

Apport de l'analyse causale à la compréhension et à la prédiction des dynamiques littorales

Sébastien Pinel¹, Jeremy Rohmer², Nicolas Robin¹

¹ UMR 5110 CEFREM, Université de Perpignan, 52 avenue Paul Alduy, 66860, Perpignan, France

² BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans Cédex, France

Lieu : Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM), Université de Perpignan Via Domitia, Perpignan, France

Durée : 5-6 mois

Début : entre mi-janvier et juillet 2026, à la convenance de l'étudiant·e recruté·e

Niveau : Master 2 ou 3^{ème} année d'études cycle ingénieur

Domaines : Modélisation, Data sciences, Mathématiques appliquées, Océanographie

Rémunération : Selon les conventions en vigueur (~650 €/ mois)

Programme de rattachement : ANR PEPR IRIMA (un financement de thèse dans le prolongement scientifique du stage est déjà acquis pour un démarrage à la rentrée 2026).

1. Contexte scientifique et objectifs du stage

Le projet cible IRICOT du projet PEPR IRIMA (2024-2030) vise à développer des connaissances transdisciplinaires afin d'éclairer la gestion des risques littoraux et la manière d'adapter nos sociétés face aux changements globaux. Dans le cadre de ce projet, le WP3 "Prévisions saisonnière et décennale des aléas littoraux" s'attache à mieux comprendre, modéliser et prévoir les aléas littoraux pour une grande diversité d'environnements (côte sableuse, estuaire, régime de marée ...), aux échelles saisonnières à décennales, pour les façades atlantique et méditerranéenne de la France métropolitaine, de l'échelle locale à l'ensemble de la façade avec une résolution spatiale typiquement de centaines de mètres (e.g. trait de côte).

Les recherches sur les risques littoraux se concentrent depuis longtemps sur les impacts des tempêtes, et plus récemment sur ceux du changement climatique à l'horizon 2100. En revanche, les évolutions à des échelles intermédiaires (saisonnières à pluri-décennales) ont été moins étudiées et demeurent difficiles à prévoir, alors qu'elles sont cruciales pour planifier des stratégies d'adaptation territoriale. Ces dynamiques sont largement contrôlées par la variabilité climatique naturelle (ENSO, NAO, AMO), bien documentée sur les côtes pacifiques (ENSO, Vos et al., 2023), mais encore peu explorée sur la façade atlantique européenne (Jalon-Rojas & Castelle, 2021 ; Castelle et al., 2022) et la façade méditerranéenne (Lopez-Bustins et al., 2019).

Ce stage prévoit donc de surmonter les limites des outils « classiques » basés sur la corrélation en identifiant les liens de causalité (e.g., Kretschmer et al., 2021, Runge et al., 2019) entre les grands modes de variabilité climatique (NAO, WEPA, etc.), les forçages météo-océaniques (vagues, niveau d'eau) et les indicateurs de l'état du littoral (trait de côte, largeur de dune, ...). L'intérêt de ces analyses causales est donc double : i) Permettre d'améliorer la compréhension des relations physiques entre variables d'intérêt et processus physiques ; ii) Identifier les variables explicatives les plus pertinentes pour développer des modèles prédictifs (indices/indicateurs) optimaux avec des outils de machine learning. Un exemple d'une telle analyse est donné sur la Figure 2, entre précipitations (P), humidité du sol (SM), niveau piézométrique (GW) et débit (Q) (Liang et al., 2025). Face à la complexité et au bruit des données environnementales, l'objectif général est de mettre en place des méthodologies robustes pour quantifier l'incertitude des liens causaux identifiés et de valider les résultats causaux ainsi générés.

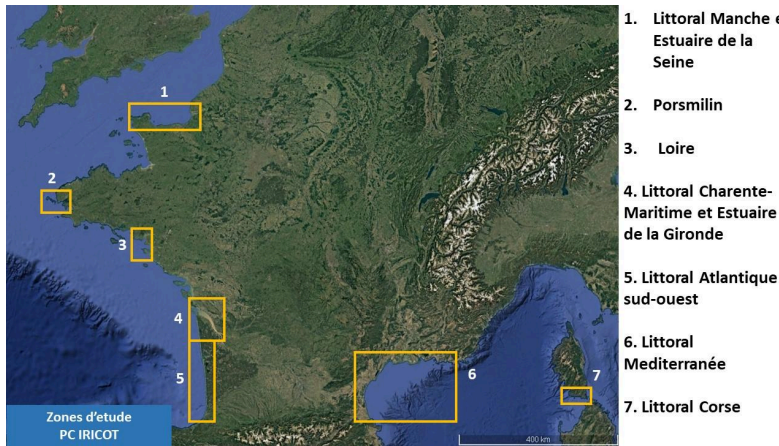


Figure 1. Zones d'étude liées au projet Iricot. Zone d'études envisagées pour le stage : 4, 5 et 6.

