



Modélisation numérique et expérimentale d'un système de récupération de l'énergie de la houle

Soumia MORDANE¹, Bouchaib AJJEMAMI²,
Noureddine DABSSI³, Mohamed CHAGDALI¹

1. LCSM, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Casablanca, Maroc.

2. ISEM Route d'El Jadida Km 7, Casablanca, Maroc.

3. Marine Royale, Casablanca, Maroc.

m_chagdali@hotmail.com

Résumé :

La colonne d'eau oscillante est un concept qui est à la base d'un dispositif de récupération de l'énergie de la houle. La détermination de l'amplification de la houle dans la colonne d'eau oscillante repose sur le calcul de ses coefficients hydrodynamiques. Dans ce travail, ces caractéristiques sont calculées en utilisant la méthode des éléments frontières (BEM). On présente les résultats de calcul relatifs à la masse de transfert avec une validation expérimentale des déplacements des masses d'eau dans la colonne d'eau.

1. Introduction

Les ouvrages utilisant le concept de la colonne d'eau oscillante sont des récupérateurs de l'énergie des vagues. Le principe de la colonne d'eau oscillante est le suivant : Lorsque la houle se propage en direction de la chambre (figure 1), l'eau monte et descend dans la structure, comprimant de l'air situé dans la partie supérieure. C'est la compression et la détente de l'air qui génère une énergie mécanique qui peut être récupérée.

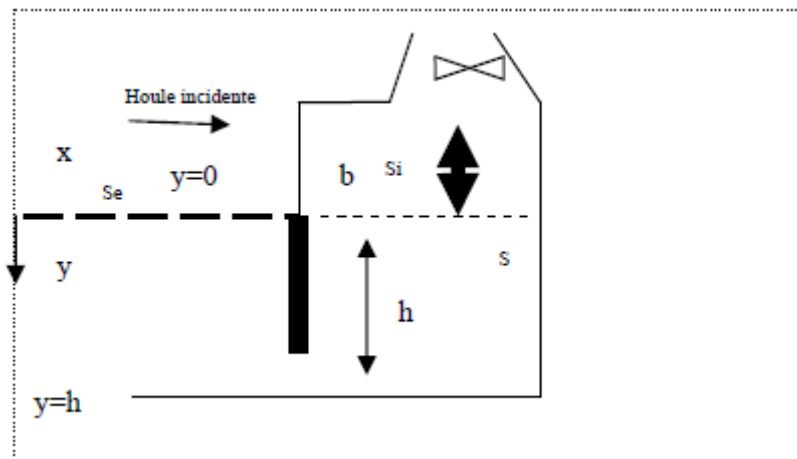


Figure 1. Illustration du concept de la colonne d'eau oscillante.

Dans la littérature, on trouve un certain nombre de travaux sur ce concept (EVANS & PORTER, 1995 ; BRENDMO *et al.*, 1996 ; CZITROM *et al.*, 2000 ; WANG *et al.*, 2002).

Dans ce travail, on se restreint à la modélisation du fonctionnement de la colonne d'eau oscillante. Le calcul est fait par la méthode des éléments aux frontières. Le fonctionnement de la colonne dans une large bande de fréquence est analysé.

2. Formulation mathématique

On considère une colonne d'eau oscillante sollicitée par une houle incidente de fréquence ω . Cette colonne de largeur b , de tirant d'eau a se trouve dans une eau de profondeur h (figure 1). L'interaction de la houle avec la colonne d'eau, a pour conséquence l'oscillation de la pression de la surface libre interne et de la masse d'eau à la fréquence ω :

$$p(x;t) - p_a = \begin{cases} p e^{i\omega t} & , \text{sur } S_i \\ 0 & , \text{sur } S_e \end{cases} \quad (1)$$

p_a étant la pression atmosphérique.

