



## OPTIMISATION EN CANAL A HOULE D'UN ABSORBEUR A PLAQUES POREUSES VERTICALES

Jean ALLILAIRE et Michel BENOIT  
EDF - Laboratoire National d'Hydraulique  
6, Quai Watier - BP 49 - 78400 CHATOU

### Abstract

*This study aims to design an upright wave absorber made of several porous sheets. This absorber will be set up in a multidirectional wave tank. A good number of tests are performed in a wave flume with regular wave under various conditions of period and steepness. A satisfactory efficiency is obtained through a 8-sheet absorber with a particular porosity distribution. The resulting amount of data will be used later in order to calibrate a mathematical model.*

### I. INTRODUCTION - BUT DE L'ÉTUDE

Dissiper l'énergie de la houle et minimiser sa réflexion sur des ouvrages fixes ou flottants sont des préoccupations constantes aussi bien pour les aménageurs maritimes du domaine côtier que pour les chercheurs, travaillant sur maquettes en laboratoire. Que ce soit pour un canal ou une cuve à houle, la mise au point de systèmes amortisseurs de houle doit alors satisfaire à un cahier des charges précis et sévère : encombrement réduit, robustesse mécanique, durabilité, efficacité sur une large gamme de périodes, de cambrures et de directions de houle, absence de manutention en fonction de la hauteur d'eau...

La réponse apportée à ce problème peut recouvrir des formes diverses et faire appel à des solutions techniques

parfois originales. Une revue récente des amortisseurs passifs utilisés en laboratoire (Ouellet et Datta, 1986) a montré cette variété (plages inclinées à pente constante ou à profil parabolique, plaques pleines horizontales ou inclinées, systèmes poreux, plaques verticales perforées, systèmes combinés à partir des solutions précédentes,...) tout en mettant clairement en évidence les conclusions suivantes :

- il existe très peu de solutions universelles fonctionnant sur une large gamme de profondeurs et de périodes. La majorité des systèmes sont dimensionnés pour des conditions données et exigent une manipulation pour suivre les variations de ces conditions,
- les données disponibles sur l'efficacité de ces systèmes sont assez réduites et souvent limitées à des conditions particulières, favorables pour l'amortisseur considéré.

La solution généralement employée est celle d'une plage inclinée de faible pente (de l'ordre de 5%), de préférence en cailloux. Ce système se révèle d'une grande efficacité, mais présente le double inconvénient de prendre des dimensions importantes si la profondeur d'eau augmente et d'être difficilement mobile. C'est toutefois la solution préconisée sur une installation fixe qui dispose de la place nécessaire.

