

# **ETUDE EXPERIMENTALE POUR L'OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UNE PLAGE D'AMORTISSEMENT PARABOLIQUE**

## ***EXPERIMENTAL STUDY FOR OPTIMISATION OF THE PERFORMANCES OF A PARABOLIC DAMPING BEACH***

**M. LE BOULLUEC \*, O. KIMMOUN\*\*, B. MOLIN\*\***

\* Hydrodynamique et Océanométéo, Ifremer

BP 70, 29280 Plouzané, France

\*\* Ecole Centrale de Marseille

Technopôle de Château-Gombert, 13451 Marseille Cedex 20, France

### **Résumé**

La refonte de la plage d'amortissement du bassin de génie océanique de l'Ifremer Centre de Brest a suscité une étude d'optimisation afin d'en améliorer les performances.

Des essais à l'échelle  $\frac{1}{4}$  ont été conduits dans le canal de l'Ecole Centrale de Marseille afin de reproduire dans un premier temps la forme de l'ancienne plage et confirmer son comportement. Une série de modifications a ensuite été étudiée : changement d'assiette, ajout d'appendices entre la plage et le mur, ajout d'une porosité. C'est cette dernière option qui a été retenue et transposée à l'échelle 1 sur la nouvelle plage dont le taux de réflexion a ainsi été abaissé à un niveau inférieur à 10 % pour la gamme de périodes et amplitudes usuelles.

### **Summary**

An optimisation study was run before rebuilding the damping beach of the Ifremer Ocean Engineering Basin. Trials were conducted at a  $\frac{1}{4}$  geometrical scale at Ecole Centrale de Marseille in a wave tank reproducing the original performance of the beach. A series of modifications was studied : incidence, device between the beach and the adjacent wall, porosity. Porosity was shown as the most efficient tool to enhance the beach absorption and full scale measurements revealed that the resulting damping coefficient was less than 10 % for all usual periods and amplitudes.

Mots-clés : Hydrodynamique, essais en bassin, houle, réflexion, amortissement, plage

Key words : hydrodynamics, wave tank testing, reflection, damping beach

## I - INTRODUCTION

Les essais sur modèles réduits en bassin, notamment dans les domaines naval et offshore, ont généralement pour objectif la reproduction de phénomènes observés en mer ouverte, la réflexion des ondes par les parois des bassins à houle est néfaste pour leur interprétation.

Les bassins et canaux devraient alors être équipés de dispositifs amortisseurs de l'ensemble des ondes incidentes, diffractées et radiées. Au minimum un amortisseur principal est disposé en vis-à-vis du générateur de houle. C'est le cas du bassin de génie océanique de l'Ifremer qui est équipé d'une plage parabolique disposée en surplomb à proximité de la paroi d'extrémité. Cette plage était constituée d'une surface opaque, réglée, de profil parabolique, assortie d'un ensemble de lattes formant caillebotis et contribuant à la dissipation des ondes qui y déferlent. Plusieurs campagnes de qualification de la houle générée ont montré un taux de réflexion très important pouvant dépasser 50% pour les faibles amplitudes sur un certain domaine de périodes de houle.

La plage d'amortissement construite en contreplaqué, bois et acier au début des années 1990 et demeurée en eau de mer a montré une dégradation structurelle une douzaine d'années plus tard. Il était donc opportun de profiter de la construction d'une nouvelle plage pour en améliorer les performances d'amortissement.

C'est pourquoi, une étude exploratoire des modifications de géométrie et d'habillage de la plage a été confiée à l'ECM au travers d'essais à échelle réduite dans son canal à houle.

Le bassin de l'Ifremer initialement dédié à la réalisation d'essais en acoustique a été équipé d'un générateur de houle et d'une plage d'amortissement sans modification de sa maçonnerie. C'est pourquoi le générateur de type « coin oscillant » et la plage parabolique sont des éléments rapportés en surplomb du plan d'eau. Ceux-ci diminuent la longueur utile du bassin qui a les dimensions suivantes (figure 1) :

- Longueur : légèrement inférieure à 50 m entre murs immergés (des déversoirs débordent de 25 cm aux deux extrémités)
- Largeur : 12.5 m
- Profondeur : 9.8 m (configuration génération de houle)

Une fosse de profondeur 20 m et de section carrée 12.5x12.5 m<sup>2</sup> est située au-dessous de la plage. L'amont et l'aval désignent la direction de propagation depuis le batteur, en aval vers la plage. L'abscisse de la ligne de flottaison du batteur coin est de 1.95 m, en aval du mur. La plage d'amortissement d'origine présente un encombrement horizontal de l'ordre de 5 m, articulée en aval au niveau de la flottaison et tenue en partie basse amont par deux pions ancrés dans les murs latéraux. Les lattes du caillebotis sont de section carrée de côté 40 mm, supportées au dessus de la paroi opaque à une distance et des intervalles de 40 mm.

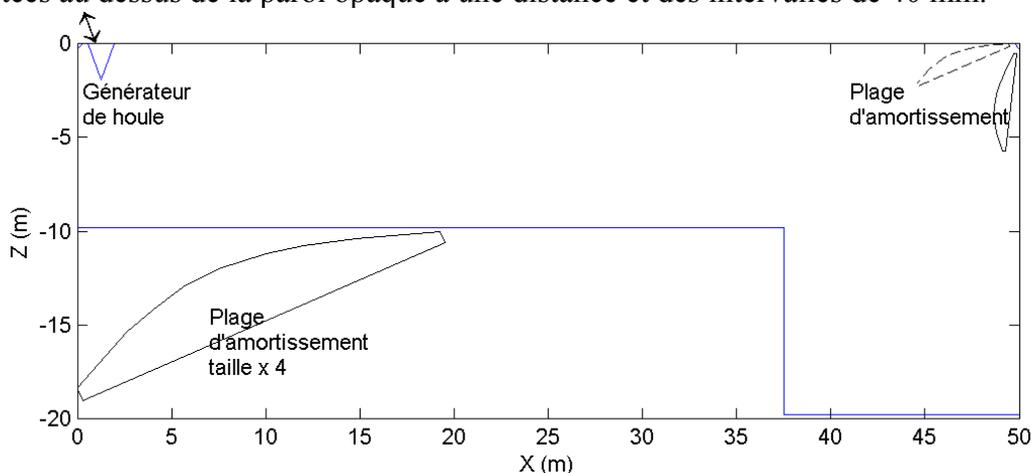


Figure 1 : Profil du bassin de l'Ifremer et de la plage d'amortissement

## II - CAMPAGNE D'ESSAIS A L'ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE

### II.1 Procédure

#### *Canal à houle de l'ECM*

Le canal à houle de l'ECM est une structure vitrée de 18 mètres de long et de 65 centimètres de large. Le batteur est de type volet à axe de rotation, surbaissé de 50 cm par rapport au fond du canal et actionné hydrauliquement (figure 2).

