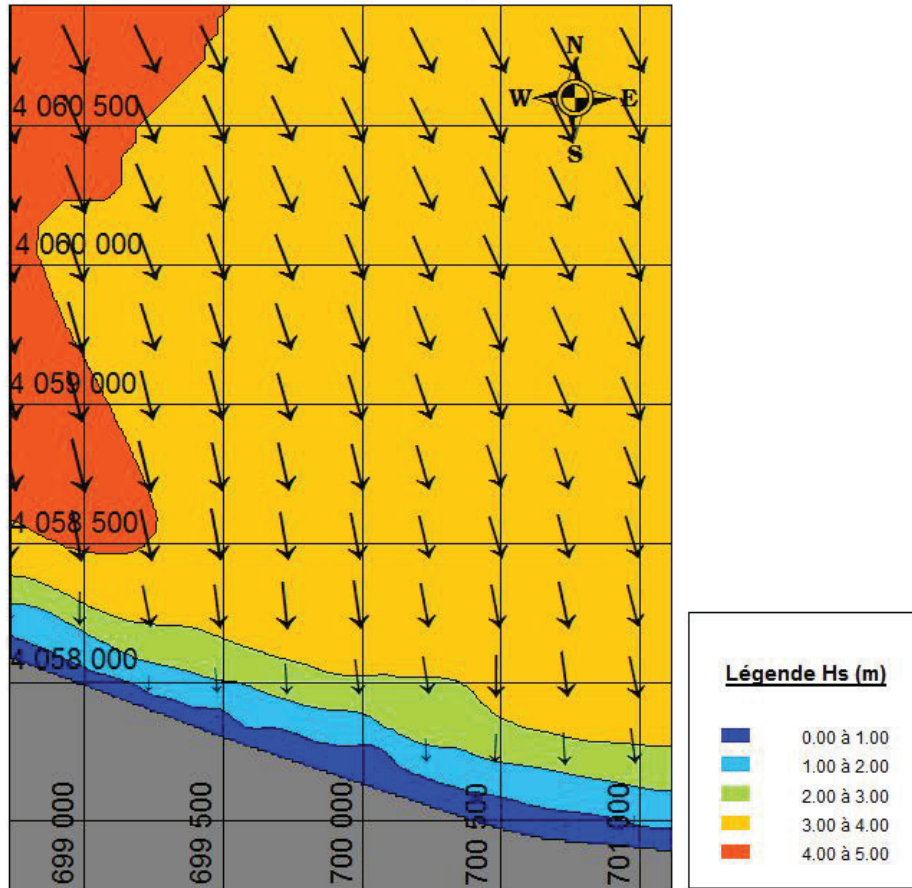
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N330°

Hs = 4.53m , Tp = 10 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

**PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)**

ETUDE DE LA REFRACTION

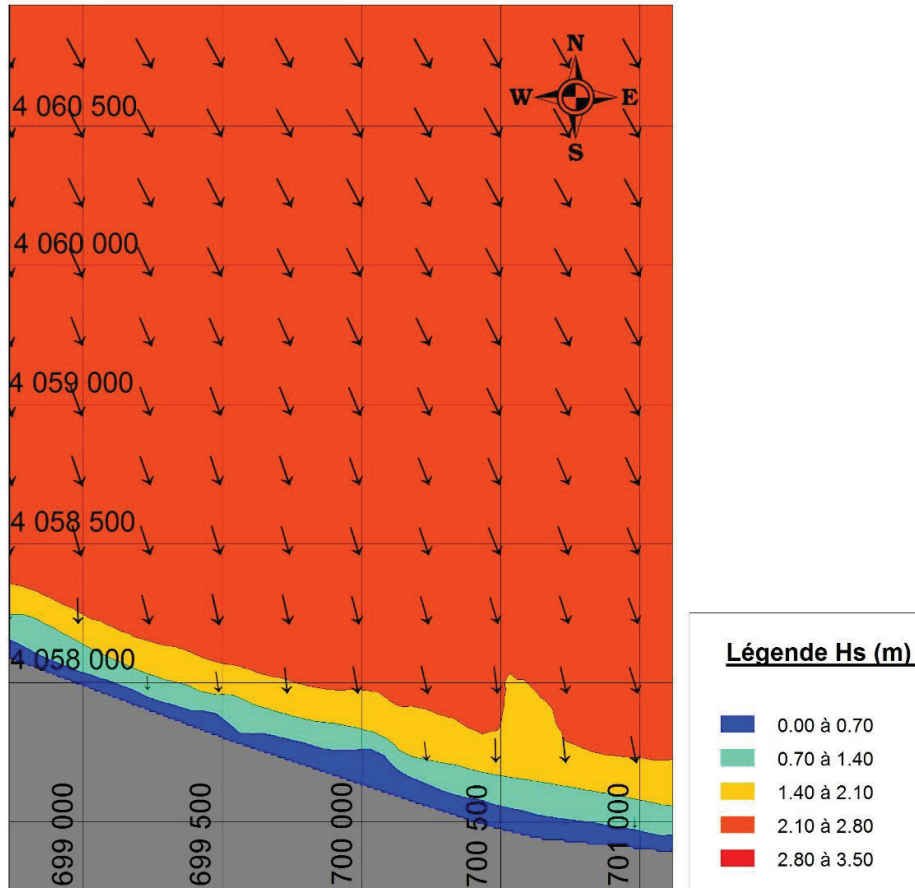
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N360°

Hs = 2.67 m , Tp = 8 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

**PROTECTION MARITIME DU DEDOUBLEMENT DE LA RN9 RIVAGE D'AOKAS
SUR 600ML (Entre PK 25+000 et PK 26+600)**

ETUDE DE LA REFRACTION

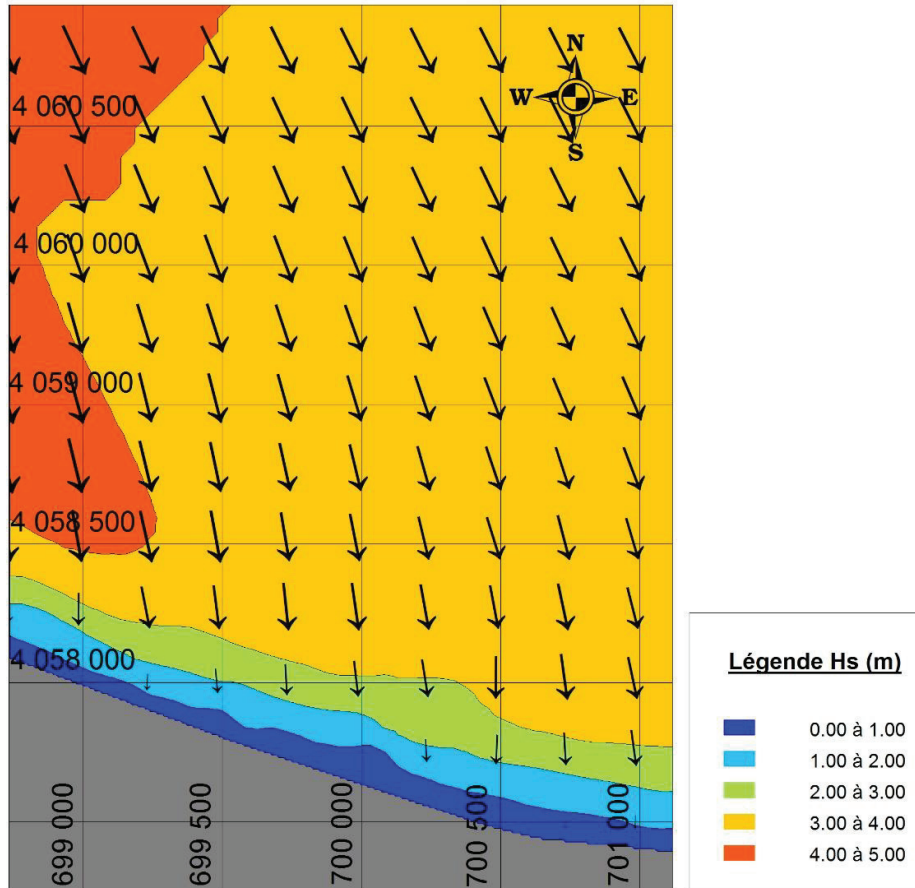
Caractéristiques de le houle au large

Houle Annuelle

Direction : N360°

Hs = 4.92 m , Tp = 10 s

Modèle de détail



Références altimétriques : NGA

Références planimétriques : UTM , WGS 84- Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM : Cote Septentrionale d'Afrique

Partie comprise entre Cap Sigli et Djidjelli. (1869)

par le service hydrographique de la marine - Paris1872

Levé bathymétrique réalisé par le LEM en Aout 2010

ANNEXE II

Tableaux

Caractéristiques de la houle annuelle au large Dir: N 45 ° Tp=6 s H=1,09 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	0,77	6,04	0,71	35	-1
2	699031	4058064	0,77	6,04	0,70	33	-1
3	699201	4057995	0,80	6,04	0,73	30	-1
4	699674	4057865	0,80	6,04	0,73	31	-1
5	700201	4057681	0,74	6,04	0,68	30	-1
6	700407	4057598	0,62	6,04	0,57	30	-1
7	700627	4057547	0,64	6,04	0,59	26	-1
8	700931	4057533	0,76	6,04	0,70	25	-1
Moyenne			0,73		0,67		
9	700800	4057614	0,89	6,04	0,82	27	-2
10	700177	4057727	0,95	6,04	0,87	31	-2
11	699709	4057885	0,90	6,04	0,83	31	-2
12	699288	4058015	0,97	6,04	0,89	32	-2
13	698978	4058168	0,94	6,04	0,86	35	-2
Moyenne			0,93		0,85		
14	698894	4058274	0,97	6,04	0,89	37	-3
15	699138	4058141	1,00	6,04	0,92	33	-3
16	699561	4058020	0,99	6,04	0,91	36	-3
17	699975	4057896	1,08	6,04	0,99	34	-3
18	700931	4057662	0,93	6,04	0,86	29	-3
Moyenne			1,00		0,91		
19	700803	4057776	0,93	6,04	0,85	34	-5
20	699818	4058027	0,97	6,04	0,89	37	-5
21	699549	4058127	0,98	6,04	0,90	39	-5
22	699146	4058223	0,98	6,04	0,90	35	-5
Moyenne			0,96		0,88		
23	700681	4057879	0,93	6,04	0,86	37	-7
24	700374	4058092	1,00	6,04	0,92	42	-7
25	699761	4058183	0,99	6,04	0,91	40	-7
26	699429	4058314	0,99	6,04	0,91	41	-7
27	699148	4058324	0,98	6,04	0,90	38	-7
Moyenne			0,98		0,90		
28	700511	4058161	0,99	6,04	0,91	43	-10
29	700316	4058288	1,05	6,04	0,97	43	-10
30	699940	4058332	1,01	6,04	0,93	42	-10
31	699614	4058484	1,00	6,04	0,92	42	-10
32	699338	4058553	1,00	6,04	0,92	41	-10
33	699071	4058515	0,98	6,04	0,90	41	-10
Moyenne			1,01		0,92		
34	700801	4058308	1,02	6,04	0,94	44	-15
35	700087	4058726	1,03	6,04	0,94	43	-15
36	699740	4058862	1,03	6,04	0,95	44	-15
37	699477	4058982	1,04	6,04	0,95		-15
Moyenne			1,03		0,95		

