



Etude hydraulique de caissons semi-immergés en condition de similitude de Froude

Murzyn Frédéric * ; Chevalier Christophe * ; Colmard
Christophe ** ; Bélorgey Michel ***

* *doctorants*, *** *professeur – Groupe Mécanique des Fluides
et Génie Côtier, Université de Caen*

** *docteur, Bouygues Off Shore, Montigny le Bretonneux*

Résumé

Le travail présenté est une étude comparative de l'efficacité de 2 caissons semi-immergés et du système B.Y.B.O.P ([1]). Pour cela, nous avons mesuré expérimentalement, en canal à houle, les coefficients de transmission et de réflexion par la méthode de Goda ([2]) à l'aide de six sondes résistives. Le traitement des mesures prend en compte un décalage temporel introduit par les phénomènes de multi-réflexion. Les résultats montrent que globalement le système B.Y.B.O.P a le meilleur rendement ([3]).

Abstract

This work is a comparative study of two breakwaters and B.Y.B.O.P system. We measure in a wave flume transmission and reflexion coefficient by Goda's method using six probes. We introduce a temporal shift due to multi-reflection phenomena. Results show that B.Y.B.O.P has globally the best efficiency.

1. Introduction

De nouvelles technologies pour la protection côtière sont apparues durant les 4 dernières décennies. En faible profondeur, différentes solutions sont exploitées telles que les caissons Jarlan ou ARC.

Dans le cas d'eaux profondes, on a recours à des caissons semi-immergés reposant sur des pieux ([1], [8]). Leur présence a pour but de diminuer la houle transmise dans les ports (pour avoir un plan d'eau le plus calme possible) ainsi que celle réfléchi vers le large (faciliter le passage des navires près des côtes). Le plus simple est le caisson parallélépipédique. Dans ce travail, nous nous proposons de comparer cette structure (T1) et une de ses améliorations (ajout de béquet, T2) au

système B.Y.B.O.P (T3), breveté en 1997 (figure 1). Les conditions sont celles du port de la Condamine à Monaco ([4]).

Cette comparaison se fait à l'aide de l'étude de l'évolution des coefficients de réflexion K_r et de transmission K_t . Ils définissent le rendement R des ouvrages (ou coefficient de dissipation K_d) :

$$R = K_d^2 = 1 - K_r^2 - K_t^2 \quad (1)$$

Le traitement s'est fait suivant la méthode de Goda, décrite par Hughes ([2]). Les relevés de surface libre se font grâce à des sondes fixes (plus grande précision) placées de part et d'autre de la structure (3 de chaque côté). Les résultats mettent en évidence les performances du système B.Y.B.O.P.

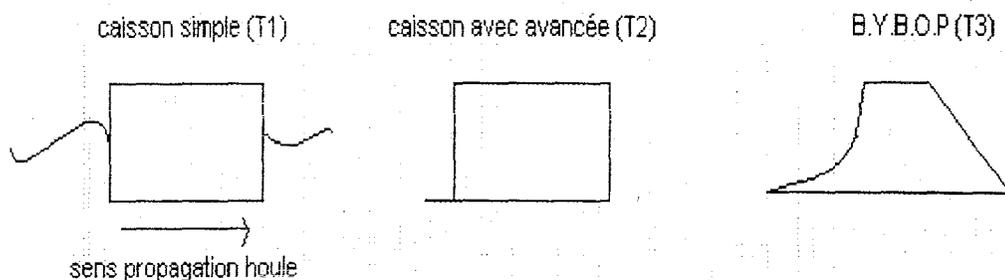


Figure 1 : caissons testés – *tested caissons*

2. Dispositif expérimental

2.1 Le canal à houle

Les essais ont été réalisés dans le canal à houle du laboratoire ($L=22$ m ; $l=0.8$ m ; $h=1$ m). La houle est générée par un batteur plan dont on peut régler la période et l'excentricité. Nous nous sommes placés en similitude de Froude (échelle $1/64^{\frac{1}{2}}$). Le rapport des échelles de temps est de 8, celui des échelles de longueur est de 64 (largeur caisson= $W=0.54$ m, profondeur d'eau= $h=0.6$ m, $1.14 < T = \text{période} < 2.2$ s). Une adaptation dans le traitement des données a été introduite (limitation temporelle, nombre de vagues) puisque nous avons travaillé sans plage

d'amortissement afin de ne pas modifier la profondeur au voisinage de la structure.

