



LES DIGUES A TALUS FRANCHISSABLES: CONCEPTION ET PERSPECTIVES

D. CAMINADE

Maître de Conférences à l'Université du Havre

Groupe de Recherche en Génie Civil

Abstract

The use of low-crested rubble mound breakwaters can be interesting when a full protection from the highest waves is not necessary.

Due to overtopping waves, the crest must be designed very carefully.

The paper shows how the design of such a breakwater could be done in New Caledonia, and shows how the use of semi-submersible breakwaters can be very interesting according to the cost and the stability of the jetty.

I - INTRODUCTION

L'utilisation de digues à talus surbaissées peut présenter de nombreux avantages notamment économiques ou esthétiques lorsqu'il n'est pas nécessaire de se protéger entièrement contre les effets des plus fortes lames.

La protection du chenal d'accès au plus grand port du monde, Rotterdam est réalisée par une digue en enrochements dont les plus gros blocs d'un poids unitaire de 43 tonnes est arasée à la cote + 2.00. Il va sans dire que lors des fortes tempêtes cette digue est largement franchie et le chenal d'accès ne présente pas tout le calme auquel on pourrait s'attendre. Mais compte-tenu des conditions d'exploitation du port, notamment du fait des limitations dues à la mise à bord du pilote que ce soit par hélicoptère ou vedette, cette agitation ne présente que peu d'inconvénient.

De même pour des raisons d'esthétique, les digues protégeant des zones touristiques, des ports de plaisance ne peuvent être élevées à des hauteurs trop conséquentes. Il y a lieu alors de choisir entre la réalisation d'un important glacis, dont le coût alourdit le projet et l'acceptation que quelques vagues par tempête viennent franchir cet ouvrage.

On peut donc alors arbitrer entre l'esthétique et le coût d'une part et une gêne relative d'autre part. L'important est alors de quantifier chacun des aspects évoqués ci-dessus et de les prendre en compte lors de la conception du projet.

II - LA CONCEPTION DES DIGUES A TALUS FRANCHISSABLES

II - 1 - Définition de la houle de projet

Le premier travail consiste à définir de façon classique, la houle de projet en vue d'assurer la stabilité de l'ouvrage et que l'on peut résumer ainsi pour chacun des deux critères : conditions normales et conditions exceptionnelles :

- Choix de la tempête de référence
 - * durée, intensité, creux et période des vagues

* niveaux d'eau associés

- Critères des dommages acceptables

Compte-tenu du caractère franchissable de l'ouvrage il y a lieu de définir les caractéristiques de la houle qui permet une exploitation normale (sans gêne excessive). On peut alors définir un ou plusieurs critères que l'on cherchera à rendre aussi objectifs que possibles, par exemple :

1) Critère de début de franchissement qui peut être exprimé sous la forme suivante : H_S ou $H_{1/3}$ de la tempête qui ne provoque pas de franchissement. L'augmentation de cette valeur conduisant au franchissement de la structure par au moins une vague du train considéré.

2) Critère de franchissement par x % de vagues d'une tempête dont la période de retour est fixée. On pourra par exemple accepter d'être franchi par 5 % des vagues de la tempête annuelle.

L'ensemble de ces critères et compte tenu des niveaux d'eau retenus, permet de fixer au moins en première approximation la cote d'arase de la digue, quitte à la fixer définitivement à la suite d'essais sur modèle réduit physique.

II - 2 - La partie haute de la digue

Une attention particulière doit alors être apportée à la conception du haut de l'ouvrage qui aura à supporter des attaques plus violentes de la houle que dans le cas d'une digue classique.

Lorsque l'on n'a pas besoin de circuler sur celle-ci, un moyen pratique consiste comme dans le cas de Rotterdam à recouvrir l'ensemble de la digue par les mêmes blocs que ceux utilisés en carapace extérieure.

Dans le cas, où l'exploitation dans les conditions normales nécessite l'utilisation de la partie haute comme circulation on doit :

* augmenter la largeur du glacis devant l'ouvrage de façon à ce que le couronnement ne puisse être soumis à l'attaque directe des lames,

* réaliser un couronnement massif, éventuellement muni d'une bêche de façon à éviter le glissement de celui-ci vers l'arrière. Là encore on s'attachera à limiter les efforts sur le couronnement en réduisant la cote d'arase de celui-ci qui se trouve donc en-dessous de la carapace.

* et enfin, comme pour tout ouvrage franchissable, le talus arrière lui-même doit être réalisé avec des blocs de forte dimension, voire les mêmes que ceux utilisés en carapace, et surtout protégé des franchissements par des dispositions constructives permettant de rejeter le plus loin possible les jets dus aux franchissements, ce qui peut

conduire à prolonger le couronnement au-dessus du talus arrière.