Caractéristiques de la houle annuelle au large Dir: N 45° Tp=8 s H=2,56, m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,04	8,25	0,41	33	-1
2	699031	4058064	1,03	8,25	0,40	30	-1
3	699201	4057995	1,05	8,25	0,41	28	-1
4	699674	4057865	1,12	8,25	0,44	29	-1
5	700201	4057681	1,00	8,25	0,39	28	-1
6	700407	4057598	0,79	8,25	0,31	28	-1
7	700627	4057547	0,82	8,25	0,32	24	-1
Moyenne			0,99		0,38		
9	700800	4057614	1,41	8,25	0,55	24	-2
10	700177	4057727	1,40	8,25	0,55	28	-2
11	699709	4057885	1,37	8,25	0,53	30	-2
12	699288	4058015	1,44	8,25	0,56	29	-2
13	698978	4058168	1,54	8,25	0,60	32	-2
Moyenne			1,43		0,56		
14	698894	4058274	1,89	8,25	0,74	34	-3
15	699138	4058141	1,95	8,25	0,76	28	-3
16	699561	4058020	1,85	8,25	0,72	33	-3
17	699975	4057896	1,84	8,25	0,72	30	-3
18	700931	4057662	1,85	8,25	0,72	25	-3
Moyenne			1,87		0,73		
19	700803	4057776	2,14	8,25	0,83	29	-5
20	699818	4058027	2,21	8,25	0,86	34	-5
21	699549	4058127	2,19	8,25	0,86	35	-5
22	699146	4058223	2,23	8,25	0,87	30	-5
Moyenne			2,19		0,86		
23	700681	4057879	2,12	8,25	0,83	33	-7
24	700374	4058092	2,44	8,25	0,95	39	-7
25	699761	4058183	2,30	8,25	0,90	37	-7
26	699429	4058314	2,27	8,25	0,89	37	-7
27	699148	4058324	2,24	8,25	0,87	33	-7
Moyenne			2,27		0,89		
28	700511	4058161	2,30	8,25	0,90	41	-10
29	700316	4058288	2,58	8,25	1,01	39	-10
30	699940	4058332	2,30	8,25	0,90	38	-10
31	699614	4058484	2,24	8,25	0,87	39	-10
32	699338	4058553	2,26	8,25	0,88	38	-10
33	699071	4058515	2,20	8,25	0,86	38	-10
Moyenne			2,31		0,90		
34	700801	4058308	2,28	8,25	0,89	42	-15
35	700087	4058726	2,28	8,25	0,89	40	-15
36	699740	4058862	2,27853	8,25	0,89	41	-15
37	699477	4058982	2,31034	8,25	0,90	42	-15
Moyenne			2,29		0,89		

Caractéristiques de la houle annuelle au large Dir: N 45° Tp=10 s H=5,05 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,04	8,25	0,21	33	-1
2	699031	4058064	1,03	8,25	0,20	30	-1
3	699201	4057995	1,05	8,25	0,21	28	-1
4	699674	4057865	1,12	8,25	0,22	29	-1
5	700201	4057681	1,00	8,25	0,20	28	-1
6	700407	4057598	0,79	8,25	0,16	28	-1
7	700627	4057547	0,82	8,25	0,16	24	-1
8	700931	4057533	1,03	8,25	0,20	22	-1
Moyenne			0,99		0,20		
9	700800	4057614	1,41	8,25	0,28	24	-2
10	700177	4057727	1,40	8,25	0,28	28	-2
11	699709	4057885	1,37	8,25	0,27	30	-2
12	699288	4058015	1,44	8,25	0,29	29	-2
13	698978	4058168	1,54	8,25	0,30	32	-2
Moyenne			1,43		0,28		
14	698894	4058274	1,89	8,25	0,37	34	-3
15	699138	4058141	1,95	8,25	0,39	28	-3
16	699561	4058020	1,85	8,25	0,37	33	-3
17	699975	4057896	1,84	8,25	0,36	30	-3
18	700931	4057662	1,85	8,25	0,37	25	-3
Moyenne			1,87		0,37		
19	700803	4057776	2,14	8,25	0,42	29	-5
20	699818	4058027	2,21	8,25	0,44	34	-5
21	699549	4058127	2,19	8,25	0,43	35	-5
22	699146	4058223	2,23	8,25	0,44	30	-5
Moyenne			2,19		0,43		
23	700681	4057879	2,12	8,25	0,42	33	-7
24	700374	4058092	2,44	8,25	0,48	39	-7
25	699761	4058183	2,30	8,25	0,46	37	-7
26	699429	4058314	2,27	8,25	0,45	37	-7
27	699148	4058324	2,24	8,25	0,44	33	-7
Moyenne			2,27		0,45		
28	700511	4058161	2,30	8,25	0,45	41	-10
29	700316	4058288	2,58	8,25	0,51	39	-10
30	699940	4058332	2,30	8,25	0,46	38	-10
31	699614	4058484	2,24	8,25	0,44	39	-10
32	699338	4058553	2,26	8,25	0,45	38	-10
Moyenne			2,31		0,46		
34	700801	4058308	2,28	8,25	0,45	42	-15
35	700087	4058726	2,28	8,25	0,45	40	-15
36	699740	4058862	2,27	8,25	0,45	41	-15
37	699477	4058982	2,31	8,25	0,46	42	-15
Moyenne			2,28		0,45		

Caractéristiques de la houle BIENNALE au large Dir: N45 ° Tp=11 s H=4,93 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,22	10,48	0,25	31	-1
2	699031	4058064	1,24	10,48	0,25	27	-1
3	699201	4057995	1,25	10,48	0,25	26	-1
4	699674	4057865	1,37	10,48	0,28	27	-1
5	700201	4057681	1,21	11,67	0,25	26	-1
6	700407	4057598	0,95	10,48	0,19	26	-1
Moyenne			1,18		0,24		
9	700800	4057614	1,74	10,48	0,35	22	-2
10	700177	4057727	1,69	10,48	0,34	26	-2
11	699709	4057885	1,67	10,48	0,34	27	-2
12	699288	4058015	1,74	10,48	0,35	27	-2
13	698978	4058168	1,93	10,48	0,39	30	-2
Moyenne			1,75		0,36		
14	698894	4058274	2,53	10,48	0,51	32	-3
15	699138	4058141	2,49	10,48	0,51	25	-3
16	699561	4058020	2,32	10,48	0,47	30	-3
17	699975	4057896	2,25	10,48	0,46	27	-3
18	700931	4057662	2,38	10,48	0,48	22	-3
Moyenne			2,39		0,49		
19	700803	4057776	3,22	10,48	0,65	25	-5
20	699818	4058027	3,04	10,48	0,62	30	-5
21	699549	4058127	3,06	10,48	0,62	32	-5
22	699146	4058223	3,18	10,48	0,64	26	-5
Moyenne			3,13		0,63		
23	700681	4057879	3,70	10,48	0,75	29	-7
24	700374	4058092	4,12	10,48	0,84	36	-7
25	699761	4058183	3,75	10,48	0,76	32	-7
26	699429	4058314	3,72	10,48	0,76	34	-7
27	699148	4058324	3,69	10,48	0,75	28	-7
Moyenne			3,80		0,77		
28	700511	4058161	4,57	10,48	0,93	38	-10
29	700316	4058288	5,08	10,48	1,03	35	-10
30	699940	4058332	4,24	10,48	0,86	33	-10
31	699614	4058484	4,16	10,48	0,84	35	-10
32	699338	4058553	4,19	10,48	0,85	34	-10
Moyenne			4,40		0,89		
34	700801	4058308	4,42	10,48	0,90	39	-15
35	700087	4058726	4,27	10,48	0,87	36	-15
36	699740	4058862	4,19	10,48	0,85	38	-15
37	699477	4058982	4,32	10,48	0,88	39	-15
Moyenne			4,30		0,87		

Caractéristiques de la houle CINQUANTENNALE au large Dir: N45 ° Tp=13 s H=7,53 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,42	12,77	0,19	31	-1
2	699031	4058064	1,35	12,77	0,18	27	-1
3	699201	4057995	1,40	12,77	0,19	25	-1
4	699674	4057865	1,58	12,77	0,21	26	-1
5	700201	4057681	1,37	12,77	0,18	25	-1
6	700407	4057598	1,07	12,77	0,14	26	-1
Moyenne			1,34		0,18		
9	700800	4057614	2,01	12,77	0,27	21	-2
10	700177	4057727	1,92	12,77	0,25	26	-2
11	699709	4057885	1,93	12,77	0,26	26	-2
12	699288	4058015	1,98	12,77	0,26	27	-2
13	698978	4058168	2,25	12,77	0,30	29	-2
Moyenne			2,02		0,27		
14	698894	4058274	2,93	12,77	0,39	32	-3
15	699138	4058141	2,82	12,77	0,37	25	-3
16	699561	4058020	2,62	12,77	0,35	29	-3
17	699975	4057896	2,55	12,77	0,34	26	-3
18	700931	4057662	2,73	12,77	0,36	21	-3
Moyenne			2,73		0,36		
19	700803	4057776	3,68	12,77	0,49	24	-5
20	699818	4058027	3,41	12,77	0,45	29	-5
21	699549	4058127	3,45	12,77	0,46	31	-5
22	699146	4058223	3,58	12,77	0,48	25	-5
Moyenne			3,53		0,47		
23	700681	4057879	4,39	12,77	0,58	28	-7
24	700374	4058092	4,78	12,77	0,63	35	-7
25	699761	4058183	4,30	12,77	0,57	30	-7
26	699429	4058314	4,28	12,77	0,57	32	-7
27	699148	4058324	4,25	12,77	0,56	27	-7
moyenne			4,40		0,58		
28	700511	4058161	5,85	12,77	0,78	37	-10
29	700316	4058288	6,16	12,77	0,82	32	-10
30	699940	4058332	5,27	12,77	0,70	31	-10
31	699614	4058484	5,38	12,77	0,71	33	-10
32	699338	4058553	5,33	12,77	0,71	32	-10
Moyenne			5,52		0,73		
34	700801	4058308	6,75	12,77	0,90	37	-15
35	700087	4058726	6,46	12,77	0,86	34	-15
36	699740	4058862	6,35	12,77	0,84	36	-15
37	699477	4058982	6,60	12,77	0,88	38	-15
Moyenne			6,54		0,87		
Caractéristiques de la houle ANNUELLE au large Dir: N330 ° Tp= 10s H=1,1 m							

N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	0,78	6,04	0,71	35,18	-1
2	699031	4058064	0,77	6,04	0,70	32,81	-1
3	699201	4057995	0,80	6,04	0,73	30,14	-1
4	699674	4057865	0,80	6,04	0,73	31,01	-1
5	700201	4057681	0,75	6,04	0,68	29,95	-1
6	700407	4057598	0,62	6,04	0,56	29,60	-1
Moyenne			0,74		0,67		
9	700800	4057614	0,89	6,04	0,81	27,02	-2
10	700177	4057727	0,95	6,04	0,87	30,67	-2
11	699709	4057885	0,91	6,04	0,82	31,47	-2
12	699288	4058015	0,97	6,04	0,88	32,03	-2
13	698978	4058168	0,95	6,04	0,86	35,27	-2
Moyenne			0,93		0,85		
14	698894	4058274	0,97	6,04	0,89	37,18	-3
15	699138	4058141	1,01	6,04	0,92	33,06	-3
16	699561	4058020	1,00	6,04	0,91	35,91	-3
17	699975	4057896	1,09	6,04	0,99	34,37	-3
18	700931	4057662	0,94	6,04	0,86	29,23	-3
Moyenne			1,00		0,91		
19	700803	4057776	0,93	6,04	0,85	33,93	-5
20	699818	4058027	0,98	6,04	0,89	37,33	-5
21	699549	4058127	0,98	6,04	0,90	38,82	-5
22	699146	4058223	0,99	6,04	0,90	35,02	-5
Moyenne			0,97		0,88		
23	700681	4057879	0,94	6,04	0,86	37,48	-7
24	700374	4058092	1,01	6,04	0,92	42,20	-7
25	699761	4058183	1,00	6,04	0,91	40,28	-7
26	699429	4058314	1,00	6,04	0,91	40,70	-7
27	699148	4058324	0,99	6,04	0,90	37,67	-7
Moyenne			0,99		0,90		
28	700511	4058161	1,00	6,04	0,91	43,31	-10
29	700316	4058288	1,06	6,04	0,97	42,64	-10
30	699940	4058332	1,02	6,04	0,93	42,11	-10
31	699614	4058484	1,01	6,04	0,92	42,16	-10
32	699338	4058553	1,01	6,04	0,92	41,34	-10
Moyenne			1,02		0,92		
34	700801	4058308	1,03	6,04	0,94	43,85	-15
35	700087	4058726	1,04	6,04	0,94	43,20	-15
36	699740	4058862	1,04	6,04	0,95	43,69	-15
37	699477	4058982	1,05	6,04	0,95	44,21	-15
Moyenne			1,04		0,95		
Caractéristiques de la houle ANNUELLE au large Dir: N330 ° Tp=8 s H=2,64 m							

