

Offre de stage de master – année 2022

Simulation du cycle biogéochimique dans un lac urbain : étude de l'impact des forçages externes sur la dynamique de l'écosystème

Contexte

Les lacs, naturels ou de barrage, renferment la majeure partie de l'eau douce disponible sur Terre. Les flux de nutriments et de polluants issus des activités humaines impactent fortement les écosystèmes aquatiques. La qualité de l'eau se dégrade, la biodiversité décline et les biens et services écosystémiques fournis par les lacs (ressource en eau potable, ressource piscicole, attrait paysager, zone de baignade) sont affectés. D'après l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), 40% des masses d'eau de surface européennes seulement présentaient un état écologique bon ou élevé en 2018 (Kristensen et al. 2018). Ainsi la préservation des écosystèmes lacustres qui constitue déjà un enjeu majeur, sera plus cruciale encore lors des prochaines décennies.

En France, le premier système d'évaluation de la qualité de l'eau, instauré en 1971, permettait de définir à quelle utilisation pouvait être destiné un plan d'eau. En 2000, avec la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), l'objectif est d'atteindre un bon état écologique pour l'ensemble des plans d'eau européens et de le maintenir. Pour cela, des campagnes de mesures sont effectuées régulièrement sur l'ensemble des lacs de surface supérieure à 50 hectares: en France cela représente environ 500 plans d'eau qui comptent pour 65 % de la superficie totale des plans d'eau métropolitains (voir base de données CarTHAge <http://www.sandre.eaufrance.fr>).

En plus des pollutions d'origine anthropique, les écosystèmes lacustres sont soumis au changement climatique. Plusieurs études ont mis en avant l'impact du réchauffement climatique sur la stratification thermique ainsi que sur la température de l'eau des lacs au cours de ces dernières décennies. Le taux de variation de la température de l'eau étant souvent plus important que celui de la température de l'air, les lacs sont considérés par certains comme des "sentinelles" du changement climatique (Adrian et al. 2009).

Mais la thermique des lacs, si elle est la plus directement impactée, n'est pas la seule. La dynamique biogéochimique connaît également de fortes modifications comme le montrent les phénomènes de proliférations cyanobactériennes (potentiellement toxiques). Ces derniers sont en effet de plus en plus fréquents et de plus en plus intenses. Si l'on sait que l'eutrophisation (due à un apport excessif de nutriments) est en partie responsable de ces phénomènes, le réchauffement climatique y participe également. Les cyanobactéries sont en effet favorisées par une température d'eau assez chaude et par la faible turbulence dans la masse d'eau lors des épisodes de stratification thermique plus fréquents ou longs. De plus, le changement climatique se manifeste également, dans certaines régions hydro-climatiques, par des pluies plus abondantes ce qui peut amener à une augmentation des flux de nutriments provenant des bassins versants, ou des nappes d'eau souterraines. Il participe ainsi à l'eutrophisation des lacs et favorise là encore la prolifération des cyanobactéries.

Dans ce contexte, il est donc important de comprendre et quantifier les contributions relatives des activités anthropiques locales et des changements globaux dans les réponses inter-annuelles des écosystèmes lacustres (qualité des eaux, biodiversité...). Pour cela, il est nécessaire de disposer de séries pluriannuelles de mesures physico-chimiques et biologiques *in situ*. Cependant, ces mesures sont souvent en faible nombre et leur fréquence insuffisante pour caractériser les processus à prendre en compte. La modélisation numérique est en ce sens un outil intéressant et même indispensable quand il s'agit de valider des hypothèses de fonctionnement des écosystèmes et de faire de la prédiction sur la base de ces connaissances.

Objectifs du stage

Durant ce stage on se propose d'étudier la dynamique d'un écosystème lacustre en mettant en œuvre une approche de modélisation déterministe, i.e. décrivant les processus physico-bio-géochimiques essentiels.

L'approche proposée sera appliquée sur le lac expérimental de Champs-sur-Marne (Ile-de-France) sur lequel des mesures à haute-fréquence (météorologie, thermique, qualité de l'eau) sont collectées par le LEESU (Ecole des Ponts ParisTech) depuis 2017. Le fonctionnement thermique du plan d'eau sera modélisé avec le modèle unidimensionnel vertical, GLM, modèle de référence appliqué sur de nombreux plans d'eau, à l'échelle mondiale (e.g. Bruce et al., 2018). Pour la partie biogéochimique, le modèle sera couplé à la librairie AED (Aquatic Ecological Dynamics) de processus biogéochimiques en accès libre.

