



Modélisation des interactions dans une ferme de systèmes houlomoteurs avec prise en compte de la bathymétrie

Modeling of interactions in a farm of wave energy converters taking into account the bathymetry

F. Charrayre^{*1}, M. Benoit*, C. Peyrard*, A. Babarit**

* Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant (EDF R&D, Cerema, Ecole des Ponts ParisTech), Université Paris-Est, 6 quai Watier, 78400 Chatou, France

** LUNAM Université, Ecole Centrale de Nantes - CNRS, 1 rue de la Noë, 44300 Nantes, France

¹ francois-externe.charrayre@edf.fr

Résumé

Un champ de vagues interagit avec son environnement, qu'il soit naturel (falaise, bathymétrie, ...) ou artificiel (corps flottants, digues, ...). Ainsi, la présence d'une ferme houlomotrice aura un impact sur le champ de houle. A contrario, on peut aussi dire que le rendement des systèmes houlomoteurs dépend de leurs positions et du champ de vagues incident.

Nous proposons ici une méthode dont le but est de calculer rapidement ces interactions entre les systèmes houlomoteurs, tout en prenant en compte la bathymétrie qui peut avoir un impact non négligeable sur le champ de vagues. Une méthodologie de couplage entre un modèle local de radiation/diffraction autour de chaque WEC, et un modèle de propagation à fond variable est développée, puis validée dans un cas à fond plat. Appliquée tout d'abord à une houle incidente monochromatique, cette démarche permet aussi de faire des études pour des états de mer irréguliers multidirectionnels.

Summary

The sea-state depends on the environment, natural (cliff, bathymetry, ...) or artificial (floating bodies, breakwater, ...). Thus, the presence of a wave energy converter's farm will potentially affect the wave field. Conversely, we can also say that the device efficiency depends on their position and the incident potential.

We propose here a method that aims to quickly calculate the interactions between machines, while taking into account the bathymetry which can have a significant impact on the wave field. A coupling methodology between a local model of scattering around each WEC and a propagation model with variable background is developed and validated with a flat bottom case. Firstly applied to a monochromatic incident wave, this approach permit also some studies with irregular and multidirectional sea states.

Introduction

Depuis quelques années, et dans un contexte de diversification énergétique, les énergies marines sont devenues un sujet majeur de recherche et de développement. Selon certaines études [3], la ressource en énergie des vagues pourrait (en théorie tout au moins) couvrir plus de 50% de la consommation mondiale d'énergie électrique. On comprend donc l'intérêt d'essayer d'en récupérer une partie. Des travaux et développements sont encore nécessaires afin d'améliorer le rendement et la robustesse des Systèmes de Récupération de l'Énergie des Vagues (SREVS, ou WEC : Wave Energy Converters) et d'être capable de prévoir et mesurer l'impact de ces fermes sur le champ de vagues. Pour des raisons économiques et techniques, le but est de déployer ces SREVs en fermes, ce qui pose des questions particulières. En effet, la configuration en parc génère des interactions d'ondes entre les SREVs et peut modifier significativement le champ de vagues.

Quelques expériences ont été réalisées pour comprendre ces effets (campagne Hydralab IV WECwakes [21][20] par exemple), mais elles sont limitées par les caractéristiques des bassins à houle utilisés. La modélisation numérique permet de compléter ces études physiques, et d'offrir un outil plus flexible et moins coûteux.

L'étude de la radiation/diffraction est primordiale dans la compréhension des interactions au sein d'un ensemble de plusieurs corps ou machines. Les premières études de diffraction ont été historiquement menées dans le domaine de l'électromagnétisme [22], puis dans le domaine de l'offshore et des aménagements côtiers [17]. Ensuite, une méthode matricielle a été développée [19] [18] pour finalement aboutir à une méthode dite "exacte" [13].

A ce jour, les différentes méthodes développées ne permettent pas, en général, de prendre en compte la bathymétrie [12]. De plus, le nombre de machines prises en compte est souvent limité par les capacités des calculateurs. Pour dépasser ces limitations, nous proposons de coupler un code de radiation/diffraction pour étudier localement le comportement du SREV, et un code de propagation de houle dans le reste du domaine. L'utilisation de deux codes couplés en régime fréquentiel permet de s'affranchir de la limitation du nombre de SREVs. Mais surtout, le code de propagation de la houle utilisé permet de prendre en compte la bathymétrie, ce qui permet de mesurer son impact sur l'efficacité du parc par exemple, et de s'approcher de cas plus réalistes.

I – Présentation de la méthode

I – 1 Méthode générale

La méthode présentée ici repose sur un couplage entre deux modèles de vagues (voir fig. 1), l'un pour calculer les potentiels radiés/diffractés localement autour de chaque SREV, et l'autre pour propager les diverses ondes à plus grande échelle. Les étapes de ce couplage sont :

- Calcul du potentiel perturbé grâce à un code BEM (Boundary Element Method). A partir de ce potentiel perturbé, la fonction de Kochin (approximation champ lointain) est déduite.
- Propagation des ondes radiées par chaque SREV (en réaction à la houle incidente, puis aux ondes radiées par les autres SREVs) en prenant en compte la bathymétrie.
- Somme de toutes les composantes du potentiel. La théorie linéaire permet d'écrire que le potentiel total est la somme du potentiel incident et des potentiels radiés/diffractés : $\phi_{tot} = \phi_{inc} + \phi_{scat}$ avec

$$\phi_{scat} = \sum_{i=1}^{+\infty} \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n i \phi_j^k \quad (1)$$

où i est l'ordre de radiation, j le SREV diffractant et k le SREV étudié.

Cette méthode est un bon compromis entre précision et temps de calcul. L'objectif principal de cette étude est l'impact d'une ferme de SREVs sur le champ de vague, en prenant en compte la bathymétrie.

