

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

- **Date de la demande (08/01/2016) :**

1- Identification du projet (en langue française)

- **Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) :** ENERGEIA

- **Intitulé du projet (en langue française) :** Modélisation numérique et expérimentale de la captation d'énergie houlomotrice : application aux essais à échelle réduite en bassin

2- Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

- **Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez mentionner un DIS secondaire (*choix à indiquer et argumenter au point 5-Présentation du projet, paragraphe 6*). Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue
- DIS 4 : Technologies pour la société numérique
- DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles
- DIS 7 : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement
- « Projet Blanc »

- **Préciser le sous-domaine correspondant :** 3A- Energies marines renouvelables

Pour une plus ample présentation des DIS et des sous-domaines, merci de vous référer au Schéma régional de l'enseignement supérieur et de la recherche disponible à l'adresse suivante : http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr_version_finale.pdf

3- Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

- **Établissement porteur du projet (implantation obligatoire sur le territoire régional) :** Ifremer

NB : C'est-à-dire l'établissement bénéficiaire de l'aide régionale. Un seul établissement peut être indiqué.

- **Ecole Doctorale :** Ecole Doctorale des Sciences de la Mer

4- Identification du/de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

- **Nom et prénom :** Mohamed Benbouzid et Jean Frédéric Charpentier

- **Genre du/de la responsable du projet (F/H) :** H

- **e-mail :** Mohamed.Benbouzid@univ-brest.fr / jean-frederic.charpentier@ecole-navale.fr

- **Téléphone :** 02 98 01 80 07 / 02 98 23 38 69

- **Nom du laboratoire :** Institut de recherche Dupuy de Lôme (IRDL) / Institut de Recherche de l'Ecole Navale (IRENav)

- **Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) :** FRE CNRS 3744 / EA 3634

- **Nom de l'équipe de recherche :** M2EN / IRENav

- **Nombre HDR dans le laboratoire :** 30 dans les deux laboratoires

- **Nombre de thèses en cours :** 65 dans les deux laboratoires dont 8 encadrées par M.E.H. Benbouzid et 5 par J.F.

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

Charpentier

- **Nombre de post-docs en cours : 8**

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) :
Nombre total au cours des 5 dernières années pour M.E.H. Benbouzid et J.F. Charpentier depuis janvier 2011 : 12 chapitres de livres, 40 revues internationales avec comité de lecture, 8 revues nationales, 50 articles en conférences internationales avec comité de lecture, 20 conférences nationales avec comité de lecture.

1. S. Djebbari, J.F. Charpentier, F. Scuiller and M.E.H. Benbouzid, "Design and performance analysis of double stator axial flux PM generator for rim-driven marine current turbines," *IEEE Journal on Oceanic Engineering*, vol. PP, n°99, pp. 1-14, 2015.
2. Z. Zhou, F. Scuiller, J.F. Charpentier, M.E.H. Benbouzid and T. Tang, "Power control of a non-pitchable PMSG-based marine current turbine at over-rated current speed with flux-weakening strategy," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 40, n°3, pp. 536-545, July 2015.
3. S. Benelghali, J.F. Charpentier and M.E.H. Benbouzid, *Resource to Wire Modelling for Tidal Turbines, Electrical Design for Ocean Waves and Tidal Energy Systems*, Chap. 9, p. 303-313, ISBN: 978-1-84919-561-4, Renewable Energy Series, IET, London 2013.
4. 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.
5. M.E.H. Benbouzid, J.A. Astolfi, S. Bacha, J.F. Charpentier, M. Machmoum, T. Maître et D. Roye, *Concepts, Modeling and Control of Tidal Turbines, Marine Renewable Energy Handbook*, Chap. 8, p. 219-278, ISBN: 978-1-84821-332-6, Wiley, ISTE, Paris 2011.
6. N. Maslov, J-F. Charpentier, C. Claramunt, A modelling approach for a cost-based evaluation of the energy produced by a marine energy farm, (2015), *International Journal of Marine Energy* (Elsevier) Volume 9, April 2015, Pages 1–19

- **Co-directeur-trice de thèse (éventuellement) : Marc Le Boulluc**

- **Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) Ifremer Centre de Bretagne. Laboratoire Comportement des Structures en Mer.