Pour tenter de remédier à ces deux limitations, la

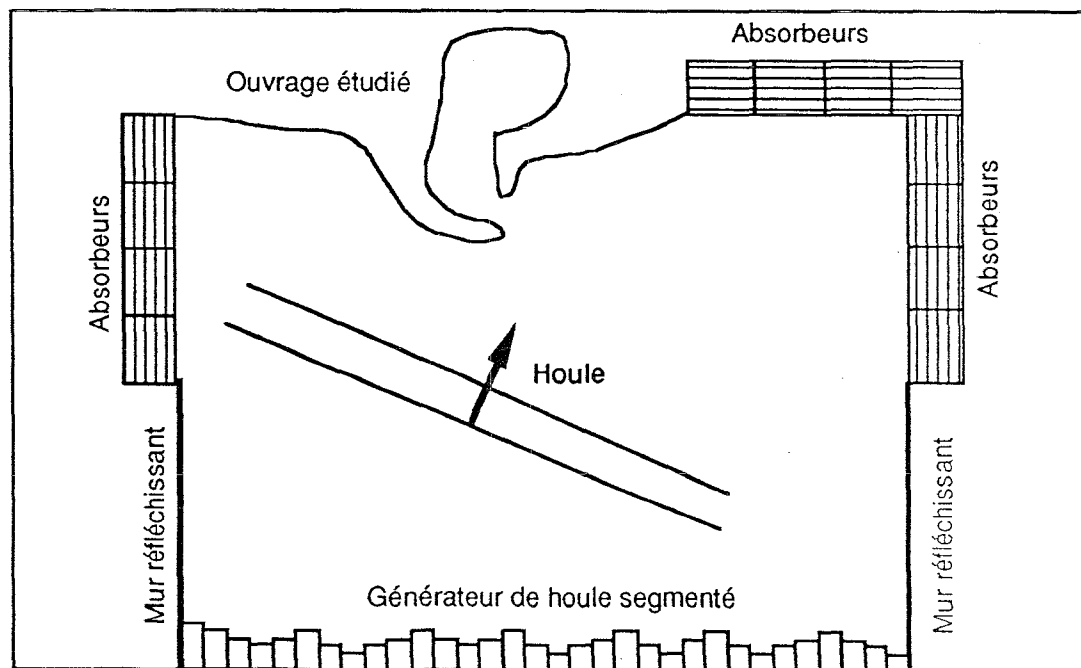


Fig. 1 : Exemple d'utilisation de la cuve à houle multi-directionnelle

présente étude exploite la solution alternative d'un système de plaques poreuses verticales, d'encombrement plus réduit et facilement modulaire. Ces amortisseurs sont destinés à équiper la cuve à houle multidirectionnelle et à courants du Laboratoire National d'Hydraulique. La figure 1 illustre un exemple de configuration d'étude dans cette installation. Aux limites latérales du générateur de houle segmenté se trouvent des murs verticaux parfaitement réfléchissants qui sont pris en compte par le programme de génération de houle et participent à l'augmentation de la zone utile d'étude par réflexion totale. Au delà, il convient au contraire d'essayer d'annuler la réflexion et de dissiper au maximum l'énergie réfléchie par l'ouvrage, tâche à laquelle sont dédiés les amortisseurs mis au point dans le cadre de cette étude.

Plusieurs auteurs ont déjà travaillé sur ce type de système amortisseur (voir par exemple : Chwang et Dong, 1984 ; Evans, 1990 ; Jamieson *et al.*, 1989 ; Twu et Lin, 1990) et les publications existantes ont permis une première approche du principe de fonctionnement et des limitations de ce système.

Par ailleurs, cette étude a été l'occasion de comparer plusieurs méthodes d'analyse du processus de réflexion de la houle. En particulier, une modélisation au deuxième ordre, incluant l'harmonique du deuxième ordre de Stokes et la composante libre, a été développée et mise en œuvre pour les mesures.

## II. DESCRIPTIF DES CONDITIONS D'ESSAIS EN CANAL A HOULE

Les essais sur modèle physique en laboratoire se sont déroulés dans un canal à houle du LNH possédant les caractéristiques suivantes :

- longueur utile : 40 m
- largeur : 0,60 m
- profondeur maximum : 0,80 m

Le canal est équipé d'un générateur de houle régulière, commandé par un moteur électrique entraînant une came. Il s'agit d'un générateur mixte pouvant fonctionner en mode "piston" (mouvement de translation d'ensemble), en mode "volet" (rotation autour d'un axe horizontal sur le fond) ou en mode combiné "piston/volet". Un schéma général de l'installation d'essais fait l'objet de la figure 2.

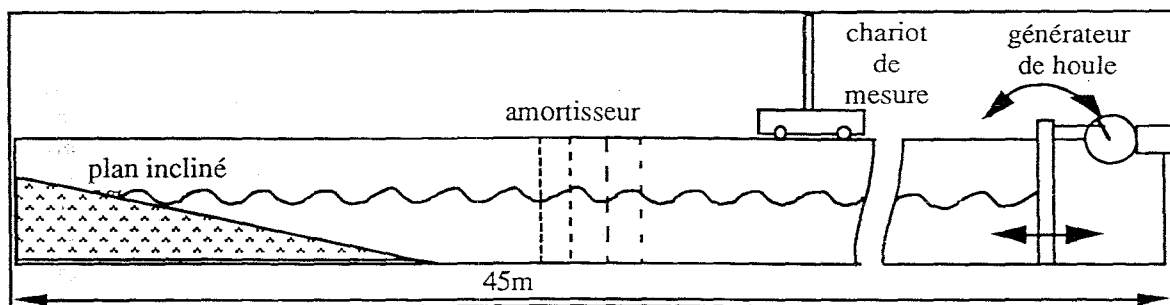


Fig. 2 : Schéma de l'installation d'essais

Les amortisseurs sont réalisés avec des plaques poreuses en métal déployé, dont la porosité décroît à mesure que la distance au générateur de houle augmente.

L'étendue des périodes explorées va de 0,8 s à 2,5 s.