Le choix de l'utilisation d'une méthode fréquentielle permet d'avoir des résultats satisfaisants de façon rapide. Pour appliquer cette méthode, plusieurs hypothèses sont faites :

- le fluide est non visqueux et incompressible
- l'écoulement est irrotationnel
- théorie linéaire (houle de faible amplitude et petits mouvements pour les SREVs)
- formulation harmonique des ondes
- bathymétrie réelle dans le domaine, sauf à l'emplacement des SREVs où le fond est considéré comme plat localement pour résoudre le problème de radiation

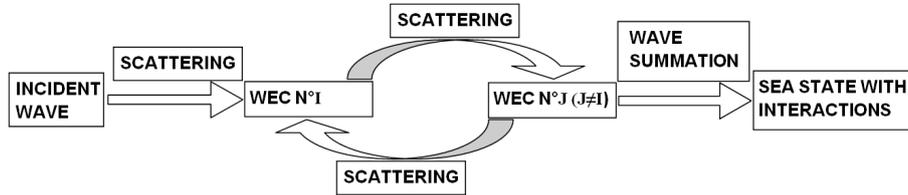


Figure 1 – Méthode de couplage.

L'interfaçage entre les deux codes peut être mis en évidence dans les résultats du code de propagation. Les SREVs sont d'abord soumis à la houle incidente, puis aux vagues radiées/diffractées par les autres SREVs. Le potentiel total est la somme du potentiel incident et des différentes ondes radiées/diffractées (fig 1). A travers l'utilisation d'une forme analytique, le potentiel de l'onde radiée/diffractée par le SREV étudié (calculé par le code BEM de radiation/diffraction) est imposé dans le code de propagation des vagues à la frontière d'une île fictive entourant le SREV. A chaque itération (ou ordre d'interaction), chaque composante des potentiels perturbés émis par les autres SREVs à l'itération précédente est prise en compte par le SREV étudié qui va à son tour émettre une nouvelle onde (fig 2).

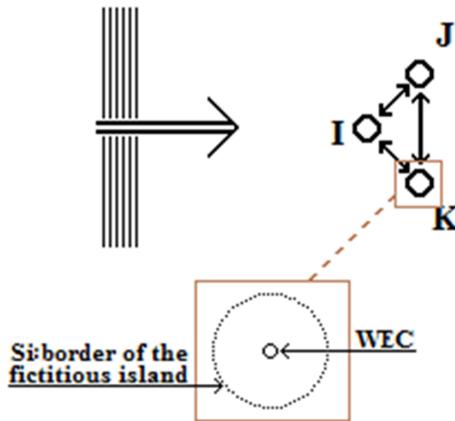


Figure 2 – Approche générale.

I – 2 Résolution du problème de radiation/diffraction

Pour résoudre le problème de radiation/diffraction autour des SREVs, un code BEM peut être utilisé. Ces codes comme Aquaplus [9][10], Wamit [2], Aqwa ou Nemoh [14] sont basés sur la théorie potentielle linéaire. Seule la surface du corps flottant est maillée, et le domaine est considéré comme étant infini et à profondeur constante.

En plus des hypothèses précédemment posées, les conditions suivantes sont fixées (les différentes parties du domaine sont illustrées sur la fig. 3) :

- la masse du corps flottant est répartie de façon homogène
- vagues de faible amplitude et petits mouvements du corps
- continuité dans le milieu fluide :

$$\Delta\Phi = 0$$

- condition de surface libre :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \text{ si } M \in SL$$

- condition de glissement au fond :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \text{ si } M \in S_F$$

- condition à la surface du corps :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \vec{\nabla} \Phi \cdot \vec{n} = \vec{V} \cdot \vec{n} \text{ si } M \in S_B$$

- condition de radiation :

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \Phi_{Scat} = 0 \text{ avec } R^2 = (x^2 + y^2) \in S_\infty$$

De façon classique, le problème de radiation/diffraction est séparé en 7 problèmes distincts, 1 de diffraction et 6 de radiation (1 par degré de liberté). Une fois ces équations résolues, toutes les composantes du potentiel total sont sommées en accord avec la théorie linéaire. Nous utilisons dans ce travail le code Aquaplus [9][10]. Le problème de diffraction est donc résolu en considérant que le corps est fixe. La condition à la limite sur le SREV s'écrit pour le potentiel

$$\left(\frac{\partial \Phi_D}{\partial n} \right)_{S_B} = - \left(\frac{\partial \Phi_{inc}}{\partial n} \right)_{S_B} \quad (2)$$

Pour résoudre les problèmes de radiation, le corps flottant est considéré comme ayant un mouvement forcé d'amplitude unitaire suivant un des 6 degrés de liberté. Chaque potentiel est solution de l'équation de Laplace avec la condition à la limite suivante sur le corps :

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial n} \right)_{S_B} = V_i \cdot n_i \quad (3)$$

avec $M \in S_B$ et $i \in [1; 6]$. Chacune de ces parties du potentiel perturbé est solution de l'équation résolue par Aquaplus :

$$\Omega(M) \phi_p(M) = \iint_{S_B} \phi_P(M') \frac{\partial G(M, M')}{\partial n'} - \frac{\partial \phi_p(M')}{\partial n'} G(M, M') dS \quad (4)$$

où G est une fonction de Green et S_B la surface immergée du corps flottant.

Puis l'équation du mouvement est résolue après application d'une PTO linéaire (Power Take Off) imposée à travers une raideur additionnelle K_a et un amortissement B_a :

$$(M + M_b) \ddot{X}(t) + (B + B_a) \dot{X}(t) + (K + K_a)X(t) = F(t) \quad (5)$$

où B et K sont l'amortissement et la raideur du système calculés par le code BEM, M et M_b la matrice d'inertie et la matrice de la masse d'eau ajoutée, et X le vecteur de position.

Enfin, tous les potentiels sont sommés pour donner le potentiel total (incident + perturbé), qui est ensuite transmis au code de propagation de la houle.