5- Présentation du projet (en langue française, 2 à 3 pages)

- **Résumé du projet (15 lignes) :**

Parmi les principes de captation de l'énergie des vagues, figure l'exploitation des efforts de liaison entre un corps en mouvement et une référence absolue ou entre plusieurs corps en mouvements relatifs. Dans le cas d'un effort d'amortissement, la puissance est aisément formulable. Néanmoins, selon le procédé technique considéré (électrique, hydraulique, pneumatique,...) et la configuration de la liaison, des efforts plus complexes peuvent être mis en jeu, associant amortissement, raideur, inertie, effets de seuil et non linéarités de comportement. La qualification du comportement et des performances de ces systèmes houlo-moteurs requiert des essais en bassin à échelle réduite et des systèmes de conversion d'énergie mécanique simplifiés sont employés qui ne représentent pas toujours fidèlement le processus réel. Le sujet proposé a pour objectif la conception d'un dispositif générique à échelle réduite basé sur un dispositif électromécanique d'essai associé à un contrôle temps réel capable de reproduire des caractéristiques suffisamment générales de systèmes de conversion d'énergie mécanique. Ce dispositif pourra être embarqué sur des modèles réduits pour essais en bassin.

i. Une modélisation théorique visera à représenter le comportement le plus général possible d'un système de conversion d'énergie mécanique (inertie, raideur, amortisseur, non linéarités) et les lois de contrôle associées aux mouvements absolus ou relatifs des corps en présence ainsi que des informations complémentaires telles que les vagues incidentes.

ii. Un dispositif sera réalisé à échelle réduite permettant de couvrir une gamme suffisamment large d'échelles de simulation en bassin.

iii. Le dispositif sera mis en œuvre à bord de maquettes de systèmes houlo-moteurs et divers protocoles de contrôle de la conversion d'énergie seront testés.

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

- Présentation détaillée du projet :

1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :

L'exploitation de l'énergie des vagues a donné lieu à un vaste foisonnement de technologies. Trois classes principales sous-tendent néanmoins ce domaine :

1. Les systèmes à colonnes d'eau oscillante : un tuyau ouvert à l'air libre en partie haute est soumis à son extrémité immergée à l'action des pressions de la houle incidente. Le mouvement d'eau interne résultant, préférentiellement organisé autour de la résonance du système, est exploité pour activer l'air en partie supérieure à travers une turbine ou directement à travers une turbine immergée dans la colonne d'eau.
2. Les systèmes à déversement : l'énergie cinétique des vagues remontant sur une surface inclinée (plage ou rampe naturelle ou artificielle) permet l'accumulation d'eau dans des réservoirs en partie haute. L'énergie potentielle ainsi emmagasinée est exploitée en direct ou en différé par l'intermédiaire de turbines de basse chute.
3. Les corps en mouvements : un corps mobile flottant ou immergé est lié à un point fixe par un système dissipateur plus ou moins complexe, la réponse du système mécanique ainsi constitué sous l'action des vagues permet la captation et la conversion d'énergie. Plusieurs corps liés entre eux et en mouvements sous l'action des vagues peuvent mettre en jeu des liaisons équipées de convertisseurs d'énergie exploitant les mouvements relatifs entre corps [Le Boulluec, Soulé 2013, Olaya 2014].

D'autres principes peuvent être considérés : déformation de membranes, écoulements internes.

Le sujet de la thèse porte principalement sur l'analyse, la modélisation théorique, numérique et expérimentale à échelle réduite de la troisième classe de systèmes convertisseurs d'énergie des vagues décrite ci-dessus.

2-Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques que le travail de thèse se propose de lever :

Les techniques nécessaires à la modélisation du comportement des corps flottants bénéficient de l'expérience acquise dans les domaines naval, côtier, de l'offshore pétrolier et de son application et extension au domaine des énergies marines renouvelables [Goggins 2014].

