

A transmettre par le Département

pour le 7 novembre 2016 au plus tard
en version électronique aux directeurs de départements, copie les assistantes :

ANNEE UNIVERSITAIRE 2017 - 2018

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE POUR UNE
DEMANDE DE CONTRAT DOCTORANT**

1. FICHE SYNTHETIQUE

- **Titre du sujet de thèse proposé** : Simulateur stochastique de vagues dissymétriques non-linéaires par des méthodes de modulation du temps. Application aux EMR.
- **Directeur de thèse** : Bernard Delyon
- **Co-directeurs de thèse** : Marc Prevosto, Nicolas Raillard
- **Projet contractualisé de rattachement** (*si c'est le cas*) :
- **Laboratoire/unité, département d'accueil** :
Laboratoire : LCSM – Comportement des Structures en Mer
Unité : RDT - Recherches et Développements Technologiques
Département : REM - Ressources physiques et Écosystèmes de fond de Mer
- **Ecole doctorale de rattachement** (**préciser si l'équipe est équipée d'accueil d'une école doctorale, si oui le sujet sera t-il éligible à l'appel d'offre de l'ED ?**) :
Matisse – Université Bretagne Loire
- **Cofinancement envisagé/obtenu** (merci d'indiquer la date de l'appel d'offre si un projet a été déposé, les références du projet s'il est obtenu) :
ARED ou Allocation Recherche Université
- **Employeur envisagé** :
Contrat Ifremer
- **Résumé et mots-clés en français** (*15 lignes*) :

Simulateur stochastique de vagues dissymétriques non-linéaires par des méthodes de modulation du temps. Application aux EMR.

Les installations marines côtières comme les systèmes de récupération d'énergie des vagues sont soumis à des efforts dus aux vagues elles-mêmes. Par faible profondeur d'eau et avec une bathymétrie variable, ces vagues sont fortement non-linéaires. Des codes numériques de simulation d'historiques de vagues existent, mais sont coûteux à l'utilisation lorsque de longues et nombreuses séries temporelles sont nécessaires pour étudier statistiquement le comportement dynamique de l'installation. Les méthodes stochastiques fournissent alors une alternative efficace.

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Le but du travail est de mettre en œuvre des modèles stochastiques basés sur la modulation du temps récemment étudiés, de les paramétrer pour qu'ils s'adaptent à différentes configurations d'état de mer (formes spectrales, paramètres spectraux) et de bathymétrie (profondeur d'eau, pente du fond) et de les étendre pour pouvoir simuler non seulement l'élévation de la surface libre mais également le champ des vitesses associé.

Mots-clés: *vagues, modélisation statistique, non-linéaire, modulation du temps*

- **Titre, résumé et mots-clés en anglais**, pour affichage sur les sites internationaux.

Stochastic simulator of assymmetric non-linear shallow water waves by a time modulation method. Application to MRE.

Coastal marine systems such as Wave Energy Converters are subject to loadings due to waves. In shallow water and with a variable bathymetry, these waves are highly nonlinear. Numerical softwares for simulating wave time series exist, but they are CPU time expensive as many long time series are needed to study the dynamic behaviour of the systems.

The aim of this work is to implement the models based on time modulation recently studied and to adapt their parameterization to different configurations of sea state (spectral shapes, spectral parameters) and bathymetry (water depth, bottom slope).

Key-Words: sea waves, statistical modelling, non-linear, time change

- **Profil de candidature souhaitée**

La personne recherchée est titulaire d'un Master en Hydrodynamique ou en Statistiques. Une sensibilisation à la statistique et aux probabilités est nécessaire dans le premier cas. Une bonne connaissance de l'anglais est nécessaire. Par ailleurs, la/le candidat(e) doit être capable de travailler en équipe, en dialoguant avec des spécialistes de différents domaines (hydrodynamique, statistique, probabilités, analyse numérique).

The candidate should hold a Master degree in Hydrodynamics or in Statistics. If in Hydrodynamics, a good experience in statistics and probability will be necessary. A working knowledge of English is necessary. The candidate should also be able to work in a team including specialists of probability, numerical analysis and hydrodynamics.