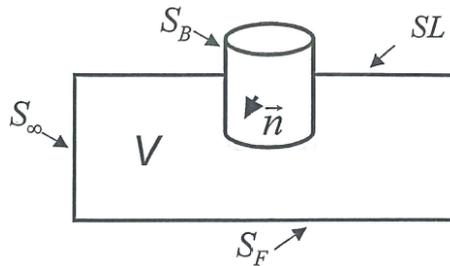


Figure 3 – Les différents sous-domaines du domaine entourant chaque SREV

I – 3 Propagation des potentiels

Pour propager les différentes composantes du potentiel total (incident et perturbé), un code élément fini, Artemis [1], est utilisé. Ce code résout l'équation de Berkhoff ("mild slope equation") [6] et peut prendre en compte une bathymétrie variable. Ce code travaille en 2DH, c'est-à-dire en 2D horizontal avec une dépendance en z . Il est basé sur la théorie linéaire et travaille en régime fréquentiel.

A partir des hypothèses formulées plus haut, le potentiel s'écrit :

$$\Phi(x,y,z,t) = \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \cdot \phi(x,y) \cdot e^{-i\omega t} \quad (6)$$

Le potentiel réduit $\phi(x,y)$ est solution de l'équation de Berkhoff [6] :

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + CC_g k^2 \phi = 0 \quad (7)$$

avec $C = \frac{\omega}{k}$ la vitesse de phase, $C_g = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] C$ la vitesse de groupe et k le nombre d'onde. Initialement développée pour une bathymétrie variant faiblement, cette équation peut être modifiée pour une bathymétrie variant rapidement et/ou en présence de dissipation d'énergie (déferlement, frottement sur le fond, ...). De nouveaux termes sont alors ajoutés :

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + CC_g \left(\underbrace{k^2 (1+f)}_{\text{bathymétrie}} + \underbrace{ik\mu}_{\text{dissipation}} \right) \phi = 0 \quad (8)$$

avec :

$$f = \begin{cases} E_1(kh) \cdot (\nabla h)^2 + \frac{E_2(kh)}{k_o} \cdot \Delta h & \text{bathymétrie variant fortement} \\ 0 & \text{bathymétrie variant très faiblement} \end{cases} \quad (9)$$

où E_1 et E_2 sont donnés par Chamberlain&Porter [7].

Comme la fonction de Kochin est une approximation de champ lointain, et que sa précision est surtout bonne au-delà d'une distance correspondant à une longueur d'onde [5], il est choisi d'appliquer le potentiel correspondant à la frontière d'une île fictive (voir §3).

I – 4 Couplage grâce à une approximation de champ lointain

Le potentiel perturbé calculé par le code BEM peut être assimilé à une onde circulaire lorsqu'on se place à une distance suffisante. Cette approximation est valable en champ lointain. L'utilisation d'une forme analytique telle que la fonction de Kochin dont la précision a été montrée dans [4][5][8] est donc pertinente pour transmettre le potentiel perturbé au code de propagation. La distance minimale entre 2 SREVs sera donc la distance minimum permettant d'obtenir une bonne précision à partir de cette approximation "champ lointain". Typiquement, une distance d'une demi à une longueur d'onde est suffisante.

La fonction de Kochin $H(\theta)$ correspondant au potentiel perturbé calculé par Aquaplus s'écrit :

$$H(\theta) = \iint_S \left(\frac{\partial \tilde{\phi}}{\partial n} - \tilde{\phi}_p \frac{\partial}{\partial n} \right) f_0(z') e^{ik(x' \cos(\theta-\beta) + y' \sin(\theta-\beta))} dS' \quad (10)$$

avec $f_0(z) = -i \frac{Ag}{\omega} \cdot \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)}$, $\phi_p(M,t) = \Im \left[A \tilde{\phi}(M, \omega, \beta) e^{i(-\omega t + \varphi)} \right]$ et β l'angle que fait la direction radiale avec la direction de la houle. Cette fonction est décrite dans [5] et basée sur [9] et [16] A partir de cette fonction angulaire, on peut exprimer le potentiel [11][15] et l'imposer au bord de l'île fictive dans Artemis :

$$\phi_{Scat} = \sqrt{\frac{2}{\pi k R}} f_0(z) \cdot H(\theta) \cdot e^{i \left(kr - \frac{\pi}{4} \right)} + O(R^{-1}) \quad (11)$$

II – Validation

Pour valider ce couplage, les résultats obtenus avec cette méthode sont comparés aux résultats donnés par Aquaplus.

Dans ce test, la houle incidente est une houle monochromatique de 8s de période et 1m d’amplitude venant de la gauche vers la droite. Les SREVs sont des cylindres de flottabilité nulle de 10m de tirant d’eau et de 10m de diamètre. Le mouvement est ici contraint en pilonnement seul. L’île fictive entourant chaque SREV a un rayon d’une demi-longueur d’onde, soit environ 50m. La profondeur est considérée comme étant infinie. La fonction de Kochin $H(\theta)$ correspondant au potentiel perturbé autour d’un SREV soumis à cette houle incidente est illustrée sur la fig. 4

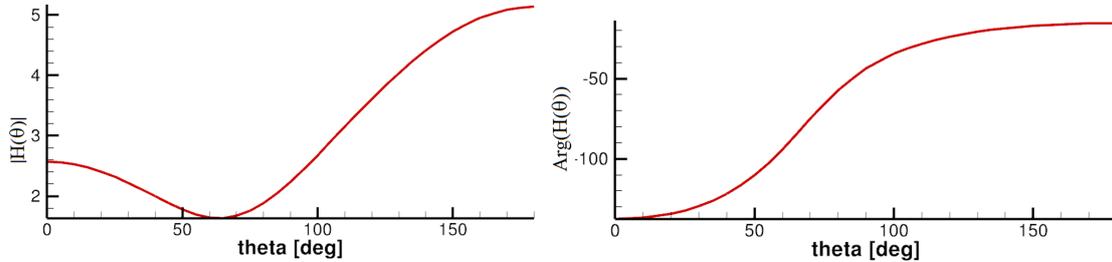


Figure 4 – Amplitude et angle de la fonction de Kochin

La comparaison entre la hauteur de houle du champ total donnée par Aquaplus puis par la méthode de couplage (fig. 5) montre une différence inférieure à 3.2%. Cette différence est du même ordre que celle de l’approximation ”champ lointain”, sachant qu’un léger déphasage entre les deux codes (en amont notamment) et des imprécisions dans la propagation des ondes (autour des bords en aval notamment) peuvent aussi être à l’origine des écarts observés.