Compte-tenu de la diversité des cas rencontrés, et des choix réalisés en ce qui concerne les critères retenus pour les franchissements, l'optimisation de l'ensemble de la partie haute de la digue ne pourra être réalisée que cas par cas.

II - 3 - La constructibilité

Les techniques de construction par voies maritimes ne présentent que peu de modification par rapport à celles utilisées pour la construction de digues non franchissables.

Toutefois un fort surbaissement comme dans le cas de Rotterdam, est bien évidemment très favorable à une telle technique.

La réalisation de ce type de digue par voie terrestre risque de poser des problèmes de réalisation dans la mesure où la plateforme de circulation risque d'être souvent noyée.

Une difficulté réside aussi dans le fait que la carapace située contre le mur de couronnement doit être réalisée en faible épaisseur, ce qui peut rendre nécessaire l'utilisation de blocs posés en une seule couche tels que les accropodes, ou même les blocs Antifer (blocs cubiques rainurés) posés à plat qui répondent alors à la question.

III - LE PROJET DE TADINE (Ile de MARE en Nouvelle Calédonie)

III - 1 - Cadre du Projet

La Nouvelle Calédonie est composée de la Grande Terre et de nombreuses îles. La province des Îles Loyauté, située à 100 km à l'Est de la Grande Terre comprend essentiellement 3 îles : OUEVA, LIFOU et MARE, (fig. 1). Afin de desservir régulièrement par voie de mer chacune de ces trois îles, il a été décidé en 1989 de procéder à l'acquisition d'un car-ferry de dimensions modestes (70 m de long) mais en rapport avec le trafic prévisionnel, et de doter chacune des trois îles d'installations portuaires capables de recevoir tout l'année, sauf bien entendu en période de cyclone.

Si OUEVA bénéficie d'un lagon naturellement protégé, il n'en est pas de même pour les îles de LIFOU et MARE pour lesquelles il a fallu prévoir la construction d'une digue abri sur les sites de WE et de TADINE.

III - 2 - Données du Projet

Situé dans un cadre enchanteur, il ne pouvait être question de réaliser des ouvrages trop hauts qui auraient enlaidi le paysage. La contrainte d'esthétisme était donc une donnée fondamentale et incontournable du projet.

Compte-tenu de la cote des terre-pleins situés entre [+3,00] près du quai existant et [+3,50] plus en arrière, il a été décidé de fixer la cote d'arase de la digue aux environs de [+4,50], ce qui permet de bien dégager la vue.

Les conditions naturelles sont de deux types :

En période normale, les alizés soufflent régulièrement et la houle, bien que modérée (de l'ordre du mètre), se lève dès la fin de la matinée et rend nécessaire la construction d'un abri.

En période cyclonique, les vents forts non facilement mesurables au-delà de 180 km/h, génèrent de fortes houles et de fortes surcotes. Pendant les cyclones il n'est pas envisageable d'exploiter le port, ce qui permet d'admettre de forts franchissements et donc d'envisager la réalisation de digues semi-submersibles.

En l'absence de mesure de houle à proximité du site, on a utilisé les méthodes suivantes pour la détermination des houles de projet :

1) pour les houles d'alizés on a eu recours aux méthodes permettant de calculer la houle à partir des statistiques des vents connus aux aéroports voisins (y compris ceux de la Grande Terre),

2) pour les houles cycloniques on a étudié chaque cyclone recensé depuis 50 ans (trajectoire, pression, vitesse de déplacement ...) pour en tirer les statistiques utiles au projet.

Les conditions de houle au large et de niveau sont résumées ci-après :

PERIODE DE RETOUR (en années)	1	10	100	CONDITIONS ULTIMES	
HAUTEUR SIGNIFICATIVE (en mètres)	2,5	3,6	4,5	5,3	
PERIODE (PIC) (en secondes)	6,5	8	9	9	
NIVEAU D'EAU (en mètres)	HAUT	+ 1,70	+ 2,50	+ 2,80	+ 3,50
	BAS	+ 0,20	+ 0,20	- 0,20	

III - 3 - Profil de la digue

La section de la digue en profil courant est représentée figure 2, l'extrémité de la digue est implantée sur des fonds à la cote [- 10,00] qui présentent une pente moyenne d'environ 5 %.

De conception classique pour la partie basse, elle répond pour la partie haute aux critères énoncés ci-dessus. Elle a fait l'objet d'une étude spécifique en canal à houle de façon à définir les dispositions à retenir pour cet aménagement particulier :

- La carapace réalisée en blocs cubiques rainurés type Antifer de 3 m³ est prolongée en partie haute de deux rangées de cubes posés à plat. Le glacis comprend donc 4 rangées de blocs.