2.2 Méthode de Goda ([2])

Le principe du traitement est décrit par Hughes ([2]). Les expressions des amplitudes des houles réfléchi et transmise sont données par :

$$a_i = \frac{1}{2|\sin(k\Delta l)|} [(A_2 - A_1 \cos(k\Delta l) - B_1 \sin(k\Delta l))^2 + (B_2 + A_1 \sin(k\Delta l) - B_1 \cos(k\Delta l))^2]^{1/2}$$

$$a_r = \frac{1}{2|\sin(k\Delta l)|} [(A_2 - A_1 \cos(k\Delta l) + B_1 \sin(k\Delta l))^2 + (B_2 - A_1 \sin(k\Delta l) - B_1 \cos(k\Delta l))^2]^{1/2}$$

On définit l'expression du coefficient de réflexion $K_r = a_r/a_i$ (2). Le coefficient de transmission est défini par $K_t = a_t/a_i$.

2.3 Campagnes d'essais

Les 3 conditions testées sont présentées sur la figure 1.

Nous avons traité le caisson parallélépipédique simple (T1) puis nous avons modifié la maquette en lui intégrant une avancée plane de 0.06 mètre (T2) à largeur de maquette constante, ce qui a été étudié par Johansson ([5]) (avec maquette à dimensions variables). La configuration T3 comprend un béquet amont parabolique et un béquet aval plan incliné (système B.Y.B.O.P, T3)([9]). Les trois campagnes ont été menées dans des conditions rigoureusement identiques.

3. Résultats

3.1 Traitement des données de surface libre

Fonctionnant sans plage d'amortissement et travaillant par train d'ondes, nous étions limité en nombre de vagues ; c'est pourquoi nous avons travaillé avec des trains de vagues comprenant de 4 à 7 vagues.

L'acquisition de la surface libre se fait à 50 hertz.

3.2 Etude théorique de Bouchet/Manzone ([6])

Bouchet et Manzone ont analysé le problème du caisson simple et ont proposé la formule suivante pour K_t :

$$K_t = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot W \cdot h}{K \cdot L \cdot (h - i)} \right)^2}} \quad (3), \text{ où } K=f(h, i, L)$$

3.3 Comparaison de nos résultats à la théorie

Dans le cas des caissons simples (T1), il a été possible de comparer nos mesures à la théorie de Bouchet/Manzone.

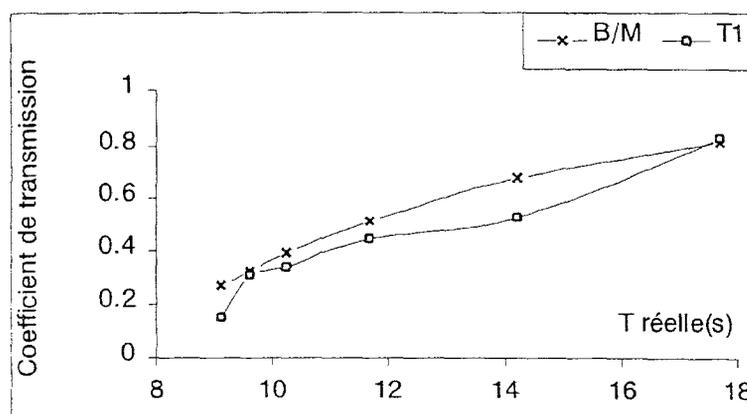


Figure 2 : Comparaison de la théorie et des mesures effectuées pour le coefficient de transmission d'un caisson T1 – Comparison of theoretical and experimental transmission coefficient for T1

On constate sur la figure 2 que les allures sont similaires mais que la théorie semble surestimer les mesures ; on peut supposer que cela est dû au fait que celle-ci ne prend pas en compte la dissipation d'énergie.

3.4 Efficacité comparée des 3 systèmes

3.4.1 Etude de la transmission

Les mêmes expériences ayant été réalisées pour les 3 structures, les résultats sont présentés sur la figure 3.

Les résultats sont valables pour différentes cambrures de la houle.

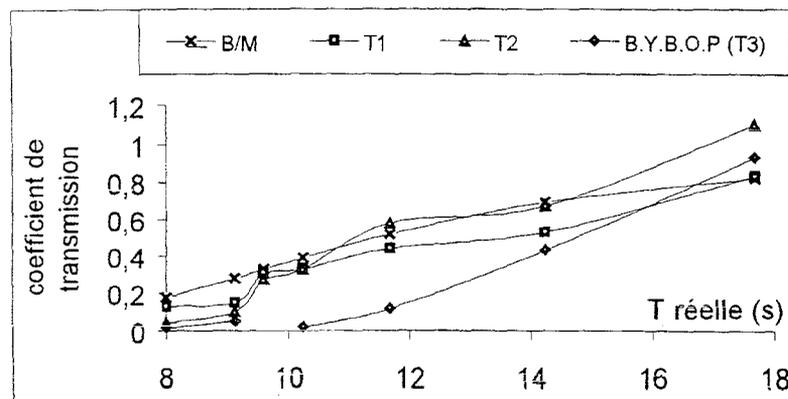


Figure 3 : Comparaison des coefficients de transmission en fonction de la période – *Comparison of transmission coefficient according to period*

Il apparaît sur la figure 3 que le système B.Y.B.O.P est de loin le plus efficace en ce qui concerne le coefficient de transmission, en particulier aux environs de $T=11$ s.

