



Etude non linéaire du comportement hydrodynamique d'un caisson Jarlan

Serge Huberson

Professeur, GEMH, Université du Havre

Jérôme Brossard

Maître de Conférences, GEMH, Université du Havre

Elie Rivoalen

Maître de Conférences, GEMH, Université du Havre

Jean François Lhuissier

Maître de Conférences, GEMH, Université du Havre

Caroline Olivier

Etudiante en thèse, GEMH, Université du Havre

Résumé

Comme de nombreux résultats expérimentaux le montrent, un modèle simplement linéaire ne permet pas de rendre compte du fonctionnement des structures de protection de côte à double paroi verticale. Il est nécessaire de modéliser les effets non linéaires essentiellement dus à la production de tourbillons au passage de la paroi semi-réfléchissante et la dissipation dans la chambre entre les deux parois. Nous sommes conduit à élaborer un modèle à partir de la théorie de propagation d'onde en milieu dissipatif. Des expériences ont été réalisées en canal à houle ; elles permettent de mesurer avec une bonne précision l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de l'encombrement d'une structure de type JARLAN et de valider le modèle proposé.

1. Introduction

Nous nous intéressons ici à la prédiction du système de houle réfléchi par des ouvrages de protection de côte partiellement réfléchissants de type caisson. Ceux ci sont composés d'une paroi poreuse, d'une chambre de dissipation et d'une cloison arrière pleine, et donc totalement réfléchissante. Dans un modèle de prédiction numérique, comme par exemple les modèles linéaires de diffraction-radiation, l'effet de ces caissons doit être représenté par une simple condition posée sur la frontière du domaine où la houle se propage librement. Cette condition doit permettre de tenir compte de tous les aspects du fonctionnement des caissons, c'est à dire à la fois des phénomènes de réflexion partielle, de dissipation par création de tourbillons au passage à travers la première paroi et de dissipation d'énergie cinétique à l'intérieur du caisson. Compte tenu de la dimension des ouvrages, le mécanisme de création de tourbillons est associé à un fonctionnement purement non linéaire et la condition de transmission à travers la paroi partiellement réfléchissante peut être obtenue de cette façon [Molin B. et Fourest J.M.-1992]. Dans le cas où les dimensions du caisson sont assez petites

par rapport à la longueur d'onde, l'existence de tourbillons dans la chambre de dissipation peut affecter les caractéristiques de la houle retransmise de façon significative. Nous étudions ici ce problème sur une houle de canal dans le cas où la paroi partiellement réfléchissante est une paroi perforée (caisson de type JARLAN). Les résultats expérimentaux sont identifiés et comparés aux prédictions d'un modèle obtenu à partir de la théorie de propagation d'ondes en milieu dissipatif.

2. Analyse linéaire de la réflexion sur un ouvrage à double paroi

Si la dissipation au passage de la paroi semi-transparente et dans le caisson est négligée la structure peut être considérée comme un interféromètre classique avec des conditions de dispersion identiques devant la structure et dans la chambre entre les parois. Les ondes réfléchies par chacune des parois seront déphasées d'un multiple de l'angle 2ϕ correspondant au parcours entre les deux parois ($\phi = k_i d$ où k_i est le nombre d'onde de la houle incidente et d la distance entre les deux parois).

Le coefficient de réflexion devant l'ouvrage vaut :

$$R = \frac{|r + (1 - 2r^2)e^{2i\phi}|}{|1 - re^{2i\phi}|} \quad (1)$$

où r est le coefficient de réflexion de la paroi semi-réfléchissante.

Ce coefficient est minimum pour $r = 0,5$ et pour $d = L / 4$ avec $L = \frac{2\pi}{k_i}$

longueur d'onde de la houle incidente.

Tous les résultats expérimentaux, en réel ou en laboratoire, montrent que la réflexion est minimale pour des distances d plus faibles que ne le prédit ce modèle linéaire. A titre d'exemple nous donnons figure (6) des résultats expérimentaux sur l'évolution du coefficient de réflexion sur un ouvrage de type JARLAN en fonction du rapport d/L . Le minimum de réflexion est atteint pour une valeur de ce rapport de l'ordre de 0,17.

La cause essentielle de l'écart entre ce modèle linéaire et les expériences réside dans l'hypothèse de non dissipation dans l'ouvrage.