- Le couronnement réalisé en béton non armé a une épaisseur de 1 m et comporte une bêche de 1 m.

- La partie arrière, protégée des lames déversantes par l'extrémité du couronnement est constituée de 5 rangées de blocs rainurés Antifer posés à plat, chaque rangée étant décalée par rapport à la précédente d'une demie arête de cube. La transition avec les enrochements 0,5 T / 2 T se situe à la cote [- 1,70].

On a réservé pour la construction de la digue une bande de

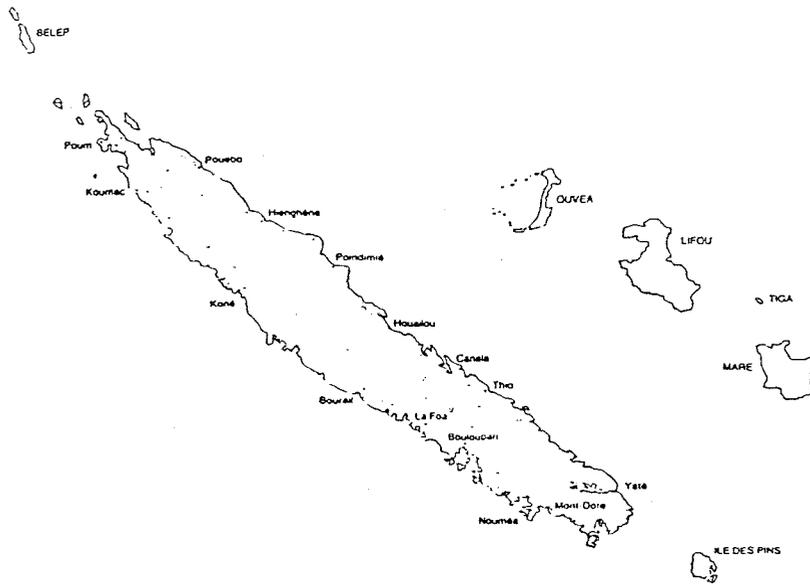


FIGURE 1 : La Nouvelle Calédonie

PROFIL COURANT

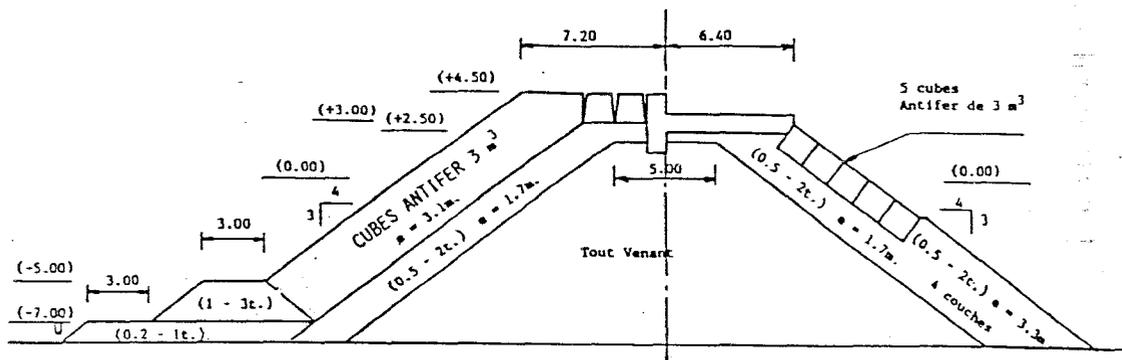


FIGURE 2 : Coupe type de la digue
Fond variable de (-8) à (-10)

MUSOIR

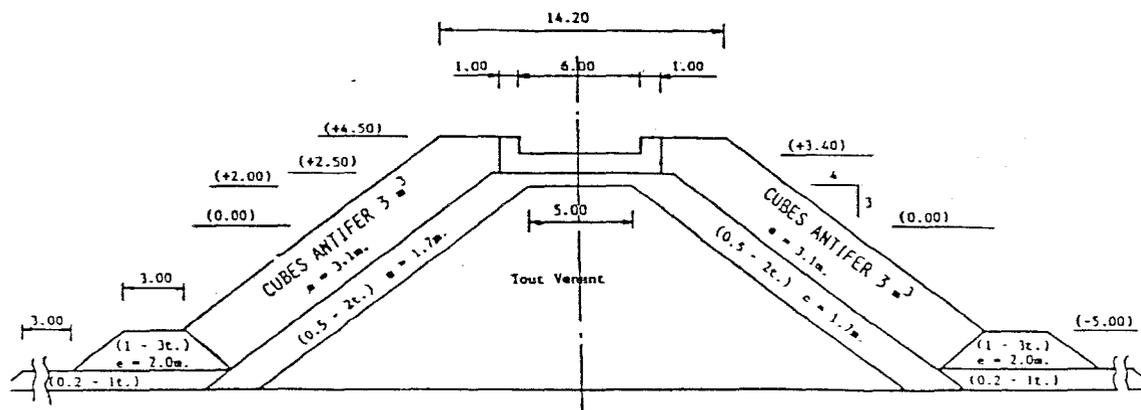


FIGURE 3 : Coupe du musoir

roulement de 5 m de large à la cote [+ 2,00].