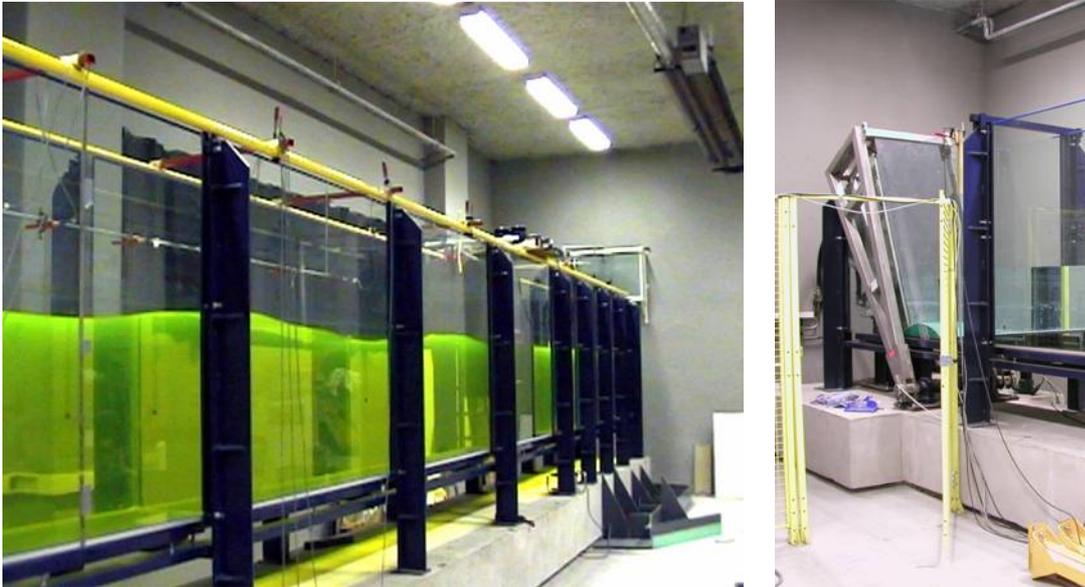


Figure 2 : (gauche) vue du canal à houle de l'ECM vers la plage, (droite) batteur de houle Maquette

Un rapport d'échelle géométrique de  $\frac{1}{4}$  a été retenu, compte tenu des périodes de houle réalisables dans les bassins de l'Ifremer et de l'ECM (rapport d'échelle temporelle  $\frac{1}{2}$ ). La maquette reproduit le profil de la plage du bassin de l'Ifremer avec son caillebotis. Elle est adaptée à la largeur du canal de l'ECM et présentée dans une position initiale conforme en similitude à son attitude dans le bassin de l'Ifremer (figure 3). La similitude sur la profondeur d'eau n'est pas respectée, de par les dimensions du canal.

A partir de la configuration initiale de cette plage, un ensemble de modifications va être apporté pour diminuer le coefficient de réflexion sur toute l'étendue de la gamme de période et d'amplitude des vagues. Trois axes principaux, durant l'étude, ont été explorés :

- L'influence de l'inclinaison de la plage
- L'adjonction d'un système d'absorption en haut de plage
- L'introduction d'une porosité de surface

Cependant seuls les résultats avec la configuration initiale et ceux avec des surfaces poreuses sont présentés.

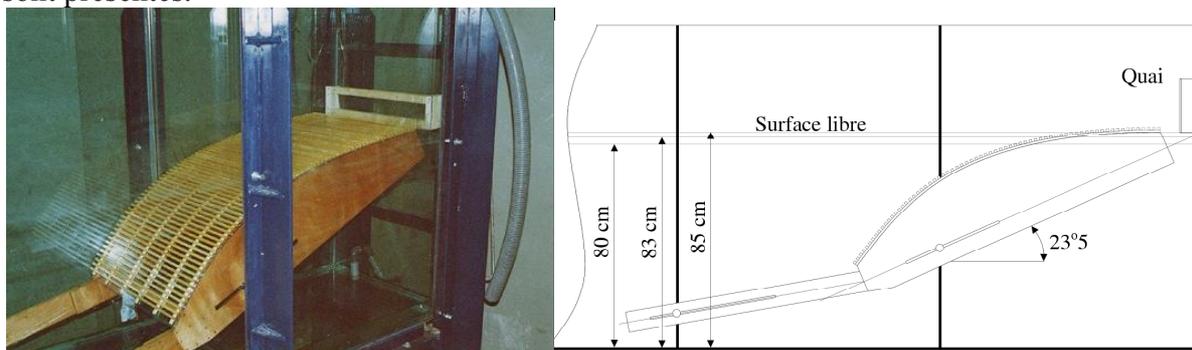


Figure 3 : Installation du modèle réduit de la plage dans le bassin de l'ECM

### Mesures et calcul du coefficient de réflexion

Pour mesurer les caractéristiques des vagues générées, 6 sondes résistives étaient disposées le long du canal. Le coefficient de réflexion est obtenu par décomposition de la houle en une onde incidente et une onde réfléchie, suivant une méthode des moindres carrés [1]. L'analyse qui revient à un calcul de FFT, est effectuée sur des fenêtres de largeur 2 fois la période de la houle, translattées d'un pas de temps. Les temps de début et de fin d'analyse sont calculés pour correspondre à l'intervalle de temps où il n'y a qu'une seule réflexion. Sur les graphes, on reporte la valeur moyenne du coefficient de réflexion ainsi que les valeurs minimale et maximale de ce coefficient pendant l'intervalle de mesure.

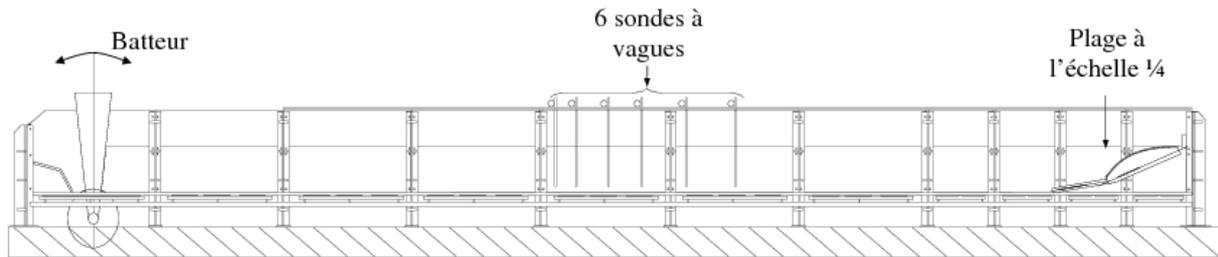


Figure 4 : Schéma du canal avec son instrumentations et la plage de l'IFREMER à l'échelle 1/4.

