



***SUJET DE THESE : Effets de changements environnementaux sur les plantes aquatiques des lacs alpins : caractérisation et rôles des composés spécialisés et de la diversité microbienne associée***

Direction de thèse : Geneviève Chiapusio & Emilie Lyautey

[genevieve.chiapusio@univ-smb.fr](mailto:genevieve.chiapusio@univ-smb.fr) / [emilie.lyautey@univ-smb.fr](mailto:emilie.lyautey@univ-smb.fr)

---

**Processus de candidature**

- Envoyer par mail à Geneviève Chiapusio et Emilie Lyautey **jusqu'au 12 mai inclus** les documents suivants :
  - 1- CV détaillé
  - 2- Lettre de motivation
  - 3- Notes, moyennes et classements : parcours initial + Master 1 + Maser 2 (ou niveau équivalent, au minimum les résultats du premier semestre)
  - 4- Lettres de soutien et/ou personnes référentes à contacter, avec leurs coordonnées (2 maximum)
  
- Discussions avec les candidates et candidats **jusqu'au 16 mai inclus**.
  
- La candidate, le candidat sélectionné.e pour le concours de l'ED SIE transmettra son dossier complet au plus tard le 27 mai à la direction de thèse.
  
- Les auditions auront lieu le 16 et 17 juin (matin) : 10 min d'exposé et 10 min de questions.

N'hésitez pas à contacter Geneviève Chiapusio et Emilie Lyautey pour toute information complémentaire avant le dépôt de votre candidature.

---

**DEMANDE D'ALLOCATION DOCTORALE DE RECHERCHE DE L'ED SIE**  
**Année universitaire 2025/2026**  
**SUJET DE THÈSE**

<p><b>1. LABORATOIRE</b></p> <p><i>Nom ou sigle : CARRTEL</i> <i>Statut : UMR INRAE - USMB</i></p>	<p><b>2. DIRECTION DE THÈSE</b></p> <p><i>Directrice de thèse (HDR) : Geneviève Chiapusio</i> <i>Codirectrice : Emilie Lyautey</i></p>
<p><b>Collaborations éventuelles :</b></p> <p>UMR EDYTEM (USMB) - Chimie atmosphérique UMR LEHNA (Lyon 1) - Ecologie plante Aquatique VOLT-Copenhague (Denmark) - COVB Essex (UK) - COVB marine ecology NRS-Québec (Canada) - Biogéochimie aquatique, GES</p>	
<p><b>3. TITRE DE LA THÈSE</b></p> <p><b><i>Effets de changements environnementaux sur les plantes aquatiques des lacs alpins : caractérisation et rôles des composés spécialisés et de la diversité microbienne associée</i></b></p>	
<p><b>4. RÉSUMÉ</b></p>	
<p><b>Résumé</b></p> <p>Les changements globaux (hausse des températures, pollutions) impactent le fonctionnement des écosystèmes aquatiques lacustres et agissent notamment sur les producteurs primaires comme les macrophytes. Ils peuvent modifier les traits fonctionnels des végétaux (biomasse, surface foliaire...) et la production de métabolites primaires (protéines, sucres...) et de métabolites spécialisés. Ces derniers regroupent les composés organiques biogéniques volatils (COVB) et les composés non volatils (polyphénols). La production par les macrophytes de COVB vs métabolites spécialisés non volatils vs les métabolites primaires reste peu étudiée dans les écosystèmes lacustres et serait modulée selon l'espèce et les conditions du milieu. De même, la prise en compte de la diversité microbienne des communautés associées aux macrophytes (feuilles et tiges) et dans la rhizosphère (racines et sédiment) permettra de mieux comprendre les interactions plantes-microbiome qui reste aujourd'hui à explorer.</p> <p>L'objectif de ce projet est de caractériser i) la production par des macrophytes de métabolites spécialisés (COVB, polyphénols) par des approches métabolomiques et ii) la diversité de leur microbiome par des approches moléculaires en réponse à des facteurs de stress multiples (hausse de température, pollutions). Ce travail pluridisciplinaire comprendra des prélèvements de macrophytes dans des lacs alpins et des mises en culture en laboratoire pour affiner les mécanismes impliqués (défense, allélopathie). Ces nouvelles connaissances liées à la compréhension des interactions macrophytes-microbiome dans les écosystèmes lacustres pourraient ensuite être intégrées dans la restauration et de gestion de ces écosystèmes.</p> <p><b>Mots Clés</b> – macrophytes- métabolites spécialisés- microbiome- allélopathie-lacs alpins- pollution- hausse température</p>	