N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,03	8,25	0,39	358	-1
2	699031	4058064	1,00	8,25	0,38	360	-1
3	699201	4057995	1,01	8,25	0,38	358	-1
4	699674	4057865	1,12	8,25	0,43	355	-1
5	700201	4057681	0,99	8,25	0,38	359	-1
6	700407	4057598	0,81	8,25	0,31	356	-1
moyenne			0,98		0,371079		
9	700800	4057614	1,39	8,25	0,53	354	-2
10	700177	4057727	1,33	8,25	0,50	358	-2
11	699709	4057885	1,35	8,25	0,51	355	-2
12	699288	4058015	1,42	8,25	0,54	352	-2
13	698978	4058168	1,53	8,25	0,58	360	-2
moyenne			1,41		0,53		
14	698894	4058274	1,94	8,25	0,74	357	-3
15	699138	4058141	1,88	8,25	0,71	356	-3
16	699561	4058020	1,89	8,25	0,72	353	-3
17	699975	4057896	1,72	8,25	0,65	352	-3
18	700931	4057662	1,82	8,25	0,69	351	-3
moyenne			1,85		0,70		
19	700803	4057776	2,13	8,25	0,81	351	-5
20	699818	4058027	2,21	8,25	0,84	353	-5
21	699549	4058127	2,37	8,25	0,90	351	-5
22	699146	4058223	2,24	8,25	0,85	350	-5
moyenne			2,23		0,85		
23	700681	4057879	2,09	8,25	0,79	351	-7
24	700374	4058092	2,18	8,25	0,82	348	-7
25	699761	4058183	2,31	8,25	0,87	348	-7
26	699429	4058314	2,47	8,25	0,94	344	-7
27	699148	4058324	2,39	8,25	0,91	345	-7
moyenne			2,29		0,87		
28	700511	4058161	2,12	8,25	0,80	346	-10
29	700316	4058288	2,12	8,25	0,80	343	-10
30	699940	4058332	2,12	8,25	0,80	345	-10
31	699614	4058484	2,12	8,25	0,80	344	-10
32	699338	4058553	2,12	8,25	0,80	341	-10
moyenne			2,12		0,80		
34	700801	4058308	2,29	8,25	0,87	341	-15
35	700087	4058726	2,27	8,25	0,86	340	-15
36	699740	4058862	2,34	8,25	0,89	339,94	-15
37	699477	4058982	2,36	8,25	0,89	339,738	-15
moyenne			2,32		0,88		

Caractéristiques de la houle BIENNALE au large m Dir: N330 ° Tp=10 s H=4,16							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,24	10,28	0,30	5	-1
2	699031	4058064	1,21	10,28	0,29	3	-1
3	699201	4057995	1,18	10,28	0,28	4	-1
4	699674	4057865	1,30	10,28	0,31	358	-1
5	700201	4057681	1,18	10,28	0,28	3	-1
6	700407	4057598	0,96	10,28	0,23	2	-1
Moyenne			1,16		0,28		
9	700800	4057614	1,64	10,28	0,39	356	-2
10	700177	4057727	1,56	10,28	0,38	0	-2
11	699709	4057885	1,57	10,28	0,38	358	-2
12	699288	4058015	1,69	10,28	0,41	357	-2
13	698978	4058168	1,79	10,28	0,43	1	-2
Moyenne			1,65		0,40		
14	698894	4058274	2,35	10,28	0,56	359	-3
15	699138	4058141	2,28	10,28	0,55	357	-3
16	699561	4058020	2,19	10,28	0,53	355	-3
17	699975	4057896	2,02	10,28	0,49	354	-3
18	700931	4057662	2,21	10,28	0,53	354	-3
Moyenne			2,21		0,53		
19	700803	4057776	2,91	10,28	0,70	355	-5
20	699818	4058027	2,83	10,28	0,68	357	-5
21	699549	4058127	2,94	10,28	0,71	355	-5
22	699146	4058223	2,98	10,28	0,72	353	-5
Moyenne			2,92		0,70		
23	700681	4057879	3,26	10,28	0,78	356	-7
24	700374	4058092	3,26	10,28	0,78	354	-7
25	699761	4058183	3,45	10,28	0,83	355	-7
26	699429	4058314	3,60	10,28	0,87	350	-7
27	699148	4058324	3,59	10,28	0,86	350	-7
Moyenne			3,44		0,83		
28	700511	4058161	3,37	10,28	0,81	352	-10
29	700316	4058288	3,31	10,28	0,80	348	-10
30	699940	4058332	3,66	10,28	0,88	351	-10
31	699614	4058484	3,88	10,28	0,93	351	-10
32	699338	4058553	3,96	10,28	0,95	347	-10
Moyenne			3,71		0,89		
34	700801	4058308	3,47	10,28	0,83	347	-15
35	700087	4058726	3,56	10,28	0,85	346	-15
36	699740	4058862	3,75	10,28	0,90	346,138	-15
37	699477	4058982	3,87	10,28	0,93	345,894	-15
Moyenne			3,66		0,88		

Caractéristiques de la houle ANNUELLE au large				Dir: N330 °	Tp=10 s	H=4,53	
m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,24	9,64	0,27	6,69	-1
2	699031	4058064	1,24	9,64	0,27	3,88	-1
3	699201	4057995	1,21	9,64	0,27	4,02	-1
4	699674	4057865	1,33	9,64	0,29	358,34	-1
5	700201	4057681	1,21	9,64	0,27	3,68	-1
6	700407	4057598	0,98	9,64	0,22	2,91	-1
Moyenne			1,18		0,26		
9	700800	4057614	1,68	9,64	0,37	356,48	-2
10	700177	4057727	1,60	9,64	0,35	0,72	-2
11	699709	4057885	1,60	9,64	0,35	358,34	-2
12	699288	4058015	1,73	9,64	0,38	357,49	-2
13	698978	4058168	1,83	9,64	0,40	1,25	-2
Moyenne			1,69		0,37		
14	698894	4058274	2,39	9,64	0,53	359,26	-3
15	699138	4058141	2,33	9,64	0,51	357,06	-3
16	699561	4058020	2,23	9,64	0,49	355,01	-3
17	699975	4057896	2,07	9,64	0,46	354,18	-3
18	700931	4057662	2,26	9,64	0,50	353,97	-3
Moyenne			2,25		0,50		
19	700803	4057776	3,00	9,64	0,66	354,49	-5
20	699818	4058027	2,89	9,64	0,64	356,51	-5
21	699549	4058127	2,99	9,64	0,66	354,83	-5
22	699146	4058223	3,05	9,64	0,67	352,98	-5
Moyenne			2,98		0,66		
23	700681	4057879	3,43	9,64	0,76	356,19	-7
24	700374	4058092	3,44	9,64	0,76	353,98	-7
25	699761	4058183	3,58	9,64	0,79	354,70	-7
26	699429	4058314	3,71	9,64	0,82	349,83	-7
27	699148	4058324	3,71	9,64	0,82	349,91	-7
Moyenne			3,57		0,79		
28	700511	4058161	3,64	9,64	0,80	352,27	-10
29	700316	4058288	3,59	9,64	0,79	347,94	-10
30	699940	4058332	3,93	9,64	0,87	351,08	-10
31	699614	4058484	4,15	9,64	0,92	351,10	-10
32	699338	4058553	4,23	9,64	0,93	347,23	-10
Moyenne			3,97		0,88		
34	700801	4058308	3,76	9,64	0,83	346,58	-15
35	700087	4058726	3,86	9,64	0,85	345,94	-15
36	699740	4058862	4,07	9,64	0,90	346,09	-15
37	699477	4058982	4,20	9,64	0,93	345,85	-15
Moyenne			3,97		0,88		

Caractéristiques de la houle CINQUANTENNALE au large							Dir: N330 °	Tp=13 s
H=6,65 m								
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)	
1	698843	4058158	1,37	13,07	0,21	15,91	-1	
2	699031	4058064	1,38	13,07	0,21	12,49	-1	
3	699201	4057995	1,42	13,07	0,21	8,62	-1	
4	699674	4057865	1,55	13,07	0,23	6,10	-1	
5	700201	4057681	1,42	13,07	0,21	9,22	-1	
6	700407	4057598	1,09	13,07	0,16	11,59	-1	
Moyenne			1,34		0,20			
9	700800	4057614	1,96	13,07	0,30	3,27	-2	
10	700177	4057727	1,93	13,07	0,29	6,75	-2	
11	699709	4057885	1,87	13,07	0,28	5,87	-2	
12	699288	4058015	2,05	13,07	0,31	4,81	-2	
13	698978	4058168	2,14	13,07	0,32	9,96	-2	
Moyenne			1,99		0,30			
14	698894	4058274	2,83	13,07	0,43	7,22	-3	
15	699138	4058141	2,76	13,07	0,42	2,97	-3	
16	699561	4058020	2,56	13,07	0,38	2,45	-3	
17	699975	4057896	2,40	13,07	0,36	358,87	-3	
18	700931	4057662	2,70	13,07	0,41	359,68	-3	
Moyenne			2,65		0,40			
19	700803	4057776	3,50	13,07	0,53	358,39	-5	
20	699818	4058027	3,24	13,07	0,49	0,23	-5	
21	699549	4058127	3,34	13,07	0,50	0,16	-5	
22	699146	4058223	3,54	13,07	0,53	358,23	-5	
Moyenne			3,41		0,51			
23	700681	4057879	4,16	13,07	0,63	0,03	-7	
24	700374	4058092	4,23	13,07	0,64	359,83	-7	
25	699761	4058183	4,10	13,07	0,62	358,69	-7	
26	699429	4058314	4,22	13,07	0,63	355,04	-7	
27	699148	4058324	4,26	13,07	0,64	355,04	-7	
Moyenne			4,20		0,63			
28	700511	4058161	5,13	13,07	0,77	359,14	-10	
29	700316	4058288	4,99	13,07	0,75	353,88	-10	
30	699940	4058332	5,08	13,07	0,76	357,08	-10	
31	699614	4058484	5,28	13,07	0,79	357,59	-10	
32	699338	4058553	5,32	13,07	0,80	353,95	-10	
Moyenne			5,15		0,77			
34	700801	4058308	5,52	13,07	0,83	354,68	-15	
35	700087	4058726	5,91	13,07	0,89	352,96	-15	
36	699740	4058862	6,35	13,07	0,96	353,43	-15	
37	699477	4058982	6,66	13,07	1,00	353,12	-15	
Moyenne			6,11		0,92			
Caractéristiques de la houle ANNUELLEarge							Dir: 360N °	Tp= 6s H=1,0 m