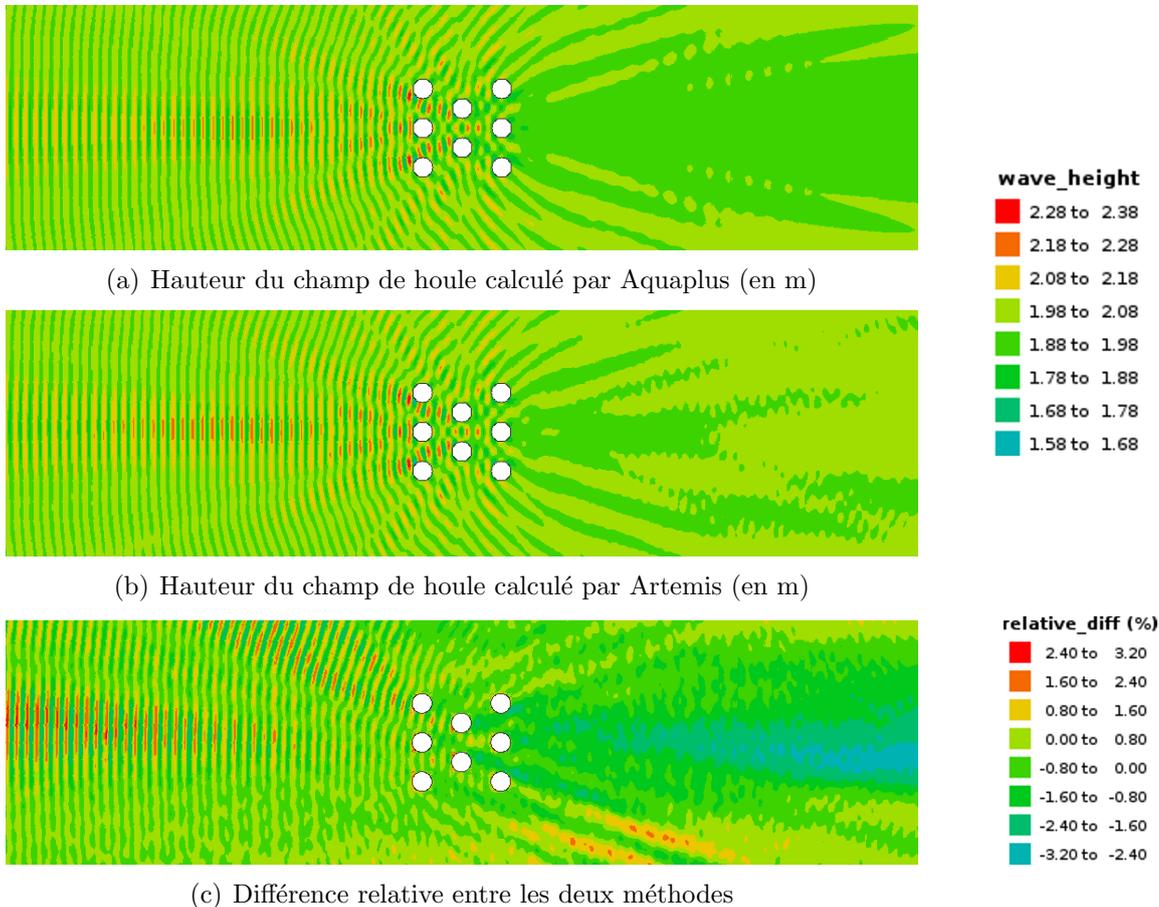


Figure 5 – Comparaison de la hauteur du champ de houle entre Aquaplus et la méthode de couplage

III – Etude d’un cas réaliste

A partir de la démarche expliquée en première partie, un cas plus réaliste est proposé. Un parc de 8 SREVs disposés en quinconce (fig. 6c) dans un domaine rectangulaire de 3600x2000m est soumis à une houle incidente monochromatique de période 8s et d’amplitude 1m. La bathymétrie varie de 60m à 4m de profondeur (voir fig. 6) avec une pente de 10% (i.e. 5.7°) au niveau de la ferme. Le SREV est le même que précédemment et est soumis à la même PTO.

Deux types de comparaisons peuvent être faites, l’une sur l’impact de la ferme, et l’autre sur l’impact de la bathymétrie sur le champ de houle.

Les résultats obtenus montrent qu’au delà de la 2^{ème} itération (cf §I-1), les corrections sur le potentiel perturbé sont négligeables et deviennent très inférieures à 1% sur ses plus proches voisins.