## II.2 Configurations étudiées

### Configuration initiale

Dans un premier temps pour vérifier la pertinence du modèle à l'échelle à 1/4, des essais ont été réalisés dans une configuration identique à celle de l'IFREMER. Les paramètres des vagues réalisées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

a (m)\T (s)	0.50	0.65	0.80	1.00	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.75
0.035			×	×	×	×	×	×	×	
0.025		×	×	×	×	×	×	×	×	×
0.015	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
0.010	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Les résultats de la campagne de mesure IFREMER - bassin de Brest ramenés aux échelles de temps et d'espace du canal et ceux obtenus dans le canal à houle de l'ECM, sont reportés sur les figures 5 respectivement gauche et droite.

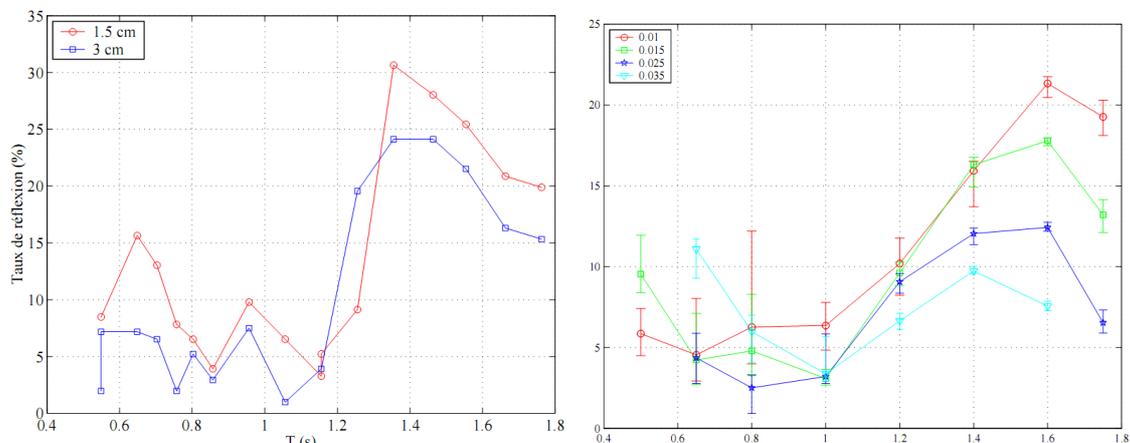


Figure 5 : Evolution du coefficient de réflexion pour différentes périodes et amplitudes.  
Mesures effectuées à l'IFREMER à l'échelle 1 (gauche).  
Mesures effectuées à l'ECM à l'échelle 1/4 (droite).

Le comportement est dans l'ensemble identique, cependant des différences apparaissent. En effet, d'une part le coefficient de réflexion maximum est plus faible dans le cas du canal à houle que dans le cas du bassin. D'autre part, le maximum est obtenu pour une période de 1.4 secondes dans le cas du bassin et pour une période de 1.6 secondes dans le cas du canal. La différence de période pour la réflexion maximale peut probablement s'expliquer par la différence de profondeur entre le canal et le bassin. Finalement, ce que nous voulions reproduire, le phénomène de forte réflexion pour les périodes autour de 1.5 seconde en canal, soit 3 s en bassin à l'échelle 1, est bien validé.

### **Introduction d'une porosité de surface**

De nombreuses campagnes expérimentales effectuées au canal de l'ECM ont permis de caractériser l'atténuation de la houle par des parois poreuses verticales, horizontales ou obliques [2], [3]. A travers ces résultats le choix d'une solution « surface poreuse » avec une porosité proche de 10% (dans ce cas 8%) s'est imposé. Deux configurations ont été testées. Une configuration avec une plaque sur le dessus de la plage (voir figure 6-gauche) et une autre configuration avec une plaque supplémentaire sous la plage le long du profil de celle-ci (voir schéma figure 6-droite).

Les mêmes essais que pour la configuration initiale ont été réalisés. Cependant 3 essais supplémentaires sont venus s'ajouter pour les amplitudes maximales admissibles par le batteur de l'IFREMER. Les essais sont les suivants :

- période (s) :                    1        1.1    1.25
- Hauteur crête à creux (m) :  0.0625

Les résultats de ces configurations sont présentés sur la figure 7-gauche pour le système à une plaque poreuse et sur la figure 7-droite pour le système à deux plaques. On observe que le mode de fonctionnement de la plage change. Les remarques suivantes, pour les 2 configurations, peuvent être formulées :

- On retrouve un comportement similaire pour les petites périodes avec la configuration initiale.
- Le comportement est amélioré pour les périodes plus grandes.
- Le comportement ne dépend plus de la cambrure.
- Le coefficient de réflexion augmente rapidement à partir d'une certaine période.
- La configuration avec 2 plaques repousse l'intervalle de période où la réflexion est inférieure à 10% à 1.6 secondes contre 1.4 secondes pour la première.
- Les essais pour l'amplitude de 6.25 cm donnent un coefficient de réflexion très faible.



*Figure 6 : Introduction d'une porosité de surface.  
Sur le dessus (gauche). Sous le dessous (droite)*

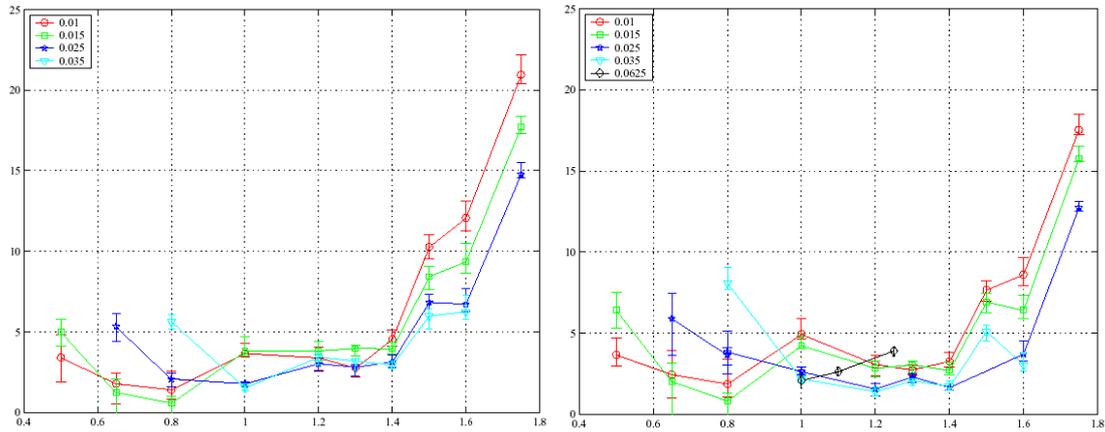


Figure 7 : Résultats des essais plaque poreuse sur la partie supérieure (gauche).  
Plaque supplémentaire sur la partie inférieure (droite).