### Abstract

Global changes (rising temperatures, pollution) are having an impact on the functioning of aquatic lake ecosystems, particularly on primary producers such as macrophytes. They can modify the functional traits of plants (biomass, leaf area, etc.) and the production of primary metabolites (proteins, sugars, etc.) and specialised metabolites. The latter include volatile biogenic organic compounds (VBOCs) and non-volatile compounds (polyphenols). The production by macrophytes of VBOCs vs non-volatile specialised metabolites vs primary metabolites remains poorly studied in lake ecosystems and is thought to vary according to the species and environmental conditions. Taking into account the microbial diversity of communities associated with macrophytes (leaves and stems) and in the rhizosphere (roots and sediment) will provide a better understanding of plant-microbiome interactions.

The aim of this project is therefore to characterise i) the production by macrophytes of specialised metabolites (COVB, polyphenols) using metabolomic approaches and ii) the diversity of their microbiome using molecular approaches in response to multiple stress factors (temperature rise, pollution). This multidisciplinary project will involve taking samples of macrophytes from Alpine lakes and culturing them in the laboratory to refine the mechanisms involved (defence, allelopathy). The new knowledge gained from understanding macrophyte-microbiome interactions in lake ecosystems could then be incorporated into the restoration and management of these ecosystems.

**Keywords** - macrophytes- specialised metabolites- microbiome- allelopathy-alpine lakes- pollution- rising temperatures

## 5. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUJET DE THÈSE

**Contexte :** Les changements globaux (hausse des températures, pollutions...) impactent les producteurs primaires (macrophytes, phytoplancton) et donc *in fine* le fonctionnement des écosystèmes aquatiques lacustres. Sur les macrophytes, ces changements agissent à deux échelles : 1) sur les individus en modifiant leur métabolisme, notamment en activant, ou pas, leur métabolisme de défense et 2) sur les communautés en modifiant les interactions entre les macrophytes et les organismes environnants (mécanismes de compétition et d'interactions chimiques).

Les changements de température et de pollution ont des effets sur les traits fonctionnels des végétaux (biomasse, surface foliaire, photosynthèse...). Physiologiquement, cela se traduit par une modification de la production qualitative et quantitative des métabolites des plantes. Parmi ces métabolites, on distingue les métabolites primaires (pigments, protéines, acides gras...) et les métabolites secondaires ou spécialisés de défense et de communication (polyphénols...). L'étude de la production de ces derniers est complexe car elle dépend de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante (Latif et al. 2017, Chiapusio et al. 2018) et nécessite la mise en place de protocoles spécifiques d'extraction et d'analyse en fonction des métabolites ciblés et de leur mode d'émission (volatils ou non volatils). Ces métabolites spécialisés émis par les plantes aquatiques restent encore peu étudiés comparativement aux plantes d'écosystèmes terrestres ou marins. Les composés organiques biogéniques volatils (COVB) regroupent une grande diversité de famille de molécules comme les terpènes (ex isoprène), les benzenoïdes et phénylpropanoïdes (Dudareva et al. 2013) et les composés non volatils, des familles telles que les polyphénols et les alcaloïdes. Les taux d'émission ou de production des métabolites spécialisés sont très variables selon les espèces et dépendent également des paramètres biotiques (parasitisme, herbivorie) et abiotiques (température, intensité du rayonnement solaire...). Ainsi, des études ont montré que les COVB produits par les plantes sont impliqués dans leur croissance, leur reproduction, leur défense mais également dans leurs interactions allélopathiques entre les espèces (Zuo, 2019). Chaque plante aurait un profil de COVB unique, son volatilome, dépendant de son génome. Plus largement, lorsqu'ils sont libérés, les COVB influencent la chimie atmosphérique en formant de l'ozone et des aérosols secondaires et organiques et ont donc un rôle dans la pollution de l'air et le climat (Lihavainen et al. 2014). Des articles récents suggèrent que les macrophytes pourraient être d'importantes sources de COVB. Ainsi, une étude sur 34 espèces de macrophytes a identifié 68 COVB émis, les reliant avec la phylogénie des macrophytes étudiées (Peng et al. 2024). Le volatilome des macrophytes est donc espèce-dépendant et fonction de la niche écologique des plantes, avec notamment des différences entre les macrophytes à feuilles émergées ou immergées. A ce jour, peu d'études ont porté sur la production par les macrophytes des COVB vs les autres métabolites spécialisés vs les métabolites structuraux de croissance (protéines...). Les macrophytes sont également associés à une diversité importante de microorganismes (bactéries, champignons) dans la rhizosphère et la phyllosphère mais leur diversité et les interactions plante aquatiques-microorganismes restent peu pris en compte en écologie aquatique. Des études récentes suggèrent cependant l'importance des COVB dans les interactions plantes – microorganismes (Saha et al. 2021, Goa et al. 2023).