Pour le B.Y.B.O.P, la légère augmentation de la transmission aux basses périodes (entre 8 et 10 secondes) n'affecte en rien le rendement de cette structure vis à vis des autres.

On retrouve des résultats conformes aux essais menés à Toulon dans le cadre d'Océanide ([7]) au niveau du B.Y.B.O.P pour les petites périodes : il y a aussi apparition d'une bosse pour une période de 9

secondes environ. On note toutefois un léger décalage périodique par rapport à ceux-ci.

Le comportement des 3 maquettes tend à s'uniformiser lorsque la période augmente.

Néanmoins, les périodes que l'on rencontre le plus fréquemment en Méditerranée ne sont pas très grandes ce qui revient à dire que dans cette situation le B.Y.B.O.P semble être le mieux adapté.

Toutefois, pour une plus grande sécurité, il faudrait s'en assurer définitivement en étendant la gamme des périodes testées à des valeurs encore plus faibles.

3.4.2 Etude de la réflexion

Dans ce cas, le nombre de vagues de traitement est plus grand puisqu'il varie entre 8 et 17 suivant les périodes.

Les résultats sont présentés sur la figure 4.

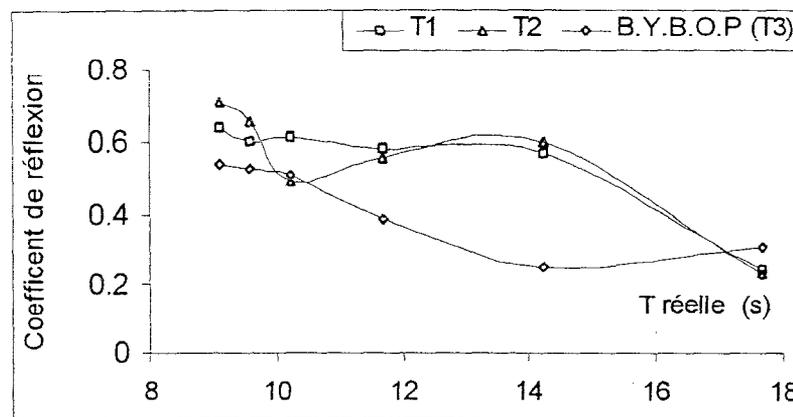


Figure 4 : Comparaison des coefficients de réflexion en fonction de la période – *Comparison of reflexion coefficient according to period*

L'avantage du B.Y.B.O.P est encore bien marqué pour cette caractéristique. La réflexion est nettement moins importante sur quasiment toute la plage de période.

On constate aussi que l'effet de l'avancée plane (T2) se fait de moins en moins sentir, par rapport au caisson simple (T1), concernant la réflexion au fur et à mesure que les périodes augmentent.

Si on analyse le problème du point de vue énergétique, la réflexion et la transmission étant plus faibles, on peut dire que le B.Y.B.O.P agit comme un dissipateur d'énergie plus efficace que les 2 autres ouvrages. Ceci est dû à la forme particulière de ses béquets amont et aval qui permettent la génération de tourbillons qui dissipent ainsi une bonne partie de l'énergie de la houle incidente. Le rendement de l'ouvrage en est d'autant amélioré.

3.4.3 Etude de la dissipation

Sachant que la houle qui arrive sur l'ouvrage est soit transmise, soit réfléchié ou bien encore dissipée, on peut définir un coefficient de dissipation K_d , que l'on estime par la relation suivante :

$$K_d^2 = 1 - K_r^2 - K_t^2$$

Celui-ci est donc une donnée directe caractérisant le rendement de l'ouvrage d'après la relation (1).

Les résultats sont donnés sur la figure 5 où nous présentons une évolution comparative de ce coefficient pour les 3 structures testées en fonction de la période pour des conditions similaires de tests.

Les résultats sont très intéressants et permettent d'établir un ordre d'efficacité pour des gammes de périodes précises.