### Influence de la géométrie des trous de la plaque poreuse

Dans le but de comprendre l'influence de la géométrie des trous, cinq configurations ont été testées. Plusieurs paramètres caractérisent les orifices et leur répartition :

- épaisseur de plaque :  $e$
- diamètre de trou :  $d$
- écartement entre trous et disposition

Pour une porosité donnée, les paramètres  $e$  et  $d$  sont dimensionnants. Nous avons donc testé les couples de paramètres suivants :

- épaisseur 4 mm, trous de 6 mm et 4 mm
- épaisseur 8 mm, trous de 4 mm et 6 mm
- épaisseur 2 mm, trous de 4 mm

Les résultats pour deux amplitudes (0.01m et 0.025m) sont présentés sur les figures 8 respectivement gauche et droite.

Il s'avère que l'efficacité de l'absorption peut être caractérisée par le paramètre  $\pi d^2/4e$  exprimé ici en mm. Un optimum pour l'absorption à l'échelle de la maquette est de  $9\pi/8$  mm.

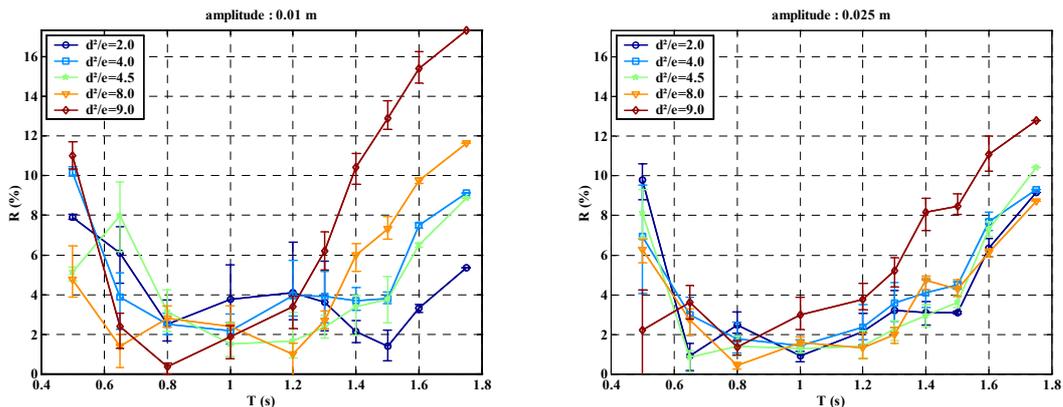


Figure 8 : Comparaisons entre les différentes configurations géométriques pour  $a=0.01m$  (gauche) et  $a=0.025m$  (droite).

### II.3 Conclusions de la campagne ECM

Il apparaît que l'effet de la mise en place d'une surface poreuse est important et indépendant de la période et de l'amplitude de houle à condition de bien choisir les caractéristiques des orifices.

En l'absence de nombre adimensionnel représentatif, l'extrapolation à l'échelle réelle emploie le même ratio dimensionnel. L'épaisseur et le diamètre de trou étant fixés et selon la répartition des orifices en carré ou en triangle, la porosité impose alors l'entraxe qui peut être considéré comme le paramètre complémentaire permettant de disposer d'un nombre adimensionnel.

Compte tenu de l'épaisseur structurelle du voile constituant la nouvelle plage d'amortissement réalisée en matériau composite (6 mm) et du respect d'une porosité de 8 %, des orifices de diamètres 5 mm ont été percés ( $\pi d^2/4e=25\pi/24\text{mm}$ ), disposés en triangles. L'entraxe de 15.6 mm conduit à une porosité locale d'environ 9 % qui tient compte des quelques zones opaques de la plage induites par les raccords entre modules de construction et les appuis du caillebotis. In fine la porosité globale est proche de 8 % (Figure 10).

### III - CAMPAGNES D'ESSAIS A L'IFREMER

#### III.1 Procédure

##### Algorithmes

Le coefficient de réflexion en bassin peut être évalué selon diverses méthodes. La séparation des ondes incidentes et réfléchies peut exploiter l'effet Doppler [4] qui nécessite le déplacement d'une ou plusieurs sondes à houle en translation à vitesse connue au long du bassin.

Les méthodes utilisant des sondes fixes sont plus répandues et s'affranchissent de l'utilisation de chariots mobiles souvent lourds dans le cas de grands bassins [6].

La méthode mise en œuvre et décrite ci-dessous [5] fait usage de groupes de sondes rapprochées et permet d'examiner, par décomposition en série de Fourier dans le cas de houle régulière, l'évolution temporelle du coefficient de réflexion par analyse glissante sur un intervalle de temps de longueur égale à sa période.

Notations :

Élévation :  $\eta$

Période : T

Pulsation :  $\omega$

Nombre d'onde : k

Amplitude : a

Hauteur : H

Profondeur : h

Temps : t

Phase :  $\phi$

Abcisse : x

Vitesse de phase : C    Vitesse de groupe :  $C_g$

##### *Houle régulière*

Evaluation analytique du coefficient de réflexion en houle régulière sur la base des hypothèses les plus simples :

Onde incidente :  $\eta_i = a_i \sin(\omega t - kx + \varphi_i)$

Onde réfléchie :  $\eta_r = a_r \sin(\omega t + kx + \varphi_r)$

Élévation à l'abscisse  $x_1$  :  $\eta_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1) = \eta_i(x_1) + \eta_r(x_1)$

Élévation à l'abscisse  $x_2$  :  $\eta_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2) = \eta_i(x_2) + \eta_r(x_2)$

Amplitude de l'onde incidente :  $a_i = \frac{1}{2|\sin k\Delta x|} \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2 a_1 a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - k\Delta x)}$

Amplitude de l'onde réfléchie :  $a_r = \frac{1}{2|\sin k\Delta x|} \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2 a_1 a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 + k\Delta x)}$

Coefficient de réflexion :

$$C_r = \frac{a_r}{a_i} = \frac{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2 a_1 a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 + k\Delta x)}}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2 a_1 a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - k\Delta x)}}$$

L'évaluation des amplitudes des ondes incidente et réfléchie est imprécise ou impossible pour  $k\Delta x \approx n\pi$ , avec n entier. Le coefficient de réflexion vaut alors 1 mais n'est stricto sensu pas défini.

Prise en compte des harmoniques de l'élévation à l'ordre 3:

$$\begin{aligned} \eta(x,t) &= \Re(\hat{\eta}(x,t)) \\ \hat{\eta}(x,t) &= a_{i1} \exp(i(\omega t - kx + \varphi_{i1})) + a_{r1} \exp(i(\omega t + kx + \varphi_{r1})) && \text{Onde } \omega \text{ libre} \\ &+ a_{si2} \exp(i(2\omega t - 2kx + \varphi_{si2})) + a_{sr2} \exp(i(2\omega t + 2kx + \varphi_{sr2})) && \text{Onde } 2\omega \text{ liée} \\ &+ a_{i2} \exp(i(2\omega t - 4kx + \varphi_{i2})) + a_{r2} \exp(i(2\omega t + 4kx + \varphi_{r2})) && \text{Onde } 2\omega \text{ libre} \\ &+ a_{si3} \exp(i(3\omega t - 3kx + \varphi_{si3})) + a_{sr3} \exp(i(3\omega t + 3kx + \varphi_{sr3})) && \text{Onde } 3\omega \text{ liée} \\ &+ a_{i3} \exp(i(3\omega t - 9kx + \varphi_{i3})) + a_{r3} \exp(i(3\omega t + 9kx + \varphi_{r3})) && \text{Onde } 3\omega \text{ libre} \end{aligned}$$

auxquelles devraient s'ajouter les interactions bi-chromatiques des ondes libres.