3. Modèle avec dissipation

Si la paroi semi-transparente est un mur perforé d'orifices cylindriques à section circulaire il y a formation de tourbillons annulaires au passage des trous. Ces tourbillons vont contribuer fortement à la dissipation de l'énergie. L'intensité de ces tourbillons est déterminée par la différence de pression, essentiellement gravitaire, entre les deux côtés de la paroi semi-transparente [Caminade D.-1992]. Les effets de la dissipation sont un amortissement des ondes réfléchies et une modification de la célérité dans la chambre d'où un temps de parcours dans la chambre différent de celui du modèle linéaire ci-dessus.

La dissipation sera essentiellement due à la turbulence dans la chambre entre les deux parois.

Notre objectif est de prévoir qualitativement l'influence de la dissipation dans l'évolution du coefficient de réflexion. Pour ce faire nous nous placerons dans le cas, plus simple à traiter, d'une faible profondeur d'eau h et nous allons chercher à linéariser une équation d'onde intégrant un effet de dissipation dû à la turbulence.

Nous pouvons écrire l'équation longitudinale de conservation de quantité de mouvement linéarisée sans termes visqueux à laquelle on ajoute des termes de diffusion turbulente suivant l'hypothèse de Boussinesq :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (v_{tx} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{ty} \frac{\partial u}{\partial y}) \quad (2)$$

où η est l'élévation de la surface libre, u la composante horizontale de vitesse et v_{tx} et v_{ty} les coefficients de diffusion turbulente de Boussinesq.

Pour linéariser les termes de diffusion turbulente nous supposons que le coefficient de diffusion turbulente longitudinale est uniforme dans la chambre de dissipation. Pour le terme associé au gradient vertical, donc à la stratification

verticale de l'écoulement, nous introduisons une vitesse moyenne $\bar{u} = \frac{1}{h} \int_0^h u dy$ et

nous supposons que le terme de diffusion verticale est proportionnel à cette vitesse moyenne. D'où l'équation de conservation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_t \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + D_t \bar{u} \quad (3)$$

où D_t est un coefficient associé à la stratification de l'écoulement.

L'équation d'onde obtenue est alors:

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = -gh \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + D_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + v_t \frac{\partial^3 \bar{u}}{\partial x^2 \partial t} \quad (4)$$

De cette équation d'onde on déduit une relation de dispersion associée à la chambre de dissipation :

$$\omega^2 = ghk_t^2 - i\omega(D_t + v_t k_t^2) \quad (5)$$

où k_t est le nombre d'onde dans la chambre de dissipation et ω la pulsation. On obtient :

$$k_t^2 = \omega^2 \frac{v_t D_t + gh}{g^2 h^2 + v_t^2 \omega^2} + i\omega \frac{D_t gh - v_t \omega^2}{g^2 h^2 + v_t^2 \omega^2} \quad (6)$$

Le coefficient de réflexion est obtenu avec la relation (1) dans laquelle on a :

$$\phi = k_t d.$$

v_t et D_t sont donc les coefficients à identifier pour caractériser le type d'ouvrage et plus particulièrement la nature de la paroi partiellement réfléchissante. Nous avons représenté sur la figure (1) l'évolution du coefficient de réflexion en fixant le paramètre v_t et en faisant varier les deux paramètres d/L et D_t . Sur la figure (2) c'est le paramètre D_t qui est fixé et ce sont d/L et v_t qui varient. Pour la valeur de v_t choisie la figure (1) montre que les valeurs minimales du coefficient de réflexion sont obtenues pour des valeurs de d décroissantes lorsque D_t augmente,

