

## Appel à projets SOUND - Projet de Recherche Doctoral

**Encadrement HDR :** Julie Leloup, UMR 7618, iEES-Paris, ED129 de Sorbonne Université

**Encadrement non-HdR :** Dominique Lamy, UMR 7618, Sorbonne Université

### Titre du projet doctoral

Métabolisme microbien de lacs péri-urbains sous stress antibiotique : puits ou source de CO<sub>2</sub> ?

### Contexte et objectifs scientifiques

Au sein des écosystèmes aquatiques, les microorganismes autotrophes et hétérotrophes jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques, notamment ceux du carbone et de l'azote. Sous pression anthropique, les activités de ces communautés sont modifiées, pouvant engendrer ainsi un dysfonctionnement écosystémique : être une source ou un puits de carbone et d'azote (c'est-à-dire le métabolisme de l'écosystème).

Parmi l'exposome des milieux aquatiques continentaux anthropisés (e.g. lacs péri-urbains, fleuves), les antibiotiques (ATB) sont identifiés comme une menace forte. Même à de faibles concentrations, l'abondance des gènes de résistance (Antibiotic Resistance Genes, ARGs) augmentent au sein des communautés bactériennes (e.g. Wang *et al.*, 2022), les champignons émergent au profit des bactéries hétérotrophes (e.g. Paumelle *et al.*, 2021), et des cyanobactéries et microalgues acquièrent des résistances aux ATB (Van Le *et al.*, 2023). Par ailleurs, des étapes-clés des cycles biogéochimiques peuvent être inhibées, comme par exemple certaines étapes de la dénitrification (Roose-Amsaleg *et al.*, 2020). Ainsi, ces différentes modifications induisent indirectement un dysfonctionnement de l'écosystème, pouvant conduire à un dégagement de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O.

L'objectif du projet de thèse est de déterminer (i) si des milieux aquatiques péri-urbains contrastés (de méso- à hypereutrophe) répondent différemment aux stress chimiques liés aux antibiotiques, de par une composition différente en ARGs (résistomes différents), et (ii) dans quelle mesure ces stress engendrent des modifications fortes des fonctions écosystémiques de stockage ou d'émission de carbone et d'azote.

### Approche scientifique

A partir des travaux précédents ciblant les lacs péri-urbains d'Ile-de-France (ANRs Pulse et COM2LIFE, collaboration MNHN, S. Duperron et C. Bernard), un set de 9 lacs a été caractérisé par des niveaux contrastés d'eutrophisation sur des paramètres physico-chimiques (Foucault *et al.*, 2024). Au démarrage du projet, l'exposome (ciblant les principales familles d'antibiotiques retrouvées dans les écosystèmes péri-urbains, comme par exemple les quinolones) des 9 lacs sera évalué par spectrométrie de masse (collaboration MNHN, S. Prado et A. Marie).

**Axe I = approche *in silico*** - Une première analyse bio-informatique permettra d'identifier la composition en ARGs de ces 9 lacs (leur résistome), à partir de données métagénomiques déjà acquises (thèse de P. Foucault) et d'outils de type Blast et d'inférences contre la base de données internationale CARD (Comprehensive Antibiotic Resistance Database, Alcock *et al.* 2023). Ce premier axe établira l'empreinte antibiotique des 9 lacs, et nous mettrons en relation le niveau d'exposition aux antibiotiques avec (i) le niveau d'eutrophisation et (ii) l'abondance et la composition en ARGs des différents lacs. Ces relations nous permettront d'utiliser le résistome des lacs comme potentiel indicateur de vulnérabilité et/ou résistance aux stress antibiotiques.

**Axe II : approche *ex situ*** - A partir d'eau de ces lacs, nous évaluerons par une approche expérimentale les liens entre exposition aux antibiotiques, composition en ARGs et dégagement/séquestration de CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O (balance autotrophie-hétérotrophie induite par la minéralisation de la matière organique). Les lacs seront expérimentalement supplémentés en antibiotiques (microcosmes du CEREEP Ecotron – IdF, en 4 répliques) et nous mesurerons i) les flux d'O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O (par microsondes et spectrométrie), et ii) la diversité structurale (métabarcoding ADNr16S et 18S) et fonctionnelle (gènes de fonctions des cycles C et N, Leloup *et al.*, 2018 et ARGs).