En profondeur infinie :

$$k = \frac{\omega^2}{g}$$

L'onde liée d'ordre n se propage avec la célérité de l'onde principale :

$$C_{sp} = \frac{n\omega}{nk} = \frac{\omega}{k} = C$$

Les ondes libres de pulsation  $n\omega$  se propagent à la célérité :

$$C_p = \frac{n\omega}{n^2 k} = \frac{C}{n}$$

A la pulsation  $n\omega$  quatre ondes sont a priori présentes. Il est donc nécessaire de disposer de quatre mesures d'élévation indépendantes, voire plus qui permettent la construction d'un système surdéterminé et une évaluation de leurs coefficients au sens des moindres carrés.

A la pulsation  $\omega$  le coefficient de réflexion du fondamental peut être calculé avec un minimum de deux élévations.

Le coefficient de réflexion est un nombre complexe :

$$C_{r1} = \frac{a_{r1} \exp(i(\omega t + kx + \varphi_{r1}))}{a_{i1} \exp(i(\omega t - kx + \varphi_{i1}))} = \frac{a_{r1}}{a_{i1}} \exp(i(2kx + \varphi_{r1} - \varphi_{i1}))$$

En pratique la fonction évaluée est de la forme :

$$C_{r1} = \frac{a_{r1}}{a_{i1}} \exp(i(\varphi_{r1} - \varphi_{i1}))$$

L'introduction d'une « longueur de réflexion » du bassin permet de recalibrer les phases par un terme représentatif d'un aller et retour à la vitesse de phase des ondes établies dans le bassin.

La « longueur de réflexion » du bassin est définie comme la longueur totale du bassin diminuée de la distance de la flottaison avant du batteur par rapport au mur arrière (1.95 m) et d'une longueur de plage forfaitaire (2 m) (Figure 9) :

$$L_r = L_b - 1.95 - 2.00 = 46.05 \text{ m}$$

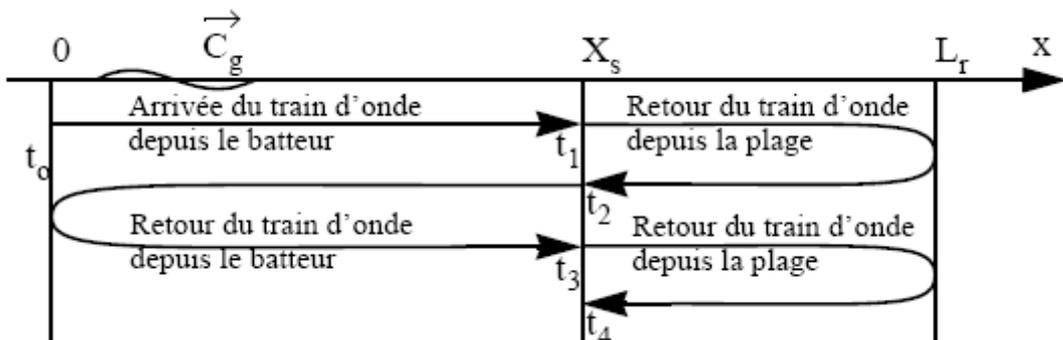


Figure 9 : Longueur de réflexion. Instants particuliers

Cinq instants particuliers sont déterminés pour chaque essai et chaque groupe de sondes d'abscisse moyenne  $X_s$ , compte tenu de la vitesse de propagation du front d'onde à la vitesse de groupe (figure 9):

$t_0$  : Instant de fin de rampe sur le mouvement des vérins

$t_1$  : Instant d'arrivée de l'onde au groupe de sonde

$t_2$  : Instant de retour de l'onde au groupe de sonde depuis la plage

$t_3$  : Instant de retour de l'onde au groupe de sonde depuis le batteur soit deux longueurs de bassin parcourues depuis l'instant  $t_1$

$t_4$  : Instant de retour de l'onde au groupe de sonde depuis la plage

Trois instants relatifs sont définis à partir de l'instant de la première arrivée de l'onde sur le groupe de sondes  $t_1$  :

$t_{r1}$  : Instant du premier retour de l'onde au groupe de sonde depuis la plage

$t_{r2}$  : Instant de retour de l'onde au groupe de sonde depuis le batteur

$t_{r3}$  : Instant du second retour de l'onde au groupe de sonde depuis la plage

Trois distances relatives parcourues sont définies à partir de ces trois instants relatifs, de la vitesse de groupe et de la longueur de réflexion.

Si l'abscisse du groupe de sonde est approximativement centrée entre 0 et  $L_r$  alors :

$d_{r1} \sim 1$ ,  $d_{r3} \sim 3$ . La distance relative parcourue intermédiaire est telle que :  $d_{r2} = 2$ .

### ***Houle irrégulière***

La méthode employée s'appuie sur le calcul des spectres de Fourier complexes des élévations aux diverses abscisses des sondes. Le coefficient de réflexion est alors évalué pour chaque fréquence du spectre numérique. Un lissage est effectué afin de décrire une variation continue du coefficient de réflexion en fréquence.

### **Mesures**

Lors des campagnes de mesure du taux de réflexion dans un bassin, les sondes sont espacées de façon irrégulière et de plusieurs mètres, de telle façon que les longueurs des ondes étudiées ne coïncident pas avec des multiples entiers des distances entre sondes ( $k\Delta x \neq n\pi$ ).

Un groupe principal de 4 sondes espacées de 60 cm a été disposé dans le bassin de l'Ifremer.

Deux autres groupes de 8 sondes chacun espacées de 15 cm ont été disposés, l'un en parallèle du groupe de sondes principal, l'autre en aval.

Ces distances permettent de lever les indéterminations pour les périodes de houle utiles supérieures en général à 1s, soit une longueur d'onde de 1.56 m.

Le resserrement des espaces permet par ailleurs de compacter le dispositif de mesure sans couvrir une longueur importante du bassin. Les groupes de sondes disposés à l'endroit habituel des essais au point fixe permettent par ailleurs une description temporelle précise de la réflexion en ce point.

Le groupe de 4 sondes est constitué de sondes asservies de marque Sercel dont la précision est meilleure que 1 mm.

Les groupes de 8 sondes sont constitués de sondes capacitives de marque Sercel de moins bonne précision.

Ces deux types de sondes ont été initialement mis au point par l'Ifremer afin de palier les difficultés de mesure en eau de mer.

Dans le cas de la plage poreuse seul le groupe de sondes asservies a été employé.

La gamme de paramètres de houle étudiée est :

Période  $T$  de 1 s à 3.3 s par pas de 0.1 s.

