

Etude du mouvement d'un cylindre oscillant sous l'action de la houle

A. JABRALI¹, R. KHATYR and J. KHALID NACIRI

Laboratoire de Mécanique, Equipe modélisation en Mécanique des Fluides et Energies

Département de Physique, Faculté des Sciences Ain Chock, B.P. 5366 Maarif

Université Hassan II- Casablanca, Maroc

¹ Correspondance d'auteur : E-mail : jabraliahmed10@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'étude du mouvement d'un système de récupération de l'énergie de la houle de type Power-Buoy [1] constitué par un cylindre flottant sous l'action d'une houle parallèle à l'axe du cylindre. L'objectif de ce travail est de comparer les résultats obtenus par une approche semi analytique modélisant les différentes actions exercées par une force de Morison [5], à laquelle sont superposées les forces de pression statique, à ceux obtenus par une résolution numérique par la méthode des éléments frontières (BEM) dans le cadre d'une théorie potentielle en utilisant le code NEMOH [8]. Les solutions obtenues sont comparées dans le cas d'oscillations à un seul degré de liberté.

Mots clefs : *Formule de Morison, NEMOH, Méthode des éléments frontières.*

1. Introduction

Les vagues océaniques sont une source d'énergie renouvelable naturelle largement inexploitée. De nombreuses technologies de récupération de l'énergie des vagues ont été proposées au cours des dernières décennies. Une revue des technologies se trouve dans les références [1,2]. Plusieurs prototypes à grande échelle ont été testés en mer (Pelamis [3], Power-Buoy [1], SEAREV [4]...). Ces systèmes convertisseurs d'énergie de la houle (WEC) sont toujours en cours de développement pour améliorer les principaux facteurs tels que corrosion des pièces mobiles, limitation de l'entretien, maximisation de l'efficacité énergétique entre autres.

Les méthodes de calcul pour la conception, le dimensionnement et l'optimisation de ces systèmes sont basées sur l'étude des écoulements hydrodynamiques à surface libre pour la détermination des efforts exercés sur les objets flottant considérés, puis sur l'étude mécanique des mouvements du flotteur. Dans cette étude on considère le cas d'un système de type Power-Buoy, constitué par un cylindre oscillant en mouvement de

pilonnement à un seul degré de liberté et soumis à une houle d'Airy. Les équations différentielles sont établies dans le cas bidimensionnel et sont résolues numériquement par la méthode de Runge-KUTTA d'ordre quatre. Pour le calcul des forces de pression nous avons utilisé deux approches : (i) la première approche est basée sur la formule empirique de Morison avec termes de masse ajoutée et effets de frottements visqueux [5], (ii) dans la seconde approche, les forces de pression sont calculées dans le cadre d'une théorie potentielle [6] par la méthode des éléments frontières (BEM) en utilisant l'application openWEC basée sur le code de calcul NEMOH.

2. Formulation mathématique

Dans un repère non galiléen $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ où l'origine O est un point pris arbitrairement à la surface libre du fluide et où \vec{z} est la verticale ascendante, on considère l'écoulement bidimensionnel dans le plan (\vec{y}, \vec{z}) autour d'un disque flottant à la surface libre du fluide. La position du disque de centre O_1 et de rayon R est repérée par les coordonnées (y, z) de O_1 (Figure 1). L'étude étant limitée au mouvement de pilonnement du disque, le seul degré de liberté du problème est la variable z .

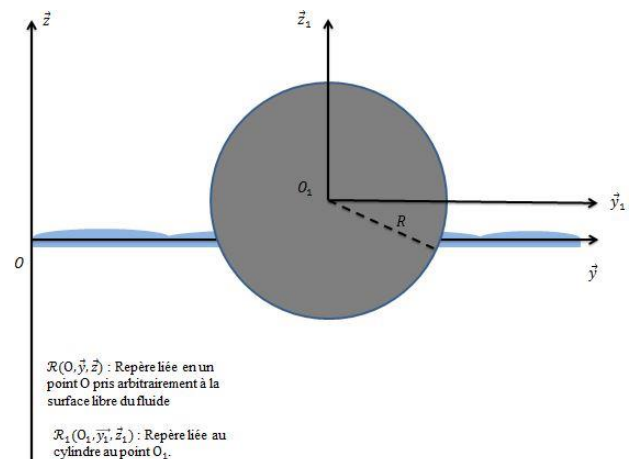


Figure 1 : Schéma du cylindre flottant

Dans le repère non galiléen $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, la relation fondamentale de la dynamique appliquée au disque (D) s'écrit :

$$m \cdot \ddot{\vec{z}} = \vec{P} + \vec{F}_m + \vec{F}_a - m \cdot \frac{d^2\eta}{dt^2} \vec{z} \quad (1)$$

où m est la masse du cylindre, $\vec{P} = m\vec{g}$ est la force de pesanteur, \vec{F}_m est la force de Morison représentant les efforts d'inertie et visqueux exercés par le fluide sur le disque et \vec{F}_a est la poussée d'Archimède, $m \cdot \frac{d^2\eta}{dt^2}$ est la force d'inertie liée au caractère non galiléen du repère considéré, $\eta(y, t)$ étant l'équation de la surface libre.