La profondeur d'eau a été gardée constante pour l'ensemble des essais à une valeur de 0,5 m.

Pour cette valeur de profondeur, on a les résultats suivants concernant la longueur d'onde  $L$  et la profondeur relative  $d/L$  (ou  $kd = 2\pi \cdot d/L$ ) :

T (s)	0,8	1	1,4	2	2,5
L (m)	1,00	1,51	2,57	4,06	5,24
$d/L$	0,5	0,33	0,195	0,123	0,095
$kd$	3,14	2,08	1,22	0,77	0,60

La mesure de houle s'effectue en amont de la série de plaques, au moyen d'un ensemble de 5 capteurs en position fixe, de façon à séparer la houle incidente de la houle réfléchie par l'amortisseur. Pour les cas d'essais où la dernière plaque de la série n'est pas pleine, un deuxième réseau de 5 capteurs est disposé en aval du système de plaques de façon à mesurer l'énergie transmise. Les capteurs utilisés sont des sondes de type

résistif. Les configurations des réseaux linéaires de 5 capteurs et leurs emplacements par rapport à l'amortisseur étudié sont indiqués sur la figure 3, pour le cas où l'amortisseur étudié se compose de 3 plaques poreuses.

Pour tous ces essais, l'aval du canal est équipé d'une plage en pente douce à 5%. Cette plage est destinée à minimiser la réflexion de la houle vers le batteur. Son coefficient de réflexion a été mesuré et vaut moins de 5% sur l'ensemble des périodes étudiées.

Les acquisitions sont effectuées et dépouillées sur un ordinateur HP 1000 qui équipe le canal en permanence. Dans cette étude, les résultats ont ensuite été transférés sur station de travail HP 9000 afin de comparer différents modes de traitement.

## III. MÉTHODES DE TRAITEMENT DE LA HOULE

Bien que le mouvement du générateur de houle soit sinusoïdal et monochromatique, le profil de surface libre dans un canal en eau peu profonde avec un système partiellement réfléchissant à l'autre extrémité possède très peu de chances d'être sinusoïdal. Plusieurs

phénomènes physiques influent sur la houle générée (profondeur finie, condition à la limite au batteur, interactions,...) et créent des composantes supplémentaires qui viennent s'ajouter à la composante principale.

### 1. Méthode de mesure par analyse spectrale

Elle consiste à effectuer une analyse spectrale en 3 points de mesure différents, dont les espacements sont connus, puis à séparer l'énergie incidente de l'énergie réfléchie (Goda et Suzuki, 1976 ; Mansard et Funke, 1980).

### 2. Méthode de mesure de houle au 2ème ordre

Cette méthode de mesure de la houle au 2ème ordre prend en compte la composante harmonique de Stokes du second ordre (appelée "onde liée" car elle se déplace à la célérité du mode fondamental), ainsi qu'une autre composante harmonique du second ordre, générée par la condition à la limite au niveau du batteur et appelée "onde libre" car elle se déplace à sa célérité propre, donnée par sa période  $T/2$ .