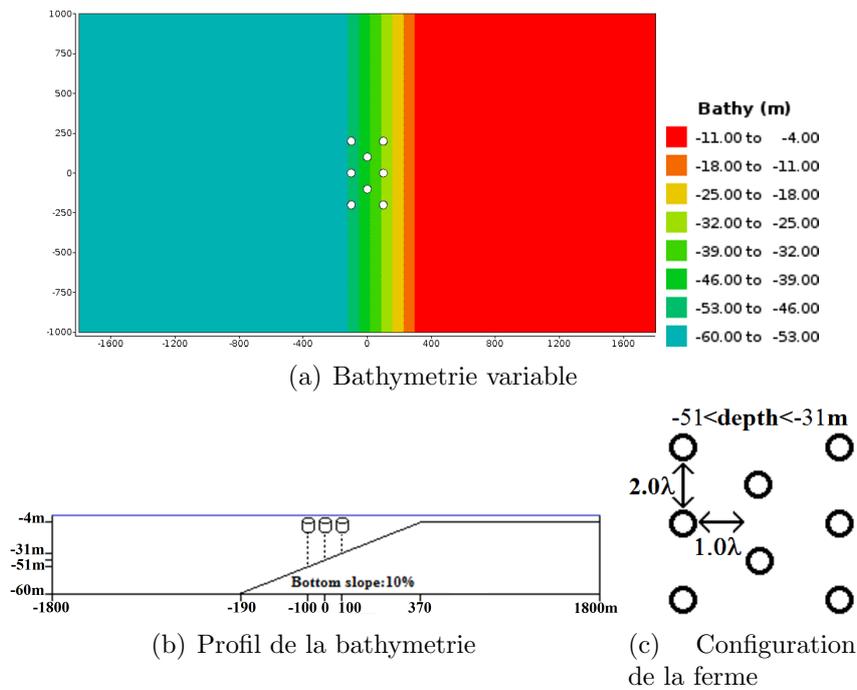


Figure 6 – Bathymétrie utilisée et configuration de la ferme de 8 SREVs

III – 1 Impact de la bathymétrie sur le champ de houle

Afin de mesurer la pertinence de la prise en compte de la bathymétrie, une comparaison est proposée entre un cas par fond plat (-60m) et un cas avec la bathymétrie montrée plus haut (fig. 6)

La différence relative est calculée de la façon suivante : $R_{\text{relative diff}} = 100 \cdot \frac{(H_{\text{var bathy}} - H_{\text{flat bathy}})}{H_d}$ avec $H_d = H_{\text{flat bathy}}$ pour le champ incident ou total, et $H_d = H_{\text{inci}}$ pour le champ perturbé (qui tend vers 0 lorsqu’on s’éloigne du SREV).

Les résultats (fig. 7) montrent que la bathymétrie peut influencer de manière assez importante sur le potentiel incident. Ainsi, le phénomène de shoaling est bien visible au niveau de la pente.

En faisant la différence relative entre le cas avec et sans bathymétrie, on constate que la différence atteint 12% pour le potentiel incident (fig. 8 a). La différence observée au niveau de la ferme influe beaucoup sur la différence obtenue pour le potentiel radié/diffracté (fig. 8 b). Plus le potentiel incident est modifié par la bathymétrie (en fréquence et en amplitude) au niveau de la ferme, plus le potentiel radié sera modifié. Finalement, la bathymétrie influe de manière non négligeable sur le champ de houle total avec une variation qui atteint ici 14% (fig. 8 c).