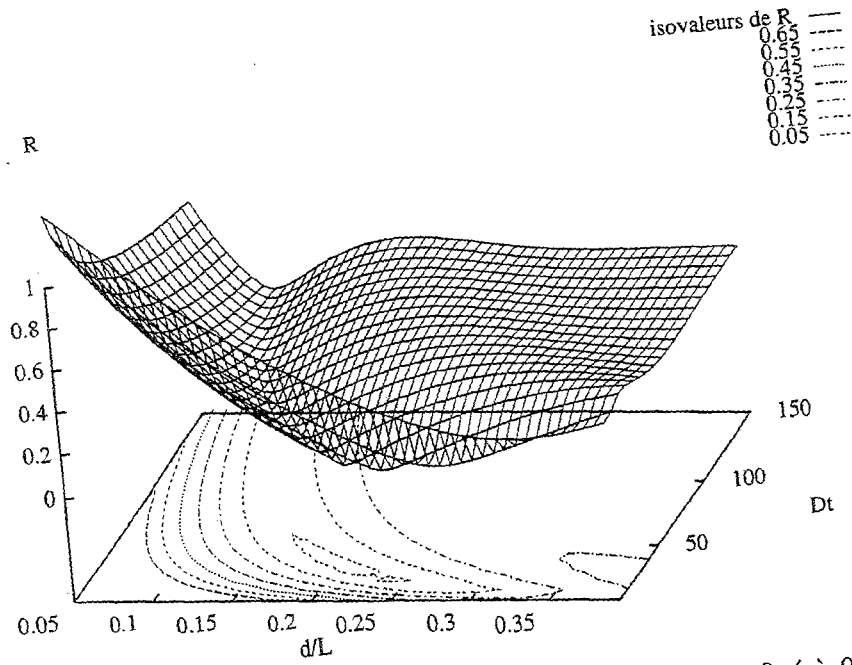


figure 1 -Isovaleurs du coefficient de réflexion pour ν_t fixé à 0.14

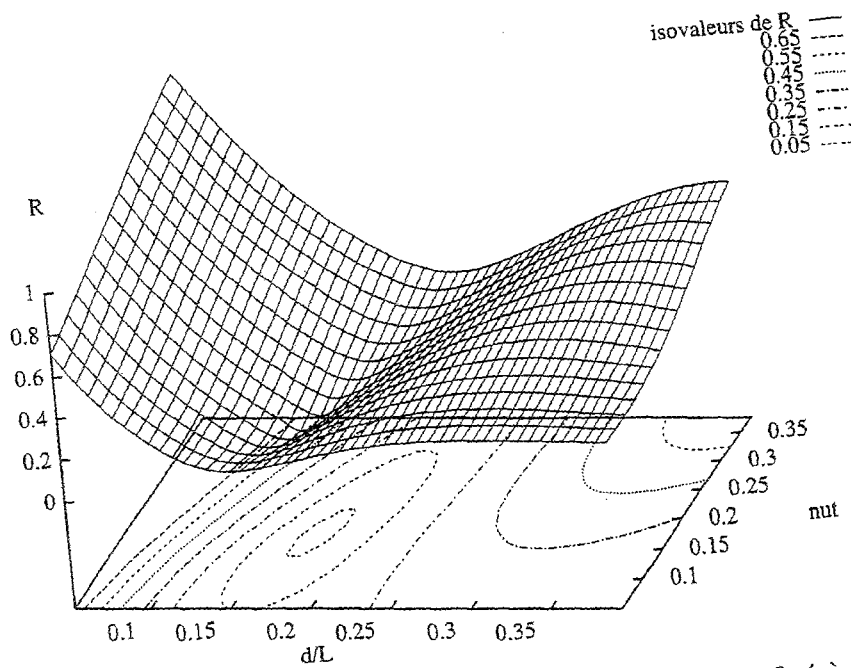


figure 2 -Isovaleurs du coefficient de réflexion pour Dt fixé à 55

avec des valeurs du coefficient de réflexion variant très peu. La variation de v_t n'a pas les mêmes effets (figure 2) quand on fixe D_t . Lorsque v_t croît, les valeurs minimales du coefficient de réflexion sont obtenues pour des valeurs de d croissantes et le coefficient de réflexion croît de façon très sensible.

Le choix des deux coefficients v_t et D_t permet en particulier de définir le minimum de réflexion et la valeur de d/L correspondante.

4. Montage expérimental et instrumentation

Les mesures ont été effectuées dans un canal à houle nouvellement construit de 10 m de longueur et de 0,3 m de largeur.

Le générateur de houle a été conçu de telle façon qu'il produise le minimum d'harmoniques : le batteur plan a un mouvement de rotation parfaitement sinusoïdal autour d'un axe horizontal ; la position, réglable, de l'axe est située sous le fond du canal afin de s'approcher au mieux des conditions de houle en profondeur finie. Pour obtenir un mouvement parfaitement sinusoïdal de la pale, un système à coulisse permet de transformer le mouvement de rotation continu du moteur en mouvement de translation alterné sinusoïdal puis, une transmission par poulie-câble permet d'obtenir un mouvement de rotation alterné sinusoïdal de la pale du batteur (figure 3).