Afin de procéder de façon combinée à une analyse de

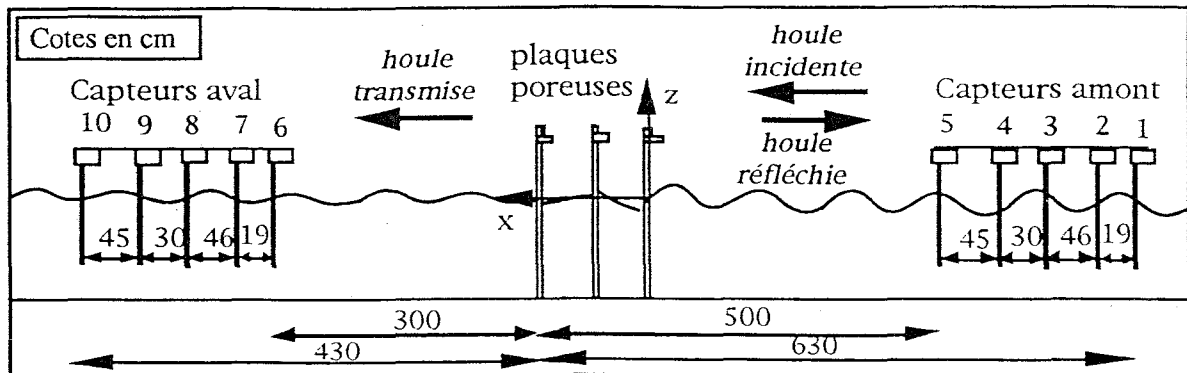


Fig. 3 : Exemple de disposition des plaques et capteurs de mesure de houle

houle au deuxième ordre et une séparation incident/réfléchi, la mesure de la surface libre est réalisée de façon simultanée en cinq points successifs dont les positions relatives et les distances par rapport à l'amortisseur étudié sont connues (fig. 3). Le traitement peut ensuite s'effectuer sur un nombre  $K$  de capteurs ( $K$  compris entre 3 et 5) au choix de l'utilisateur.

### IV. PROCÉDURE D'ESSAIS

Les essais se sont déroulés en trois phases principales, de façon à mieux appréhender les différents aspects du fonctionnement du système multi-plaques.

#### 1ère phase : tests avec une seule plaque dans canal supposé infini

Des tests sur une seule plaque ont été effectués de façon à déterminer la répartition entre l'énergie transmise, l'énergie réfléchie et l'énergie dissipée, ceci en fonction de deux paramètres de houle distincts, qui sont la période et la cambrure, et d'un paramètre géométrique lié à la plaque, sa porosité. Ces tests se sont déroulés dans un canal supposé non réfléchissant à son extrémité aval (configuration d'essai de la figure 3, mais avec une seule plaque poreuse).

La figure 4 rassemble les résultats obtenus pour sept plaques (testées individuellement) de porosités comprises entre 11 et 70%, à différentes cambrures pour une période donnée (égale à 1,4 s). La figure 5 regroupe quant à elle les résultats obtenus avec une seule plaque (de porosité 40%), mais en faisant varier la cambrure pour différentes périodes. Ces résultats confirment l'effet attendu de la porosité sur le coefficient de réflexion, à savoir que ce dernier diminue quand la porosité augmente (fig. 4).

On remarquera également que la cambrure de la houle est un paramètre important et que le coefficient de réflexion croît en même temps que celle-ci (fig. 4 et 5).

Ces observations confirment qu'un paramètre important à prendre en compte est la vitesse du fluide au travers des plaques. Pour les ondes longues (de périodes élevées), le flux liquide à travers une plaque au cours d'une période est important et les jets provoqués par les mailles de la plaque ont le temps de s'établir et participent préférentiellement à la dissipation de l'énergie, par turbulence derrière les plaques. Dans le même temps, les résultats de la figure 5 indiquent que, pour la porosité considérée, la part de l'énergie réfléchie augmente avec la période pour une même cambrure (mais non un même flux d'énergie incident). Ceci tendrait à indiquer que le rôle d'"obstacle" de la plaque est d'autant plus important que la période est longue et que les premières plaques de l'amortisseur devront avoir des porosités assez élevées sous peine d'être trop réfléchissantes pour les périodes élevées. Pour les ondes plus courtes, un autre facteur de dissipation important est le déferlement qui se produit au niveau de la plaque quand la cambrure devient importante.

#### 2ème phase : tests avec trois plaques dans un canal supposé infini

Toujours dans un canal supposé infini, des tests avec un système de trois plaques (porosités 40, 60 et 70%) ont permis d'appréhender l'influence de l'espacement inter-plaques. Les résultats obtenus lorsqu'on fait varier la cambrure pour une période donnée de 1,4 s sont synthétisés sur la figure 6. Ils montrent clairement que l'intervalle inter-plaques influence sensiblement le coefficient de réflexion de l'ensemble.

Dans le cas d'un intervalle trop faible, l'opposition au passage de l'eau à travers les mailles devient prépondérante et le coefficient de réflexion augmente. De même, si l'intervalle est trop grand, les plaques

travaillent indépendamment et il s'ensuit une superposition de réflexions désordonnées : le système perd de son efficacité. Il convient donc de se caler sur les vitesses et la période les plus courantes. La figure 6

