



FUTURISKS : Offre de doctorat



Submersions marines dans les systèmes récifaux et lagunaires d'outre-mer : modélisation numérique et mesures in situ des niveaux d'eau

Direction de thèse

Frédéric Bouchette, Professeur à l'Université de Montpellier
Héloïse Michaud, chargée de recherche au Shom Toulouse
Yann Krien, MCF au LEGOS, Université de Toulouse/CNRS

Date de début et modalités

A partir d'octobre 2024. Cette thèse est co-financée par le PPR Océan et climat FUTURISKS et le Shom. La/le doctorant.e sera administrativement rattaché.e à l'Université de Montpellier (école doctorale GAIA, spécialité océanographie physique) et sera basé.e sur Géosciences Montpellier et l'antenne du SHOM à Toulouse; elle/il sera aussi amené.e à faire des séjours réguliers sur les autres sites d'encadrement (LEGOS, Toulouse), ainsi que plus ponctuellement auprès de certains membres de l'équipe FUTURISKS. Au terme de la première année, la/le doctorant.e sera préférentiellement localisé.e à Toulouse. Par ailleurs, elle/il participera aux réunions officielles FUTURISKS et à des opérations de terrain outre-mer menées dans le cadre de ce projet.

Procédure pour candidater

Pour candidater, merci d'envoyer CV, lettre de motivation, relevés de notes du master/ école d'ingénieur et références à : futurisks@gladys-littoral.org avant le 20 mai. Des auditions seront organisées la première quinzaine de juin.

Présentation du sujet

La submersion marine en contexte récifo-lagonaire

De manière générale, la submersion marine résulte de la combinaison de la surélévation du niveau marin moyen et de l'agitation liée aux vagues et aux ondes longues (infra-gravitaires, IG). Dans le cas des systèmes récifo-lagonaires, les submersions marines dans les lagons sont très largement contrôlées par tous les processus liés à la transformation des vagues sur les récifs, qui déterminent le niveau moyen dans le lagon et la transmission de l'énergie de la houle incidente dans le système. Les submersions peuvent être par exemple dominées par la surcote induite par les vagues (wave setup), résultant de la dissipation des vagues courtes sur le récif (Kennedy et al., 2012 ; Aucan et al., 2012). En fonction de la morphologie

du système lagunaire récifal, la circulation moyenne induite par les vagues sur un fond rugueux peut soit augmenter (Buckley et al., 2016) ou diminuer le wave setup (Rijnsdorp et al., 2021). Les submersions marines peuvent également être provoquées par des ondes infragravitaires (IG) (Roeber et Bricker, 2015) ou des phénomènes de seiche (Bruch et al., 2022). En synthèse, les événements de submersion marine sont contrôlés par la transformation des vagues (réflexion, réfraction, dissipation par déferlement et frottement, transferts spectraux) et leurs couplages avec la dynamique du niveau moyen - courant. Dans les grands atolls, la génération locale par le vent peut également jouer un rôle significatif. Ces processus dépendent fortement de la morphologie des récifs et des lagons (type d'île, profondeur, ouverture, rugosité, etc), et peu d'études complètes ont été menées sur ce type d'environnement et encore moins dans les îles tropicales françaises d'outre-mer.

Contexte et problématique

Le projet FUTURISKS (<https://futurisks.recherche.univ-lr.fr/>) vise à étudier les risques littoraux et les solutions d'adaptation au changement climatique dans les Outre-Mer tropicaux insulaires français et en particulier le risque de submersion marine. Cette thèse s'inscrit dans le work package 2 (WP2) de FUTURISKS axé sur la compréhension et la quantification des mécanismes élémentaires contrôlant l'hydrodynamique récifo-lagunaire et en particulier les submersions marines. Dans ce contexte, la problématique générale de cette thèse est de travailler sur la caractérisation de la dynamique du niveau d'eau en contexte récifo-lagunaire et sur sa quantification par simulation numérique. L'objectif général est d'identifier, hiérarchiser et mieux décrire les mécanismes hydrodynamiques élémentaires impactant le niveau d'eau à la côte et être capable de les introduire dans les outils de simulation utilisés pour étudier la dynamique événementielle ou long-terme de la submersion marine dans les systèmes récifo-lagunaire.