La force de Morison \vec{F}_m est donnée par la formule de Morison : $\vec{F}_m = \rho_e C_m V \ddot{\vec{z}} + \frac{1}{2} \rho_e C_d S \dot{z} |\dot{z}| \vec{z}$ où \dot{z} et \ddot{z} sont respectivement la vitesse et l'accélération du cylindre par rapport au fluide, ρ_e est la masse volumique du fluide, C_m est le coefficient de masse ajoutée, C_d est le coefficient de traînée, $S = RL \arccos\left(\frac{z}{R}\right)$ est la surface de la section transversale du corps perpendiculaire à la direction de l'écoulement, L est la longueur du cylindre, V est le volume du corps. La poussée d'Archimède est définie par $\vec{F}_a = -\rho_e V_i \vec{g}$, où V_i est le volume immergé. Par substitution de ces expressions dans l'équation (1), on obtient :

$$(m + \rho_e C_m V) \ddot{z} + mg + \frac{1}{2} \rho_e C_d S \dot{z} |\dot{z}| + \frac{\rho_e g L R^2}{2} \left(\frac{\eta_2 + \eta_1}{R} + 2\theta_L \right) + \rho_e g L R \left(\sin\left(\theta_L + \frac{\eta_1}{R}\right) + \sin\left(\theta_L + \frac{\eta_2}{R}\right) \right) \left(\frac{R}{4} - z \right) + m A_m \omega^2 \cos(\omega t) = 0 \quad (2)$$

où $\theta_L = \arccos\left(\frac{z}{R}\right)$, $\eta_1 = A_m \sin(\omega t - k(y - R \sin \theta_L))$ et $\eta_2 = A_m \sin(\omega t - k(y + R \sin \theta_L))$, A_m est l'amplitude de la houle de pulsation ω et de nombre d'onde k ,

La résolution de l'équation différentielle (2) par une méthode de Runge Kutta d'ordre 4 permet d'obtenir les mouvements d'oscillation du cylindre.

3. Résolution par le code NEMOH

Le mouvement du cylindre est calculé dans le domaine temporel en utilisant l'application openWEC [7] basée sur le code calcul NEMOH [8]. C'est un code basé sur la méthode des éléments frontières (BEM) [9] dédié au calcul des coefficients hydrodynamiques dans le domaine fréquentiel de premier ordre (masse ajoutée, amortissement de radiation, efforts de diffraction, ...etc.).

Le code NEMOH, développé à l'école centrale de Nantes, permet l'évaluation de la réponse dynamique des

structures flottantes ou l'évaluation de la performance des convertisseurs de l'énergie des vagues (WEC).

Le mouvement calculé par ce code est comparé à la solution obtenue par la résolution numérique de l'équation (2) faite par la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4.

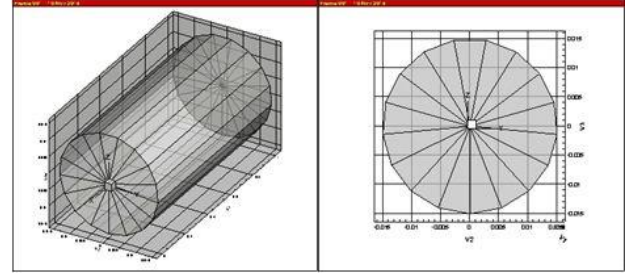


Figure 2 : Schéma du cylindre réalisé par openWEC en 3D et 2D

4. Résultats et discussion

La Figure 3 représente le mouvement du cylindre calculé par le code NEMOH et celui obtenu par la méthode de Runge-Kutta en utilisant la force de Morison dans le cas où $C_d=0$, $C_m=0.95$, la période $T=3.57$, $R=0,057$ m et $A_m=0.06$.

On constate l'existence des perturbations dans la solution utilisant la force de Morison par rapport à celle du code NEMOH, ceci est dû aux termes des potentiels de radiation et de diffraction qui sont négligés dans la résolution analytique.