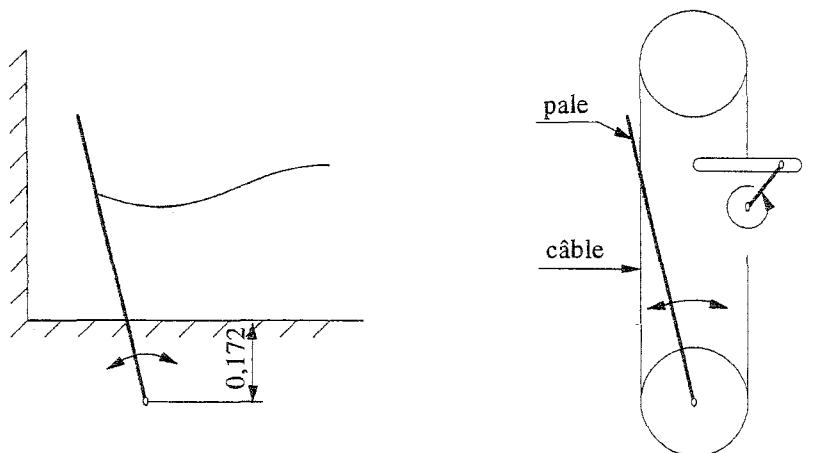


figure 3 -Générateur de houle

Dans le canal a été monté un caisson de type JARLAN constitué d'une plaque de 12 mm d'épaisseur perforée de trous cylindriques à section circulaire de diamètre 15 mm distribués sur les sommets de triangles équilatéraux, constituant la maille élémentaire, de 30 mm de côté d'où une porosité de 0,23 (figure 4).

Pour mesurer l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la largeur d de la chambre de dissipation nous utilisons une méthode d'analyse spectrale de la surface libre enregistrée par une sonde résistive se déplaçant à vitesse constante dans le sens de la houle incidente [BROSSARD J. et HEMON A.-1995]. L'intérêt de la méthode réside dans le fait qu'elle permet de discriminer, par effet Doppler,

les houles incidente et réfléchi d'une part et d'autre part les harmoniques libres et liées se propageant à la même célérité que le mode libre associé. Le coefficient de réflexion est facilement déterminé en faisant le rapport des amplitudes des pics des modes fondamentaux incident et réfléchi. La figure (5) montre un exemple de spectre de puissance d'un enregistrement de la surface libre.