La nouveauté consiste particulièrement dans l'introduction de capteurs d'énergie agissant aux liaisons.

La forme la plus simple de capteur consiste en un amortisseur mais il doit être associé au minimum à un effet de raideur procuré par le comportement du ou des corps en présence ou d'effets introduits aux niveaux des liaisons elles-mêmes [Falnes 2007, Babarit 2012].

La réalisation technique des convertisseurs est généralement complexe et met en jeu des organes mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques, ainsi que des procédés de contrôle.

Ces derniers prennent en compte les mouvements absolus ou relatifs aux niveaux des liaisons mais aussi des informations sur les champs de houle incidents en moyenne ou en valeurs instantanées [Babarit 2006, Sichani 2014] qui permettent d'optimiser les paramètres et consignes des convertisseurs et la production d'énergie.

La qualification du comportement et des performances des systèmes houlo-moteurs passe par la conduite d'essais en bassin à échelle réduite, typiquement à des rapports d'échelle géométrique $E = \text{Longueur réelle} / \text{Longueur maquette}$ de l'ordre de 10 à 25. Les techniques de modélisation à échelle réduite du comportement des corps flottants reposent sur des règles éprouvées alliant similitudes (Froude privilégiée en présence de houle et Reynolds dont les effets doivent être extrapolés) et contraintes d'encombrement. La prise en compte de l'effet des capteurs d'énergie introduit une difficulté supplémentaire. La réduction du processus complet à échelle réduite est délicate. Si E représente le rapport d'échelle géométrique, la puissance évolue comme $E^{7/2}$ et peut devenir faible à échelle réduite, ce qui nécessite des dispositifs adaptés.

Des effets non linéaires imposés à échelle réelle (seuil de démarrage, effet non réversible,...) ne sont pas représentés par des dispositifs mécaniques simples de type masse, raideur, amortisseur, lesquels sont généralement passifs et ne prennent pas en compte d'information extérieure telle que la cinématique de houle incidente. Les conclusions tirées des analyses des résultats d'essais en bassin sont ainsi partielles et une modélisation complémentaire est nécessaire pour évaluer le comportement en situation réelle par extrapolation et simulation.

La conception de dispositifs permettant de reproduire à échelle réduite des processus plus réalistes est ainsi nécessaire.

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

3-Approche méthodologique et technique envisagée :

Les travaux de thèse s'attacheront à une évaluation préliminaire des procédés de conversion d'énergie et des lois de contrôle associées. Des simulations seront réalisées afin d'identifier les lois de contrôle qui doivent être reproduites.

Un dispositif électro-mécanique asservi par un processeur temps réel à programmation modulaire (type DSP) sera réalisé à échelle réduite prenant en compte un degré de liberté, soit un mouvement absolu, soit un mouvement relatif.

Sa conception doit permettre :

- son adaptation à deux types de mouvements : translation ou rotation
- l'imposition de loi de commande simulant des effets de masse, raideur, amortisseur avec des non-linéarités de comportement en raideur et amortissement principalement
- son embarquement à bord de maquettes de tailles diverses dans une gamme d'échelle à définir (plusieurs gammes pourront être identifiées)
- outre le mouvement considéré la prise en compte d'informations extérieures du type hauteur de vague incidente ou train d'onde attendu
- la prise en compte d'autres contraintes issues de l'analyse préliminaire

Des campagnes d'essais en bassin (voire sur Hexapode) à échelle réduite seront conduites pour au moins deux dispositifs houle-moteurs équipés du dispositif de capture d'énergie développé. Les lois de contrôle identifiées seront appliquées dans le contexte de ces essais en bassin. Le comportement des systèmes houle-moteurs considérés et les niveaux d'énergie convertis seront évalués et comparés à des simulations numériques.

