

Proposition de thèse au M.I.O, Université de Toulon

Titre :

Estimation des propriétés d'un courant cisailé sur la verticale à partir de la dispersion des ondes de gravité de surface

Encadrement :

REY Vincent (rey@univ-tln.fr), TOUBOUL Julien (touboul@univ-tln.fr), M.I.O, Université de Toulon

ARDHUIN Fabrice (Fabrice.Ardhuin@ifremer.fr), LOPS, Brest

Financement demandé:

bourse DGA :

Sous-thème «Ecoulements fluides » de la thématique « Fluides & Structures » en lien avec le sous-thème 3 « Modélisation et simulation de l'environnement » de la thématique « Ingénierie de l'information ».

Sujet :

Les conditions de houle, du large à la côte, sont des informations nécessaires à la navigation, à la bonne compréhension et modélisation de la dynamique littorale, au dimensionnement des structures en ingénierie côtière, ou à l'évaluation des risques de submersion. Elles constituent également un moyen potentiel d'accéder à de l'information présente sous la surface, comme par exemple des informations sur l'hydrodynamique ou sur la topographie des plages. Ces informations peuvent avoir des applications civiles ou militaires. Elles sont mesurées par l'utilisation de données de bouées instrumentées, de données satellites, de données météorologiques de vent, combinées à des modèles de propagation de houles, régulières ou spectrales.

La réflexion, la réfraction et la diffraction de la houle sont non seulement forcées par les changements de bathymétrie mais aussi par la présence de courants. Cependant, les effets du courant dans les modèles sont restés longtemps limités à la prise en compte de courants homogènes sur la colonne d'eau, ce qui permettait de conserver le caractère irrotationnel de l'écoulement induit par la houle. Or des courants cisailés verticalement sont généralement observés à cause du vent, des marées ou des vagues (voir par exemple Soulsby, 1990 ; Haas & Svendsen, 2002). Ces cisaillements peuvent être également générés ou amplifiés par des variations rapides de la bathymétrie (Rey et al, 2014). Récemment, des modèles ont été proposés pour la propagation de houles régulières en présence de courants présentant un cisaillement vertical constant (Touboul et al, 2016), puis arbitraire (Touboul & Belibassakis, 2019) et étendus à des cas de houles fortement réfléchies par un fond composé d'une succession de sinusoïdes (Belibassakis et al, 2019 ; Laffitte et al, 2021).

La présence d'un courant colinéaire à la houle modifie sa vitesse de propagation. Cet effet Doppler est utilisé depuis de nombreuses années pour la mesure des courants de surface par courantométrie Radar (Stewart and Joy, 1974). Il permet de calculer la vitesse du courant de surface moyenné sur une épaisseur qui dépend de la longueur d'onde de la vague considérée, égale à la demi-

longueur d'onde du Radar, le principe de mesure étant basé sur la résonance de Bragg. A partir de mesures synchrones de la houle à deux positions successives, il est également possible d'en déduire l'intensité du courant dans cette direction. En effet, la cohérence des signaux permet de connaître leur déphasage, par conséquent la vitesse de l'onde, et donc implicitement celle du courant. Récemment, les champs de courants de surface ont pu être reconstruits à partir de mesures de vagues par télédétection (Yurovskaya et al, 2019). Lorsque la houle est partiellement stationnaire, l'algorithme de séparation des ondes fait également intervenir l'intensité du courant (Rey et al, 2002 ; Magne et al, 2005), il peut être également utilisé en présence d'un courant présentant un cisaillement vertical constant (Laffitte et al, 2021). Lorsque les caractéristiques du courant sont connues, il est donc possible de séparer des ondes se propageant dans des directions différentes. On peut également noter que les caractéristiques du courant peuvent être déterminées en utilisant la cohérence des signaux mesurés en différents points. Lorsque le courant est cisailé verticalement, l'onde de surface est sensible au courant de surface, sur une épaisseur d'autant plus grande que l'onde est longue (Touboul et al, 2016). Les fréquences composant les houles réelles seront donc impactées différemment par un courant cisailé sur la verticale au cours de leur propagation.

Le sujet proposé a pour objectif la reconstruction des champs de courant (direction, intensité et cisaillement) à partir de données de houles. Les méthodes de reconstruction seront basées sur des analyses synchrones des spectres de vagues en différents points de l'espace, dont les algorithmes nécessitent la connaissance des vitesses de propagation des vagues. Elles seront mises à profit pour déterminer les caractéristiques des courants et de leurs profils, ceux-ci modifiant la célérité des vagues.