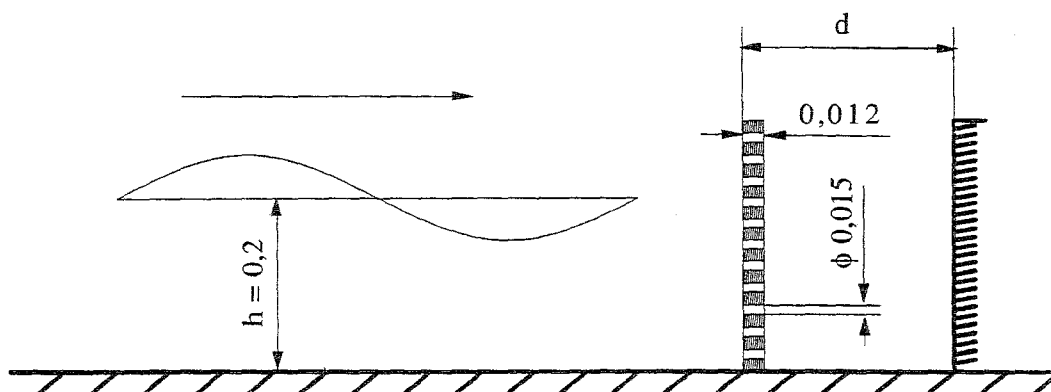


figure 4 -Configuration expérimentale

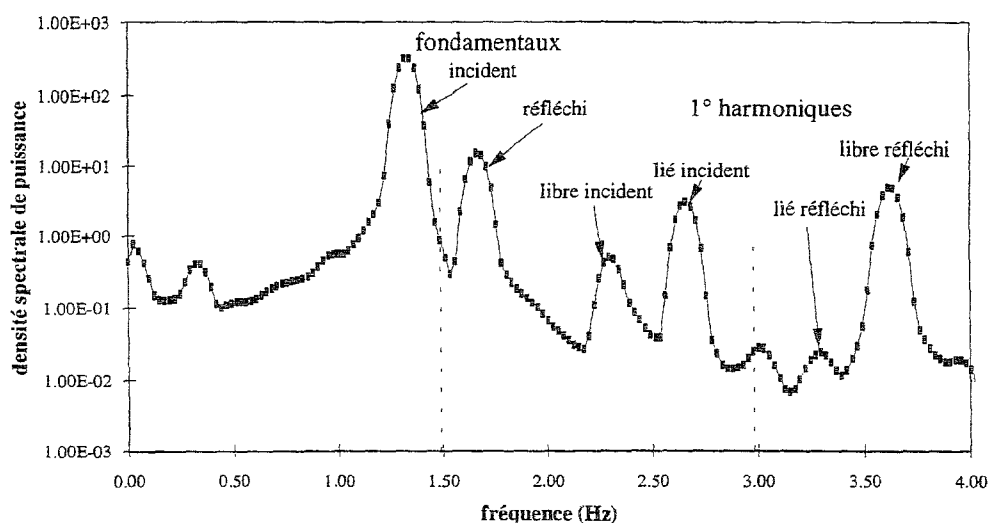


figure 5 -Exemple de spectre obtenu avec une sonde mobile

L'évolution du coefficient de réflexion a été déterminée pour une hauteur d'eau de 0,2 m, une fréquence de houle de 1,49 Hz et des amplitudes variant de 9 à 15 mm. La fréquence d'échantillonnage de l'acquisition est de 100 Hz, la vitesse de déplacement des sondes de 0,115 m et le nombre d'échantillons de 4096. Le pas de variation de la largeur d de la chambre de dissipation est de 10 mm.

5. Résultats expérimentaux

Les résultats de mesure sont présentés sur la figure (6) où l'évolution du coefficient de réflexion de l'ouvrage est donnée en fonction du rapport largeur de la chambre/longueur d'onde de la houle (d/L).

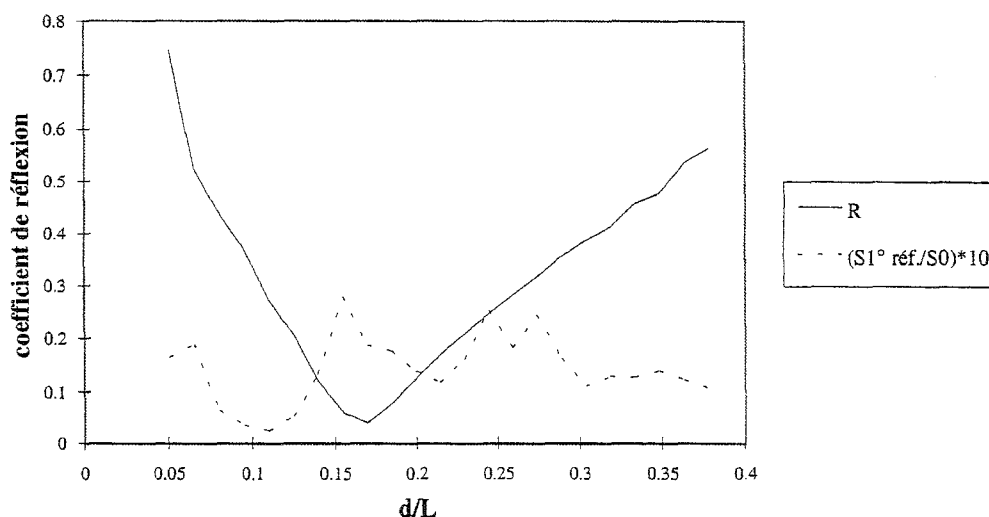


figure 6 -Evolution du coefficient de réflexion en fonction du rapport d/L

Le minimum de réflexion (4%) est atteint pour une valeur du rapport d/L de 0,17. D'autres expériences montrent que la position du minimum de réflexion varie assez peu lorsque les différents paramètres (diamètre des trous...) varient. Le coefficient de réflexion varie quasiment linéairement avec le rapport d/L au delà du minimum; cette caractéristique est aussi présente pour d'autres valeurs des paramètres.