La masse de la colonne d'eau oscille verticalement et obéit à l'équation différentielle suivante (EVANS & PORTER, 1995 ; DABSI, 2008) :

$$(m + a_p) \ddot{\eta} + b_p \dot{\eta} + \rho g b \eta = F e^{-i\omega t} \quad (2)$$

a_p et b_p sont les coefficients hydrodynamiques de la colonne d'eau oscillante. Ces coefficients nécessitent le calcul du potentiel de la houle. η est le déplacement de la colonne d'eau.

L'écoulement est considéré dans le cadre de la théorie potentielle de la houle. Les équations du mouvement en terme potentiel des vitesses $\varphi(x, y)$, le problème suivant :

$$\nabla^2 \varphi(x, y) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \varphi = \begin{cases} \frac{i\omega p}{\rho g} & \text{sur } S_i \\ 0 & \text{sur } S_e \end{cases} \quad \text{Conditions sur la surface libre} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad \text{sur } S_p \quad \text{Condition sur la paroi rigide de la colonne d'eau oscillante} \quad (5)$$

$$\left[\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right]_{y=-h} = 0 \quad \text{Condition à la limite sur le fond} \quad (6)$$

Tenant compte de la linéarité du problème, le potentiel peut être considéré comme étant la superposition des potentiels de la houle incidente, diffractée et de radiation :

$$\varphi = \varphi_i + \varphi_d + \varphi_r \quad (7)$$

$\varphi_D = \varphi_i + \varphi_d$ est associé au problème de la diffraction. Le potentiel de la houle incidente s'écrit comme suit (DABSI, 2008) :

$$\phi_{in}(x, y, z) = -i \frac{gA_i \cosh(k(y+h))}{\omega \cosh(kh)} e^{ikx \cos \alpha} \quad (8)$$

La pulsation de la houle incidente obéit à la relation de dispersion :

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (9)$$

Le potentiel de radiation φ_r due à l'oscillation de la pression d'air à l'intérieur de la chambre peut s'écrire comme suit :

$$\varphi_r = \frac{i\omega}{\rho g} p \varphi_p \quad (10)$$

Le potentiel φ_p est interprété comme étant l'amplitude du potentiel de vitesses de radiation générée par une distribution de pression oscillatoire d'amplitude unité. La normale n_p s'exprime comme suit

$$n_p = \begin{cases} 1 & \text{sur } S_i \\ 0 & \text{sur } S_e \end{cases} \quad (11)$$

Les coefficients hydrodynamiques a_p et b_p de la colonne d'eau oscillante s'expriment comme suit :

$$a_p = \rho \operatorname{Re} \left[\int_{S_i} \varphi_p n_p ds \right] \quad (12)$$

$$b_p = \rho \operatorname{Im} \left[\int_{S_i} \varphi_p n_p ds \right] \quad (13)$$

3. Résolution numérique

Le contour du domaine est subdivisé en éléments simples sur lesquels le potentiel et sa dérivée sont considérés constants. La mise en œuvre de la méthode est détaillée dans la référence DABSI (2008).

4. Résultats

Dans l'équation du mouvement (2) de la colonne d'eau oscillante, le déplacement peut être écrit sous la forme :

$$\eta = \eta_m e^{-i\omega t} \quad (14)$$

On pose $F = \rho g b$ et en injectant cette expression dans l'équation du mouvement, on obtient

$$\frac{\eta_m}{F} = \frac{\rho g b}{\sqrt{(\rho g b - \omega^2(m + a_p) + \omega^2 b_p^2)}} \quad (15)$$

C'est la fonction du transfert communément notée $H(\omega)$. Avec m et b_p les masses ajoutées et amortissement de la colonne d'eau. a_p est le poids unitaire de la colonne. $\rho g b$ est la force de rappel exercée sur la colonne.

Le modèle choisi est définie par les valeurs : $a=14$; $b=10$ et $c=5$. On présente sur la figure 2, l'élévation moyenne de la colonne d'eau pour différentes fréquences.

On constate que sur la gamme de fréquence 0,5-3.2 Hz, le déplacement est linéaire et que le Pic de résonance se situe au voisinage de la valeur 3,5 Hz. On a constaté aussi que le pic de résonance pour le mode de Helmholtz est plus important quand la colonne d'eau possède une largeur suffisante et qui correspond à une masse ajoutée et à un amortissement important.

