

# **A Numerical Tool for the Frequency Domain Simulation of Large Clusters of Wave Energy Converters**

*Développement d'un modèle numérique pour la simulation  
des grandes fermes de houlomoteurs*

par Francesc Fàbregas-Flavià

Mai 2017

## **Résumé de thèse**

Contrairement aux technologies renouvelables matures, comme par exemple les turbines éoliennes, les nombreux développements qui continuent d'être poursuivis autour de systèmes houlomoteurs très différents indiquent clairement que la convergence des concepts n'a pas encore été atteinte.

Parmi cette grande variété de dispositifs, plusieurs convertisseurs d'énergie houlomotrice composés d'un grand réseau compact  $O(100)$  de petits flotteurs ont été proposés comme étant des systèmes avantageux pour l'extraction de l'énergie des vagues et représentent une alternative aux technologies basées sur un seul flotteur de grande taille. Leur capacité d'extraction d'énergie ayant été prouvée, l'accent est désormais mis sur l'optimisation pour faire baisser le coût de l'électricité produite, et l'adapter aux tarifs du marché.

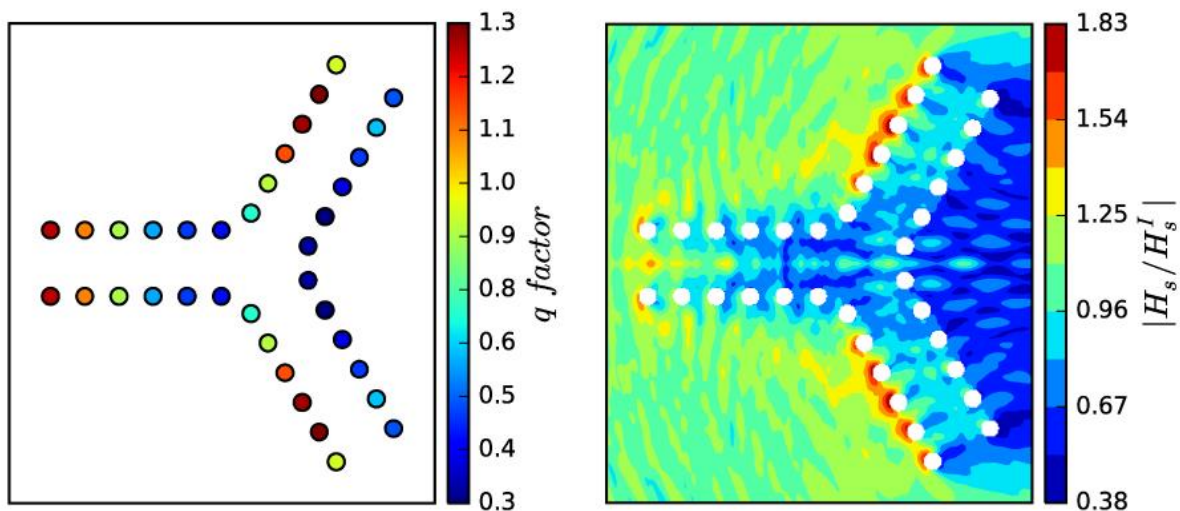
D'une manière analogue aux grandes fermes houlomotrices conçues pour une exploitation commerciale de l'énergie des vagues, l'un des défis les plus importants auxquels la modélisation numérique de ces systèmes houlomoteurs fait face est le calcul des interactions hydrodynamiques entre le grand nombre de sous-unités de production d'énergie qu'ils contiennent et la quantification de leur impact sur le climat de houle en zone côtière.

L'une des approches la plus utilisée pour étudier l'interaction houle/structure consiste à simplifier le problème en le linéarisant et en adoptant un modèle de fluide parfait. Ces hypothèses permettent d'utiliser une formulation relativement simple, appelée Boundary Element Method (BEM) dans la littérature, qui est associée à des vitesses de calcul remarquables et a des résultats précis pour les applications visées. Au cours des dernières années, plusieurs logiciels ont été développés sur cette base théorique et dont un seul (NEMOH), développé à l'Ecole Centrale de Nantes, est disponible en open source depuis 2014.

Malgré son gain en vitesse computationnelle par rapport à d'autres méthodes plus coûteuses, comme par exemple la simulation en fluide réel par méthode CFD (Computational Fluid Dynamics), l'étude des interactions hydrodynamiques avec les codes BEM existants est limitée par le nombre de corps, qui ne peut excéder  $O(10)$  en gardant des temps de calcul et une précision raisonnables. Le nombre d'inconnues du problème au limites traité par ces logiciels est proportionnel au nombre de

facettes utilisées pour discrétiser les surfaces mouillées de tous les flotteurs . Les convertisseurs houlomoteurs comprenant une centaine d'unités dépassent donc largement ces capacités et nécessitent de reconsidérer la méthode de résolution...

Répondre à cette problématique représente l'un des principaux objectifs de ce travail de thèse qui consiste à implémenter une méthode numérique capable d'accélérer le calcul des interactions hydrodynamiques, et permettant l'optimisation de l'énergie produite le groupe de convertisseurs.