Hauteur de houle  $H = 2a = 6, 9, 12$  et 24 cm limitée en dessous du déferlement.

### **III.2 Plage opaque**

La campagne d'essais en houle régulière couvre les paramètres indiqués précédemment. Des essais en houle irrégulière ont été réalisés.

Les résultats des essais de la plage opaque en houle régulière sont décrits sur la figure 11.

On observe que le coefficient de réflexion calculé croît logiquement dès lors que la distance parcourue par le train d'onde atteint le groupe de sondes.

Le coefficient de réflexion décroît avec l'amplitude de houle incidente. Pour certaines périodes de houle et la plus faible hauteur de houle testée (6 cm), le coefficient de réflexion peut excéder 60 %, en particulier autour de  $T = 2.7$ s et au delà, périodes pour lesquelles le coefficient varie comme la puissance  $-0.6$  de l'amplitude (figure 14) avec un taux maximum de 20 % pour la plus forte hauteur de houle testée (24 cm).

En houle irrégulière et pour le cas présenté le taux de réflexion oscille entre 10 et 30 % (figure 13). Aux plus basses fréquences comme aux plus hautes, proches des fréquences de coupure du spectre, le coefficient de réflexion croît. En pratique, l'énergie du spectre s'amenuise aux bornes comme les amplitudes du spectre de Fourier. L'évaluation du coefficient de réflexion met alors en jeu des rapports du type 0/0 mal conditionnés.

### **III.3 Plage poreuse**

La même grille d'essais que celle pour la plage opaque a été employée pour la plage poreuse.

Les résultats des essais de la plage poreuse en houle régulière sont décrits sur la figure 12.

On observe par comparaison avec la figure 11 une atténuation substantielle du coefficient de réflexion pour les périodes au delà de  $T = 2.7$  s.

Le maximum du taux de réflexion se situe autour des périodes 2.3 à 2.8 s et varie comme la puissance  $-0.4$  de l'amplitude de houle incidente, qui dénote une dépendance moindre vis-à-vis de cette amplitude que dans la cas de la plage opaque (figure 14).

La période  $T = 2$  s correspond à un mode propre transverse du bassin dont l'amortissement latéral est très faible, c'est pourquoi il perdure parfois après un essais en présence d'une maquette ou est excité lors d'un essais de longue durée sans maquette. Ce phénomène perturbe l'interprétation dans le cas présent.

Pour la même séquence de houle irrégulière que celle générée en présence de la plage opaque (figure 13), le coefficient de réflexion est majoritairement inférieur à 10 % sur la bande de fréquence.

En houle régulière, le déferlement sur la plage poreuse intervient principalement lors de l'arrivée de la première vague, pour les suivantes un phénomène alternatif de percolation à travers la plage se met en place et limite la violence du déferlement.

## **IV - CONCLUSIONS**

Une campagne d'essais intensive et détaillée conduite par l'ECM dans son canal à houle a permis de recommander un moyen d'améliorer l'efficacité de la plage d'amortissement du bassin de l'Ifremer Centre de Brest.

Le choix de conserver la géométrie initiale de la plage en introduisant une porosité de 8% sur sa surface initialement opaque a permis un gain substantiel en terme de taux de réflexion, les appuis de la plage sur les parois du bassin demeurant par ailleurs inchangés et minimisant ainsi l'ampleur des travaux.

Non seulement le coefficient de réflexion a été diminué par ce procédé sur la gamme de périodes usuellement pratiquée, notamment autour de certaines périodes critiques, mais encore cette gamme a pu être étendue vers des périodes plus longues.

## REFERENCES

- [1] The measurement of incident and reflected waves using a least squares method. In Proc.17<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference (1980) 154–172, Sydney-Australia. E.P.D. MARTINSEN and E.R. FUNKE.
- [2] Etude au deuxième ordre d'approximation de l'interaction d'une houle régulière avec une plaque poreuse verticale » de, *Huitièmes Journées de l'Hydrodynamique*, Nantes. (2001) O. KIMMOUN, B. MOLIN et W. MOUBAYED
- [3] Absorbent poreux multi-plaques de faible encombrement et tirant d'eau. Optimisation et expériences. *Neuvièmes Journées de l'Hydrodynamique*, Poitiers. (2003). O. KIMMOUN.
- [4] Improved analysis of regular gravity waves and coefficient of reflexion using one or two moving probes. *Coastal Engineering* 39 (2000) 193–212. J. BROSSARD, A. HEMON, E. RIVOALEN
- [5] Houle dans le bassin de l'Ifremer Centre de Brest. Analyse de la génération et de la réflexion. Rapport Ifremer R11HA02, 2002. M. LE BOULLUEC
- [6] Une méthode de calcul des coefficients de réflexion et de transmission d'une houle bidimensionnelle en milieu confiné. A new method for the calculation of transmission and reflection coefficients for water waves in a small basin. *C. R. Mécanique* 331 (2003) 225–230. G. DUCLOS, A.H. CLEMENT



*Figure 10 : Ancienne plage en position dans le bassin, nouvelle plage en matériau composite et détail du caillebotis et des orifices formant porosité*

Plage opaque - Etude de la réflexion  
 Groupe numéro 1 : sondes ( 4 5 6 7) à  $X_{\text{moyen}} = 22.68$  m du batteur