Le modèle sera d'abord mis en œuvre, calé et confronté aux données de terrain (de 2017 à 2021) avant d'être utilisé pour une exploration numérique visant à déterminer l'impact de certains forçages externes (météorologique notamment) sur la dynamique de l'écosystème.

Travaux prévus :

- 1 **Mise en œuvre du modèle GLM-AED** sur le lac de Champs-sur-Marne avec la configuration de la partie écologique issue de travaux précédents (thèse de Francesco Piccioni, 2021) ;
- 2 **Calage des paramètres du modèle sur l'ensemble des données disponibles, de 2017 à 2021.** Une ou des techniques de calage automatique seront testées et appliquées sur le modèle biologique pour estimer les paramètres du modèle, identifiés comme importants via une analyse de sensibilité. Les techniques ciblées sont les algorithmes avec méta-modèles comme la méthode EGO (Efficient Global Optimization) ou d'autres méthodes similaires adaptées aux modèles écologiques complexes (Kandris et al., 2020).
- 3 **Exploration numérique visant à déterminer l'impact de certains forçages externes sur la dynamique de l'écosystème.** Pour cela, nous ferons varier certains paramètres caractéristiques du climat (température moyenne, précipitation moyenne, ou température maximale, etc.) et étudierons comment le système réagit. Les méthodes utilisées seront basées sur des analyses de sensibilité des sorties de modèle; des méthodes avancées combinant analyse de sensibilité et clustering (voir par exemple (Roux et al 2021)) pourront également être envisagées..

Références

- Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., ... & Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*, 54(6part2), 2283-2297.
- Bruce, L. C., Frassl, M. A., Arhonditsis, G. B., Gal, G., Hamilton, D. P., Hanson, P. C., ... & Hipsey, M. R. (2018). A multi-lake comparative analysis of the General Lake Model (GLM): Stress-testing across a global observatory network. *Environmental Modelling & Software*, 102, 274-291.
- Kandris, K., Romas, E., & Tzimas, A. (2020). Benchmarking the efficiency of a metamodeling-enabled algorithm for the calibration of surface water quality models. *Journal of Hydroinformatics*, 22(6), 1718-1726.
- Kristensen, P., Whalley, C., Zal, F. N. N., & Christiansen, T. (2018). European waters assessment of status and pressures 2018. EEA Report, (7/2018).
- Piccioni, F., Casenave, C., Lemaire, B. J., Le Moigne, P., Dubois, P., & Vinçon-Leite, B. (2021). The thermal response of small and shallow lakes to climate change: new insights from 3D hindcast modelling. *Earth System Dynamics*, 12(2), 439-456.
- Piccioni, F. (2021). Écosystèmes lacustres dans un contexte de changement climatique: stratégie de modélisation couplée hydrodynamique et biogéochimique. Thèse soutenue le 14 octobre 2021.
- Piccioni, F., Casenave, C., Baragatti, M., Cloez, B., & Vinçon-Leite, B. Automated calibration of a complex aquatic ecological model through Approximate Bayesian Computation. Soumis à *Environmental Modelling & Software* 2021.
- Roux, S., Buis, S., Lafolie, F., & Lamboni, M. (2021). Cluster-based GSA: Global sensitivity analysis of models with temporal or spatial outputs using clustering. *Environmental Modelling & Software*, 140, 105046.

Profil recherché

Etudiant(e) en Master 2, en stage de fin d'études, ou en césure (niveau bac+4) avec des compétences et un goût pour la modélisation et la simulation numérique. Des connaissances en écologie-biogéochimie seraient un plus. Un bon niveau en programmation est également requis (R et/ou python et/ou matlab).

Modalités du stage

La ou le stagiaire sera accueilli(e) au sein de l'UMR MISTEA (Mathématiques Informatique et Statistiques pour l'Environnement et l'Agronomie), sur le campus de la Gaillarde de Montpellier SupAgro – 2 place Pierre Viala, 34090 Montpellier. Le stage sera encadré par Céline Casenave, chercheuse INRAE (Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) à l'UMR MISTEA et par Brigitte Vinçon-Leite, chercheuse au LEESU-ENPC (Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées).

Une visite sur le lac de Champs-sur-Marne sera organisée en cours de stage..

La durée du stage sera de minimum 4 mois jusqu'à 6 mois et pourra commencer dès février 2022 en fonction des disponibilités du(de la) stagiaire. Le(la) stagiaire bénéficiera d'une gratification de stage ainsi qu'un tarif cantine réduit.

Contacts :

Merci d'envoyer votre dossier de candidature (CV et lettre de motivation) à :

Céline Casenave : celine.casenave@inrae.fr et Brigitte Vinçon-Leite : b.vincon-leite@enpc.fr