Déplacement de la colonne en fonction de la fréquence.

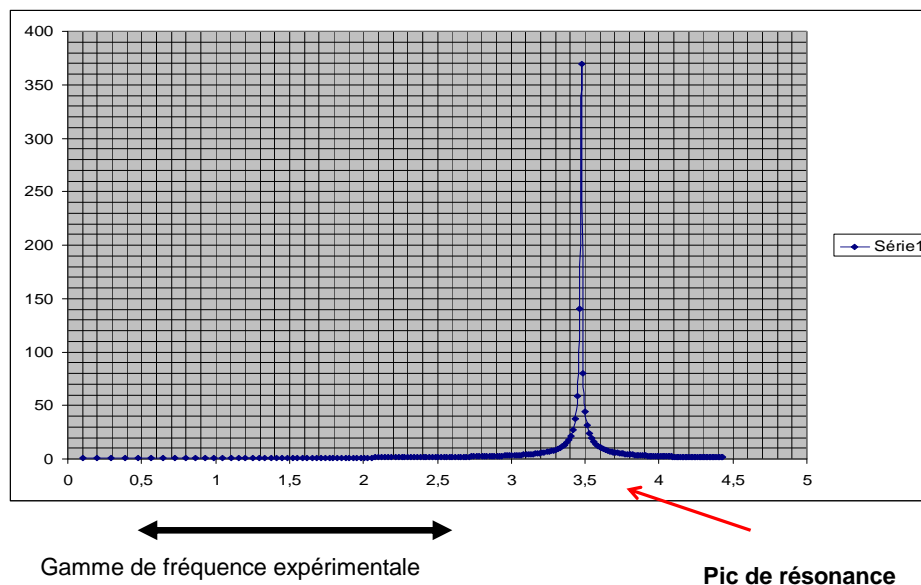


Figure 2. Elévation moyenne de la colonne d'eau pour différentes fréquences.

Sur les figures 3 et 4, on présente respectivement l'amplification dans la chambre pour différentes ouvertures et pour différentes dimensions de la chambre obtenu dans un canal à houle.

5. Conclusion

Cette étude a permis de mettre au point une procédure de calcul des caractéristiques hydrodynamiques d'un ouvrage basé sur le concept de la colonne d'eau oscillante pour la récupération de l'énergie de la houle. Le rendement énergétique peut être quantifié par le rapport de l'élévation moyenne de la colonne d'eau oscillante et de l'amplitude de la houle incidente. Dans ce calcul on a pu obtenir 80% de rendement. Mais cela est intimement lié aux dimensions de l'ouvrage.

**Déplacement de la colonne d'eau pour différentes ouvertures.
L=16cm . Amplitude incidente est 1.5 cm**

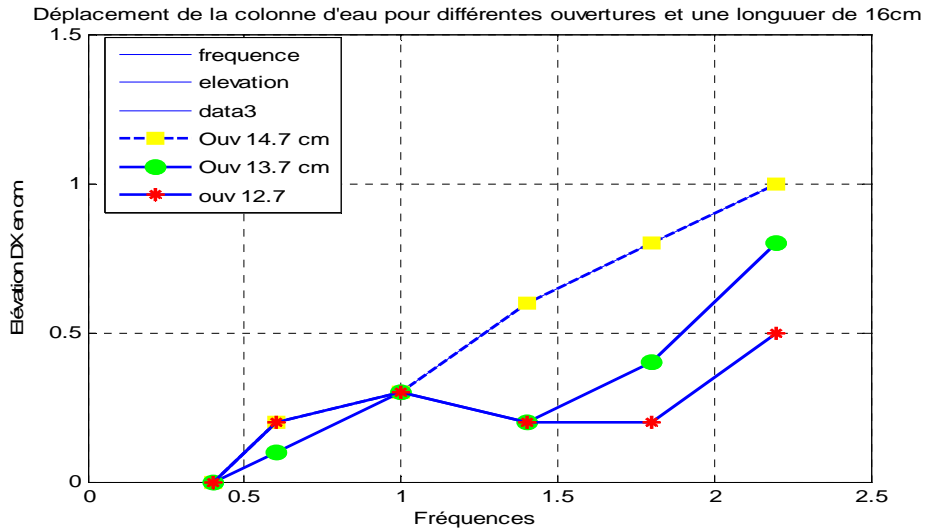


Figure 3. Mesures de l'amplification dans un canal à houle pour différentes ouvertures de la chambre.