N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	0,75	6,04	0,75	14	-1
2	699031	4058064	0,72	6,04	0,72	13	-1
3	699201	4057995	0,73	6,04	0,73	9	-1
4	699674	4057865	0,77	6,04	0,77	8	-1
5	700201	4057681	0,73	6,04	0,73	9	-1
6	700407	4057598	0,62	6,04	0,62	8	-1
Moyenne			0,71		0,71		
9	700800	4057614	0,88	6,04	0,88	5	-2
10	700177	4057727	0,89	6,04	0,89	8	-2
11	699709	4057885	0,88	6,04	0,88	8	-2
12	699288	4058015	0,94	6,04	0,94	6	-2
13	698978	4058168	0,89	6,04	0,89	11	-2
moyenne			0,89		0,89		
14	698894	4058274	0,94	6,04	0,94	9	-3
15	699138	4058141	0,89	6,04	0,89	6	-3
16	699561	4058020	0,95	6,04	0,95	6	-3
17	699975	4057896	0,94	6,04	0,94	5	-3
18	700931	4057662	0,93	6,04	0,93	3	-3
Moyenne			0,93		0,93		
19	700803	4057776	0,90	6,04	0,90	3	-5
20	699818	4058027	0,91	6,04	0,91	5	-5
21	699549	4058127	0,93	6,04	0,93	5	-5
22	699146	4058223	0,90	6,04	0,90	3	-5
Moyenne			0,91		0,91		
23	700681	4057879	0,90	6,04	0,90	4	-7
24	700374	4058092	0,94	6,04	0,94	5	-7
25	699761	4058183	0,91	6,04	0,91	4	-7
26	699429	4058314	0,94	6,04	0,94	3	-7
27	699148	4058324	0,91	6,04	0,91	2	-7
Moyenne			0,92		0,92		
28	700511	4058161	0,94	6,04	0,94	4	-10
29	700316	4058288	0,92	6,04	0,92	2	-10
30	699940	4058332	0,92	6,04	0,92	2	-10
31	699614	4058484	0,93	6,04	0,93	3	-10
32	699338	4058553	0,93	6,04	0,93	2	-10
33	699071	4058515	0,93	6,04	0,93	2	-10
Moyenne			0,93		0,93		
34	700801	4058308	0,95	6,04	0,95	2	-15
35	700087	4058726	0,95	6,04	0,95	1	-15
36	699740	4058862	0,95	6,04	0,95	1	-15
Moyenne			0,95		0,95		
Caractéristiques de la houle ANNUELLE au large Dir: N360 ° Tp=8 s H=2,67 m							

N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,10	8,25	0,22	14	-1
2	699031	4058064	1,05	8,25	0,21	12	-1
3	699201	4057995	1,11	8,25	0,23	9	-1
4	699674	4057865	1,16	8,25	0,24	10	-1
5	700201	4057681	1,08	8,25	0,22	11	-1
6	700407	4057598	0,83	8,25	0,17	11	-1
Moyenne			1,04		0,21		
9	700800	4057614	1,48	8,25	0,30	6	-2
10	700177	4057727	1,47	8,25	0,30	10	-2
11	699709	4057885	1,41	8,25	0,29	11	-2
12	699288	4058015	1,53	8,25	0,31	8	-2
13	698978	4058168	1,58	8,25	0,32	14	-2
Moyenne			1,49		0,30		
14	698894	4058274	2,00	8,25	0,41	13	-3
15	699138	4058141	1,98	8,25	0,40	8	-3
16	699561	4058020	1,92	8,25	0,39	10	-3
17	699975	4057896	1,81	8,25	0,37	7	-3
18	700931	4057662	1,94	8,25	0,39	5	-3
Moyenne			1,93		0,39		
19	700803	4057776	2,32	8,25	0,47	5	-5
20	699818	4058027	2,29	8,25	0,46	8	-5
21	699549	4058127	2,36	8,25	0,48	9	-5
22	699146	4058223	2,34	8,25	0,48	5	-5
Moyenne			2,33		0,47		
23	700681	4057879	2,39	8,25	0,49	6	-7
24	700374	4058092	2,57	8,25	0,52	10	-7
25	699761	4058183	2,40	8,25	0,49	7	-7
26	699429	4058314	2,56	8,25	0,52	6	-7
27	699148	4058324	2,43	8,25	0,49	4	-7
Moyenne			2,47		0,50		
28	700511	4058161	2,54	8,25	0,52	8	-10
29	700316	4058288	2,36	8,25	0,48	4	-10
30	699940	4058332	2,37	8,25	0,48	5	-10
31	699614	4058484	2,42	8,25	0,49	6	-10
32	699338	4058553	2,45	8,25	0,50	5	-10
Moyenne			2,43		0,49		
34	700801	4058308	2,43	8,25	0,49	5	-15
35	700087	4058726	2,38	8,25	0,48	3	-15
36	699740	4058862	2,42	8,25	0,49	4,226	-15
37	699477	4058982	2,47	8,25	0,50	4,277	-15
Moyenne			2,42		0,49		

Caractéristiques de la houle ANNUELLE au large				Dir: N360 °		Tp= 10 s		H=4,92	
m									
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)		
1	698843	4058158	1,10	8,25	0,22	14	-1		
2	699031	4058064	1,05	8,25	0,21	12	-1		
3	699201	4057995	1,11	8,25	0,23	9	-1		
4	699674	4057865	1,16	8,25	0,24	10	-1		
5	700201	4057681	1,08	8,25	0,22	11	-1		
6	700407	4057598	0,83	8,25	0,17	11	-1		
Moyenne			1,04		0,21				
9	700800	4057614	1,48	8,25	0,30	6	-2		
10	700177	4057727	1,47	8,25	0,30	10	-2		
11	699709	4057885	1,41	8,25	0,29	11	-2		
12	699288	4058015	1,53	8,25	0,31	8	-2		
13	698978	4058168	1,58	8,25	0,32	14	-2		
Moyenne			1,49		0,30				
14	698894	4058274	2,00	8,25	0,41	13	-3		
15	699138	4058141	1,98	8,25	0,40	8	-3		
16	699561	4058020	1,92	8,25	0,39	10	-3		
17	699975	4057896	1,81	8,25	0,37	7	-3		
18	700931	4057662	1,94	8,25	0,39	5	-3		
Moyenne			1,93		0,39				
19	700803	4057776	2,32	8,25	0,47	5	-5		
20	699818	4058027	2,29	8,25	0,46	8	-5		
21	699549	4058127	2,36	8,25	0,48	9	-5		
22	699146	4058223	2,34	8,25	0,48	5	-5		
Moyenne			2,33		0,47				
23	700681	4057879	2,39	8,25	0,49	6	-7		
24	700374	4058092	2,57	8,25	0,52	10	-7		
25	699761	4058183	2,40	8,25	0,49	7	-7		
26	699429	4058314	2,56	8,25	0,52	6	-7		
27	699148	4058324	2,43	8,25	0,49	4	-7		
Moyenne			2,47		0,50				
28	700511	4058161	2,54	8,25	0,52	8	-10		
29	700316	4058288	2,36	8,25	0,48	4	-10		
30	699940	4058332	2,37	8,25	0,48	5	-10		
31	699614	4058484	2,42	8,25	0,49	6	-10		
32	699338	4058553	2,45	8,25	0,50	5	-10		
Moyenne			2,43		0,49				
34	700801	4058308	2,43	8,25	0,49	5	-15		
35	700087	4058726	2,38	8,25	0,48	3	-15		
36	699740	4058862	2,42	8,25	0,49	4,226	-15		
37	699477	4058982	2,47	8,25	0,50	4,277	-15		
Moyenne			2,42		0,49				
Caractéristiques de la houle BIENNALE au large				Dir: N360 °		Tp=11 s		H=4,9 m	

N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,28	11,11	0,26	16	-1
2	699031	4058064	1,24	11,11	0,25	14	-1
3	699201	4057995	1,28	11,11	0,26	11	-1
4	699674	4057865	1,39	11,11	0,28	13	-1
5	700201	4057681	1,26	11,11	0,26	11	-1
6	700407	4057598	1,00	11,11	0,20	14	-1
Moyenne			1,21		0,25		
9	700800	4057614	1,80	11,11	0,37	8	-2
10	700177	4057727	1,74	11,11	0,36	11	-2
11	699709	4057885	1,70	11,11	0,35	13	-2
12	699288	4058015	1,83	11,11	0,37	11	-2
13	698978	4058168	1,97	11,11	0,40	16	-2
Moyenne			1,81		0,37		
14	698894	4058274	2,59	11,11	0,53	16	-3
15	699138	4058141	2,53	11,11	0,52	11	-3
16	699561	4058020	2,35	11,11	0,48	14	-3
17	699975	4057896	2,23	11,11	0,45	9	-3
18	700931	4057662	2,44	11,11	0,50	7	-3
Moyenne			2,43		0,50		
19	700803	4057776	3,25	11,11	0,66	8	-5
20	699818	4058027	3,04	11,11	0,62	12	-5
21	699549	4058127	3,11	11,11	0,64	14	-5
22	699146	4058223	3,27	11,11	0,67	9	-5
Moyenne			3,17		0,65		
23	700681	4057879	3,82	11,11	0,78	10	-7
24	700374	4058092	4,05	11,11	0,83	14	-7
25	699761	4058183	3,77	11,11	0,77	11	-7
26	699429	4058314	3,87	11,11	0,79	11	-7
27	699148	4058324	3,87	11,11	0,79	8	-7
Moyenne			3,88		0,79		
28	700511	4058161	4,69	11,11	0,96	12	-10
29	700316	4058288	4,25	11,11	0,87	7	-10
30	699940	4058332	4,16	11,11	0,85	9	-10
31	699614	4058484	4,35	11,11	0,89	11	-10
32	699338	4058553	4,48	11,11	0,91	9	-10
Moyenne			4,39		0,90		
34	700801	4058308	4,45	11,11	0,91	10	-15
35	700087	4058726	4,16	11,11	0,85	7	-15
36	699740	4058862	4,35	11,11	0,89	9,248	-15
37	699477	4058982	4,49	11,11	0,92	9,522	-15
Moyenne			4,36		0,89		

Caractéristiques de la houle cinquantennale au large Dir: N360 ° Tp=14 s H=7,87 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	698843	4058158	1,37	14,16	0,17	18,74	-1
2	699031	4058064	1,36	14,16	0,17	17,07	-1
3	699201	4057995	1,45	14,16	0,18	13,36	-1
4	699674	4057865	1,53	14,16	0,19	14,59	-1
5	700201	4057681	1,42	14,16	0,18	11,99	-1
6	700407	4057598	1,07	14,16	0,14	15,03	-1
Moyenne			1,33		0,17		
9	700800	4057614	1,97	14,16	0,25	9,58	-2
10	700177	4057727	1,94	14,16	0,25	11,53	-2
11	699709	4057885	1,87	14,16	0,24	14,76	-2
12	699288	4058015	2,02	14,16	0,26	12,90	-2
13	698978	4058168	2,19	14,16	0,28	18,57	-2
Moyenne			2,00		0,25		
14	698894	4058274	2,95	14,16	0,38	19,05	-3
15	699138	4058141	2,85	14,16	0,36	13,02	-3
16	699561	4058020	2,64	14,16	0,34	16,81	-3
17	699975	4057896	2,51	14,16	0,32	11,67	-3
18	700931	4057662	2,75	14,16	0,35	7,92	-3
Moyenne			2,74		0,35		
19	700803	4057776	3,73	14,16	0,47	10,41	-5
20	699818	4058027	3,43	14,16	0,44	14,46	-5
21	699549	4058127	3,52	14,16	0,45	17,05	-5
22	699146	4058223	3,70	14,16	0,47	11,56	-5
Moyenne			3,60		0,46		
23	700681	4057879	4,49	14,16	0,57	13,08	-7
24	700374	4058092	4,82	14,16	0,61	16,54	-7
25	699761	4058183	4,34	14,16	0,55	14,47	-7
26	699429	4058314	4,43	14,16	0,56	15,45	-7
27	699148	4058324	4,45	14,16	0,57	11,88	-7
Moyenne			4,50		0,57		
28	700511	4058161	5,94	14,16	0,76	16,12	-10
29	700316	4058288	5,78	14,16	0,73	9,42	-10
30	699940	4058332	5,31	14,16	0,67	12,42	-10
31	699614	4058484	5,55	14,16	0,71	15,16	-10
32	699338	4058553	5,60	14,16	0,71	13,51	-10
Moyenne			5,60		0,71		
34	700801	4058308	6,82	14,16	0,87	13,11	-15
35	700087	4058726	6,55	14,16	0,83	10,39	-15
36	699740	4058862	6,93	14,16	0,88	13,45	-15
37	699477	4058982	7,12	14,16	0,91	14,29	-15
Moyenne			6,86		0,87		