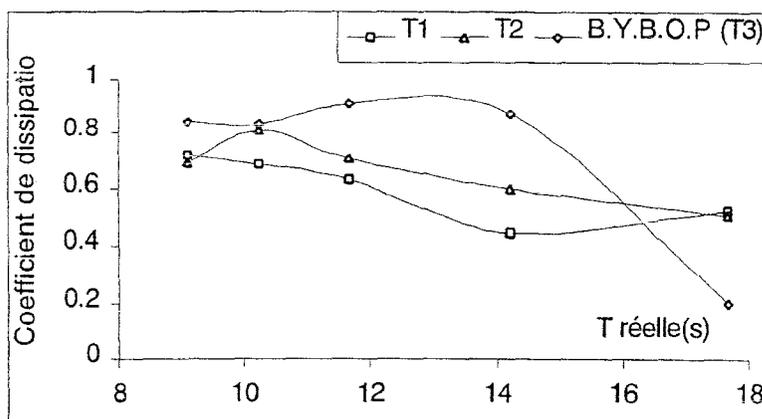


figure 5 : Evolution comparative des rendements des ouvrages en fonction de la période – *Comparative evolution of structure efficiency according to period*

Par ailleurs, on remarque sur la figure 5 une caractéristique qui n'apparaissait pas sur les données précédentes. Il y aurait une inversion du rendement pour les grandes périodes ce qui dans le cas d'une tempête

peut être très dommageable. Par contre, il semble aussi que plus les périodes diminuent et plus l'écart entre les coefficients de dissipation du B.Y.B.O.P et des caissons augmente. C'est un résultat qui est fort intéressant mais qu'il conviendrait d'approfondir aux périodes plus basses.

Le B.Y.B.O.P semble donc posséder une gamme étendue de période sur laquelle il est plus efficace que les autres structures.

4. Conclusions

Dans le cadre de l'étude de prototype de digues pour le projet du port de Monaco, nous avons analysé l'évolution des coefficients de transmission, de réflexion de différents structures comparés au B.Y.B.O.P ainsi que leur efficacité. Pour cela, nous nous sommes placés dans des conditions de similitude de Froude.

Les résultats obtenus montrent que :

1. l'effet d'une avancée plane sur un caisson semble n'être bénéfique que pour des faibles périodes ;
2. le système B.Y.B.O.P semble être le mieux adapté aux conditions testées au moins jusqu'aux périodes inférieures à 16 secondes ;
3. l'évolution du rendement met en évidence 2 phénomènes non négligeables :
 - inversion des rendements aux grandes périodes
 - augmentation de l'écart aux plus faibles périodes entre caissons et B.Y.B.O.P

La limite principale de nos expériences concerne le nombre de vagues de traitement qui est un peu faible. Celui devra être optimisé lors de campagnes ultérieures. Il suffira simplement de placer une plage d'amortissement.

6. Références

[1] COLMARD Christophe (1997) - *Etude des phénomènes induits par les digues partielles de type caissons montés sur pieux*, Thèse de doctorat de l'Université du Havre, 193p.

- [2] HUGHES Steven (1993) - *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*, volume 7, chap VIII, pp508-510.
- [3] MURZYN Frédéric (1998) - *Etude hydraulique de caissons semi-immergés parallélépipédique, B.Y.B.O.P et Jarlan : Mesures des coefficients de transmission, de réflexion et des pressions*, Rapport de D.E.A, Université de Rouen.
- [4] Ec.Polytechn. CHALMERS (1988) - *Port de la Condamine : amélioration de la protection du plan d'eau et extension*, Rapport n°1.
- [5] JOHANSSON Michaël (1988) - *Influence d'une avancée plane sur le coefficient de transmission*, PM.
- [6] BOUCHET R ; MANZONE J.M (1986) - *Le mur d'eau ; dispositif nouveau de brise houle en eau profonde ; P.I.A.N.C.-A.I.P.C.N - Bulletin n°52*, pp 60-67.
- [7] AULANIER J.P ; THIBAUT B (1997) - *Essais en canal à houle, caisson B.Y.B.O.P ; projet C 7.8.2.053*, rapport Bouygues Off Shore, Océanide, Toulon.
- [8] COLMARD C ; BELORGEY M ; AUPERIN L (1996) - *Hydraulic functioning of "Fixed Water Wal" type breakwaters*, Proceedings of the sixth International Offshore and Polar Engineering Conference, Los Angelès, USA, may 26-31, vol II, pp 531-537.
- [9] COLMARD C ; ROGER P ; BELORGEY M (1998) - *Digue partielle à profil optimisé : système BYBOP*, 5^{ème} Journées nationales Génie Civil-Génie Côtier, Toulon, 1998.