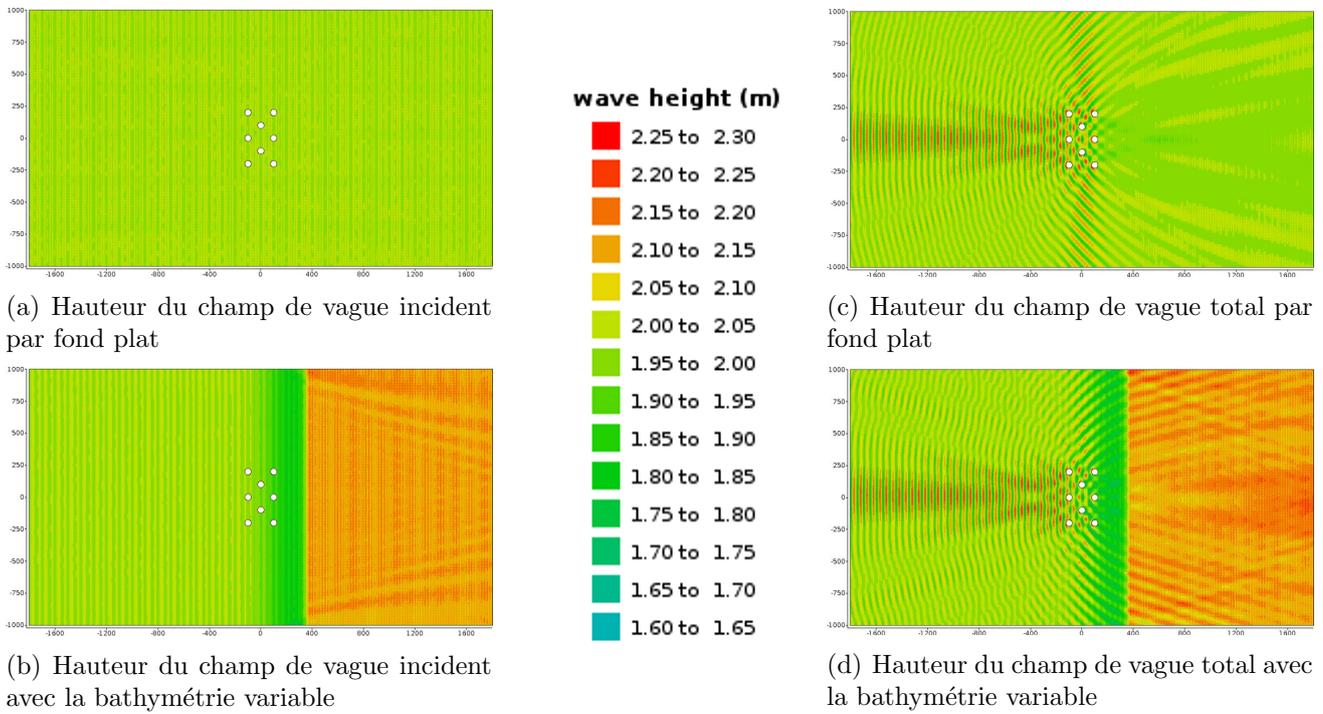


Figure 7 – Hauteur du champ de vague selon la bathymétrie

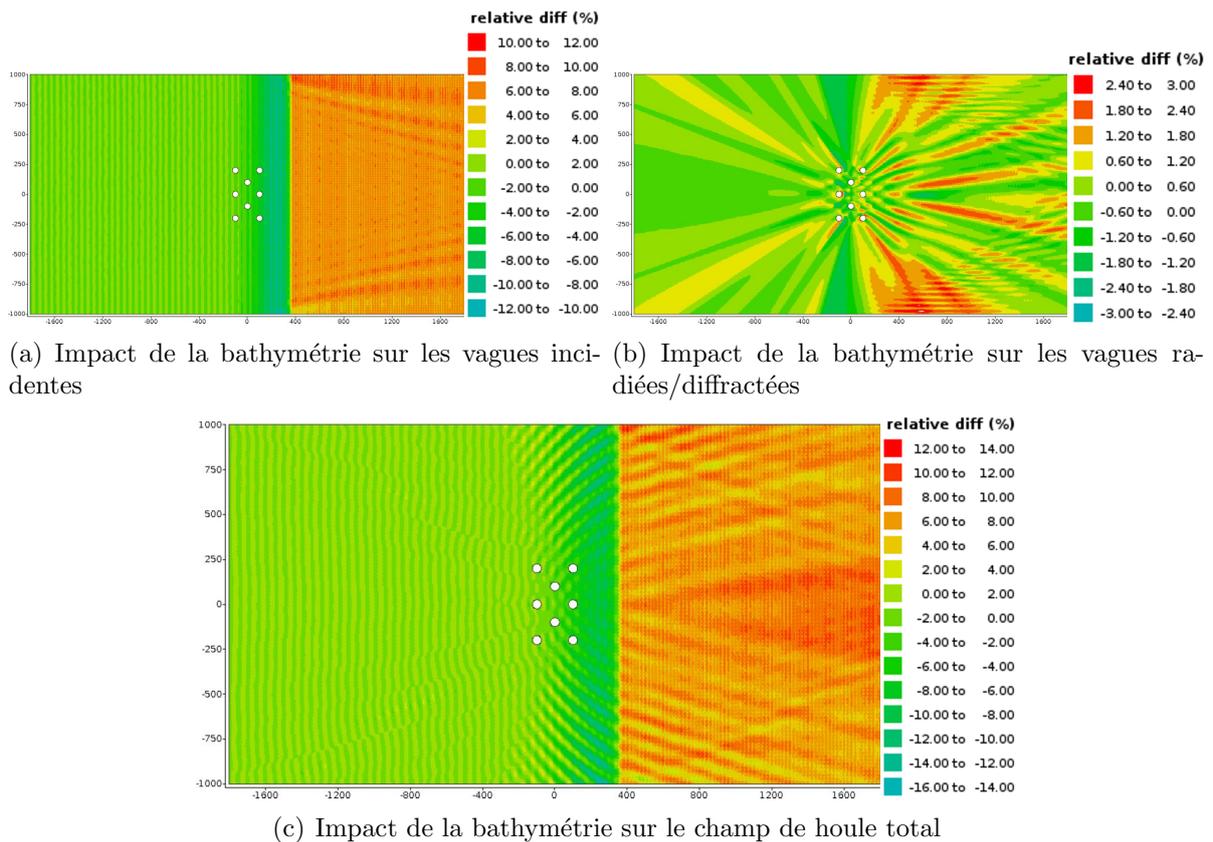


Figure 8 – Différence relative due à la bathymétrie variable

III – 2 Impact de la ferme sur le potentiel total

L'étude de l'impact d'une ferme de systèmes houlomoteurs sur le champ de vague est aussi intéressante. Cet impact est mesuré en faisant la différence relative : $R_{\text{relative diff}} = 100 \cdot \frac{(H_{\text{tot}} - H_{\text{inci}})}{H_{\text{inci}}}$. Les résultats de la simulation réalisée (fig. 9a&b) montrent que dans les deux cas, la ferme a un

impact d'une importance similaire, c'est à dire de l'ordre 14%. Cependant, en faisant la différence entre ces deux résultats (fig. 9c), il est visible que cet impact n'est pas localisé au même endroit. En effet, la bathymétrie modifie l'impact de la ferme de 8% par endroit. Cette différence est surtout marquée de part et d'autre du parc, là où se trouve la variation la plus importante de la bathymétrie, et en aval où la profondeur est très différente entre les deux cas. En revanche, en amont la différence est très faible vu que la profondeur est identique. Il est donc important de prendre en compte la bathymétrie pour mesurer l'impact d'une ferme de SREVs sur le champ de vagues.