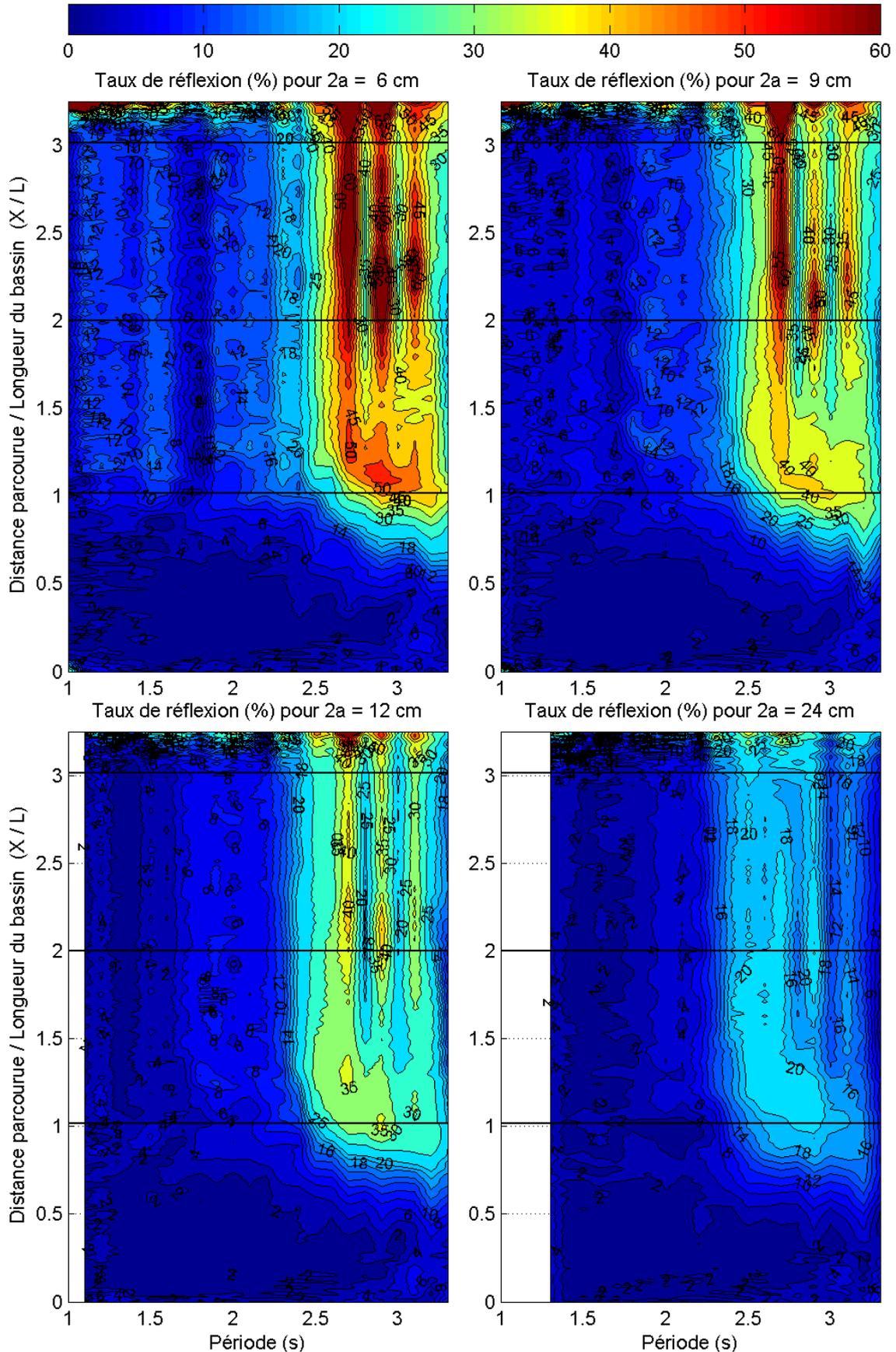


Figure 11 : Cartographie du coefficient de réflexion de la plage d'amortissement opaque

Plage poreuse - Etude de la réflexion  
 Groupe numéro 1 : sondes ( 4 5 6 7) à  $X_{moyen} = 22.68$  m du batteur

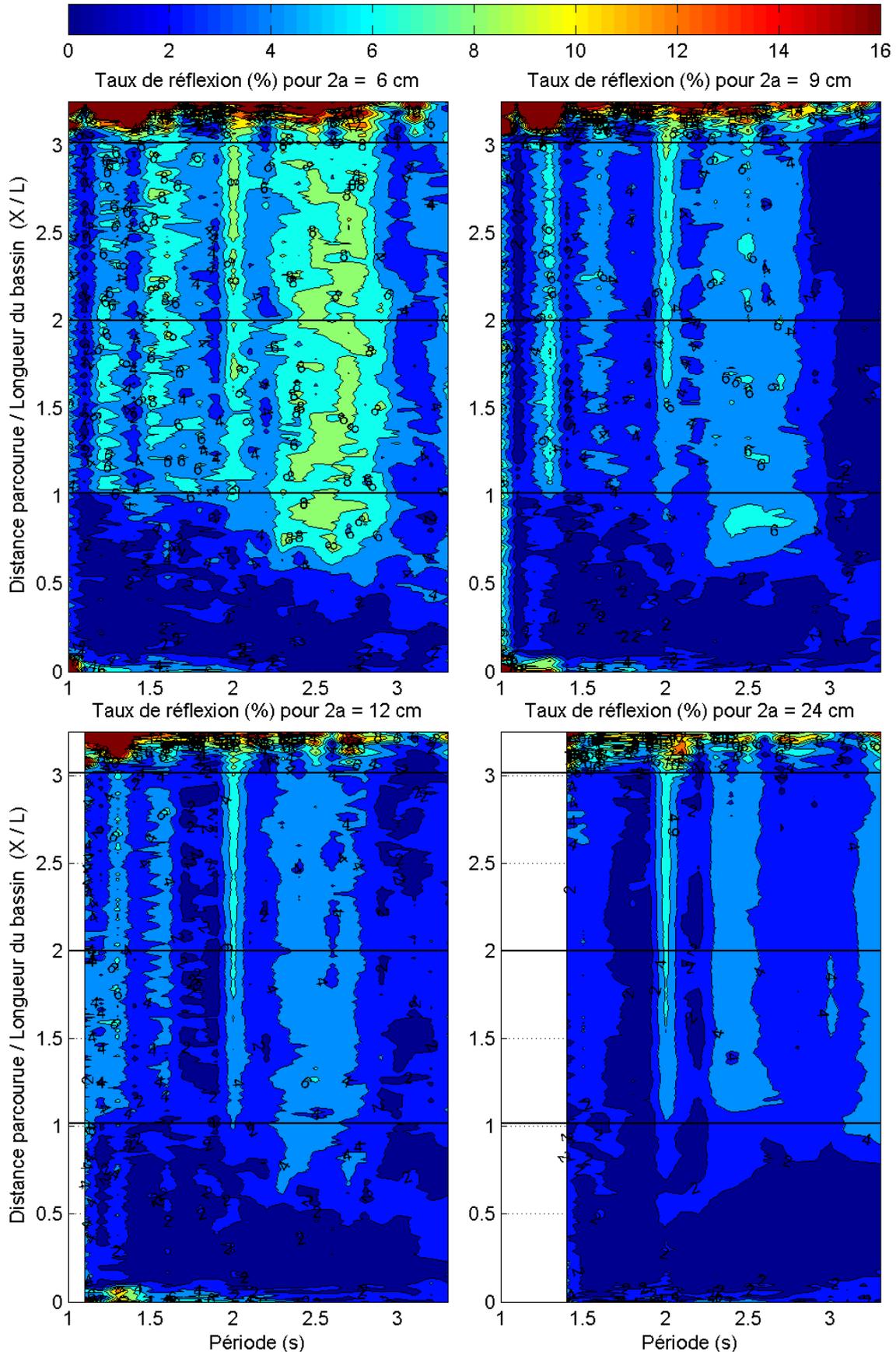


Figure 12 : Cartographie du coefficient de réflexion de la plage d'amortissement poreuse