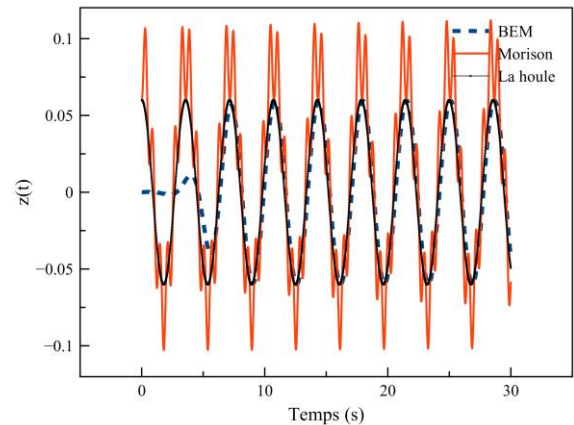


Figure 3 : Evolution de z en fonction du temps dans le cas où $C_d=0$

La Figure 4 représente le mouvement du cylindre calculé par le code NEMOH et celui obtenu par la méthode de Runge-Kutta en utilisant la force de Morison dans le cas où $C_d=1$, $C_m=0.95$ [5] la période $T=3.57$, $R=0,057$ m et $A_m=0.06$. La solution montre l'amortissement du

mouvement du cylindre à cause de l'effet du terme de trainé.

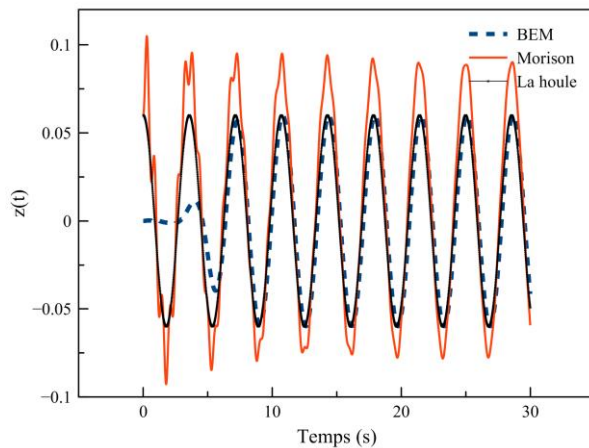


Figure 4 : Evolution de z en fonction du temps dans le cas où $C_d=1$

5. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce travail une étude bidimensionnelle du mouvement d'un cylindre dans un fluide. Les solutions obtenues par une approche semi analytique puis par une approche numérique sont comparées dans le cas d'oscillations à un seul degré de liberté. On constate que les résultats obtenus diffèrent dans leurs caractéristiques, notamment pour l'amplitude maximale des oscillations, mais sont en concordance en termes d'ordre de grandeurs. Ainsi, une approche semi analytique négligeant les potentiels de radiation et de diffraction peut être utilisée en première approximation pour une étude des mouvements de corps flottant sous l'action d'une houle, cette approche permettra d'estimer des ordres de grandeurs et peut s'avérer utile en termes de gains en temps de calcul qui devient importants pour des systèmes multi-corps et pour les calculs d'optimisation et permet en outre d'accéder à une première approximation pour l'effet des termes de viscosité.

6. Références

- [1] J. Falnes, A review of wave-energy extraction. *Mar Struct*, 20 (2007) 185-201.
- [2] De O. Falcao AF., Wave energy utilization: a review of the technologies, *Renew Sustain Energy Rev*, 14 (2009) 899-918.
- [3] R. Yemm, D. Pizer, C. Retzler and R. Henderson, Pelamis : experience from concept to connection, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 370 (2012) 365–380.
- [4] J. Cordonnier, F. Gorintin, A. De Cagny, A.H. Clement, A. Babarit, SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter, *Renewable Energy*, 80 (2015) 40-52.
- [5] Shi-Fu Zhang, Chang Chen, Qi-Xin Zhang, Dong-Mei Zhang and Fan Zhang, Wave Loads Computation for Offshore Floating Hose Based on Partially Immersed Cylinder Model of Improved Morison Formula, *The Open Petroleum Engineering Journal*, 8 (2015) 130-137.
- [6] J. Bougis et A. Clement, Action de la houle sur un flotteur élané à Froude zéro en profondeur finie, Association Technique et Aéronautique, Paris, (1979).
- [7] <https://github.com/tverbrug/openWEC>, Accessed on November, 30, 2016.
- [8] <http://lhea.ecnantes.fr/doku.php/emo/nemoh/start>, Accessed on November, 30, 2016.
- [9] A. Babarit and G. Delhommeau, Theoretical and numerical aspects of the open source BEM solver NEMOH, in Proc. Of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference, Nantes, France, 2015.