## Résultats attendus

Nous nous attendons à ce que les lacs les plus exposés aux antibiotiques soient plus abondants en ARGs et que cette composition (leur résistome) puisse être utilisée comme indicateur potentiel de vulnérabilité et/ou de résistance à une contamination par les antibiotiques. Par ailleurs, nous nous attendons à ce que l'exposition aux antibiotiques perturbent les fonctions et services écosystémiques liés aux cycles du C et de N.

## Rôle et compétences scientifiques des encadrantes

Julie Leloup sera co-encadrante HDR de la thèse, enseignant-chercheur en écologie microbienne à Sorbonne Université depuis 2009. Ses compétences scientifiques associent l'écologie microbienne et la biogéochimie des écosystèmes aquatiques, et s'appuient sur des approches complémentaires d'outils « omiques » (dont les outils de métagénomique).

Louati I., Nunan N., Tambosco K., Bernard C., Humbert J-F., Leloup J. (2023). The phyto-bacterioplankton couple in a shallow freshwater ecosystem : who leads the dance ? *Harmful algae*, <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102436>

Pascualt N., Loux V., Pédron P., Martin V., Tambosco J., Bernard C., Humbert J-F., and Leloup J. (2021) Insights into the cyanosphere: capturing the respective metabolisms of cyanobacteria and chemotrophic bacteria in natural conditions? *Environmental Microbiology Reports*, <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12944>

Dominique Lamy sera co-encadrante non-HDR, enseignant-chercheur en écologie microbienne à Sorbonne Université depuis 2011. Ses compétences scientifiques couplent l'écologie microbienne et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques sous pressions anthropiques, et les changements associés en termes de diversité, fonctions et diversité fonctionnelle. Ses approches s'appuient sur des expérimentations en micro- et mésocosmes en conditions contrôlées.

David F., Meziane T., Marchand C., Rolland G., Pham A., Thanh-Nho N., Lamy, D. (2021) Prokaryotic abundance, cell size and extracellular enzymatic activity in a human impacted and mangrove dominated tropical estuary (Can Gio, Vietnam). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03137158>

Lamy, D., Lehours, A.-C., Cottrell, M.T., Van Wambeke, F., Ras, J., Kirchman, D.L., Lebaron, P., Jeanthon, C. (2011) Ecology of aerobic anoxygenic phototrophic bacteria along an oligotrophic gradient in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, <https://doi.org/10.5194/bg-8-973-2011>

## Adéquation avec SOUND

Trois aspects du projet relèvent du projet de l'ITE.

D'une part, le projet propose une approche nouvelle et originale, qui permettra de suivre l'effet d'un stress lié aux antibiotiques sur le métabolisme de lacs péri-urbains, à l'échelle microbienne. Il apportera des réponses sur la capacité de ces écosystèmes à être un puits ou une source de carbone, face à un stress chimique.

De plus, nous travaillons en étroite collaboration avec les gestionnaires des plans d'eau d'IdF que nous suivons depuis de nombreuses années (B. Ancieux, <https://ceryg-pontoise.iledeloisirs.fr/>; P. Wunen-Burger, <https://valdeseine.iledeloisirs.fr/>; pour exemple) ainsi que les collègues du bureau d'étude Athos Environnement (B. Legrand, [www.athos-environnement.fr](http://www.athos-environnement.fr)) qui nous accompagnent sur la mise en place de plans de gestion de lutte contre l'eutrophisation. Ces premiers travaux permettront ainsi un transfert de connaissances et de compétences sur les problématiques des polluants chimiques, souvent mal connus par les gestionnaires et les bureaux d'études, afin de mieux gérer leurs plans d'eau.

Enfin, les effets des antibiotiques sont étroitement liés aux enjeux sociétaux, ces stress pouvant fortement impacter la santé humaine. En retour, il met en lumière le rôle de l'Homme dans le maintien de la santé des écosystèmes. Le projet offre une opportunité unique d'aborder de nouvelles questions dans une perspective « One Health & Ecohealth ». Il contribuera au changement de paradigme dans le développement des connaissances et des compétences à l'interface « santé humaine / santé des écosystèmes », qui peuvent être davantage utilisées dans le contexte du changement climatique et de la transition écologique, afin de rendre l'utilisation des plans d'eau urbains plus durables.