Pour le musoir (fig. 3), des dispositions classiques ont été testées avec un profil symétrique composé d'une carapace en blocs cubiques rainurés Antifer de 3 m³ et d'un couronnement monolithique en U.

III - 4 - Résultats des essais

Les essais tant en cuve qu'en canal ont été réalisés à l'échelle du 1/43. La houle générée par un batteur aléatoire présentait un spectre d'énergie du type JONSWAP.

Les essais en canal à houle, qui ont servi à optimiser la partie haute et notamment la largeur du glacis ont été très satisfaisants : aucun dommage pour la houle centennale même en ayant augmenté le niveau d'eau jusqu'à la cote [+ 3,50].

Les essais en cuve à houle ont permis de mesurer que dans les conditions normales d'exploitation (marée à [+ 1,70]), le franchissement n'intervenait pour 1 vague sur 300 qu'à partir d'un creux significatif de 2,4 m correspondant à peu près à la houle annuelle ($H_s = 2,5$ m). La protection offerte par le port répondait donc aux critères de bonne exploitation pour le temps normal.

Pour les conditions cycloniques, correspondant à la houle centennale de 4,5 m de creux significatif, on a constaté la chute de 24 blocs sur 2940 pour la totalité de l'ouvrage soit moins de 1 % pour une tempête de 13,5 heures.

Après réparation, une deuxième tempête centennale de 12 heures a entraîné la chute de 17 blocs.

Les résultats montrent donc une parfaite stabilité de l'ouvrage.

Les essais de ruine ont montré que l'ouvrage résistait à des houles de 5,1 m de creux significatif et que la ruine n'est intervenue pour le musoir que pour des creux de 5,3 m, le reste de la digue se comportant tout à fait honorablement.

Compte-tenu de l'incertitude relative à l'estimation des houles les plus fortes générées par les cyclones, il a été décidé de conserver la marge de sécurité mise en évidence par les essais en cuve.

Outre cette très bonne tenue de l'ouvrage on a pu mettre en évidence visuellement l'existence d'une cote de niveau d'eau critique pour le talus arrière, c'est-à-dire pour laquelle l'attaque de la houle était la plus forte, et que ce niveau n'était aucun des deux niveaux extrêmes. Ceci peut s'expliquer de la manière suivante :

- au niveau le plus haut, le matelas d'eau est tel que, même pour des franchissements importants, l'amortissement dans la masse d'eau protège le talus arrière.
- au niveau le plus bas, les franchissements sont relativement peu importants et sont donc peu agressifs.

IV - CONCLUSION

Les résultats obtenus par ces essais bien qu'ils aillent dans le même sens que ceux réalisés au LNH (Réf. 4) pour des ouvrages traditionnels sont assez surprenants. En effet si l'on applique la formule d'Hudson avec un creux de

projet égal à $H_{1/10}$ on trouve pour une bonne stabilité un coefficient K_D de 28 et au niveau de la ruine un coefficient K_D de 31 alors que l'on s'attend plutôt à une valeur de l'ordre de 7,5 pour le musoir testé en 3 dimensions.

H_s	5,1 m	5,3 m
K_D	13,5	15,1
$H_{1/10}$	6,5 m	6,7 m
K_D	27,9	30,6

Ces résultats s'ils sont confirmés par d'autres essais du même type montrent :

- 1) La bonne tenue des blocs cubiques rainurés Antifer même posés à plat,
- 2) L'intérêt accru des digues franchissables à la fois du fait du moindre volume de matériaux à mettre en oeuvre et du fait de la diminution de la taille des blocs de carapace.

Références bibliographiques

- [1] - Caminade D. 1993. Le niveau de la mer. Les niveaux de référence à prendre en compte dans les études. IPER - ENPC.
- [2] - Caminade D. 1993. La Houle de Projet. Critères de choix. IPER - ENPC.
- [3] - Caminade D. 1991. Desserte maritime des Iles Loyauté. Ile de Mare, Port de Tadine - Avant projet détaillé.
- [4] - Feuillet J., Coeffe Y., Bernier J., Chalan B. 1986. Le dimensionnement des digues à talus. Ed. Eyrolles.
- [5] - SOGREAH. Tadine, Projet d'Aménagement d'un port sur l'île de Mare. 5 rapports 5-1239, R1 à R5, juillet 1990 à février 1991.