ANNEXE III

Modèle mathématique

SWAN

```

$
$*****
*****
$
proj 'BEJAIA - ENS' '1'
'Houle N360 - Tp = 14s - Hmo = 7.87m'
'Surcote = +0.5m CM - dd = 12'
$
$*****
*****
$
set level 0.5 maxerr 2
cgrid 0. 0. 0. 6000. 8000. 60 80 Circle 36 0.04 0.22 18
inpgrid bottom 0. 0. 0. 60 80 100. 100.
reading bottom 1.0 'Mod_ens.BOT' idla=3 free
boundpar2 side W con par 7.87 14 270. 12.
boundpar2 side N con par 7.87 14 270. 12.
boundpar2 side E con par 7.87 14 270. 12.
gen2
breaking con 1.0 0.69
off quad
num accur 0.03 0.03 0.03 97 12
$
$*****
*****
$
table 'COMPGRID' nohead 'N360T1H787L.swa' xp yp hs dir per dep vel for dspr diss qb ubot
ngrid 'ngrid1' 1149. 487. 0. 2400. 3500. 48 70
nestout 'ngrid1' 'N360T14H787D.nst'
$
compute
stop
$

```

Exemple du modèle mathématique SWAN pour un modèle d'ensemble

```

$
$*****
*****
$
proj 'BEJAIA - MODELE DET ' '1'
'Houle N360 - Tp = 14s - Hmo = 7.87m'
'Surcote = +0.5m CM - dd = 12'
$
$*****
*****
$
set level 0.5 maxerr 2
cgrid 1149. 487. 0. 2400. 3500. 48 70 Circle 36 0.04 0.22 18
inpgid bottom 1149. 487. 0. 48 70 50. 50.
reading bottom 1.0 'Mod_det.BOT' idla=3 free
boundnest1 nest 'N360T14H787D.nst'
gen2
breaking con 1.0 0.69
off quad
num accur 0.03 0.03 0.03 97 12
$
$*****
*****
$
poin 'POINT' file 'Point.dat'
table 'POINT' head 'N360T14H787D.res' xp yp hs dir per rtp dep
table 'COMPGRID' nohead 'N360T14H787D.swa' xp yp hs dir per dep vel for dspr diss qb ubot
$
compute
stop
$

```

Exemple du modèle mathématique SWAN pour un modèle de détail

Annexe IV
Tableaux du pré-
dimensionnement de la
digue à talus

Tableau 5.46 Stabilité de la butée de pied

h_t/h	$H_s / (\Delta D_{n50})$
0.5	3.3
0.6	4.5
0.7	5.4
0.8	6.5

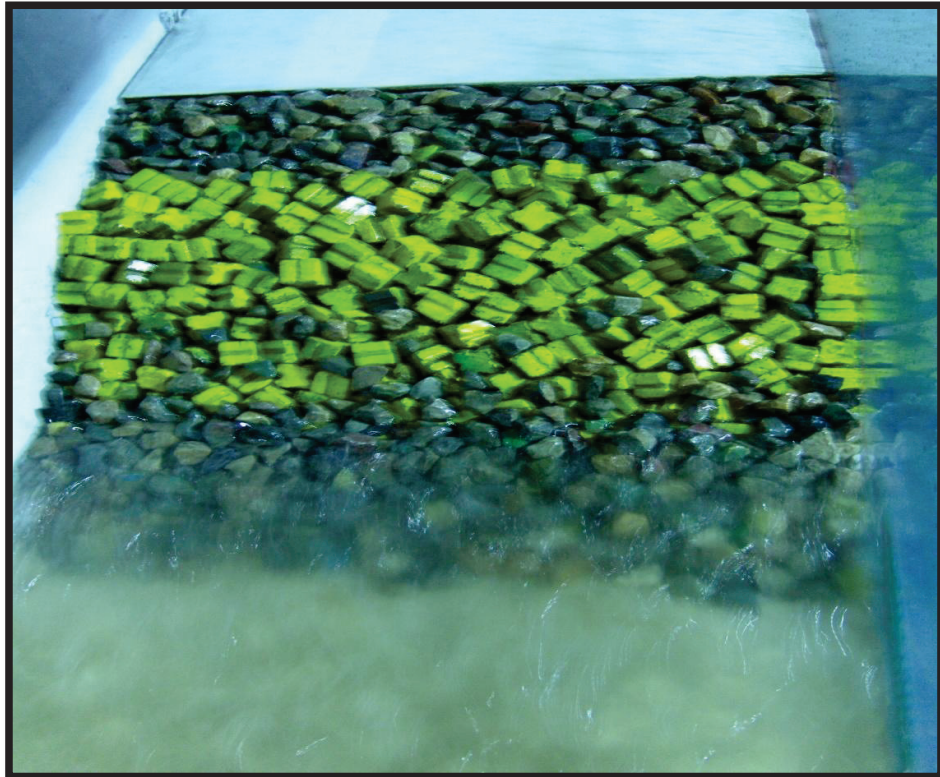
Tableau 5.4 Débits et volumes franchissants critiques (Allsop et al., 2005)

	q Débit franchissant moyen (m ³ /s par m)	V_{max} Volume franchissant maximum (m ³ /m)
Piétons		
Dangereux pour des piétons ignorant les risques, plutôt facilement contrariés ou effrayés; pas de visibilité claire sur la mer, passages étroits ou bord très proche	$q > 3 \cdot 10^{-5}$	$V_{max} > 2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
Dangereux pour des piétons conscients des risques, pas facilement contrariés ou effrayés, capables de tolérer d'être mouillés; bonne visibilité sur la mer, passage plus large	$q > 1 \cdot 10^{-4}$	$V_{max} > 0.02 - 0.05$
Dangereux pour le personnel formé, bien chaussé et protégé, qui s'attend à être mouillé; franchissement à des niveaux bas seulement, pas de retombées, faible risque de chute depuis le passage	$q > 1 \cdot 10^{-3} - 0.01$	$V_{max} > 0.5$
Véhicules		
Dangereux en cas de conduite à vitesse modérée ou rapide, franchissement impulsif donnant lieu à des retombées ou à des jets très rapides	$q > 1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$V_{max} > 5 \cdot 10^{-3}$
Dangereux en cas de conduite au pas, franchissement par écoulements pulsatoires à des niveaux bas seulement, pas de retombées	$q > 0.01 - 0.05$	$V_{max} > 0.1$
Marinas		
Naufrage de petits bateaux amarrés à 5-10 mètres du mur, dégâts sur les bateaux de plus grande taille	$q > 0.01$	$V_{max} > 1 - 10$
Dégâts importants sur de plus grands bateaux, voire naufrage	$q > 0.05$	$V_{max} > 5 - 50$
Bâtiments		
Aucun dégât	$q < 1 \cdot 10^{-6}$	
Dégâts mineurs sur les installations etc.	$1 \cdot 10^{-6} < q < 3 \cdot 10^{-5}$	
Dégâts structurels	$q > 3 \cdot 10^{-5}$	
Digues à talus		
Aucun dégât	$q < 2 \cdot 10^{-3}$	
Dégâts si la crête n'est pas protégée	$2 \cdot 10^{-3} < q < 0.02$	
Dégâts si le talus arrière n'est pas protégé	$0.02 < q < 0.05$	
Dégâts même si la protection est complète	$q > 0.05$	
Revêtements de haut de plage, protection de terre-plein		
Aucun dégât	$q < 0.05$	
Dégâts si l'arase n'est pas protégée	$0.05 < q < 0.2$	
Dégâts même si l'arase est protégée	$q > 0.2$	

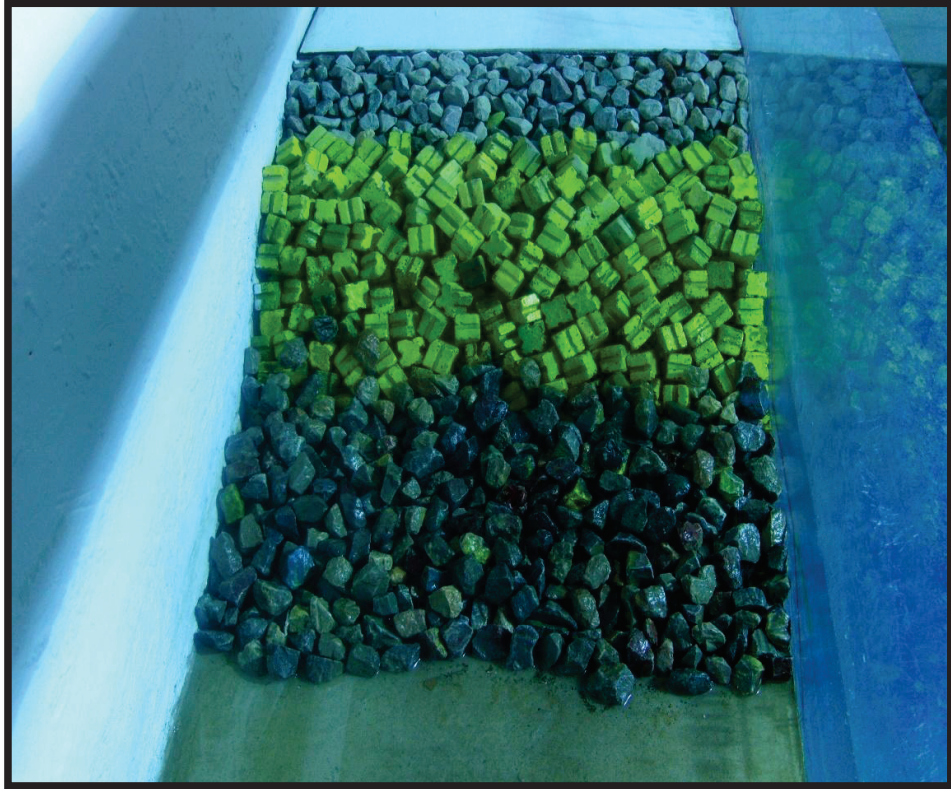
Annexe V
Photos des essais sur
canal à houle



