

Titre du stage : Estimation des flux air-mer du CO₂ dans les systèmes côtiers de la façade française à l'aide de réseaux de neurones

Contexte scientifique général:

L'océan joue un rôle majeur dans la réduction de l'impact du changement climatique en absorbant plus de 90 % de l'excès de chaleur dans le système climatique et environ 25 % du CO₂ émis par l'homme (Friedlingstein et al., 2022). Cependant, l'absorption de CO₂ par les océans modifie la chimie de l'eau de mer, entraînant une acidification des océans, avec des impacts potentiels sur les organismes marins (Gattuso et al., 2015).

Dans ce contexte, le nombre de mesures de qualité de la pression partielle de CO₂ à la surface de la mer (pCO₂) a rapidement augmenté au cours de la dernière décennie et des efforts communautaires à grande échelle ont conduit à la compilation de ces mesures dans des bases de données uniformes à la qualité contrôlée (SOCAT). De plus, le développement de différentes techniques d'interpolation robustes a permis de contourner les limites de ces ensembles de données qui restent discontinues dans le temps et l'espace afin de créer des cartes spatio-temporelles continues de la pCO₂. Bien que des progrès significatifs aient été réalisés dans le développement de plusieurs produits de données globales pour l'océan mondial, la plupart de ces produits omettent l'océan côtier et/ou leur résolution spatiale est trop grossière pour capturer pleinement la dynamique spatio-temporelle hautement hétérogène du pCO₂ qui se produit dans ces régions. Par conséquent, l'évaluation de la variabilité interannuelle et des tendances à long terme de l'échange de CO₂ air-mer côtier à l'aide d'un produit de flux continu de CO₂ dédié à ces zones côtières, complexes et pourtant vitales, n'a pas encore été développé et, par conséquent, reste mal comprise.

Objectifs du stage:

L'objectif du stage sera d'identifier et de développer des méthodes de réseaux de neurones (ou "machine learning") adaptées à l'environnement côtier pour prédire avec précision les variables du système des carbonates, et en particulier la variabilité des flux de CO₂ air-mer. Dans un premier temps, un travail de recensement et d'harmonisation des données biogéochimiques existantes et produites par les SNO côtiers (SOMLIT, COAST-HF) et régionaux (MOOSE), ainsi que les campagnes en mer dans les régions côtières des 3 façades françaises (Méditerranée NO, Atlantique, Manche) sera nécessaire. Par la suite, l'objectif du stage sera de concevoir et d'entraîner un ou des ensembles de réseaux de neurones (par exemple de type "Feed Forward Network"; Laruelle et al. 2017, Roobaert et al., 2023 ou CANYON-CONTENT; Bittig et al. 2018) dans la zone côtière du Golfe du Lion, qui est en partie, bien observée par les réseaux existants. Cet outil devra également prendre en compte les variables d'entrée qui seront nécessaires et pertinentes pour fournir les informations les plus précises afin de recréer de manière robuste les flux air-mer de CO₂. Ces flux

prédits seront également comparés aux simulations récentes produites par le modèle couplé SYMPHONIE ECO3M-S en Méditerranée occidentale (Uises et al., 2023).

Moyens mis en œuvre:

Ce sujet de stage est en lien avec les actions du WP3 du PPR RIOMAR. L'étudiant(e) sera amené à :

- Recenser, effectuer un contrôle qualité et harmoniser les données existantes dans les 3 façades françaises avec un focus plus particulier sur la Méditerranée nord-occidentale de 2000 à 2023. Il (elle) s'appuiera notamment sur les données produites par les SNO côtiers et régionaux, les produits SOCAT et les données produites lors des campagnes dans les zones côtières
- Développer et entraîner un ou des ensembles de réseaux de neurones dans la zone côtière du le Golfe du Lion (incluant l'estuaire du Rhône)
- Estimer les incertitudes liées aux prédictions de cet outil
- Analyser la variabilité des flux air-mer de CO2 dans la région

SNO(s) et jeu(x) de données concernées:

SOMLIT, COAST-HF, MOOSE, SOCAT, CARIMED

Caractère transversal:

Cette proposition de stage est basée sur des données acquises dans le cadre de 3 SNO impliqués dans l'IR ILICO et le PPR RIOMAR. Le sujet permet à la fois d'intégrer et de mettre en avant l'approche multi-plateformes et régionale afin de mieux prédire et comprendre l'évolution saisonnière et les variations long terme des flux de CO2 peu connus en milieu côtier.

Aspect innovant du stage:

L'approche des réseaux de neurones en océanographie représente une avancée significative dans l'étude de la distribution spatiale des sources et puits de CO2, ainsi que de leur variabilité saisonnière dans l'océan peu profond, dont le rôle de puits/source de CO2 est mal connu. Cet outil d'IA est également un élément innovant dans l'observation des océans, puisqu'il comble certaines lacunes dans l'approche temporelle et spatiale des mesures in situ et permet d'alimenter les modèles biogéochimiques.

Profil du candidat recherché (mots clefs):

Océanographie, biogéochimie marine, programmation, analyses des données

Autre remarque sur la demande de stage (programmes associés, financements acquis):

Le ou la candidate pourrait être amenée à embarquer sur un leg de la campagne MOOSE-GE 2024 afin de compléter sa formation par une campagne océanographique. Ceci permettra d'acquérir également des compétences sur le contrôle qualité des mesures in situ en chimie des carbonates

Encadrants:

Laurent Coppola (LOV/OSU STAMAR)

Raphaëlle Sauzède (IMEV)

Financement:

IR ILICO (soumis) ou PPR RIOMAR WP3 (acquis)

Références bibliographiques:

Bittig HC, Steinhoff T, Claustre H, Fiedler B, Williams NL, Sauzède R, Körtzinger A and Gattuso J-P (2018) An Alternative to Static Climatologies: Robust Estimation of Open Ocean CO₂ Variables and Nutrient Concentrations From T, S, and O₂ Data Using Bayesian Neural Networks. *Front. Mar. Sci.* 5:328. doi: 10.3389/fmars.2018.00328

Friedlingstein, P. Global Carbon Budget 2022, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 4811–4900, <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>, 2022.

Gattuso, J.-P. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science* 349:aac4722. doi: 10.1126/science.aac4722, 2015.

Laruelle, G. G., Landschützer, P., Gruber, N., Tison, J. L., Delille, B., & Regnier, P. (2017). Global high-resolution monthly pCO₂ climatology for the coastal ocean derived from neural network interpolation. *Biogeosciences*, 14(19), 4545–4561 <https://doi.org/10.5194/bg-14-4545-2017>

Roobaert, A., Regnier, P., Landschützer, P., and Laruelle, G. G.: A novel sea surface pCO₂-product for the global coastal ocean resolving trends over the 1982–2020 period, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2023-228>, in review, 2023.

Ulses, C., Estournel, C., Marsaleix, P., Soetaert, K., Fourrier, M., Coppola, L., Lefèvre, D., Touratier, F., Goyet, C., Guglielmi, V., Kessouri, F., Testor, P., and Durrieu de Madron, X.: Seasonal dynamics and annual budget of dissolved inorganic carbon in the northwestern Mediterranean deep convection region, *Biogeosciences Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/bg-2022-219>, in review, 2022.