

# CASCAD-IA : Application de l'apprentissage profond à la prévision des épisodes de cascading intenses en Méditerranée nord-occidentale

Maxime Lagarde<sup>1</sup>, Xavier Durrieu de Madron<sup>1</sup>, Sébastien Pinel<sup>1</sup>, Claude Estournel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 5110 CEFREM, Université de Perpignan, 52 avenue Paul Alduy, 66860, Perpignan, France

<sup>2</sup> UMR 5566 LEGOS, 14 avenue Edouard Belin, 31400, Toulouse, France

**Lieu** : Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM), Perpignan

**Durée** : 5-6 mois

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

**Niveau** : Master 2 ou 3eme année d'études cycle ingénieur

**Domaines** : Machine Learning, Océanographie, Climatologie, Modélisation

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

**Programme de recherche de rattachement** : Projet Probilion (thèse de Maxime Lagarde)

## 1. Contexte scientifique et Objectifs

Le Golfe du Lion (Méditerranée nord-occidentale) est une zone clé pour l'étude des cascades d'eau dense côtière ou Dense Shelf Water Cascading (DSWC) en anglais ; un processus hydrodynamique majeur où les eaux denses formées sur le plateau continental en hiver plongent vers les grandes profondeurs en empruntant les canyons sous-marins. Ces épisodes influencent profondément les échanges côte-large, les caractéristiques des masses d'eau intermédiaires et profondes, le transport de sédiments et de matière organique, et les écosystèmes marins associés (Ivanov & al., 2005).

Les séries de température collectées depuis 1993 dans le Canyon de Lacaze-Duthiers (CLD) à 500 m et 1000 m de profondeur témoignent de la variabilité interannuelle marquée des épisodes extrêmes de DSWC (1999, 2000, 2005, 2006, 2012 et 2013). Ces événements sont marqués par une diminution nette en intensité et en fréquence depuis 2014, fortement corrélée au réchauffement et la stratification croissante de la colonne d'eau (Margirier & al. [2020]). Mieux connaître la variabilité à long terme et anticiper l'évolution de ce processus est un enjeu majeur pour comprendre l'avenir de la Méditerranée nord-occidentale face au changement climatique (Soto-Navarro & al. [2020]).

Récemment, les études en sciences marines basées sur des approches d'apprentissage profond ont révélé le potentiel de ces méthodes pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes (Rubbens & al. [2023]). C'est dans ce contexte que ce stage propose d'employer l'IA (LSTM, Transformers, ...) en complément des modèles physiques déjà déployés afin d'exploiter au mieux le potentiel des séries temporelles d'observations.

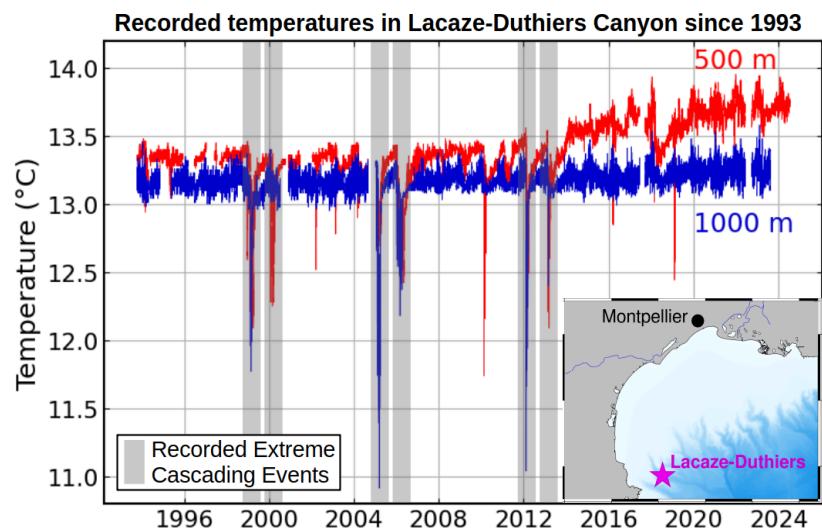


Figure 1 : Températures à 500 et 1000 mètres de profondeur dans le CLD. Les chutes brutales de température sont caractéristiques du passage des eaux denses du plateau continental.