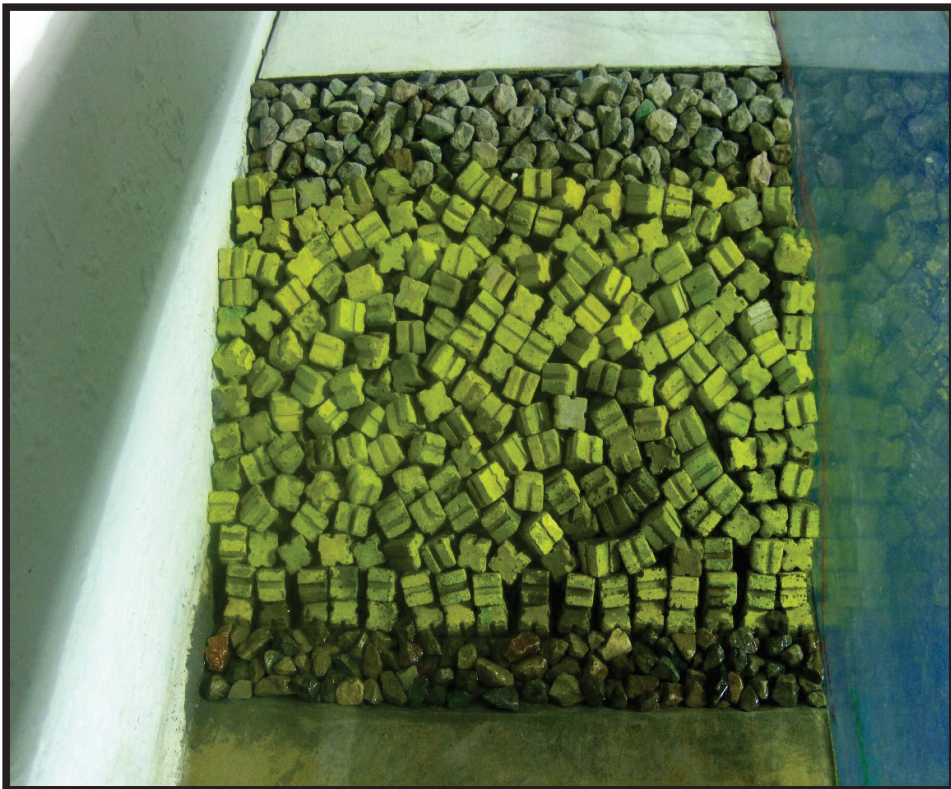
Variante 1 après essais



Variante 2 après essais



Variante 3 après essai



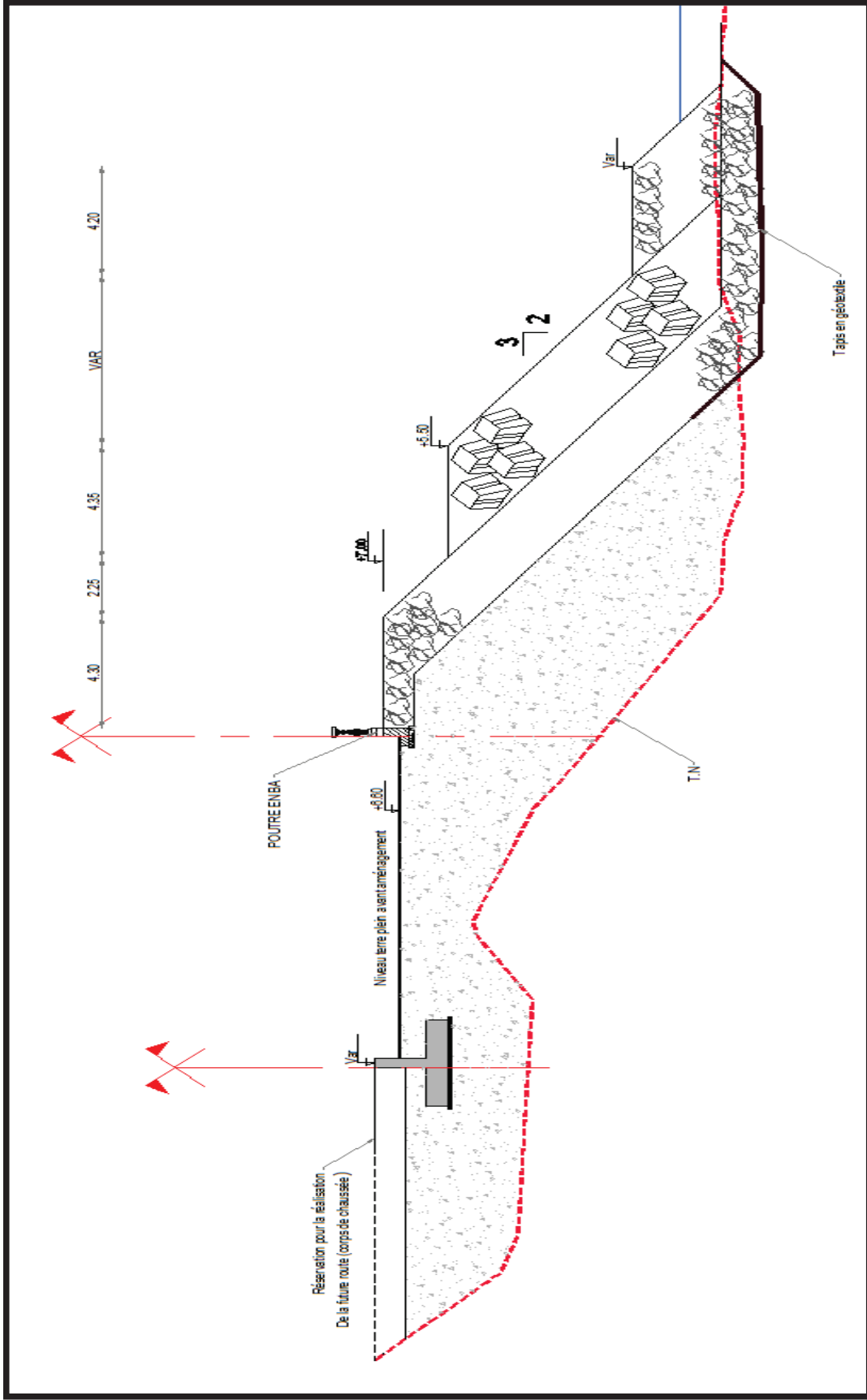
Variante 4 après essai



Variante 5 après essai

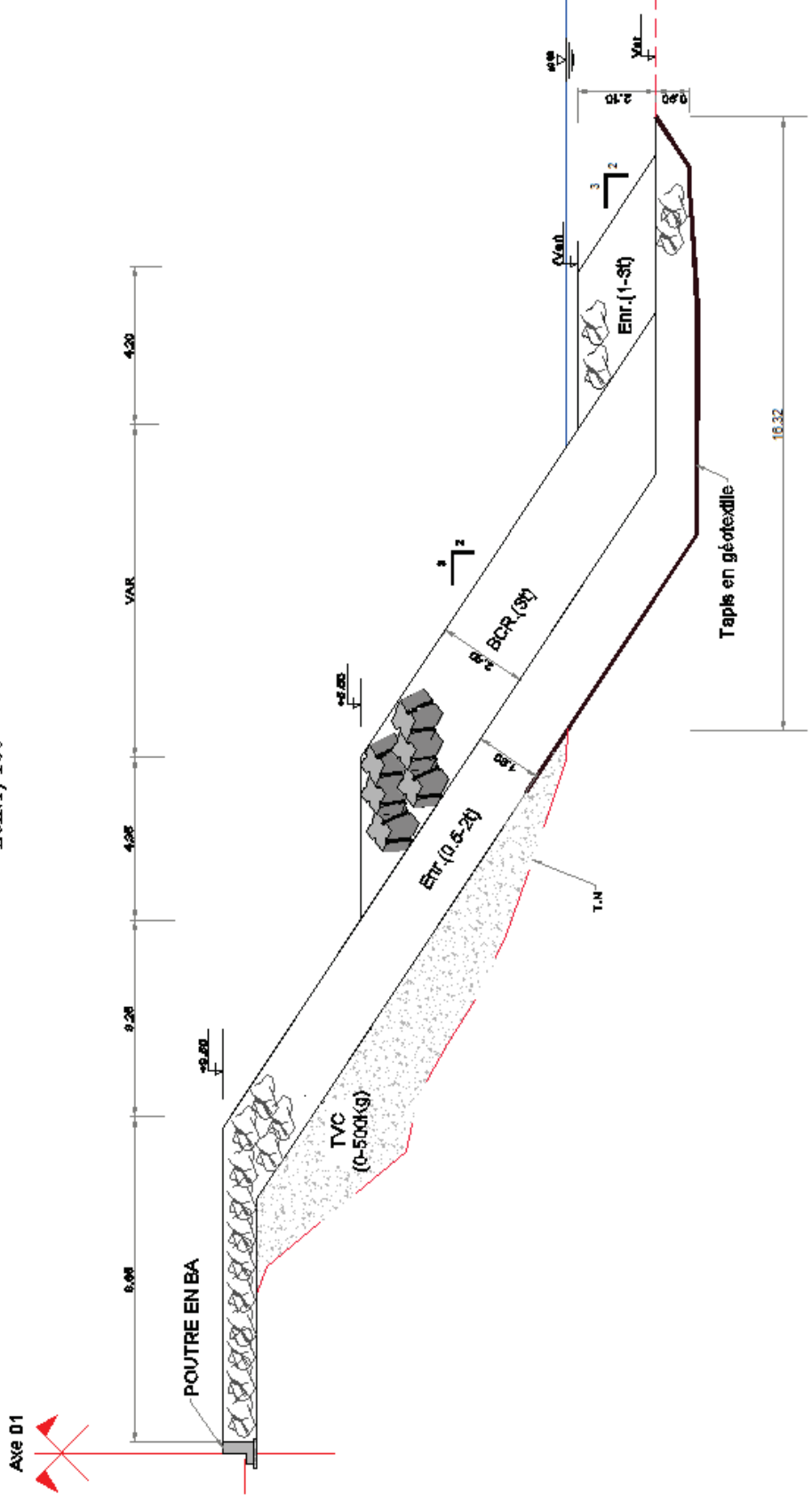
Annexe VI

Les plans



Profil type 1 (sortie du tunnel)

Profil type B
Ech:1/100



Profil type 2 (partie courante de la protection)

ANNEXES VII

Données et résultats de la modélisation du mur de soutènement

Données du projet

Numéro d'affaire : 01

Titre du calcul : murs de soutènement

Lieu : bejala

Commentaires : /

Système d'unités : t, t/m2, t/m3

γw : 10,0

Couches de sol

Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1 remblais		1,80	37,00	0,00	0,00	-	-	-	Non	Non	Non
2 TVC		2,00	38,00	0,00	0,00	-	-	-	Non	Non	Non
3 sable		1,70	30,00	0,00	0,00	-	-	-	Non	Non	Non
4 Béton		2,50	45,00	0,00	0,00	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

Nom	Couleur	Γy	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1 remblais		-	-	-	Effective	Linéaire
2 TVC		-	-	-	Effective	Linéaire
3 sable		-	-	-	Effective	Linéaire
4 Béton		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

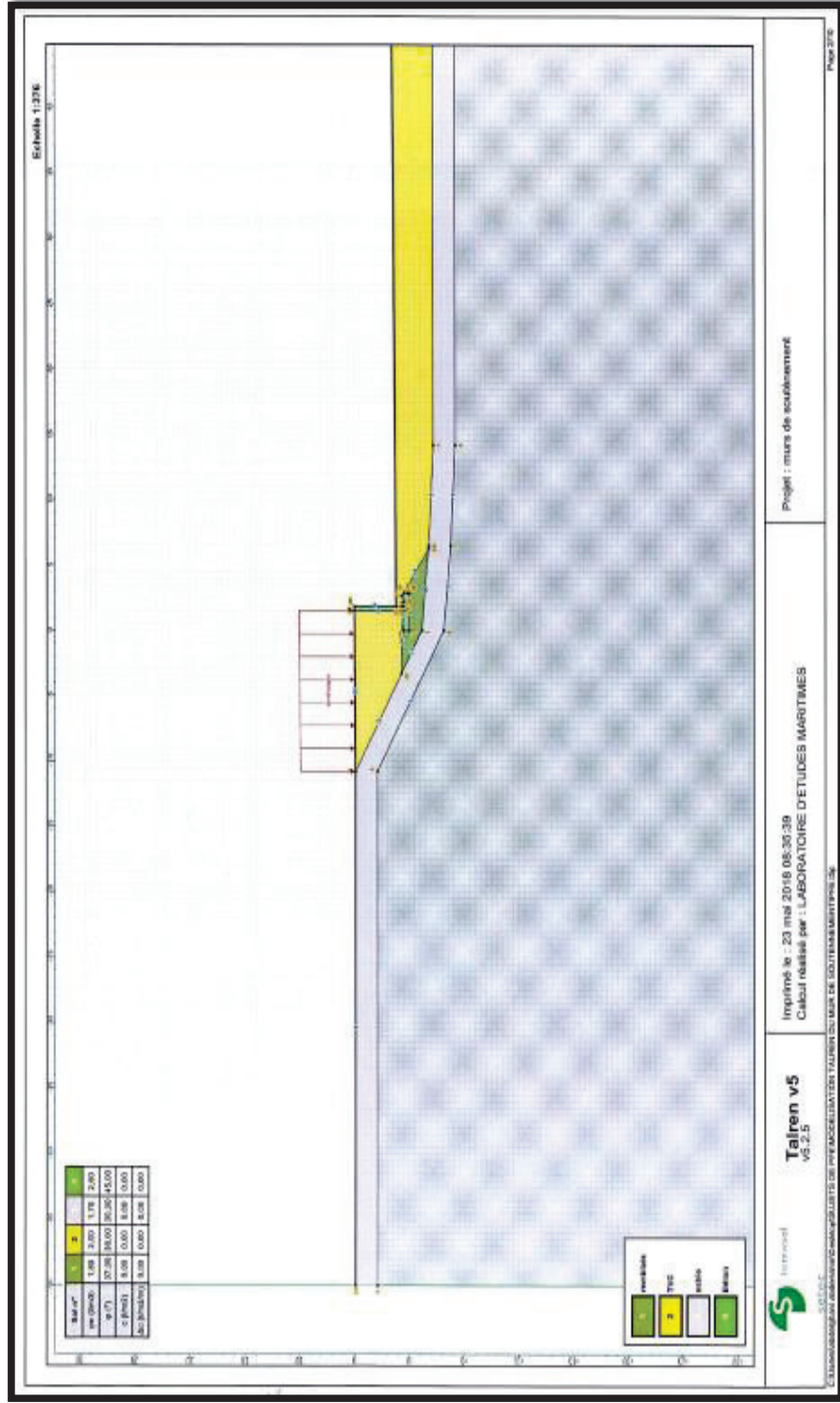
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,000	-1,150	2	-10,800	4,900	3	6,500	-1,800	4	14,200	-2,200	5	0,000
7	6,500	-3,800	8	14,200	-4,200	9	-50,000	2,900	10	100,000	-4,200	11	-50,000
13	0,000	0,000	14	0,000	0,500	15	1,500	0,500	16	1,500	0,700	18	2,850
20	1,850	0,500	21	1,850	0,700	23	-3,291	0,684	24	2,850	0,700	25	2,206
27	6,257	-1,776	28	1,500	5,000	29	1,850	5,000	30	1,850	1,200	31	100,000