Figure 1 : A : Récif sud-ouest de Mayotte. B:Plage de l'Hermitage (La Réunion) C : Hoas (ouvertures de faibles profondeur) sur le récif sud de Rangiroa (Polynésie)

La thèse s'organise autour de deux axes principaux de travail :

1. Elle ciblera d'abord, via l'étude de jeux de mesures sur des sites choisis (Figure 1), l'amélioration de la compréhension et la quantification des processus qui contrôlent les transformations du spectre de vague et de l'hydrodynamique en vue d'étudier l'impact sur le niveau d'eau total à la côte dans les contextes morphologiques complexes tels que : (a) un système récifal à forte pente et macro-rugosité (partie externe des récifs coralligènes insulaires), (b) un platier rocheux abrasif à macro-rugosité (façades rocheuses insulaires), (c) un système lagunaire clos;
2. Le second objectif sera d'améliorer la représentativité de ces processus dans les modèles de vagues à phase résolue utilisés pour représenter l'évolution des états de mer et du niveau d'eau dans ces environnements complexes. En particulier, il visera

à améliorer la compréhension et la représentation des interactions non linéaires, la génération et propagation des ondes très basses fréquences et infragravitaires, le déferlement et l'effet de la friction sur ce type de fond complexe, les liens avec les processus de grande échelle et enfin la génération /croissance des vagues sur fonds peu profonds. Deux modèles seront utilisés. Le modèle 2D non-hydrostatique Tolosa-LCT (Richard, 2021) dont les performances numériques autorisent la simulation sur des domaines de très grandes emprises comme l'ensemble d'un lagon, permettra d'avoir une représentation globale et intégrée de tous les processus en jeux et notamment les niveaux dans tout le lagon. Il sera complété sur des zones beaucoup plus restreintes pour étudier des processus 3D dans le massif rugueux par le modèle Symphonie NH (Marsaleix et al., 2019). Des récents développements sur la dissipation sur fonds rugueux et complexes (thèse d'E. Guélard Ancilotti) seront intégrés à la démarche.

Les travaux s'appuieront sur l'analyse de jeux de mesures, le développement de formulations théoriques et la modélisation à phase résolue.

Pour les jeux de mesures acquis ces trois dernières années sur les environnements rocheux et complexes par l'équipe encadrante (Maupiti, Mayotte, Réunion, Ouvéa et Rangiroa, prévu en 2025), le travail de traitement et d'analyse est déjà largement avancé dans le cadre des thèses de M. Belkadi et M. Geindre accueillies à Géosciences/Gladys à Montpellier et Geo-Ocean à Brest, et co-encadrées par l'équipe en charge de cette thèse. Ces travaux en cours analysent les processus de dissipation de l'ensemble du spectre, la génération/transformation/dissipation des ondes longues (IG ou assimilées) sur les platiers récifaux frangeant exposés et dans le lagon, et l'expression d'ondes plus complexes (bores, seiches et ondes très basses fréquences (Very low Frequency, VLF)) induites par transfert d'énergies au sein du spectre et/ou par des interactions géométriques et des effets des conditions aux limites. Dans le cadre de ce troisième doctorat du WP2 de FUTURISKS, le.a doctorant.e fera la synthèse des derniers développements au sein de ces travaux, et s'appliquera à quantifier les contributions des différents processus sur les niveaux d'eau à la côte. L'arrivée des vagues résiduelles et des ondes longues à la côte s'accompagne d'un jet de rive contrôlé par le profil topographique dont la formulation et la quantification pourraient être non triviales dans la mesure où (i) le spectre sera inhabituel car largement transformé, et (ii) les fonds sont atypiques (macro-rugueux, profils irréguliers,...). Les données de niveau d'eau de la mission SWOT et de vagues de CFOSAT seront également exploitées.

Programme de travail

Afin de répondre aux objectifs du projet, la première étape (4 mois) du travail de thèse consistera à réaliser une **étude bibliographique** à jour des processus qui contrôlent les transformations du spectre de vague et le niveau d'eau total à la côte dans des contextes morphologiques complexes. Ce travail est déjà largement avancé par l'équipe encadrante, mais il est nécessaire que le doctorant intègre bien les concepts théoriques en jeu. Ce travail sera associé à la prise en main des approches mathématiques et numériques mises en œuvre dans les modèles.

La deuxième étape principale du travail du doctorant (6 mois) consistera à **finaliser et synthétiser le traitement des jeux de mesures** acquis ces trois dernières années sur ce type d'environnement par le consortium.

Sur la base de cette analyse, la troisième tâche principale (14 mois) sera de développer et **d'améliorer la représentativité de ces processus dans le modèle numérique**. Avec l'aide des développeurs du modèle, le doctorant sera chargé de l'implémentation de ces lois au sein des modèles.