Le stage a pour **objectif principal** de développer et entraîner un modèle IA capable de reproduire des séries temporelles de température associées au DSWC à partir de variables climatiques (température de l'air, humidité relative, précipitations, vitesses de vents, etc.) provenant de :

- Réanalyses climatiques (ERA5, ERA20C, 20CR, ...) pour la rétropédiction des événements passés de DSWC antérieurs à 1993,
- Projections climatiques pour la prédition future de l'occurrence de DSWC sur la période 2080-2100.

## 2. Tâches confiées lors du stage

- Choix et construction de l'architecture d'un modèle IA sous Python (Pytorch, Tensorflow, ...) adaptée aux contraintes et objectifs de l'étude.
- Optimisation des hyperparamètres du modèle pour l'entraînement et comparaisons statistiques des performances entre les configurations.
- Production de séries temporelles passées et futures à partir de toutes les réanalyses et scénarios climatiques disponibles.
- Visualisation des résultats et évaluation des incertitudes.

Livrables : dépôt de projet (code et séries temporelles simulées) sur une plateforme de type Git ; présentation des travaux devant le laboratoire ou lors d'un événement de communication scientifique ; participation à un chapitre de thèse et à un article.

L'étudiant(e) sélectionné(e) sera potentiellement amené(e) à participer à des sorties terrains pour découvrir la collecte de données océanographiques.

## 3. Profil recherché

M2 ou 3ème année d'école d'ingénieur, spécialité en data sciences / machine learning avec attrait pour les géosciences / océanographie / climat.

### OU

M2 ou 3ème année d'école d'ingénieur en géosciences / océanographie / climat avec des compétences en data sciences.

Compétences en Python. Connaissance des librairies Pytorch/Tensorflow idéalement. Capacités de lecture, synthèse et médiation en anglais.

## 4. Encadrement

L'étudiant(e) sera accueilli(e) au sein du CEFREM où il sera encadré par Xavier Durrieu de Madron (DR CNRS Océanographie), Sébastien Pinel (MCF Hydrologie Fluviale et Modélisation) et Maxime Lagarde (Doctorat Océanographie Modélisation). Claude Estournel (DR CNRS Modélisation) basée au LEGOS participera également à l'encadrement.

## 5. Candidature

Envoyer un CV et relevé de notes du 1er semestre (ou année précédente) à Maxime Lagarde (maxime.lagarde@univ-perp.fr) au plus tôt.

## 6. Bibliographie

Margriner F., Testor P., Heslop E., Mallil K., Bosse A., Houpert L. & al. (2020). Abrupt warming and salinification of intermediate waters interplays with decline of deep convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 10(1): 20,923. doi: 10.1038/s41598-020-77859-5.

Puig P., Durrieu de Madron X., Salat J., Schroeder K., Martín J., Karageorgis A. P., Palanques A., Roullier F., Lopez-Jurado J., Emelianov M., Moutin T., Houpert L. (2013). Thick bottom nepheloid layers in the western Mediterranean generated by deep dense shelf water cascading. *Progress in Oceanography*, Volume 111, Pages 1-23, ISSN 0079-6611, doi: 10.1016/j.pocean.2012.10.003.

Rubbens P., Brodie S., [...], Irisson J. (2023). Machine learning in marine ecology: an overview of techniques and applications, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 80, Issue 7, September 2023, Pages 1829–1853, doi: 10.1093/icesjms/fsad100.

Soto-Navarro J., Jordá G., Amores A., Cabos W., Somot S., Sevault F. et al. (2020). Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Climate Dynamics*, 54(3): 2135–2165. doi: 10.1007/s00382-019-05105-4.