Segments

Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
1	9	6	2	6	5	3	5	7	4	7	8	5	8	10	6
10	4	12	12	23	2	13	23	1	14	23	18	15	16	15	16
18	13	18	21	20	21	22	21	24	24	25	19	25	25	20	27
30	27	1	31	27	3	32	24	27	33	16	28	34	28	29	36
38	21	30	39	30	31										

Surcharges réparties

Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1 surcharges	-10,800	4,900	1,50	1,500	5,000	1,50	90,00



Données de la situation 2

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : dynamique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{st}	1,000	Γ_{y1}	1,000	Γ_p	1,250	Γ_c	1,250	Γ_{se}	1,400
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{st,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{st,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{st,band,ab}$	1,400	$\Gamma_{st,band,es}$	1,000	$\Gamma_{st,band}$	1,100
Γ_{sl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,band}$	1,000	$\Gamma_{a,band}$	1,250	$\Gamma_{a,band}$	1,000	$\Gamma_{a,3}$	1,000

Type de surface de rupture : Cercle manuel

Origine du quadrillage manuel : X= 2,000; Y= 20,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Nombre d'incrément sur le rayon : 1

Abscisse émergence limite aval : -21,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 0,000; Y= 0,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 2,3683

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2; X0= 3,00; Y0= 20,50; R= 20,71



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 23 mai 2018 08:35:39
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Résultats détaillés par surface

Résultats détaillés par surfaces de rupture

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : dynamique

Surface critique : N° 2; X0= 3,00; Y0= 20,50; R= 20,71

Tableau des surfaces circulaires (1/2)

N°	X0	Y0	R	MMOT	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
1	2,000	20,500	20,590	548,3953	2,8002	2,5232	2,5232
2	3,000	20,500	20,710	588,3304	2,8580	2,3683	2,3683
3	4,000	20,500	20,890	610,4657	2,7713	2,4700	2,4700
4	5,000	20,500	21,100	632,3408	2,8933	2,6618	2,6618
5	6,000	20,500	21,390	642,9938	3,0154	2,6385	2,6385
6	7,000	20,500	21,690	658,1090	3,2387	2,8001	2,8001
7	8,000	20,500	22,000	682,3958	3,5201	3,0284	3,0284
8	9,000	20,500	22,380	681,7980	3,9685	3,3766	3,3766
9	10,000	20,500	22,800	713,8734	4,0618	3,4324	3,4324
10	11,000	20,500	23,280	712,2595	4,5176	3,7736	3,7736
11	2,000	21,500	21,590	567,8885	2,8780	2,6188	2,6188
12	3,000	21,500	21,700	613,2373	2,7779	2,4738	2,4738
13	4,000	21,500	21,860	642,5181	2,7653	2,4539	2,4539
14	5,000	21,500	22,070	659,4689	2,9050	2,6191	2,6191
15	6,000	21,500	22,320	680,2246	3,0523	2,6780	2,6780
16	7,000	21,500	22,610	696,1245	3,2474	2,8186	2,8186
17	8,000	21,500	22,940	705,3560	3,5559	3,0442	3,0442
18	9,000	21,500	23,300	722,9436	3,9417	3,3393	3,3393
19	10,000	21,500	23,710	732,6186	4,1260	3,4753	3,4753
20	11,000	21,500	24,160	733,4895	4,6209	3,7782	3,7782
21	2,000	22,500	22,590	588,7761	2,9087	2,6560	2,6560
22	3,000	22,500	22,690	630,8688	2,7938	2,5062	2,5062
23	4,000	22,500	22,850	668,8673	2,7877	2,4684	2,4684
24	5,000	22,500	23,040	696,8051	2,9776	2,6400	2,6400
25	6,000	22,500	23,260	705,4387	3,0890	2,7105	2,7105
26	7,000	22,500	23,560	720,6686	3,2817	2,6683	2,6683
27	8,000	22,500	23,880	728,3277	3,6760	3,0620	3,0620
28	9,000	22,500	24,230	745,2333	3,9504	3,3472	3,3472
29	10,000	22,500	24,620	754,8414	4,1722	3,5127	3,5127
30	11,000	22,500	25,040	779,0021	4,4473	3,7249	3,7249
31	2,000	23,500	23,580	605,6415	2,9607	2,7248	2,7248
32	3,000	23,500	23,690	652,1849	2,8419	2,5077	2,5077
33	4,000	23,500	23,830	688,3898	2,8082	2,4923	2,4923
34	5,000	23,500	24,020	721,8691	2,9440	2,5999	2,5999
35	6,000	23,500	24,250	732,0213	3,1271	2,7453	2,7453
36	7,000	23,500	24,520	745,2196	3,3117	2,8733	2,8733
37	8,000	23,500	24,820	768,1562	3,5701	3,0862	3,0862
38	9,000	23,500	25,160	788,7852	3,8971	3,3232	3,3232
39	10,000	23,500	25,530	798,1190	4,1834	3,5286	3,5286
40	11,000	23,500	25,940	799,5398	4,4839	3,7537	3,7537
41	2,000	24,500	24,580	626,1937	3,0043	2,7937	2,7937
42	3,000	24,500	24,680	668,8269	2,9012	2,6317	2,6317
43	4,000	24,500	24,820	708,8063	2,8018	2,5385	2,5385
44	5,000	24,500	25,000	747,6233	2,9334	2,5805	2,5805
45	6,000	24,500	25,220	769,1273	3,1724	2,7909	2,7909
46	7,000	24,500	25,480	783,5738	3,3339	2,9002	2,9002
47	8,000	24,500	25,770	791,8191	3,5940	3,0877	3,0877
48	9,000	24,500	26,100	808,9311	3,9300	3,3408	3,3408
49	10,000	24,500	26,480	818,7284	4,3025	3,6228	3,6228
50	11,000	24,500	26,850	846,6857	4,4429	3,7295	3,7295
51	2,000	25,500	25,570	646,1691	3,0718	2,8493	2,8493
52	3,000	25,500	25,670	688,5295	2,9331	2,6776	2,6776



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 23 mai 2018 08:35:40
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Résultats détaillés par surface

Tableau des surfaces circulaires (2/2)

N°	X0	Y0	R	MMOT	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
53	4,000	25,500	25,810	725,3959	2,8917	2,5956	2,5956
54	5,000	25,500	25,990	771,8341	2,9492	2,5883	2,5883
55	6,000	25,500	26,190	795,2823	3,1724	2,7872	2,7872
56	7,000	25,500	26,440	808,8134	3,3686	2,8015	2,8015
57	8,000	25,500	26,720	833,8321	3,5880	3,0971	3,0971
58	9,000	25,500	27,040	832,3032	3,9444	3,3546	3,3546
59	10,000	25,500	27,390	866,4103	4,2914	3,6349	3,6349
60	11,000	25,500	27,770	867,4784	4,4732	3,7941	3,7941
61	2,000	26,500	26,670	661,6797	3,1325	2,9284	2,9284
62	3,000	26,500	26,660	703,9108	2,9755	2,7382	2,7382
63	4,000	26,500	26,800	750,5448	2,9958	2,6954	2,6954
64	5,000	26,500	26,960	785,8956	2,9880	2,6440	2,6440
65	6,000	26,500	27,170	820,6657	3,1850	2,7585	2,7585
66	7,000	26,500	27,400	834,3529	3,4003	2,9806	2,9806
67	8,000	26,500	27,660	855,8560	3,6255	3,1247	3,1247
68	9,000	26,500	27,960	874,2145	3,9278	3,3602	3,3602
69	10,000	26,500	28,320	886,1127	4,3254	3,6504	3,6504
70	11,000	26,500	28,690	886,8795	4,5498	3,8136	3,8136
71	2,000	27,500	27,570	680,8189	3,2013	3,0045	3,0045
72	3,000	27,500	27,660	723,3233	3,0160	2,7861	2,7861
73	4,000	27,500	27,780	769,8310	3,0115	2,7204	2,7204
74	5,000	27,500	27,960	804,0427	3,0230	2,6849	2,6849
75	6,000	27,500	28,140	844,1970	3,1362	2,7301	2,7301
76	7,000	27,500	28,370	873,4022	3,4300	2,9938	2,9938
77	8,000	27,500	28,640	890,8701	3,6516	3,1489	3,1489
78	9,000	27,500	28,930	897,2467	3,9477	3,3683	3,3683
79	10,000	27,500	29,260	907,8126	4,3632	3,6841	3,6841
80	11,000	27,500	29,610	936,3652	4,5276	3,8061	3,8061
81	2,000	28,500	28,570	699,0363	3,2988	3,0690	3,0690
82	3,000	28,500	28,650	742,4043	3,0700	2,8471	2,8471
83	4,000	28,500	28,770	786,0642	3,0997	2,7622	2,7622
84	5,000	28,500	28,930	831,0162	3,0733	2,7400	2,7400
85	6,000	28,500	29,120	872,5162	3,1691	2,7741	2,7741
86	7,000	28,500	29,340	897,9090	3,3811	2,9365	2,9365
87	8,000	28,500	29,600	922,7162	3,6885	3,1678	3,1678
88	9,000	28,500	29,880	919,9202	3,9706	3,3887	3,3887
89	10,000	28,500	30,200	953,4612	4,2949	3,6372	3,6372
90	11,000	28,500	30,540	956,0019	4,6165	3,8754	3,8754
91	2,000	29,500	29,560	956,0019	999,0000	999,0000	999,0000
92	3,000	29,500	29,650	761,1567	3,1327	2,9166	2,9166
93	4,000	29,500	29,760	806,8536	3,0758	2,9058	2,9058
94	5,000	29,500	29,920	848,3000	3,0990	2,7775	2,7775
95	6,000	29,500	30,100	889,1699	3,2006	2,8126	2,8126
96	7,000	29,500	30,310	921,8325	3,3767	2,9224	2,9224
97	8,000	29,500	30,560	945,7576	3,6954	3,1963	3,1963
98	9,000	29,500	30,840	963,8025	3,9591	3,3894	3,3894
99	10,000	29,500	31,140	975,5382	4,3137	3,6542	3,6542
100	11,000	29,500	31,460	976,8785	4,7844	4,0076	4,0076



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 23 mai 2018 08:35:40
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : statique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Cuvrage sensible

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Fmin	1,000	Fs1	1,050	Fs1	1,000	Fq	1,250	Fc	1,250	Fcu	1,400
FQ	1,300	Fqs,crouab	1,000	Fqs,crou.as	1,100	Fqs,linant,ab	1,400	Fqs,linant,es	1,000	Fqs,bande	1,100
Fpl	1,400	Fa,crou	1,000	Fa,linant	1,000	Fa,bande	1,250	Fbuton	1,000	Fs3	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 4,000; Y= 40,500

Incrément en X / incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Nombre d'incrément sur le rayon : 1

Abscisse émergence limite aval : -17,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 0,000; Y= 0,000

