



université de bretagne  
occidentale

UNIVERSITE  
BRETAGNE  
LOIRE

**THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE  
OCCIDENTALE**

*sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE  
OCCIDENTALE**

présentée par

**Sébastien OLAYA**

Préparée au sein de la FRE CNRS 3744 IRDL

*Institut de Recherche Dupuy de Lôme*

Contribution à la  
modélisation multi-physique  
et au contrôle optimal d'un  
générateur houlomoteur –  
Application à un système  
«deux-corps»

**Thèse soutenue le 13 septembre 2016**

devant le jury composé de :

**Tarek AHMED-ALI**

Professeur, Université de Caen Basse-Normandie / *rapporteur*

**Alain CLEMENT**

Ingénieur de Recherche – HDR, Ecole Centrale de Nantes / *rapporteur*

**Guy CLERC**

Professeur, Université Lyon 1 / *examineur*

**Bernard MOLIN**

Professeur Associé – HDR, Ecole Centrale de Marseille / *examineur*

**John RINGWOOD**

Professor, Maynooth University, Ireland / *examineur*

**Marc LE BOULLUEC**

Ingénieur, IFREMER, Centre de Brest / *invité*

**Jean-Matthieu BOURGEOT**

Maître de Conférence, ENI Brest / *co-encadrant*

**Mohamed BENBOUZID**

Professeur, Université de Bretagne Occidentale / *directeur de thèse*

# Contribution à la Modélisation Multi-Physique et au Contrôle Optimal d'un Générateur Houlomoteur – Application à un Système « Deux-Corps »



Sébastien OLAYA

**Résumé**— Cette thèse s'inscrit dans le cadre du 12<sup>ème</sup> appel à projet du *Fonds Unique Interministériel* (FUI) lancé par l'Etat au premier semestre 2011. Le projet « EM BILBOQUET » a été colabellisé par les pôles de compétitivité Mer Bretagne, Mer PACA et Tenerrdis. Il consiste en la réalisation d'un nouveau système de génération d'électricité issue du mouvement relatif entre deux corps flottants, mus par la houle. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés au contrôle optimal à appliquer sur la génératrice via les convertisseurs statiques, afin d'extraire le maximum d'énergie de la houle incidente (Fig. 1). Dans un premier temps, nous avons établi les équations dynamiques régissant le comportement de la structure dans la houle en adoptant les hypothèses de la théorie potentielle. Pour se faire, nous avons développé un code de calcul spécifique, basé sur une résolution du problème linéaire de tenue à la mer, par des méthodes dites semi-analytiques. Ce code de calcul permet de déterminer les coefficients hydrodynamiques nécessaires à l'écriture de l'équation dynamique dans le domaine fréquentiel, mais aussi dans le domaine temporel via une modification de la formulation de Cummins. Cette dernière nous permet ainsi, dans un second temps, de formuler le problème de maximisation de l'énergie récupérée comme un problème d'optimisation où la variable à optimiser est le couple résistant de la génératrice. Le problème est résolu en temps réel en adoptant une résolution par algorithme dit à horizon fuyant.

**Mots-Clés**— Houlogénérateur, théorie potentielle, contrôle optimal, commande prédictive, optimisation.

**Abstract**— In this thesis, we perform a study on a self-reacting point absorber, project FUI 12 "EM BILBOQUET", in order to optimise energy extraction from incoming waves. Main researches use seabed for providing reference to a floating body, called buoy. However, as it is well-known that ocean energy is greater far away from the shore, sea-depth becomes a constraint. In this thesis a damping plate attached to a spar keel is proposed to allow the floating body to

react against it. Energy resulting from the relative motion between the two concentric bodies i.e. the buoy and the spar is harnessed by a rack-and-pinion, which drive a permanent magnet synchronous generator through a gearbox. In the first part of the thesis we have developed a wave-to-wire model i.e. a model of the whole electro-mechanical chain from sea to grid. To this purpose we have developed our own hydrodynamic code, based on linear potential theory and on a semi-analytical approach, solving the seakeeping problem. The hydrodynamic coefficients obtained such as added mass, radiation damping, and wave excitation forces are required for solving the dynamic equation based on Cummins formulation. The second part of the thesis focuses on the self-reacting point-absorber optimal control strategy and the Model Predictive Control (MPC) formulation is proposed. Objective function attempting to optimise the power generation is directly formulated as an absorbed power maximisation problem and thus no optimal references, such as buoy and/or spar velocity, are required. However, rather than using the full-order WEC model in the optimisation problem, that can be time-consuming due to its high order, and also because of the linear assumptions, we propose the use of a "phenomenologically" one-body equivalent model derived from the Thévenin's theorem.

**Keywords**—Wave energy converter, self-reacting point absorber, seakeeping problem, model predictive control, optimal control.

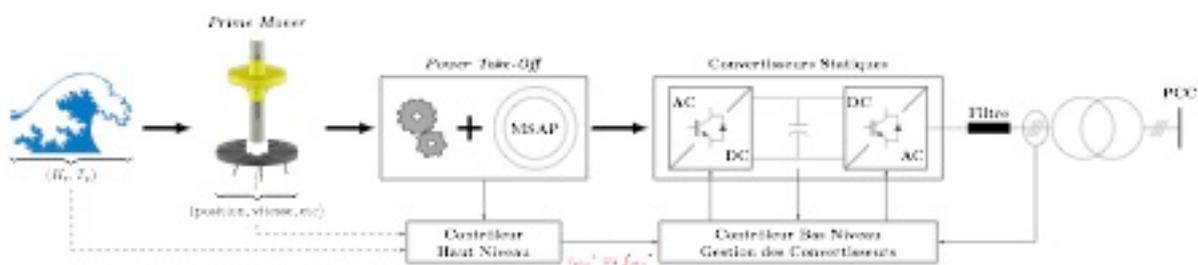


Fig. 1.

Une partie du travail présenté dans ce mémoire a fait l'objet d'un certain nombre de publications listées ci-dessous :

### Revue Internationale

[1] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, "Hydrodynamic coefficient computation for a partially submerged wave energy converter," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 40, n°3, pp. 522-535, July 2015.

### Conférences Internationales

[1] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, "On the generator constraint design of a wave energy converter at a pre-sizing stage," in *Proceedings of the 2015 EWTEC*, Nantes (France), pp. 1-9, Paper 10B3-3-1, September 2015.

[2] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, "Optimal control for a self-reacting point absorber: A one-body equivalent model approach," in *Proceedings of the 2014 IEEE PEAC*, Shanghai (China), pp. 332-337, November 2014. **Best Paper Award**.

- [3] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, “Modelling and preliminary studies for a self-reacting point absorber WEC,” in *Proceedings of the 2014 IEEE ICGE*, Sfax (Tunisia), pp. 14-19, March 2014.
- [4] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, “Hydrodynamic coefficients and wave loads for a WEC device in heaving mode,” in *Proceedings of the 2013 MTS/IEEE OCEANS*, Bergen (Norway), pp. 1-8, June 2013.

### Conférences Nationales

- [1] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, “Optimal energy absorption for a self-reacting point absorber,” dans les actes de la **Sea Tech Week 2014**, Brest (France), Poster, Octobre 2014. **Best Poster Award** of the *IEEE Oceanic Engineering Society* Student Competition.
- [2] **S. Olaya**, J.M. Bourgeot and M.E.H. Benbouzid, “Approximated state-space model for a partially submerged wave energy converter,” dans les actes du colloque **EMR 2013** (*Energies Marines Renouvelables*), Brest (France), pp. 1-5, Octobre 2013.