Il faut noter aussi que l'efficacité croissante (réflexion décroissante) de l'ouvrage s'accompagne d'une production d'harmonique ("libre") par celui-ci. Cette caractéristique est illustrée sur la figure (6) par l'évolution du rapport des densités de puissance du premier harmonique issu du caisson et du mode fondamental incident. L'évolution donnée n'est que qualitative car il faudrait faire la part de ce qui est produit effectivement par le caisson de ce qui résulte des multi-réflexions entre le batteur et la paroi perforée du caisson. Néanmoins il est clair que l'énergie du premier harmonique provenant du caisson est toujours plus importante que celle du premier harmonique incident et que la différence est maximale au voisinage du minimum du coefficient de réflexion. L'observation visuelle de la surface libre montre un amortissement le long du canal des harmoniques produits par le caisson d'où la difficulté de quantifier l'énergie associée à ces modes.

6. Comparaison avec le modèle

La figure (7) présente une comparaison des évolutions du coefficient de réflexion en fonction du rapport d/L pour des valeurs de v_t et D_t optimales avec les résultats expérimentaux. On peut voir qu'il est possible de fixer v_t et D_t de

manière à obtenir une bonne modélisation du caisson pour des rapports d/L n'excédant pas 0,3. Les différences de comportement au delà sont vraisemblablement dues aux inhomogénéités spatiales de la dissipation, observables dans les résultats de mesure du champ de vitesse ou dans les visualisations.

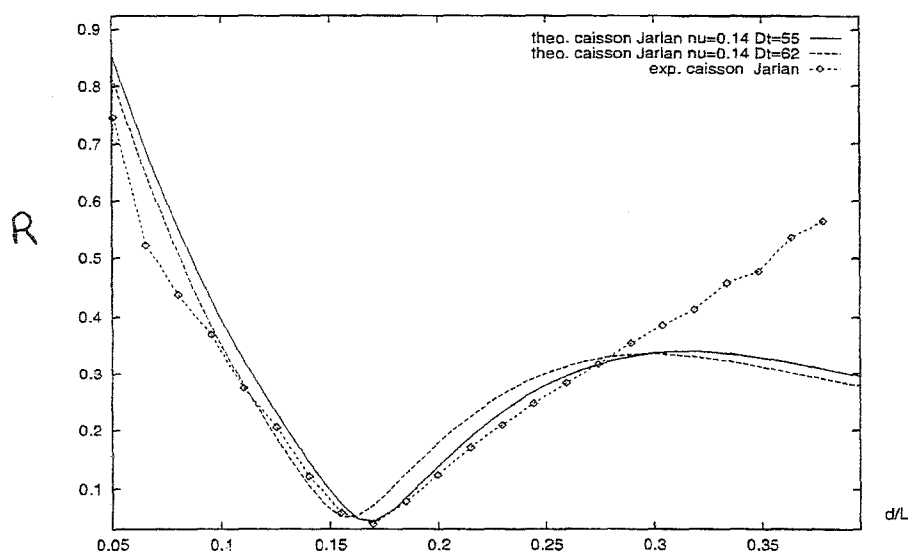


figure 7 -Ajustement des coefficients ν_t et D_t du modèle théorique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour le caisson Jarlan

7. Conclusion

Le modèle présenté ici rend bien compte du comportement d'une structure JARLAN sur toute sa plage d'utilisation. Son intérêt apparaît essentiellement lorsque, par exemple, on cherche à établir un modèle d'agitation portuaire intégrant un tel dispositif. Son utilisation nécessite une détermination expérimentale de deux paramètres associés au phénomène de dissipation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BROSSARD J. et HEMON A. -Analyse spectrale par effet Doppler de la propagation de la houle- C.R. Acad. Sci. Paris, t;320,série Iib, pp.171-176, 1995
- CAMINADE D. -Etude de la transmission de la houle à travers une paroi perforée (type Jarlan)- Thèse de l'Université du Havre, 1992
- MOLIN B. et FOUREST J.M. -Numerical modeling of progressive wave absorber- 7° workshop on water waves and floating bodies, Val de Reuil, 1992
- TWU S.W. et LIN D.T. -On a highly effective wave absorber- Coastal Engineering, 15, pp.389-405, 1991