**Déplacement de la colonne d'eau pour différentes longueurs.
Ouverture=14.5cm . Amplitude incidente= 2 cm**

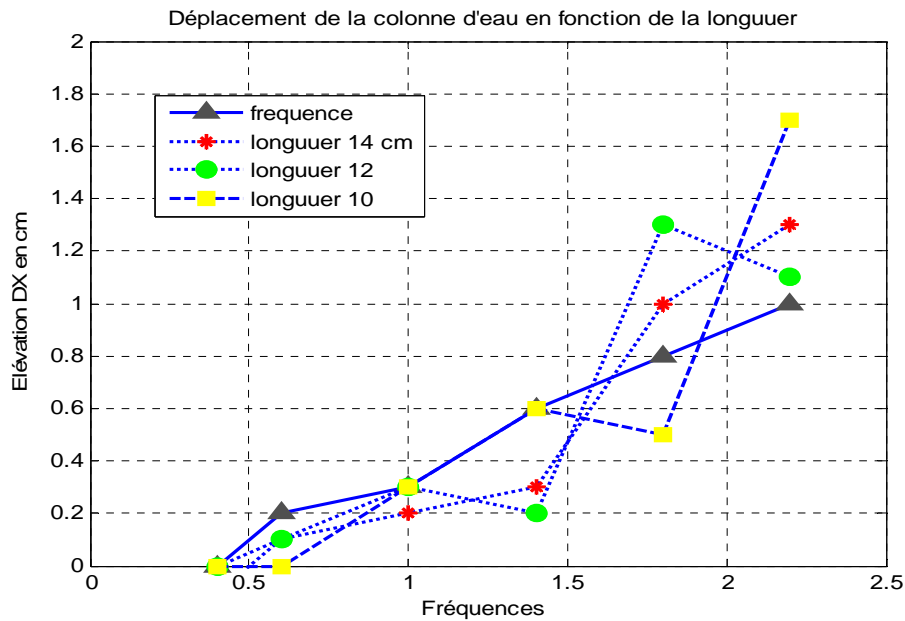


Figure 4. Mesures de l'amplification dans un canal à houle dans la chambre.

6. Références bibliographiques

- BRENDMO A., FALNES J., LILLEBEKKEN P.M. (1996). *Linear modelling of oscillating water columns including viscous loss*. Applied Ocean Research 18, pp 65-75. doi:10.1016/0141-1187(96)00011-9
- CZITROM S.P.R., GODOY R., PRADO E., PEREZ P., PERALTA-FABI R. (2000). *Hydrodynamics of an oscillating water column seawater pump: Part I: theoretical aspects*. Ocean Engineering 27, pp 1181–1198. doi:10.1016/S0029-8018(99)00040-2
- DABSI N. (2008). *Contribution à l'étude des modes de résonance des structures fixes ou flottantes en hydrodynamique marine et navale*. Thèse de Doctorat soutenue le 20 décembre 2008 à la faculté des Sciences Ben M'Sik Casablanca Maroc.
- EVANS D.V., PORTER R. (1995). *Hydrodynamic characteristics of an oscillating water column device*. Applied Ocean Research 17, pp 155-164. doi:10.1016/0141-1187(95)00008-9
- WANG D.J., KATORY M., LI Y.S. (2002). *Analytical and experimental investigation on the hydrodynamic performance of onshore wave-power devices*. Ocean Engineering 29, pp 871–885. doi:10.1016/S0029-8018(01)00058-0