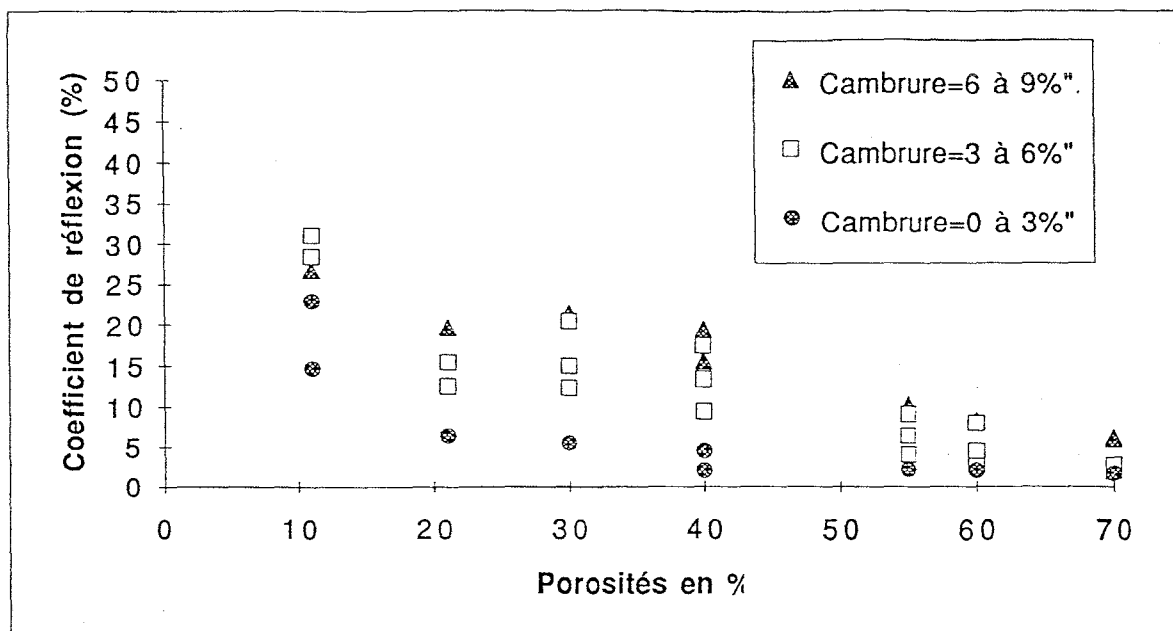


Fig.4 : Influence de la cambrure sur le coefficient de réflexion. Cas d'une plaque dont la porosité varie de 11% à 70%, la période étant fixée à  $T=1,4$  s

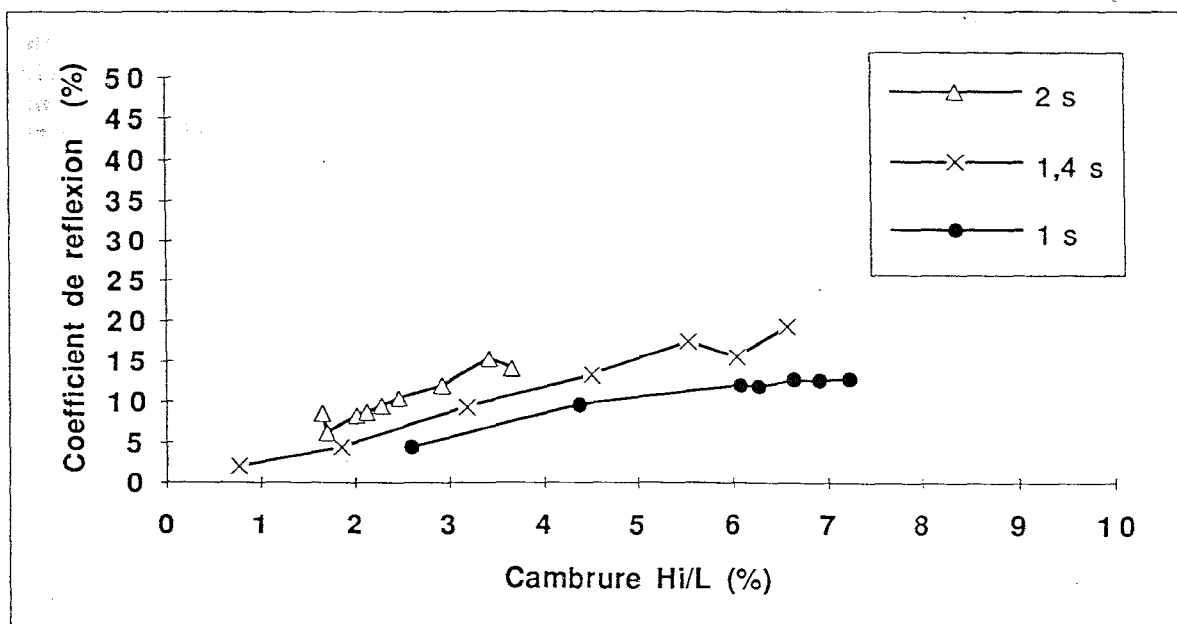


Fig. 5 : Coefficient de réflexion d'une plaque de porosité 40% en fonction de la cambrure de la houle pour 3 périodes différentes

