

Soutenance de thèse

Mahmoud AL NAJAR soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein du Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale (LEGOS) et intitulée «*Modélisation de l'évolution côtière par l'apprentissage automatique*»

Le 30 novembre 2023 à 09h00, salle Coriolis de l'OMP

devant le jury composé de

M. Rafaël ALMAR	IRD	Directeur de thèse
Mme Kristen SPLINTER	University of New South Wales	Rapporteuse
M. Markus WAGNER	Monash University	Rapporteur
M. Sylvain CUSSAT-BLANC	Université Toulouse Capitole	Examineur
Mme Justyna PETKE	University College London	Examinatrice
M. Rosh RANASINGHE	IHE Delft Institute for Water Education	Examineur

Résumé : La croissance des densités des populations humaines dans les zones côtières, en plus de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des risques côtiers résultant du changement climatique, crée de graves problèmes de sécurité et posent un certain nombre de défis aux gestionnaires et ingénieurs côtiers. Notre capacité de prévoir l'évolution des systèmes côtiers est une condition nécessaire pour une gestion efficace des côtes, y compris l'évaluation et l'atténuation des risques naturelles, et constitue depuis des décennies un objectif fondamental de la recherche côtière. Cependant, le processus d'évolution des côtes est complexe par nature, et prédire son développement dans le temps reste un défi pour les méthodologies actuelles. L'absence d'ensembles de données représentatives permettant de suivre avec précision l'état et l'évolution des systèmes côtiers limite considérablement notre capacité à prévoir les changements côtiers en réponse aux différentes pressions naturelles et anthropiques. Les enquêtes traditionnelles sur le terrain sont largement utilisées dans la littérature sur les sciences côtières et ont joué un rôle important dans l'avancement de nos connaissances sur ces systèmes. Cependant, un certain nombre de coûts opérationnels et de contraintes limitent l'utilisation de ces techniques à quelques régions du monde, et à des résolutions temporelles éparses qui sont insuffisantes pour suivre efficacement les différents modes climatiques, l'impact des tempêtes et leur rétablissement, par exemple. La télédétection par satellite offre une série de technologies et de techniques permettant de surveiller fréquemment les zones côtières du monde entier à des résolutions temporelles élevées. Si la télédétection spatiale ouvre de nouvelles perspectives pour l'étude des environnements côtiers dans le monde entier, elle nécessite le développement de nouvelles méthodes de traitement des données pour traiter des flux importants de données d'observation de la Terre. L'apprentissage automatique est un sous-domaine de l'intelligence artificielle qui vise à construire des algorithmes capables d'exploiter de grandes quantités de données d'exemple afin de construire des modèles prédictifs, et a été une composante essentielle de nombreuses avancées scientifiques ces dernières années. Compte tenu du flux continu de données à haute dimension enregistrées par de multiples constellations de satellites d'observation de la Terre, ainsi que des performances impressionnantes de l'intelligence artificielle moderne dans divers domaines scientifiques et industriels, l'intelligence artificielle est souvent adoptée dans les pipelines de traitement des données d'observation de la Terre afin d'augmenter ou de remplacer les analyses plus conventionnelles basées sur le traitement des signaux et des images. Cette thèse vise à examiner le potentiel et la capacité de la ML moderne dans deux problèmes

importants de la science côtière où le potentiel de la ML reste relativement inexploré. Dans cette thèse, l'apprentissage profond et l'apprentissage automatique interprétable sont appliqués aux problèmes de la bathymétrie dérivée des satellites et de la modélisation de l'évolution du trait de côte. Nous démontrons que l'apprentissage automatique est compétitif par rapport aux modèles actuelles basées sur la physique pour les deux tâches. En outre, nous montrons le potentiel de la ML pour automatiser un grand nombre de nos analyses de données côtières à grande échelle, afin d'obtenir une compréhension globale de l'évolution du littoral. Nous concluons notre travail en discutant des difficultés rencontrées, des limites des deux méthodologies de ML et de la manière dont elles peuvent être améliorées, ainsi que les perspectives à long terme qui peuvent être construites sur la base de ce travail.

Mots-clés : Programmation Génétique, Apprentissage Profond, Observation de la Terre, Prédiction du trait de côte, Inversion bathymétrique

Summary: Nearly three-quarters of the world's largest cities are located in coastal areas. This number is expected to increase in the coming years, as coastal areas are particularly attractive. However, as population density and economic activities increase, coastal areas are changing and degrading, from anthropogenic pressures and natural hazards such as extreme events which cause marine flooding and wave erosion, which will increase with climate change (Melet et al., 2018). Observation and forecasting methods are therefore crucial but the amount of local observation data is lacking. Instead, for observation, satellite sensors provide low-cost, near-global ocean monitoring, with synoptic views of large areas, relatively high resolution, frequent revisits, and the ability to obtain long time series (Bersgma et al., 2019). Artificial intelligence offers new perspectives in terms of processing a large number of images in a drastically reduced time compared to conventional methods, but also in solving complex problems (Al Najjar et al., 2019). This thesis aims to combine in an original way expertise in deep learning and remote sensing from different research centers for the estimation of coastal environments and short-term prediction during extreme events. We will set up a specific methodology taking into account both the coastal problem and deep learning techniques, applied to spatial images on one or more documented sites (ground truth) exposed to extremes and floods/erosion. First, these techniques will be compared on bathymetry inversion and then applied to sea state estimation. Several bathymetric inversion methods have been tested on different satellite configurations, and the state of the art has changed considerably over the past ten years. These mathematic methods are now applicable to spatial time series: Pleiades, Sentinel2 and Venus. They require a lot of input data and are extremely expensive in terms of computation time. A deep learning approach would reduce the amount of data and allow for optimized calculation times. This learning could also be transposed via transfer learning methods to other sensors allowing multi-temporal series in a short time, naturally considering satellite systems such as Worldview3, Planet or Jilin1. This approach would allow for a systematic calculation of bathymetry by hybridizing different data sources. During a second phase, these techniques linking off-shore sea state conditions (and their publicly available forecasts) will be applied to predict coastal hydro-sedimentary evolution in the short term. A re-analysis on documented extreme events will be carried out.

Keywords: Genetic Programming, Deep Learning, Earth Observation, Shoreline forecasting, Bathymetry inversion