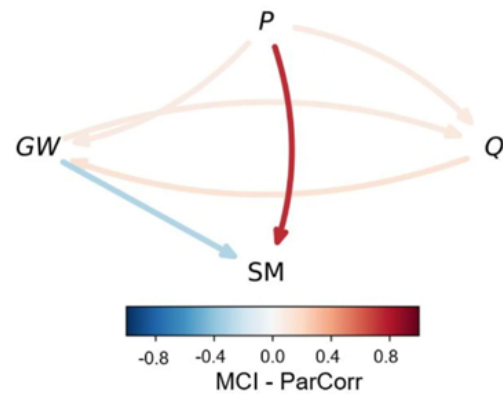


Figure 2. Graphique causal montrant le lien cause-effet entre précipitation (P), humidité du sol (SM), niveau piézométrique (GW) et débit (Q) (Liang et al., 2025).

2. Problématiques associées à ce stage

Plusieurs problématiques sont posées:

1. Compréhension des processus liés à des échelles de temps saisonnières à pluridécennales sur les côtes françaises : quels sont les liens de causalité (et non plus seulement de corrélation) entre les grands modes de variabilité climatique (NAO, WEPA, etc.), les forçages météo-océaniques (vagues, niveau d'eau) et les indicateurs de l'état du littoral (trait de côte, largeur de dune, ...) ?
2. Sélection des variables : comment identifier, parmi la multitude de variables explicatives disponibles, celles qui sont véritablement pertinentes et non redondantes pour la prédiction des aléas côtiers à différentes échelles de temps ?

1.3 Descriptif du stage

Le/la stagiaire devra prendre en main des bases de données existantes et/ou en générer de nouvelles sur les évolutions pluri-décennales d'indicateurs du système littoral. Les données déjà identifiées et envisagées sont :

- Météorologie : réanalyses ERA-5 ; in situ : données Météo-France ; indices climatiques (NAO, ...)
- Etat de la mer : houle, niveau d'eau, marégraphes, bouées côtières (SNO COAST HF, CEREMA)
- Etat du littoral : trait de côte/largeur de dune: modélisé, observé par satellite et/ou in situ ;
- Hydrologie : débits de fleuves in situ (base de données Hydroportail) ;
- Indicateur anthropique

Les méthodologies envisagées reposent sur l'application de méthodes statistiques : analyses exploratoires de données, analyses fréquentielles, analyse causale, développement de modèles statistiques mixtes ou issus du machine learning.

3. Aspects innovants du stage

- Application d'approches nouvelles basées sur l'analyse causale pour modéliser les relations entre indicateurs du système littoral et les variables environnementale
- Multidisciplinarité: modélisation statistique, machine learning, traitement de données hétérogènes (format et origine (in situ, modélisée, satellite))
- Intégration dans un projet de recherche avec plusieurs partenaires

4. Profil du/de la candidat(e) recherché(e)

M2 ou 3^{ème} année d'école d'ingénieur, spécialité en data sciences avec attrait pour les géosciences

M2 ou 3^{ème} année d'école d'ingénieur, spécialité en géosciences avec attrait pour la datascience

Les compétences suivantes sont requises: programmation et statistique (Python et/ou Matlab et/ou R, ..), tandis que des compétences en modélisation physique seront appréciées. Les qualités suivantes seront appréciées: autonomie, capacité de rédaction et de communication orale, rigueur.

5. Encadrement

L'étudiant(e) sera accueilli(e) au sein du laboratoire CEFREM de l'Université de Perpignan – Via Domitia où il sera encadré par Sébastien Pinel (MCF spécialité Hydrologie Fluviale et Modélisation) , Nicolas Robin (MCF HDR spécialité Hydrologie Fluviale et Modélisation) et Jérémy Rohmer (ingénieur chercheur spécialité Modélisation statistique au BRGM).

6. Candidature

Envoyer un CV et une lettre de motivation à Sébastien Pinel (sebastien.pinel@univ-perp.fr) avant le 30/11/2025. L'envoi optionnel du relevé de notes du 1er semestre (ou année précédente) sera apprécié.

7. Références citées

Vos, K., Harley, M. D., Turner, I. L. & Splinter, K. D. Pacific shoreline erosion and accretion patterns controlled by El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience* | 16, 140–146 (2023).

Jalón-Rojas, I., Castelle, B. Climate Control of Multidecadal Variability in River Discharge and Precipitation in Western Europe. *Water*, 13, 257 (2021).

Castelle, B., Ritz, A., Marieu, V., Nicolae Lerma, A. & Vandenhove, M. Primary drivers of multidecadal spatial and temporal patterns of shoreline change derived from optical satellite imagery. *Geomorphology* 413, 108360 (2022).

Lopez-Bustins, J. A., Arbiol-Roca, L., Martin-Vide, J., Barrera-Escoda, A., and Prohom, M.: Intra-annual variability of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) and occurrence of extreme torrential precipitation in Catalonia (NE Iberia), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 2483–2501, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2483-2020>, 2020.

Kretschmer, M., Adams, S.V., Arribas, A., et al.. 2021. Quantifying Causal Pathways of Teleconnections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 102, E2247–E2263.

Runge, J., Bathiany, S., Bollt, E., Camps-Valls, G., Coumou, D., Deyle, E., et al., 2019. Inferring causation from time series in Earth system sciences. *Nature communications*, 10(1), 2553.

Liang, H., Wang, W., Liu, D., Chen, B., Guo, L., Liu, H., ... & Zhang, D. (2025). Inferring causal associations in hydrological systems: a comparison of methods. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-22.