**Objectif :** Ce projet de thèse a pour objectif principal de caractériser la production et l'émission de métabolites spécialisés (COVB, polyphénols...) de plusieurs espèces de macrophytes et de leur microbiome associé, en réponse à des facteurs de stress multiples impactant les écosystèmes lacustres (hausse progressive des températures, multi-contaminations chimiques, pollutions lumineuse) pour mieux comprendre leurs rôles potentiels de défense et de médiation. L'approche scientifique développée intégrera plusieurs compartiments biologiques (plantes et microorganismes), écologiques (sédiment et colonne d'eau), et sera pluridisciplinaire (chimie, physiologie, microbiologie, biologie moléculaire, écologie).

## 6. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS ATTENDUS

**6.1 Les hypothèses** – les hypothèses testées seront les suivantes :

- 1) le volatilome (COVB) et les autres composés spécialisés (polyphénols) des macrophytes sont espèce-dépendants et leur production augmente dans un contexte de pollution ou/et de hausse de température. La production de ces composés se fait alors au détriment de la croissance des macrophytes et impacte leurs traits fonctionnels.
- 2) la diversité microbienne (bactéries, micro-algues, champignons) associée aux macrophytes (rhizosphère et plante inclus) dépend de l'espèce de macrophyte, de sa niche écologique ainsi que des conditions environnementales en place (température, pollution). La diversité microbienne est également fonction de composés spécialisés produits par les macrophytes qui jouent un rôle de médiation des interactions avec les micro-organismes.
- 3) Les COVB et les autres composés spécialisés ont un double rôle chez les macrophytes des lacs alpins : ce sont des molécules de défense mais également des médiateurs chimiques favorisant les interactions avec les espèces environnantes (allélopathie).

**6.2 Expérimentations** – Pour tester ces 3 hypothèses, deux types d'expérimentations seront mises en place : i) des expérimentations de terrain avec des prélèvements de macrophytes dans des lacs alpins et périalpins (hypothèses 1 et 2) et ii) des expérimentations en laboratoire pour simuler une ou deux pollutions et/ou une hausse de température sur deux espèces de macrophytes pour déterminer le(s) rôle(s) des molécules produites (défense/médiation) (hypothèse 3).

### **Expérimentations in situ – de terrain**

Plusieurs lacs alpins seront sélectionnés dans ce projet afin d'intégrer des lacs profonds soumis à des pollutions physiques et chimiques ainsi qu'à une hausse des températures moyennes (lac du Bourget, lac d'Annecy, Léman) et un lac périalpin soumis à un enrichissement trophique (lac de Chavoley). Plusieurs espèces de macrophytes cibles seront sélectionnées pour un suivi spatio-temporel (2 prélèvements en début et fin d'été). Le choix des espèces de macrophytes cibles se fera en fonction des conditions environnementales, en particulier sur la base des cartographies existantes des contaminations et/ou pollutions connues. Parmi les espèces ciblées, par exemple, *Myriophyllum spicatum* (espèce indigène), *Potamogeton lucens* (espèce indigène), *Potamogeton perfoliatus* (espèce indigène) et *Lagarosiphon major* (espèce exotique envahissante) pourront être considérées, sur la base de leur sélection lors d'une précédente expérimentation sur le Léman (Slater ES *et al.* in prep).

**Conditions de réalisation** : L'UMR CARRTEL est situé sur deux sites (Thonon-les-Bains et Le Bourget-du-Lac) et possède toutes les compétences analytiques et de terrain. Les écosystèmes lacustres envisagés font l'objet d'études menées depuis de nombreuses années par les scientifiques de l'UMR offrant un cadre de connaissance sur leur fonctionnement écologique. Des collaborations effectives avec les gestionnaires des lacs faciliteront la sélection des populations végétales.

### **Expérimentations en chambre de culture**

Deux espèces de macrophytes seront sélectionnées parmi celles identifiées lors des campagnes de terrain et mises en culture au laboratoire. Des changements dans les niveaux de contamination des sédiments (contaminants organiques ou pharmaceutiques, à déterminer) et de température seront testés afin d'évaluer leurs effets sur les traits biologiques des plantes et sur leur microbiome. Des tests allélopathiques plantes - plantes ou plante – micro-organismes seront proposés.