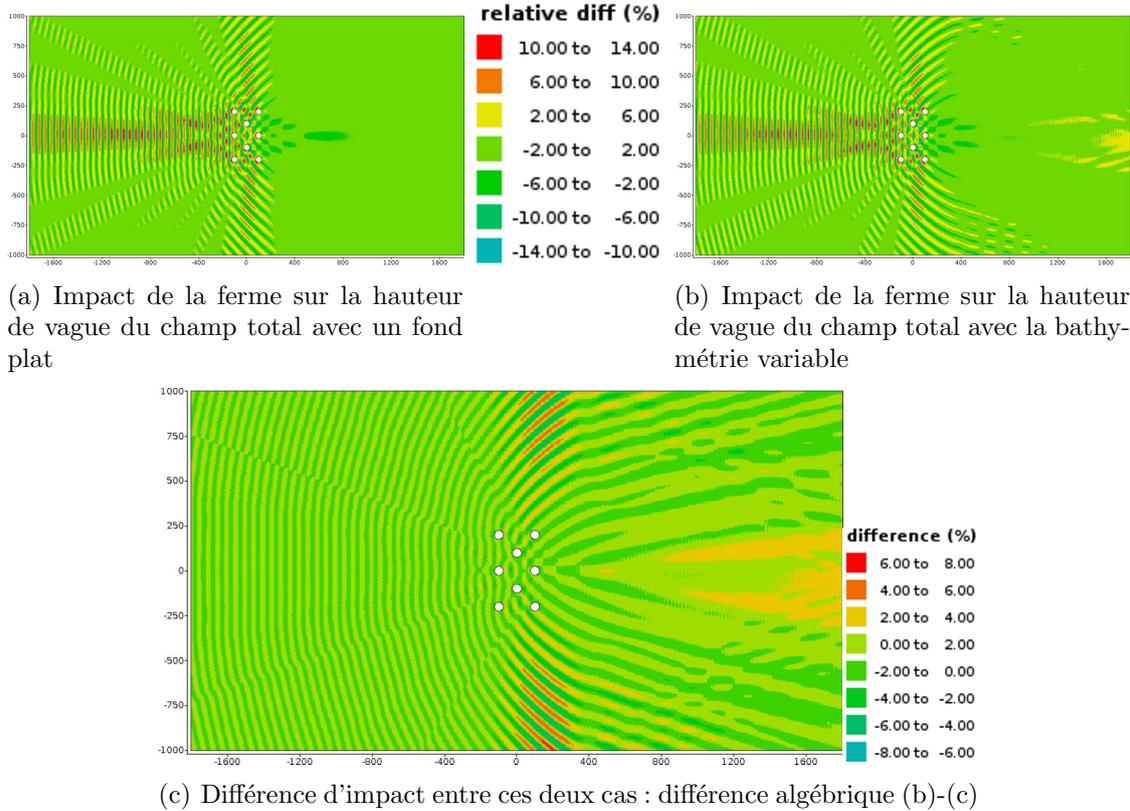


Figure 9 – comparaison de l'impact de la ferme sur le champ total de houle selon la bathymétrie

III – 3 Exemple d'un cas en houle irrégulière

Cette méthode jusqu'ici appliquée à une houle incidente monochromatique peut facilement être généralisée pour une houle irrégulière. Grâce à l'utilisation de la théorie linéaire, il est possible de séparer les composantes de la houle en autant de cas monochromatiques puis de sommer ces différents résultats. Un cas avec une houle incidente à 5 composantes (3 suivant la direction principale 0^0 , et 2 suivant chacune une direction secondaire (-10^0 et 10^0)) et avec $H_s=1.80m$ est ici proposé. La bathymétrie est considérée comme étant plate (-60m), mais rien n'empêche d'utiliser une bathymétrie variable

Les résultats (fig. 10a&b) montrent le champ radié/diffracté et le champ total. Le calcul de l'impact

de la ferme dans ce cas est fait en utilisant la relation suivante : $R_{\text{relative diff}} = 100 \cdot \frac{(H_{Stot} - H_{Sinci})}{H_{Sinci}}$.

L'impact de la ferme (fig. 10c) est de l'ordre de 10%, c'est à dire qu'il est du même ordre de grandeur que dans le cas de la houle monochromatique (fig. 9a). Cependant, la distribution de cet impact est assez différente. On remarque notamment qu'au lieu d'avoir une direction principale de radiation du côté amont des SREVs, il y en a 3, dû au fait que les 5 composantes de la houle incidente sont réparties sur ces 3 directions.

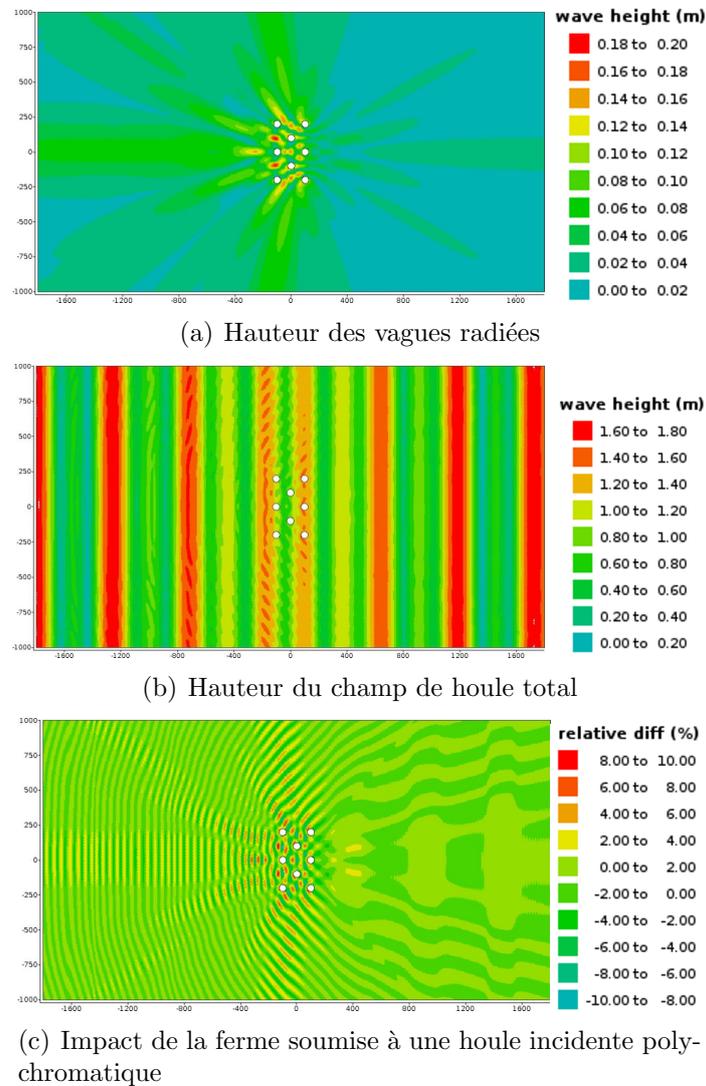


Figure 10 – Etude de l’impact d’une ferme soumise à une houle irrégulière

IV – Conclusion

La méthode de couplage proposée dans ce travail est relativement efficace (2-4h de calcul pour le cas monochromatique étudié avec des maillages de 575 000 éléments dans le code Artemis).