Références bibliographiques :

A. Babarit, A.H. Clément

Optimal latching control of a wave energy device in regular and irregular waves
Applied Ocean Research, Volume 28, Issue 2, April 2006, Pages 77-91

A. Babarit, J. Hals, M.J. Muliawan, A. Kurniawan, T. Moan, J. Krokstad

Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters
Renewable Energy, Volume 41, May 2012, Pages 44-63

Johannes Falnes

A review of wave-energy extraction
Marine Structures 20 (2007) 185-201

Jamie Goggins, William Finnegan

Shape optimisation of floating wave energy converters for a specified wave energy spectrum
Renewable Energy, Volume 71, November 2014, Pages 208-220

M. Le Boulluc

Rapport Ifremer : juillet 2013 – R13LCSM109
Bilboquet - Analyse des essais en bassin.

M.T. Sichani, J.B. Chen, M.M. Kramer, S.R.K. Nielsen

Constrained optimal stochastic control of non-linear wave energy point absorbers
Applied Ocean Research, Volume 47, August 2014, Pages 255-269

V. Soulé, M. Le Boulluc

Rapport Ifremer : avril 2013 – R13LCSM005

Bilboquet - Etude hydrodynamique d'un système houle-moteur. Analyse de comportement en houle régulière.

S. Olaya, J.M. Bourgeot, M.E.H. Benbouzid

Hydrodynamic coefficient computation for a partially submerged wave energy converter
IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2014.

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

4-Profil du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Ingénieur ou Master 2 en automatique avec connaissances en mécanique et hydrodynamique et/ou en mécatronique.

5-Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, et le cas échéant, national et international :

L'intérêt général des travaux consiste en la mise en place de procédés peu mis en œuvre par les opérateurs de moyens d'essais hydrodynamiques. Particulièrement, l'Ifremer pourra offrir des techniques innovantes aux utilisateurs de ses bassins, la perspective d'une suite H2020 Marinet2 au projet FP7 Marinet motive notamment ce développement comme les collaborations avec des entreprises telles que celles membres de France Energies Marines. Des échanges seront favorisés avec d'autres laboratoires et organismes tels que : laboratoires et organismes brestois (ENSTA Bretagne, Ecole Navale (IRENav), UBO (LBMS),...), nationaux (Ecole Centrale de Nantes, Bassin d'Essais des Carènes, BGO First), bassins d'essais européens dont les partenaires du projet Marinet2 et internationaux.

Au delà des systèmes de conversion d'énergie des vagues, le dispositif développé permettra la simulation d'autres phénomènes en bassin tels que les raideurs non linéaires d'ancrages, le contrôle de trajectoire de systèmes autonomes et certains aspects de comportement d'autres dispositifs convertisseurs d'énergies marines renouvelables.

Le dispositif a vocation à servir de référence dans le domaine des moyens d'essais et de simulation.

Les publications viseront les revues en automatique/systèmes telles que IEEE Transactions on Sustainable Energy, Industrial Electronics, Control Systems Technology, Control Engineering Practice,... et hydrodynamique telles que Ocean Engineering, Applied Ocean Research, Renewable Energy, Elsevier International Journal of Marine Energy, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Journées de l'Hydrodynamique, ...

6-Pertinence du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire). Si « projet blanc », préciser les raisons de ce choix :

Le développement des systèmes houle-moteurs s'intègre dans le développement général des Energies Marines Renouvelables qui contribue au DIS 3/ Activités maritimes pour une croissance bleue.

7-Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, ou des « Projets émergents de recherche » régionaux...):

Le dispositif sera un outil du CPER Ijinmor, Fédération des activités de recherche et de formation sur la thématique Interactions Structures-Océans.

6- Projet de thèse en cotutelle internationale

- **S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (oui/non) : non**

- **Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :**

- **Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) : non**

(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)

- **En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :**

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

7- Financement du projet de thèse

- Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :

Financement Région 100 %

Financement Région 50 % (préconisé)

- En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) : oui

- Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) : Ifremer

- Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : mi-février 2016

- En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) : non

NB : attestation d'obtention d'un cofinancement ou à défaut, de la demande effectuée, à joindre au dépôt de cette fiche-projet.