En se basant sur la connaissance de la manière dont un convertisseur d'énergie houlomotrice diffracte et génère des vagues, le nombre d'inconnues du problème d'interaction traditionnel traité par les codes BEM standards peut se réduire largement ce qui entraîne une énorme diminution du temps de calcul. On suppose ici que le cluster est composé d'un grand nombre de flotteurs identiques, ce qui est très souvent le cas dans la pratique. Cette nouvelle approche, connue comme théorie d'interaction où Direct Matrix Method, a été conçue dans les années quatre-vingt-dix suite à un intérêt croissant à cette époque pour le design de grandes plateformes offshore et d'aéroports flottants portés par un grand nombre de piliers cylindriques.

Contrairement à l'approche BEM standard, qui consiste à évaluer la solution au problème d'interaction multiple en considérant tous les corps simultanément, dans la méthode Direct Matrix Method les conditions aux limites de diffraction/radiation sont d'abord satisfaites sur la géométrie d'un corps isolé et les solutions sont ensuite combinées dans une théorie d'interaction pour prendre en compte l'effet du reste des corps du cluster. Dans le cas où tous les flotteurs ont la même géométrie, l'évaluation de la solution des problèmes aux limites ne se fait qu'une seule fois, entraîne un temps de calcul supplémentaire.

Le transfert du problème de diffraction/radiation d'un convertisseur isolé au problème aux limites de toute la ferme est possible grâce à la représentation du champ de vagues autour d'un flotteur sur une base de fonctions cylindriques. Celles-ci permettent de caractériser mathématiquement les ondes diffractées et radiées par un flotteur en substituant leur représentation discrète par facettes sur le corps par deux opérateurs hydrodynamiques connus sous les noms de : matrice de transfert de diffraction (DTM) et caractéristiques de radiation (RC). Le grand avantage de cette substitution est

que le nombre de modes cylindriques nécessaires pour représenter de manière précise l'effet d'une géométrie quelconque sur le champ de vagues est beaucoup plus petit que le nombre de facettes dont on aurait besoin pour discrétiser sa surface mouillée, pour une précision égale. Cette diminution du nombre d'inconnues associées à un convertisseur entraîne une très forte réduction du temps de calcul pour toute la ferme.

Même si elle permet de s'affranchir des limites computationnelles des codes BEM standards, rares sont les applications de la méthode Direct Matrix Method dédiées au calcul des interactions multiples entre flotteurs de géométrie complexe. Ceci s'explique par la difficulté d'obtenir les opérateurs hydrodynamiques DTM et RC. Pour ces derniers, deux approches différentes ont été proposées dans la littérature.

La première, par ordre chronologique, requiert la modification des conditions aux limites de diffraction dans les codes BEM standards, qui ne prennent en compte par défaut que la houle plane incidente, mais pas sa représentation en somme d'harmoniques cylindriques, ainsi que l'utilisation de variables internes du code de résolution qui ne sont pas accessibles généralement à l'utilisateur. La deuxième approche a été conçue pour s'affranchir des difficultés associées à la première permettant ainsi l'évaluation des opérateurs hydrodynamiques en repartant des résultats fournis par les codes BEM standards. Or, cette dernière a l'inconvénient de ne pas permettre la représentation exacte du champ de vagues autour d'un flotteur de géométrie arbitraire et, par conséquent, elle ne permet de résoudre le problème d'interaction multiple avec précision que quand certaines conditions au niveau de la distance de séparation entre flotteurs sont satisfaites.

L'une des principales contributions de ce travail de thèse est l'introduction, dans le logiciel libre NEMOH, des modifications nécessaires pour le calcul par la première approche des opérateurs hydrodynamiques DTM et RC dont la méthode Direct Matrix Method a besoin. Cette implémentation est vérifiée par la comparaison du comportement fréquentiel des opérateurs, ce qui a été omis dans la littérature, calculés avec lesdites méthodes et avec une formulation semi-analytique sur des cas où cette dernière est disponible (flotteurs cylindriques).

Outre les DTM et RC, un troisième opérateur hydrodynamique connu sous le nom de matrice de transfert des efforts (FTM) s'avère nécessaire pour calculer les efforts du champ de vagues sur chacun des convertisseurs de la ferme. Ce travail de thèse a montré que, moyennant l'application de relations fondamentales de l'hydrodynamique aux champs de vagues cylindriques, des nouvelles relations d'Haskind entre les composants des opérateurs RC et FTM ainsi que entre RC et les coefficients d'amortissement de radiation d'une géométrie isolée peuvent être obtenus.

L'accélération apportée par l'outil mis en place, basé sur la méthode Direct Matrix Method, a permis de modéliser puis d'optimiser un houlomoteur composé d'une soixantaine d'unités de type flotteur pilonnant. On a ainsi pu montrer qu'il existe un nombre optimal de flotteurs pour une empreinte donnée du dispositif. Dépasser ce nombre optimal entraîne une perte de performance et un accroissement du coût nuisibles à sa viabilité économique.

En plus de l'optimisation de la production d'énergie moyenne annuelle de ce convertisseur, il est également très important de quantifier son impact potentiel sur le climat de houle en zone côtière, en « aval » du dispositif. Bien qu'ils soient convenables pour l'étude des interactions hydrodynamiques locales au sein d'une ferme, les codes BEM sont inappropriés pour étudier la

propagation d'un spectre de houle à travers une bathymétrie variable. La technique implémentée dans ce travail de thèse, qui permet de re-transformer les harmoniques cylindriques en ondes planes et ouvre la porte au couplage futur entre un code BEM et un modèle spectral de propagation des états de mer.