2. PROGRAMME DE RECHERCHE DETAILLE

2.1. Projet/Action Ifremer de rattachement :

Comportement des structures en mer – Forçage environnemental

2.2. Exposé du projet :

2.2.1. Contexte scientifique et technologique, problématique

Les installations marines côtières, comme par exemple les systèmes de récupération d'énergie des vagues, sont soumises à des efforts dus aux vagues elles-mêmes. Par faible profondeur d'eau et avec une bathymétrie variable, ces vagues sont fortement non-linéaires. Des codes numériques de simulation d'historiques de vagues existent, basés sur la résolution des équations des ondes de gravité ([1], [2], [3]), mais sont coûteux à l'utilisation lorsque de longues et nombreuses séries temporelles sont nécessaires pour étudier le comportement dynamique de l'installation. Les méthodes stochastiques fournissent alors une alternative efficace.

Depuis plusieurs années le laboratoire Comportement des Structures en Mer de l'Ifremer participe à des projets financés par le programme CITEPH¹ (CHEEPP², ULTRA SHALLOW WATER), qui ont pour but d'améliorer les codes de calcul du comportement dynamique de structures par faible ou très faible profondeur d'eau.

Assez récemment des travaux ont été menés sur la modélisation statistique des vagues non-linéaires ([4], [5], [6]). Ces processus permettent de modéliser les non-linéarités présentes dans des séries temporelles de vagues, en prenant en compte non seulement les dissymétries crête-croix, mais aussi celles front avant-front arrière générées par une bathymétrie variable. Les coûts de simulations ultérieures, une fois le modèle estimé, sont très faibles, équivalents aux méthodes classiques de simulation de processus gaussiens utilisées pour les vagues linéaires. Les méthodes basées sur la modulation du temps proposées dans [6] ont l'avantage de fournir des modèles interprétables et donc plus facilement paramétrables.

2.2.2. Intérêt général et stratégique pour l'Ifremer

L'Ifremer, dans le cadre de sa participation aux projets sur la récupération des énergies marines renouvelables, mène des essais hydrodynamiques au bassin d'essai du laboratoire LCSM - Comportement des Structures en Mer et développe des méthodes et outils pour l'évaluation du comportement de ces systèmes (éolien offshore, hydrolien, récupérateur d'énergie des vagues) sous l'action des chargements aéro- et hydro-dynamiques.

L'association de moyens d'essais hydrodynamiques, d'outils numériques correspondants et de méthodologies nouvelles est essentiel pour garder l'excellence reconnue par nos partenaires industriels dans le secteur des EMR³.

2.2.3. Approches méthodologiques, résultats attendus, applications possibles, collaborations avec des laboratoires extérieurs

L'objectif principal de cette thèse est d'étendre les modèles basés sur la modulation du temps proposés dans [6] au cas multivarié afin de pouvoir simuler non seulement l'élévation de la surface libre mais également le champ des vitesses associé. En effet le calcul des efforts sur une structure nécessite une information plus complète que l'unique déformation de la surface de la mer.

D'un point de vue méthodologique, une première possibilité, dictée par la physique des ondes de gravité en profondeur infinie, est de supposer que le processus de changement de temps qui permet de rendre gaussien le processus non-linéaire observé est le même pour toutes les composantes. Les résultats théoriques obtenus jusqu'à présent s'appliquent directement à ce

¹ CITEPH - Programme financé par les industriels impliqués dans l'exploitation des ressources énergétiques marines

² CHEEPP : Comportement Hydrodynamique en Eau Peu Profonde

³ EMR – Energies Marines Renouvelables

modèle et permettent de montrer la stationnarité et l'ergodicité du modèle avec une caractérisation explicite de la loi stationnaire. Il reste cependant un travail statistique important à faire pour construire des estimateurs de la fonction de changement de temps à partir de ce résultat théorique. Tout d'abord, en s'appuyant sur des motivations physiques, il faudra construire un modèle paramétrique souple qui permette de décrire toute la variété des configurations d'état de mer (formes spectrales, paramètres spectraux) et de bathymétrie (profondeur d'eau, pente du fond). Il faudra ensuite développer des méthodes d'inférence statistique performantes (méthode des moments, méthode du maximum de vraisemblance) afin d'estimer les paramètres du modèle. Les propriétés statistiques (consistance, normalité asymptotique) des estimateurs seront étudiées de manière théorique et à l'aide de simulations de type Monte Carlo. Des extensions du modèle seront ensuite considérées. Ils incluront des changements de temps différents pour les différentes composantes du processus observé et une composante spatiale. Ceci nécessitera un gros travail de modélisation probabiliste puisque le modèle construit devra être suffisamment flexible pour reproduire toute la complexité des champs de vagues mais aussi suffisamment simple pour pouvoir démontrer qu'il a de bonnes propriétés théoriques (stationnarité, ergodicité, irréversibilité) et le calibrer à partir des données disponibles.