Nombre de branches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 2,6850

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 3; XD= 6,00; YD= 40,50; R= 40,94



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 31 mai 2018 10:49:08
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Résultats détaillés par surface

Résultats détaillés par surfaces de rupture

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : statique

Surface critique : N°= 3; X0= 6,00; Y0= 40,50; R= 40,94

Tableau des surfaces circulaires (1/2)

N°	X0	Y0	R	MMOT	F-SCL	F-SURCH	F-TOTAL
1	4,000	40,500	40,690	0,0000	999,0000	999,0000	999,0000
2	5,000	40,500	40,600	0,0000	999,0000	999,0000	999,0000
3	6,000	40,500	40,940	1374,3701	2,9808	2,8850	2,8850
4	7,000	40,500	41,100	1442,9298	3,0965	2,7284	2,7284
5	8,000	40,500	41,290	1498,8967	3,2113	2,7778	2,7778
6	9,000	40,500	41,490	1551,2797	3,3263	2,8027	2,8027
7	10,000	40,500	41,710	1599,9293	3,5964	2,9628	2,9628
8	11,000	40,500	41,960	1637,0442	3,9110	3,1563	3,1563
9	12,000	40,500	42,240	1665,8449	4,2457	3,4032	3,4032
10	13,000	40,500	42,530	1718,8785	4,6508	3,7092	3,7092
11	4,000	41,500	41,690	1718,8785	999,0000	999,0000	999,0000
12	5,000	41,500	41,800	1718,8785	999,0000	999,0000	999,0000
13	6,000	41,500	41,930	1401,8900	2,9903	2,6995	2,6995
14	7,000	41,500	42,080	1406,0779	3,0664	2,7332	2,7332
15	8,000	41,500	42,250	1524,1545	3,2182	2,7817	2,7817
16	9,000	41,500	42,480	1576,9129	3,3793	2,8623	2,8623
17	10,000	41,500	42,680	1608,4996	3,6095	3,0135	3,0135
18	11,000	41,500	42,930	1605,4243	3,8721	3,1689	3,1689
19	12,000	41,500	43,200	1717,4152	4,2433	3,3667	3,3667
20	13,000	41,500	43,480	1743,6224	4,6678	3,7233	3,7233
21	4,000	42,500	42,680	1743,6224	999,0000	999,0000	999,0000
22	5,000	42,500	42,790	1743,6224	999,0000	999,0000	999,0000
23	6,000	42,500	42,920	1433,3301	3,0567	2,7717	2,7717
24	7,000	42,500	43,070	1482,9494	3,1177	2,7604	2,7604
25	8,000	42,500	43,240	1535,3667	3,2318	2,8095	2,8095
26	9,000	42,500	43,440	1587,2435	3,4085	2,9058	2,9058
27	10,000	42,500	43,660	1666,2591	3,6060	3,0167	3,0167
28	11,000	42,500	43,900	1693,1850	3,8644	3,2009	3,2009
29	12,000	42,500	44,160	1768,1207	4,1864	3,3774	3,3774
30	13,000	42,500	44,440	1766,5013	4,6941	3,7166	3,7166
31	4,000	43,500	43,680	1766,5013	999,0000	999,0000	999,0000
32	5,000	43,500	43,780	1766,5013	999,0000	999,0000	999,0000
33	6,000	43,500	43,910	1461,0684	3,0689	2,8005	2,8005
34	7,000	43,500	44,050	1496,4042	3,1333	2,7892	2,7892
35	8,000	43,500	44,220	1548,0628	3,2618	2,8529	2,8529
36	9,000	43,500	44,420	1595,8783	3,4267	2,9365	2,9365
37	10,000	43,500	44,630	1674,5380	3,6184	3,0464	3,0464
38	11,000	43,500	44,850	1716,7882	3,8970	3,2080	3,2080
39	12,000	43,500	45,120	1772,3980	4,1994	3,4120	3,4120
40	13,000	43,500	45,420	1844,4614	4,5621	3,6270	3,6270
41	4,000	44,500	44,670	1844,4614	999,0000	999,0000	999,0000
42	5,000	44,500	44,780	1844,4614	999,0000	999,0000	999,0000
43	6,000	44,500	44,900	1844,4614	999,0000	999,0000	999,0000
44	7,000	44,500	45,040	1530,6968	3,1620	2,8542	2,8542
45	8,000	44,500	45,210	1599,3700	3,3090	2,8999	2,8999
46	9,000	44,500	45,400	1661,1232	3,4313	2,9481	2,9481
47	10,000	44,500	45,600	1700,1485	3,6460	3,0689	3,0689
48	11,000	44,500	45,830	1718,6532	3,9225	3,2407	3,2407
49	12,000	44,500	46,080	1796,6836	4,2395	3,4433	3,4433
50	13,000	44,500	46,350	1846,5653	4,5642	3,6538	3,6538
51	4,000	45,500	45,670	1846,5653	999,0000	999,0000	999,0000
52	5,000	45,500	45,770	1846,5653	999,0000	999,0000	999,0000



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 31 mai 2018 10:49:08
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Résultats détaillés par surface

Tableau des surfaces circulaires (2/2)

N°	X0	Y0	R	MMOT	F-SCL	F-SURCH	F-TOTAL
53	45,000	45,500	45,990	1846,5553	999,0000	999,0000	999,0000
54	7,000	45,500	46,030	1566,8160	3,1968	2,8658	2,8658
55	8,000	45,500	46,190	1610,4337	3,3141	2,8208	2,9208
56	9,000	45,500	46,380	1661,6100	3,4602	2,9622	2,9622
57	10,000	45,500	46,580	1707,5599	3,6573	3,0680	3,0680
58	11,000	45,500	46,810	1765,0391	3,8873	3,2297	3,2297
59	12,000	45,500	47,050	1797,7545	4,2261	3,4545	3,4545
60	13,000	45,500	47,320	1867,9647	4,5660	3,6477	3,6477
61	4,000	46,500	46,670	1867,9647	999,0000	999,0000	999,0000
62	5,000	46,500	46,760	1867,9647	999,0000	999,0000	999,0000
63	6,000	46,500	46,880	1867,9647	999,0000	999,0000	999,0000
64	7,000	46,500	47,020	1869,3623	3,2268	2,9082	2,9082
65	8,000	46,500	47,180	1836,3583	3,3265	2,8290	2,8290
66	9,000	46,500	47,360	1866,7057	3,4709	2,9995	2,9995
67	10,000	46,500	47,560	1728,8463	3,6756	3,1063	3,1053
68	11,000	46,500	47,780	1790,2232	3,9167	3,2767	3,2767
69	12,000	46,500	48,020	1867,4577	4,1864	3,4310	3,4310
70	13,000	46,500	48,280	1866,6795	4,6029	3,6882	3,6882
71	4,000	47,500	47,660	1866,6795	999,0000	999,0000	999,0000
72	5,000	47,500	47,760	1866,6795	999,0000	999,0000	999,0000
73	6,000	47,500	47,870	1866,6795	999,0000	999,0000	999,0000
74	7,000	47,500	48,010	1866,7903	3,2401	2,8200	2,9200
75	8,000	47,500	48,160	1847,1431	3,3564	2,8723	2,9723
76	9,000	47,500	48,340	1826,8867	3,4979	3,0424	3,0424
77	10,000	47,500	48,540	1773,1360	3,6615	3,1454	3,1454
78	11,000	47,500	48,750	1814,7547	3,9537	3,3067	3,3067
79	12,000	47,500	48,990	1870,2858	4,1967	3,4637	3,4637
80	13,000	47,500	49,240	1944,0465	4,5175	3,6462	3,6462
81	4,000	48,500	48,660	1944,0465	999,0000	999,0000	999,0000
82	5,000	48,500	48,750	1944,0465	999,0000	999,0000	999,0000
83	6,000	48,500	48,860	1944,0465	999,0000	999,0000	999,0000
84	7,000	48,500	49,000	1944,0465	999,0000	999,0000	999,0000
85	8,000	48,500	49,150	1872,7616	3,9688	2,8818	2,9818
86	9,000	48,500	49,320	1750,0680	3,5078	3,0667	3,0667
87	10,000	48,500	49,520	1797,3925	3,6936	3,1636	3,1636
88	11,000	48,500	49,730	1817,2642	3,9374	3,3130	3,3130
89	12,000	48,500	49,960	1890,5958	4,2092	3,4696	3,4696
90	13,000	48,500	50,210	1944,4202	4,5559	3,7084	3,7084
91	4,000	49,500	49,660	1944,4202	999,0000	999,0000	999,0000
92	5,000	49,500	49,750	1944,4202	999,0000	999,0000	999,0000
93	6,000	49,500	49,860	1944,4202	999,0000	999,0000	999,0000
94	7,000	49,500	49,990	1944,4202	999,0000	999,0000	999,0000
95	8,000	49,500	50,140	1708,0602	3,4069	3,0411	3,0411
96	9,000	49,500	50,310	1768,8832	3,5358	3,0993	3,0993
97	10,000	49,500	50,500	1805,0148	3,7204	3,1983	3,1983
98	11,000	49,500	50,700	1882,8791	3,9962	3,3209	3,3209
99	12,000	49,500	50,930	1894,9528	4,2961	3,5195	3,5195
100	13,000	49,500	51,170	1963,4907	4,5964	3,7038	3,7038



Talren v5
v5.2.5

Imprimé le : 31 mai 2018 10:49:09
Calcul réalisé par : LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES
Projet : murs de soutènement

Bibliographie

- [1] B.Cambou, G. G. (1983). *problèmes paratiques de mécanique des sols et de fondations 2* (éd. deuxième édition). Paris .
- [2] BADAOU, M. (2016/2017). *Cours de Mécaniques des sols 3 "murs de soutènements"* E.N.S.T.P. Alger.
- [3] Barbier, P. (juin 2002). *Cours Vertical Mapper V.2.6 – livret 1*.
- [4] CAMINADE, D. (s.d.). *Techniques de l'ingénieur, traité construction: ouvrage de protection contre la houle* . Université du Havre, France .
- [5] CIRIA, C. C. (2009). *Guide Enrochement "l'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques version française du rock manual"* . Compiègne: CETMEF.
- [6] ET, S. D. (1993). *Murs de soutènement*. Paris.
- [7] GRAILLOT (A.) assisté de :MM. CAMINADE, F. J. (1987). *Cours de travaux maritimes. Ecole nationale des Travaux Publics de l'État*.
- [8] Haisainne&djebari. (2016/2017). *Mémoire de fin d'étude "étude de la digue de protection du tronçon autoroutier de la pénétrante d'oran"*. école nationale supérieure des travaux publics, Alger .
- [9] HOUCINE, C. (2010/2011). *Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil "Etude d'un tronçon de mur de soutènement a hauteur"*.
- [10] J.CHAPON. (1984). *Travaux maritimes "école des ponts et chaussées"* . Paris : EYROLLES .
- [11] *REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RAP 99/VERSION 2003*.
- [12] M.Benredouane. (2016/2017). *Cours de béton armé selon les regles B.A.E.L 91 revisées 99* . école nationale supérieure des travaux publics, Alger .
- [13] Marendet, F. (1984). *Cours de travaux maritimes " école nationale des travaux publics"*. Alger .
- [14] LABORATOIRES DES ETUDES MARITIMES, L. d. (2011). *rapport données de bases de l'étude de la protection du dédoublement de la RN09*.
- [15] MECHOUCH&SAADI. (2016/2017). *Mémoire de fin d'études " étude de l'agitation et la stabilité de l'extension du port de tenès sur modèle réduit physique'* . école nationale supérieure des travaux publics, Alger .
- [16] PREVOT, G. (2013). *étude expérimentale de la stabilité des carapaces des digues en enrochements en faibles profondeur d'eau*. Aix en provence: CETMEF.
- [17] SCHLOSSER, F. (s.d.). *Murs de soutènement "Techniques de l'ingénieur "*. Paris .
- [18] VIGUIER, J. (s.d.). *Modèles en hydraulique maritime* . Échirolles (France): SOGREAH .