illustre cette variation du coefficient de réflexion et incite à choisir, pour la période considérée, un espacement inter-plaques de 40 cm.

### 3ème phase : tests avec huit plaques dans un canal semi-infini

La dernière phase a consisté à tester l'échelonnement dégressif des porosités de façon à obtenir un coefficient de réflexion acceptable à l'intérieur de la plage de

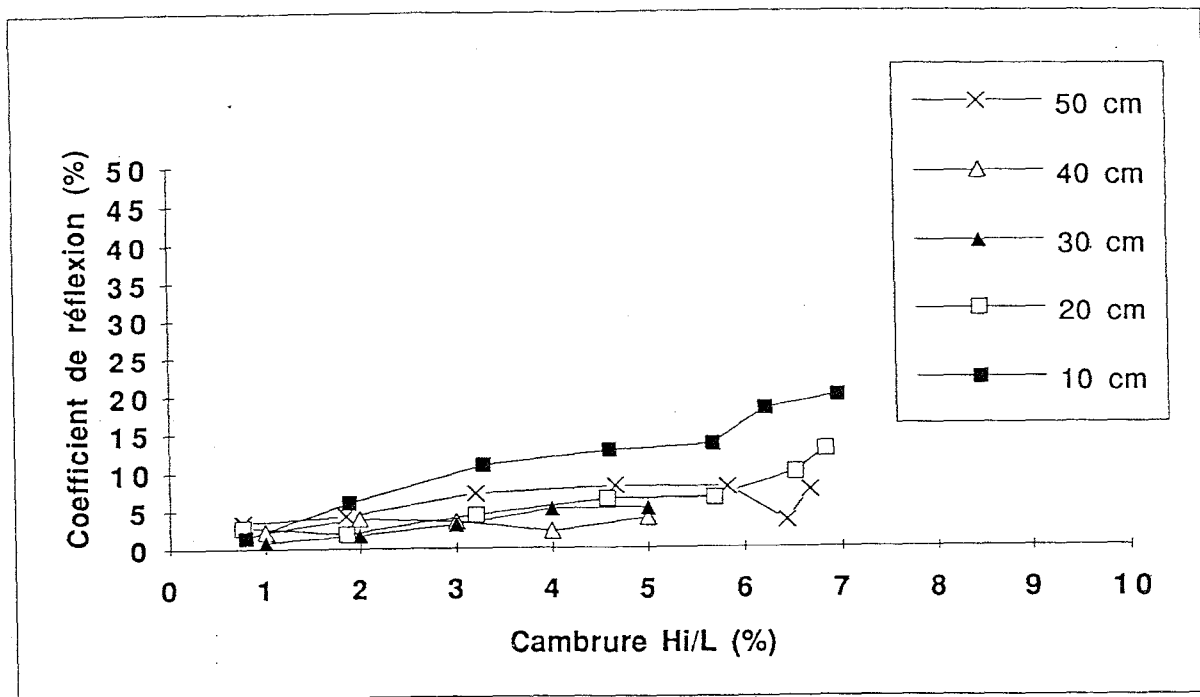


Fig. 6 : Coefficient de réflexion d'un système de 3 plaques (porosités 40-60-70%) en fonction de la distance inter-plaques pour différentes cambrures à une période donnée  $T=1,4$  s.

fréquences d'utilisation. Ces tests se sont déroulés avec un système de huit plaques poreuses, dans un canal supposé semi-infini, c'est-à-dire qu'une neuvième plaque, parfaitement réfléchissante, a été ajoutée dans le canal.

