

Modélisation des vagues extrêmes en milieu littoral

Philippe Bonneton et David Lannes

Contact : David.Lannes@math.u-bordeaux.fr

Mots-clés : événements extrêmes ; vagues non-linéaires ; levée (*shoaling*) et dispersion ; équations de Serre / Green-Naghdi ; éléments finis discontinus

Calendrier du projet : septembre/octobre 2022-Septembre/octobre 2023

Description du projet

Contexte

Depuis plusieurs dizaines d'années, la densité de population a considérablement augmenté le long des côtes, et l'on prévoit une accélération de cette tendance dans les décennies à venir. Les événements marins extrêmes, tels les vagues de tempête, ont donc des conséquences humaines, environnementales et socio-économiques de plus en plus importantes. Ces aléas sont de plus renforcés par l'augmentation du niveau de la mer liée au changement/réchauffement climatique global. Dans ce contexte il est essentiel de disposer d'outils performants pour la mesure et la modélisation des vagues extrêmes et leur impact à la côte.

Si l'on arrive à mesurer et modéliser de façon convenable les propriétés moyennes des vagues en milieu côtier (ex. : modèle SWAN , ref. [1]), le problème est beaucoup plus difficile lorsqu'on s'intéresse à l'élévation maximale de celles-ci. Or ce sont ces vagues «extrêmes» (*Vex*) qui vont jouer un rôle critique pour les questions de sécurité de la navigation, les problèmes de franchissement, de submersion et d'érosion dunaire.

Le caractère fortement non-linéaire des vagues à l'approche du rivage est un fait établi depuis de très nombreuses années. Dans cet environnement les mesures de vagues sont extrêmement difficiles (milieu très énergétique, présence de bulles, problème de chalutages, ...). Pour cette raison, la principale méthode de caractérisation de l'élévation des vagues, ζ , repose sur des mesures de pression à partir de capteurs très robustes, associées à des méthodes de reconstruction linéaire de ζ . Bonneton et Lannes [2] ont établi, pour la première fois, un modèle de reconstruction non-linéaire de ζ à partir de la pression. Cette approche théorique, validée par des méthodes de mesure novatrices (ex. : Mouragues et al. [3]), a montré que les vagues non-linéaires étaient très mal décrites par les méthodes classiques, aussi bien en termes de forme que d'amplitude. Ainsi, l'élévation des crêtes peut être sous-estimée de plus de 30 %. Ces travaux récents, associant mesures in situ et développements théoriques ([2] et Martins et al. [4]), remettent en questions nos connaissances sur la dynamique des *Vex* en milieu littoral et donc sur leur modélisation.

Les *Vex* étant un phénomène très intermittent, il est nécessaire d'utiliser une modélisation à résolution de phase (c'est-à-dire « vague par vague »). Comme l'intensité des non-linéarités des *Vex* littorales était jusqu'ici fortement sous-estimée par les méthodes de mesures classiques, il est nécessaire de réévaluer la capacité de ces modèles à reproduire la dynamique des *Vex* très fortement non-linéaires. Il est important en particulier de mieux

comprendre les effets de variation spatiale de la bathymétrie sur l'occurrence et l'intensité des Vex. Une autre question ouverte concerne l'évolution des Vex dans la zone de surf, qui va conditionner leurs impacts sur les dunes sableuses et les structures côtières.

Objectifs

Pour modéliser les Vex il est nécessaire de disposer d'un outil de simulation numérique basé sur une modélisation à résolution de phase, et qui soit efficace pour décrire des régimes fortement non-linéaire et faiblement dispersif. C'est typiquement le domaine de validité des équations de Serre-Green-Naghdi ; on utilisera pour les simulations numériques la plateforme de simulation Uhaina (Filippini et al. [5]) développée par les porteurs du projet et leurs collaborateurs et déjà utilisée pour des simulations de configurations réelles par le BRGM.

La précision des simulations numériques sera validée par rapport à des expériences de laboratoire (projet GLOBEX [6]), caractérisant des champs de vagues aléatoires avec des épisodes de vagues extrêmes. On analysera en particulier les distributions de probabilité de l'élévation des crêtes de vague et leur écart par rapport à une distribution de Rayleigh (représentative des vagues aléatoires très faiblement non-linéaires). Un point important sera l'aptitude du modèle à reproduire les mécanismes de formation des Vex observés expérimentalement. Une fois à disposition, ces simulations numériques reproduisant la formation de Vex, nous permettront d'analyser finement les mécanismes en jeu et de comprendre en particulier l'importance relative des effets dispersifs (focalisation dispersive), topographiques, non-linéaires. On analysera aussi la dissipation d'énergie des Vex dans la zone de surf, afin de déterminer les conditions dans lesquelles leur impact sur le rivage sera le plus intense.