Les moyens mis en oeuvre seront:

- l'utilisation d'un modèle de propagation de la houle au-dessus de fond variables, tenant compte de la présence de courants cisailés verticalement, et son adaptation à la propagation de houles spectrales multidirectionnelles.
- la réalisation d'expériences de propagation de houles régulières et spectrales en bassin en présence de courants inhomogènes contrôlés pour des houles progressives puis multi-directionnelles (partiellement stationnaires dans le cas 2D).
- l'application à des cas réalistes par l'utilisation de mesures synchrones de spectres de vagues en différents points de la surface libre, par des mesures in situ ou par télédétection spatiale en zone côtière.

Le modèle de propagation pourra être utilisé pour générer des spectres de vagues en différents points de l'espace pour des conditions de courant imposées dans le modèle, afin de tester la méthode de reconstruction des courants à partir de données numériques de spectres en plusieurs points.

Les études réalistes seront ensuite menées sur des configurations issues du littoral de l'aire toulonnaise, qui présente des caractéristiques très variées (plages sableuses, côtes rocheuses, bathymétries fortement variables, archipels), une exposition diverse aux tempêtes (houles et surcotes associées) et une forte anthropisation. La dynamique littorale, forcée le courant Liguro-Provençal, est l'objet de nombreuses études au laboratoire, en particulier par courantométrie radar (Dumas et al, 2020), avec un suivi sur le long terme de sa dynamique (<https://hfradar.univ-tln.fr>). Les surcotes barométriques, très supérieures au marnage, sont également l'objet d'un suivi sur le long terme sur l'ensemble de la côte (Rey et al, 2020 ; <https://htmnet.mio.osupytheas.fr>).

Références:

- Belibassakis, K.A., Touboul, J., Laffitte E., Rey, V.,(2019) A Mild-Slope System for Bragg Scattering of Water Waves by Sinusoidal Bathymetry in the Presence of Vertically Sheared Currents, *J. Mar. Sci. Eng.* **2019**, 7, 9; doi:10.3390/jmse7010009.

- Dumas, D., Gramoullé, A., Guérin, C.-A., Molcard, A., Ourmières, Y. and Zakardjian, B. Multistatic estimation of high-frequency radar surface currents in the region of Toulon. *Ocean Dynamics* (2020), <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01406-z>.
- Haas, K., Svendsen, I., 2002. Laboratory measurements of the vertical structure of rip currents. *J. Geophys. Res.* C5, 3047.
- Laffitte, E., Rey, V., Touboul, J. and Belibassakis, K. A, 2021, Water wave scattering by a sinusoidal bed in the presence of vertically sheared current, *Appl. Ocean Res.*, 108, 102549.
- Magne, R., Rey, V. and Ardhuin, F. 2005 Measurement of wave scattering by topography in presence of current, *Phys. Fluids*, **17**, 126601.
- Rey, V. , Capobianco, R. and Dulou, C. 2002 Wave scattering by a submerged plate in presence of a steady uniform current, *Coastal Engineering*, **47**, 27-34.
- Rey, V. , Charland, J. and Touboul, J. 2014 Wave–current interaction in the presence of a three-dimensional bathymetry: Deep water wave focusing in opposing current conditions, *Phys. Fluids*, **26**, 096601.
- Rey, V., Dufresne, C., Fuda, J. L., Mallarino, D., Missamou, T., Paugam, C., Rougier, G., Taupier-Letage, I., On the use of long term observation of water level and temperature along the shore for a better understanding of the dynamics: Example of Toulon area, France *Ocean Dyn.*, 2020, <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01363-7>.
- Stewart, R.H., Joy, J.W., 1974. HF radio measurements of surface currents. *Deep-Sea Res.* 21, 1039–1049.
- Soulsby, R. L., 1990. Tidal Current Boundary Layers. Vol. 9 of Ocean Eng. Sc., John Wiley, New York, USA.
- Touboul, J., Charland, J., Rey, V., Belibassakis, K. (2016), Extended Mild-Slope equation for surface waves interacting with a vertically sheared current, *Coastal Engineering* 116, pp.77–88.
- Touboul, J. & Belibassakis, K., (2020) A novel method for water waves propagating in the presence of vortical mean flows over variable bathymetry, *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy* 5 (4), 333-350.
- Yurovskaya, M., Kudryavtsev, V., Chapron, B., & Collard, F. (2019). Ocean surface current retrieval from space: The sentinel-2 multispectral capabilities. *Remote sensing of Environment*, 234 , 111468. doi: 10.1016/j.rse.2019.111468