Dans ce cas de figure, il faut être vigilant sur le choix de l'intervalle inter-plaques. En effet, si cet intervalle est un multiple de la demi-longueur d'onde, les plaques se trouvent centrées sur des ventres de l'agitation

stationnaire provoquée par la réflexion sur la plaque pleine. Au niveau de ces ventres d'agitation, les vitesses horizontales sont très faibles et l'efficacité de la plaque diminue sensiblement. Ce cas est mis en évidence sur la figure 7 pour la période de 0,8 s pour un espacement inter-plaques de 50 cm. En effet, la longueur d'onde de la houle pour cette période à la profondeur de 0,50 m est de 1m exactement.

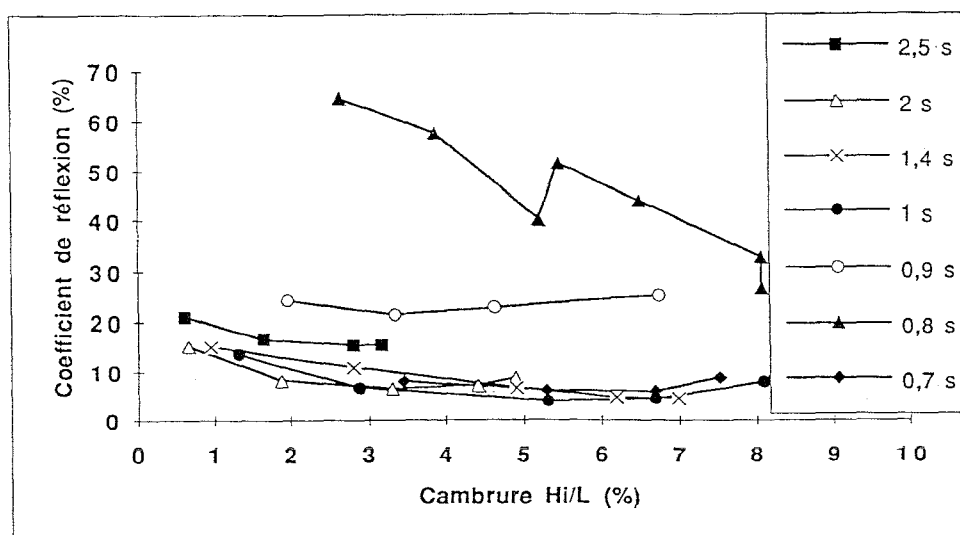


Fig. 7 : Comportement d'un ensemble de 8 plaques espacées de 0,50 m à 7 périodes différentes en fonction de la cambrure. Porosité des plaques : 11-11-24-24-30-40-44-60%.

Il importe donc de choisir judicieusement le créneau des périodes et des amplitudes qui sera le plus

fréquemment utilisé et de s'y caler pour définir la géométrie de l'amortisseur. Pour les gammes habituelles

de fonctionnement du batteur (périodes préférentiellement comprises entre 0,8 et 2. s), la solution finalement retenue est composée de 8 plaques espacées chacune de 0,40m. Les résultats de cette configuration sont présentés sur la figure 8, où le coefficient de réflexion est évalué pour diverses cambrures et périodes. On remarquera l'augmentation du coefficient de réflexion

lorsque la cambrure devient très faible ou très forte. Ce coefficient de réflexion conserve toutefois des valeurs de l'ordre de 5 à 10 % pour les conditions d'utilisation standard (périodes de 1 à 1,5 s, cambrures de l'ordre de 2 à 6%). Sa valeur maximale dans une gamme d'utilisation étendue (périodes comprises entre 0,8 et 2 s) reste toujours inférieure à 20% et donc satisfaisante.