La quatrième tâche (12 mois) consistera à réaliser des **confrontations extensives des prédictions numériques avec les observations existantes** sur différentes périodes des campagnes de mesures.

Références

- Aucan J. et al., 2012. Wave-driven sea level anomalies at the Midway tide gauge as an index of North Pacific storminess over the past 60 years. *Geophys. Res. Lett.* 39 (17), L17603.
- Bouchette F., Manna M., P. Montalvo, A. Nutz, M. Schuster, J-F. Ghienne, 2014. Growth of Cuspate Spits. *J. Coast. Res.* 70, 47-52. DOI:[10.2112/SI70-009.1](https://doi.org/10.2112/SI70-009.1)
- Bruch W., Cordier E, F Floc'H, S G. Pearson. Water Level Modulation of Wave Transformation, Setup and Runup Over La Saline Fringing Reef. *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 2022, 127, 10.1029/2022JC018570
- Clément J-B, D. Sous, F. Bouchette, F. Golay, M. Ersoy, 2023. A Richards' equation-based model for wave-resolving simulation of variably-saturated beach groundwater flow dynamics. *Journal of Hydrology* 619:129344. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129344
- Dealbera S., D Sous, D Morichon, H Michaud, 2024. The role of roughness geometry in wave frictional dissipation. *Coastal Engineering* 189(3):104478 DOI: 10.1016/j.coastaleng.2024.104478
- Kennedy A.B. et al., 2012. Tropical cyclone inundation potential on the Hawaiian Islands of Oahu and Kauai. *Ocean Mod.* 52-53, 54-68.
- Krien Y., Dudon B, Roger J., Zahibo N. 2015. Probabilistic Hurricane-Induced Storm Surge Hazard Assessment in Guadeloupe, Lesser Antilles, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1711-1720. <https://doi.org/10.5194/nhessd-3-401-2015>
- Krien Y. et al., 2017. Towards improved storm surge models in the northern Bay of Bengal. *Cont. Shelf Res.*, 135, 58-73.
- Marsaleix P., H.Michaud and C.Estournel, 2019. 3D phase-resolved wave modelling with a non-hydrostatic ocean circulation model. *Ocean Modelling*, 136, 28-50. DOI:10.1016/j.ocemod.2019.02.002
- Marsaleix P., H.Michaud and L.Seyfried, 2020. Adaptation d'un modèle de circulation océanique à la modélisation déterministe de la houle : application à la plage de Sète. XVIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Le Havre DOI:10.5150/jngcgc.2020.0121.
- Michaud H., Le Goff Le Gourrierec L., Marsaleix P., Sous D., Dealbera S., Bouchette F., Bertin X., Seyfried L., Leballeur L., Krien Y., Meulé S., Lavaud L., Estournel C., Maticka S., Pasquet A., Biscara L., Brosse F., Pezerat M., 2023. Wave transformation on a rocky shore : from field work on Ré Island to 3D modeling. *Coastal Engineering Proceedings*. 10.9753/icce.v37.waves.29
- Richard, G.L. An extension of the Boussinesq-type models to weakly compressible flows. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 89 :2021
- Rijnsdorp D.P. et al., 2021. A numerical study of wave-driven mean flows and setup dynamics at a coral reef-lagoon system. *J. of Geophys. Res.: Oceans*, 126 (4), e2020JC016811.
- Roeber V. & Bricker, J.D., 2015. Destructive tsunami-like wave generated by surf beat over a coral reef during Typhoon Haiyan. *Nature Com.* 6, art. no. 7854.
- Seyfried L., Biscara L., Michaud H., Leckler F., Pasquet A., Pezerat M., Gicquel C., 2024. Insights from topo-bathymetric and oceanographic dataset for coastal flooding studies: The French Flooding Prevention Action Program of Saint-Malo. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2023-459>, in review, 2024.
- Sous D., K. Martins, M. Tissier, S. Meulé, F. Bouchette, 2023a. Spectral Wave Dissipation Over a Roughness-Varying Barrier Reef. *Geophysical Research Letters* 50(5) DOI:[10.1029/2022GL102104](https://doi.org/10.1029/2022GL102104).
- Sous D., S. Meulé, S. Dealbera, H. Michaud, G. Gassier, F. Bouchette, M.Pézérat, 2023b. On the definition of roughness metrics for coral and rocky seabeds. Submitted to PlosOne.