Le modèle physique codé dans Uhaina repose sur une variante des équations de Serre-Green-Naghdi permettant un gain de calcul considérable par rapport aux équations classiques en évitant la réactualisation à chaque pas de temps d'un opérateur de dispersion à inverser (Marche et Lannes [7]). Une amélioration possible de ce modèle serait une meilleure prise en compte des effets de topographie. S'il s'avère que les effets topographiques jouent un rôle important dans le mécanisme de formation des Vex, un travail de modélisation mathématique sera effectué sur ce point. Ce travail contribuera par ailleurs à l'amélioration du code Uhaina.

Finalement, nous évaluerons les capacités du modèle à simuler l'impact de Vex sur des environnements complexes avec franchissement de digues et submersion de zones urbanisée.

Références :

[1] <http://swanmodel.sourceforge.net/>

[2] Bonneton, P., and Lannes, D. 2017. Recovering water wave elevation from pressure measurements. *Journal of Fluid Mechanics*, **833**, 399-429.

[3] Mouragues, A., Bonneton, P., Lannes, D., Castelle, C., Mariou, V. 2019 Field data-based evaluation of methods for recovering surface wave elevation from pressure measurements, *Coastal Eng.*, **150**, 147-159.

[4] Martins, K., Bonneton, P., Lannes, D. and Michallet, H. 2021 Relation between orbital velocities, pressure and surface elevation in non-linear nearshore water waves. Submitted to *J. of Physical Oceanography*.

- [5] Filippini, A., De Brye, S., Perrier, V., Marche, F., Ricchiuto, M., Lannes, D., & Bonneton, P. 2018. UHAINA: A parallel high performance unstructured near-shore wave model. In *Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil*. Editions Paralia. ([.pdf](#))
- [6] Ruessink, B. G., Michallet, H., Bonneton, P., Mouazé, D., Lara, J. L., Silva, P. A., and Wellens, P. 2013. GLOBEX: Wave dynamics on a gently sloping laboratory beach. *Proceedings of Coastal Dynamics*, edited by Bonneton, P. and Garlan T., 1351-1362.
- [7] Lannes, D., & Marche, F. (2015). A new class of fully nonlinear and weakly dispersive Green–Naghdi models for efficient 2D simulations. *Journal of Computational Physics*, 282, 238-268.

Déroulement du post-doctorat (octobre 2022-septembre 2024)

Le projet demande une triple expertise :

- Physique des vagues en milieu littoral : compréhension des nombreux phénomènes physiques en jeu en zones de levée et de surf (déferlement, création de courants, friction, reconstruction empirique de quantités physiques à partir de données de laboratoire et in situ et compréhension des méthodes de mesure, etc.).
- Programmation HPC : le code Uhaina est une plate-forme complexe, massivement parallèle comportant, pour simplifier, une étape hyperbolique et une étape elliptique et qu'il faudra s'approprier.
- Modélisation mathématique : l'optimisation des équations utilisées par rapport à la topographie demande une maîtrise de techniques EDP non-linéaires dispersives et une compétence d'analyse du signal sera également nécessaire afin d'étudier l'évolution du champ de vague aléatoire arrivant du large.

La personne recrutée pour ce post-doc devra avoir une expérience de la programmation et des connaissances sur les aspects physiques et/ou mathématiques impliqués. Elle sera bien évidemment formée sur tous les autres aspects ; elle bénéficiera pour cela de l'environnement de recherche local : les deux porteurs du projet ont toutes les compétences requises sur les aspects physiques et mathématiques, et font partie des porteurs du projet Uhaina. Le ou la postdoc sera donc, pour les aspects numériques, intégrée à une équipe de développement et aura ainsi accès à un code de calcul puissant qu'il n'aurait pas été possible de développer autrement dans le cadre d'un post-doctorat.

Le sujet a de plus été choisi pour que la personne recrutée en retire le plus grand bénéfice possible en termes de perspectives professionnelles. En termes académiques, des publications sont envisagées tant dans des revues de mathématiques appliquées que dans des revues d'océanographie ; hors du monde universitaire, l'expertise acquise sera d'un grand intérêt pour des organismes tels que le BRGM, le CEA, le SHOM ou Météo France par exemple, mais aussi pour les nombreux bureaux d'étude qui évaluent les risques de submersion et avec lesquels nous sommes en contact.

Enfin, le sujet a été choisi de manière à ce que des résultats notables puissent être atteints dès la première année du contrat, et le projet commence huit mois avant le début du postdoc de manière à pouvoir effectuer tous les travaux préliminaires nécessaires à un démarrage rapide. Les données dont nous disposons (GLOBEX) permettent en effet de commencer à travailler dans une configuration 1D de surface, ce qui limitera la période de prise en main de l'outil numérique. Ces données n'ont pas encore été exploitées pour l'analyse des Vex et les résultats obtenus apporteront donc un éclairage nouveau sur ce phénomène. Nous déposerons par ailleurs en janvier 2022 une demande de cofinancement à la Région Nouvelle Aquitaine pour un prolongement de 12 mois qui permettrait de poursuivre ce travail, avec notamment l'exploitation de données in situ réalisée dans une configuration complexe (Chambre d'Amour à Anglet).