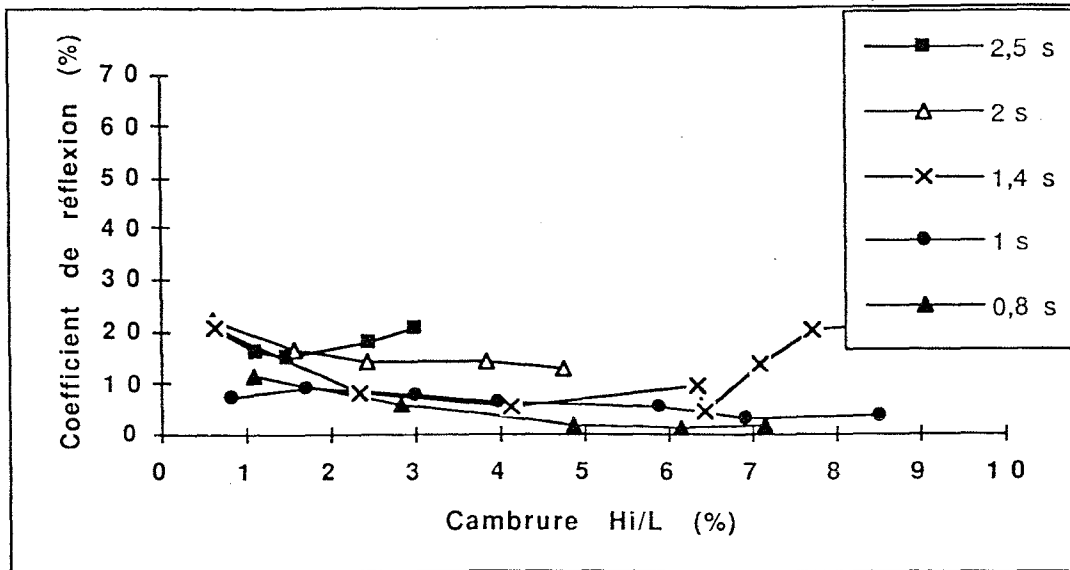


Fig. 8 : Configuration finale : 8 plaques espacées de 0,40 m chacune. Variation du coefficient de réflexion en fonction de la cambrure pour diverses périodes. Porosité des plaques : 11-11-24-24-30-40-44-60%.

## V. CONCLUSION

La nécessité d'une configuration modulable et indépendante de la profondeur d'eau pour construire un amortisseur de houle a guidé notre choix vers un système à plaques poreuses verticales. Cependant, la détermination précise d'une configuration multi-plaques est délicate car le facteur "vitesse des particules au travers des plaques" est prédominant. Ce facteur est principalement influencé par la période et la cambrure de houle, aussi s'est-on attaché à faire varier ces deux paramètres au cours des essais (périodes comprises entre 0,8 s et 2., s et cambrures allant jusqu'à 9%). Par ailleurs, l'espacement inter-plaques apparaît également comme un facteur important qui peut, s'il est mal ajusté, réduire sensiblement l'efficacité du système.

Il s'agit donc de choisir le meilleur compromis qui s'adaptera aux périodes et aux amplitudes de houle les plus fréquentes dans le bassin à équiper. Des tests en canal à houle régulière conduits sur un ensemble de 8 plaques de porosités dégressives nous ont permis de dimensionner un système ayant un coefficient de réflexion inférieur à 10 % pour des conditions d'utilisation courantes (périodes de 1 à 1,5 s), et inférieur à 20% dans une gamme assez étendue (périodes comprises entre 0,8 et 2 s et cambrures comprises entre 2 et 8%).

Dans le cadre de cette étude un volume important de tests sur modèle physique a été réalisé. Les résultats obtenus

vont, dans une étape ultérieure, être utilisés pour tenter de caler une modélisation numérique du système multi-plaques, avec en particulier l'ajustement d'une loi de perte de charge adaptée pour la transmission au travers des plaques perforées.

## Références

- [1] Chwang A.T., Dong Z. 1984. Wave Trapping due to a Porous Plate. Proc. 15th Office of Naval Research Symposium, pp 407-417.
- [2] Evans, D.V. 1990. The Use of Porous Screens as Wave Dampers in Narrow Wave Tanks. Journal of Engineering Mathematics, vol 24, pp 203-212.
- [3] Goda Y., Suzuki Y. 1976. Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments. Proc. 15th Int. Conf. on Coast. Eng., Hawaii, USA
- [4] Jamieson W.W., Mogridge G.R., Brabrook M.G. 1989. Side Absorbers for Laboratory Wave Tanks. Proc. 23rd IAHR Congress, Ottawa, Canada.
- [5] Mansard E.P.D., Funke E.R. 1980. The Measurement of Incident and Reflected Spectra using a Least Squares Method. Proc. 17th Int. Conf. on Coast. Eng.
- [6] Ouellet Y., Datta I. 1986. A Survey of Wave Absorbers. Journal of Hydraulic Research, 24, 256-280.
- [7] Twu S.W., Lin D.T. 1990. Wave Reflection by a Number of Thin Porous Plates Fixed in a Semi-infinitely Long Flume. Proc. 22nd Int. Conf. on Coast. Eng., Delft, The Netherlands.