Génération de houle irrégulière dans le bassin de l'IFREMER Centre de Brest

Spectre JONSWAP :  $T_p = 2.031$  (s)  $H_s = 6.562$  (cm)  $\Gamma = 2$

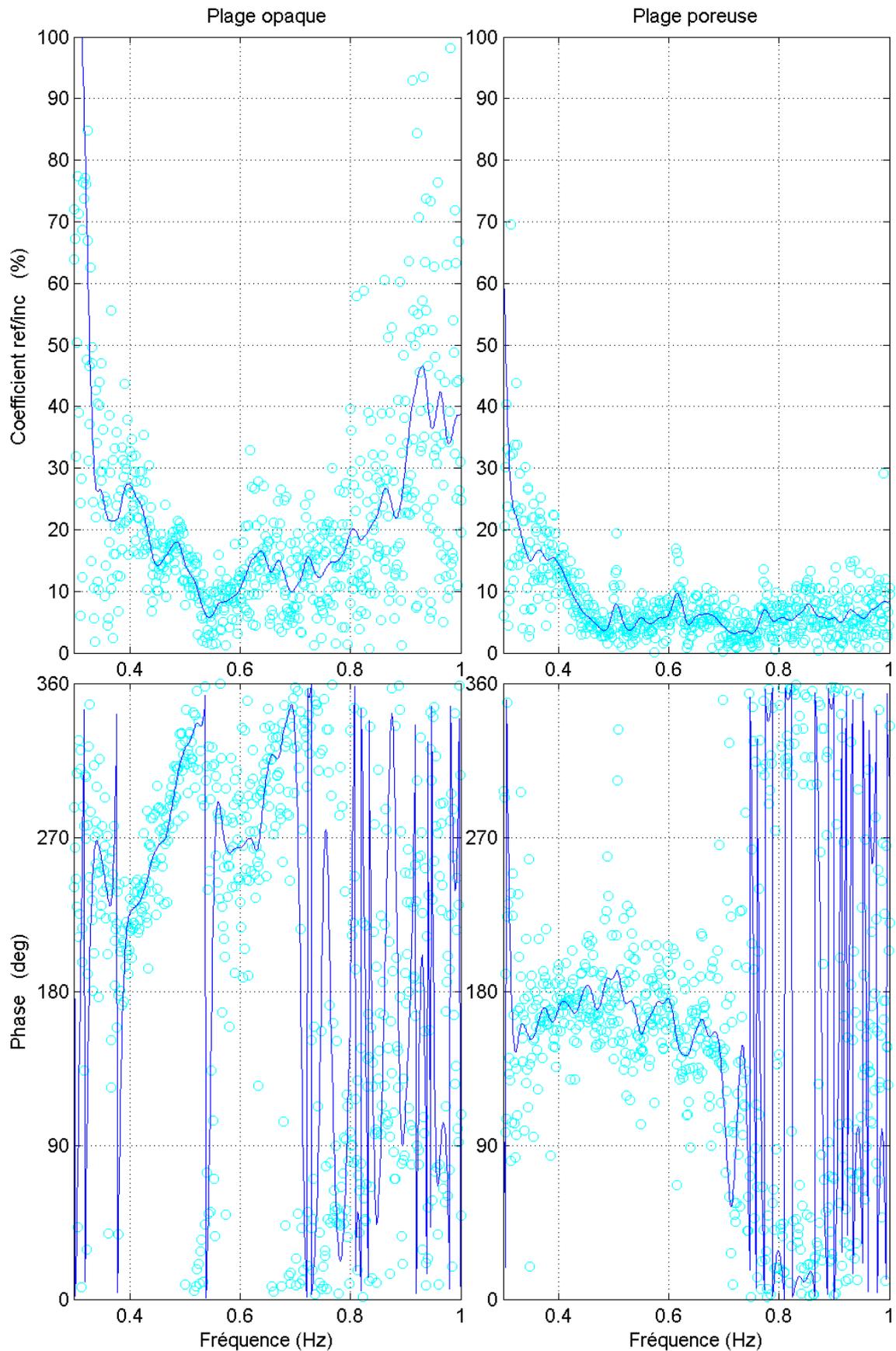


Figure 13 : Coefficient de réflexion en houle irrégulière

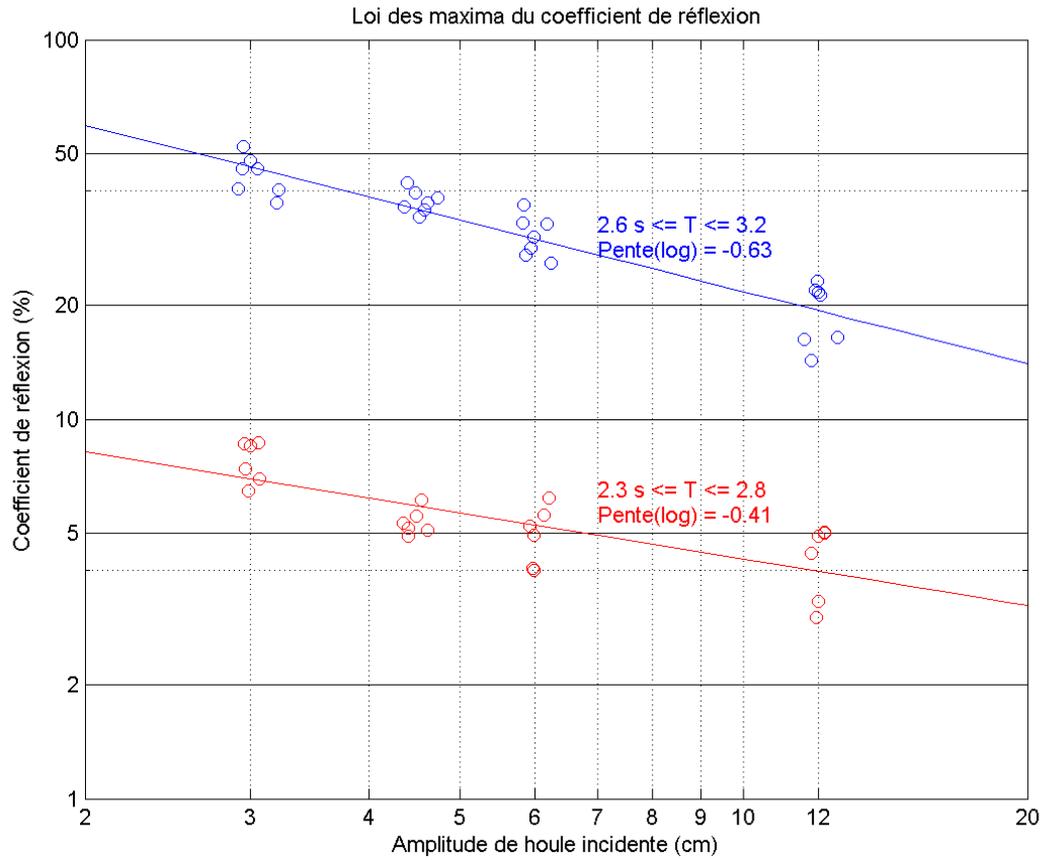


Figure 14 : Evolution des maxima du coefficient de réflexion avec l'amplitude incidente. Plage opaque (valeurs supérieures en bleu). Plage poreuse (valeurs inférieures en rouge).