Ces travaux se dérouleront en parallèle au projet ANR-FEM DIME « Dimensionnement et Météocean : modélisation et observations des états de mer extrêmes déferlants pour les EMR » qui démarrera début 2017, dans lequel il est prévu d'utiliser ces nouvelles méthodes statistiques de simulation de vagues côtières pour améliorer les méthodes de dimensionnement de structures installées en faible profondeur.

Ces modèles pourront être ensuite transférés aux partenaires qui pourront alors les intégrer directement dans leurs chaînes de calcul (code DIODORE de Principia et code HYDROSTAR du Bureau Veritas, par exemple)

Ces travaux se feront dans le cadre de notre collaboration avec les universités suédoises de Chalmers (Prof. I. Rychlik) et Lund (K. Podgorski), leaders des travaux sur la modélisation des vagues non-linéaires et depuis plusieurs années partenaires des experts de génie océanique du laboratoire LCSM de l'Ifremer. Ils s'inscrivent également dans la continuité d'un projet IFREMER politique de site « Modélisation statistique des conditions de mer » dans le cadre duquel les travaux décrits en [6] ont été réalisés. Ce projet politique de site intégrait les UMR de mathématiques bretonnes, UBO/LMBA et UR1/IRMAR, qui participeront à l'encadrement de la thèse.

2.2.4. Originalité et caractère innovant des recherches, avancées qui donneront lieu à publication

L'utilisation des processus gaussiens modulés en est encore à son balbutiement. Son utilisation dans le domaine du calcul hydrodynamique est tout à fait nouvelle. Ces travaux ne pourront qu'aboutir à des publications d'un grand intérêt pour la communauté scientifique du génie océanique et maritime. De plus la modélisation de processus temporels irréversibles en temps que permet ces méthodes peut trouver des applications dans l'étude d'autres paramètres environnementaux.

2.2.5. Echancier

mois 1 à 3 : Etude Bibliographique

mois 4 à 13 : Extension des méthodes de modulation du temps au cas multi-variables

mois 14 à 19 : Validation et évaluation des algorithmes sur des signaux de vague

mois 20 à 30 : Paramétrisation des modèles

mois 31 à 35 : Rédaction et finalisation du mémoire de thèse et publications

mois 36 : Soutenance de la thèse

2.2.6. Bibliographie

- [1] Félicien Bonnefoy, F., Ducrozet, G., Le Touzé, D., Ferrant, P., 2010, « Time Domain Simulation of Nonlinear Water Waves Using Spectral Methods », in *Advances in Numerical Simulation of Nonlinear Water Waves*, pp 129-164.
- [2] Rey V. 1991, « Propagation d'ondes de gravité au-dessus de fonds solides ou constitués de sédiments : application à l'étude d'interactions dynamiques ondes-sédiments », thèse de doctorat, Université de Provence.
- [3] Guinot, F., 2010, « interactions houle-courant en bathymétrie variable : approches numériques et expérimentales », thèse de doctorat, UBO.
- [4] Raillard N., Prevosto M., Ailliot P. (2015). Modeling process asymmetries with Laplace moving average. *Computational Statistics & Data Analysis*, 81, pp 24–37.
- [5] Podgorski, K., Wegener, J., 2010, « Non-Gaussian fields with vertical and horizontal asymmetries », Edit. *Mathematical Statistics*, Centre for Mathematical Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, pp. 54.
- [6] Ailliot P., Delyon B., Monbet V., Prevosto M., 2016, « Dependent time changed processes with applications to nonlinear ocean waves ». arXiv:1510.02302