De plus, par rapport aux méthodes usuellement utilisées, elle est novante dans la mesure où elle permet de prendre en compte la bathymétrie. Le cas d’étude présenté dans cet article montre que l’impact de la bathymétrie n’est pas négligeable, et affecte de manière assez importante les résultats concernant l’impact d’une ferme sur le champ de vagues. La bathymétrie paraît donc devoir être prise en compte pour optimiser les fermes et obtenir de meilleurs rendements en positionnant mieux les SREVs.

Cependant, cette méthode a des limites associées aux hypothèses effectuées. Notamment, les effets non-linéaires ne sont pas pris en compte. L’approximation linéaire reste valable car on considère que les mouvements sont de faible amplitude et que la cambrure des vagues est modérée.

Enfin, l’approximation de champ lointain impose une certaine distance minimale entre les SREVs pour être pertinente. Cependant, si les SREVs sont très proches les uns des autres, il sera possible de considérer les machines par lots à l’intérieur d’îles fictives plus grandes et non plus de manière individuelle.

V – Remerciements

Ce travail de recherche bénéficie d'un financement de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du projet MONACOREV (ANR11-MONU-018-01).

Références

- [1] Opentelemac. <http://www.opentelemac.org>.
- [2] Wamit, user manual 7.0. <http://www.wamit.com>.
- [3] Implementing agreement on ocean energy systems. Technical report, International Energy Agency, www.iea-oceans.org/_fich/6/IEA-OES_Annual_Report_2007.pdf, 2007. Annual Report.
- [4] A. Babarit. Wave field around a floating body using far field approximation, personal communication. 2011.
- [5] A. Babarit, M. Folley, F. Charrayre, C. Peyrard, and M. Benoit. On the modelling of wecs in wave models using far field coefficients. In Proc. of the 10th European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC), 2013.
- [6] J. Berkhoff. Mathematical models for simple harmonic linear water waves. Wave diffraction and refraction. Delft Hydraulics Lab Publication, 1972.
- [7] P. Chamberlain and D. Porter. The modified mild-slope equation. Journal of Fluid Mechanics, 291 :393–407, 1995.
- [8] F. Charrayre, M. Benoit, C. Peyrard, and A. Babarit. A coupled methodology for wave-body interactions at the scale of a farm of wave energy converters including irregular bathymetry. In Proc. of the 33th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE), 2014.
- [9] G. Delhommeau. Les problèmes de diffraction-radiation et de résistance de vagues : étude théorique et résolution numérique par la méthode des singularités (in French). PhD thesis, école nationale supérieure de mécanique, Nantes (France), 1987.
- [10] G. Delhommeau. The seakeeping codes aquadyn and aquaplus. In Numerical Simulation of Hydrodynamics : Ships and Offshore Structures. Ecole Centrale Nantes, September 1993.
- [11] J. Falnes and K. Budal. Wave-power absorption by parallel rows of interacting oscillating bodies. Applied Ocean Research, 4 :194–207, 1982.
- [12] M. Folley, A. Babarit, B. Child, D. Forehand, L. O'Boyle, K. Silverthorne, J. Spinneken, V. Stratigaki, and P. Troch. A review of numerical modelling of wave energy converter arrays. In Proc. of the 31st International Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE) Conference, Rio de Janeiro, Brazil., 2012.
- [13] H. Kagamoto and D. Yue. Interactions among multiple three-dimensional bodies in water waves : an exact algebraic method. Journal of Fluid Mechanics, 166 :189–209, 1986.
- [14] LHEEA. Nemoh. <http://lheea.ec-nantes.fr/doku.php/emo/nemoh/start>, mise à jour en juillet 2014.
- [15] B. Molin. Hydrodynamique des structures offshore, chapter les grands corps : theorie lineaire (in French), pages 186–210. Technip, 2002.
- [16] J. Newman. The drift force and moment on ships in waves. Journal of ship research, 1967.
- [17] M. Ohkusu. Hydrodynamic forces on multiple cylinders in waves. Symp.on Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, pages 107–112, 1974.
- [18] M. Simon. Multiple scattering in arrays of axisymmetric wave-energy devices. Journal of Fluid Mechanics, 120 :1–25, 1982.
- [19] B. Spring and P. Monkmeyer. Interaction of plane waves with vertical cylinders. Coastal Engineering Proceedings, Copenhagen (Denmark), pages 1828–1847, 1974.

- [20] V. Stratigaki, P. Troch, T. Stallard, D. Forehand, J. P. Kofoed, M. Folley, M. Benoit, A. Babarit, and J. Kirkegaard. Wave basin experiments with large wave energy converter arrays to study interactions between the converters and effects on other users in the sea and the coastal area. Energies, Juillet 2014.
- [21] P. Troch, V. Stratigaki, T. Stallard, D. Forehand, M. Folley, J. Kofoed, M. Benoit, A. Babarit, D. G. Sanchez, L. D. Bosscher, P. Rauwoens, B. Elsässer, P. Lamont-Kane, P. McCallum, C. McNatt, E. Angelelli, A. Percher, E. C. Moreno, S. Bellew, E. Dombre, F. Charrayre, M. Vantorre, J. Kirkegaard, and S. Carstensen. Physical modelling of an array of 25 heaving wave energy converters to quantify variation of response and wave conditions. 10th European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC), Aalborg (Denmark), September 2013.
- [22] V. Twersky. Multiple scattering of radiation by an arbitrary configuration of parallel cylinders. Acoustical Society of America, 24(1) :42–46, january 1952.