**Conditions de réalisation** : Le site du Bourget-du-Lac de l'UMR CARRTEL dispose d'une chambre de culture. Une collaboration avec l'UMR LEHNA pourra également être envisagée pour les cultures de macrophytes.

## 6.3 Principales analyses effectuées lors des expérimentations de terrain ou en chambre de culture

### **Caractérisation physico-chimique du milieu (eau et sédiment)**

Les analyses physico-chimiques générales (teneurs et principales formes de carbone, azote et phosphore) se feront à l'UMR CARRTEL. Les analyses de contaminants organiques, métalliques ou pharmaceutiques seront réalisées en collaboration avec d'autres unités partenaires.

### **Dosages des composés polyphénoliques et structuraux dans les plantes**

Les plantes seront divisées (tiges, racines, feuilles) séchées et broyées avant analyse : C/N, pigments (UHPLC), protéines (colorimétrie), polyphénols (métabolomique ciblée -UHPLC) et autres métabolites (métabolomique non ciblée). Les analyses en métabolomique non ciblée seront réalisées par une plateforme spécialisée.

**Dosages des COVB :** les plantes prélevées seront incubées puis les COVB dosés. Les analyses (GC-MS) seront réalisées à EDYTEM et VOLT.

### **Micro-organismes associés aux plantes et du sédiment :**

La caractérisation de la diversité microbienne des communautés associées aux macrophytes sera réalisée à l'aide d'approches moléculaires de séquençage massif de gènes d'intérêt phylogénétiques (gène codant l'ARNr 16S des Bactéries et Archées par exemple) suivies de l'analyse bioinformatique et biostatistique des jeux de séquences obtenus. L'UMR CARTEL développe ces approches en routine sur deux plateformes analytiques localisées sur chacun des sites de l'unité. Des approches de métagénomique globale pourront également être envisagées dans le cadre de ce projet.

### **6.4 Résultats attendus**

Les résultats attendus de ce projet de thèse permettront tout d'abord de caractériser la production de métabolites spécialisés par des espèces de macrophytes sélectionnées (natives, invasives) dans différentes niches écologiques soumises à des pollutions / hausse de température. Même si les métabolites spécialisés ne pourront pas tous être déterminés, la proportion des familles de composés entre volatils ou non volatils sera connue.

Ensuite, ces résultats permettront de déterminer la composition et la diversité des micro-organismes associés aux macrophytes sous différentes conditions environnementales ou expérimentales. L'identification des effets des contaminants sur les associations – plante – microorganismes sera recherchée. La modulation des émissions de COVB par la richesse des communautés ou la synergie entre plantes et microbes sur ces émissions pourra être proposée.

L'ensemble de ces résultats originaux issus des expérimentations *in situ* et en laboratoire permettront de formuler des hypothèses sur le rôle des métabolites des plantes et du microbiome dans les écosystèmes lacustres.

*In fine*, étudier la résilience et l'adaptation des macrophytes à ces changements environnementaux permettra alors de répondre à des préoccupations sociétales actuelles tant dans le domaine fondamental (processus physiologique d'adaptation) qu'appliqué comme la restauration (radeaux flottants, culture de plantes) et la gestion des milieux (Espèces Exotiques Envahissantes ou proliférantes).

### **6.5 Encadrement et Collaborations**

L'encadrement scientifique proposé est pluridisciplinaire : Emilie Lyautey est écologue microbienne et s'intéresse aux réponses structurales (diversité, composition taxinomique) et fonctionnelles (transformation de la matière organique) des communautés microbiennes benthiques lacustres sous contraintes environnementales (enrichissement trophique et multi-contamination du compartiment sédimentaire). Geneviève Chiapusio est écophysiologiste végétale et se focalise particulièrement sur des interactions des plantes -plantes avec leur environnement (pollutions). La/le doctorant.e bénéficiera des réseaux scientifiques nationaux et internationaux de cette direction (GDR ChemBio, International Allelopathy Society, EcotoxicoMic), mais également d'appui technique au sein de l'UMR CARTEL (Aurélien Guillou et Viet Tran-Khac) et de collaborations avec les laboratoires Edytem, Lehna, VOLT, ESSEX et IRS. Une mobilité au cours de la thèse pourrait alors être envisagée.

## 7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chiapusio G, Jassey VEJ, Bellvert F, Comte G, Weston L, Delarue F, Butler A, Toussaint ML, Binet P 2018. Sphagnum species modulate their phenolic profiles and mycorrhizal colonization of surrounding **Andromeda polifolia** around peatland microhabitats. *Journal of Chemical Ecology* 44 : 1146-1157
- Dudareva, N.; Klempien, A.; Muhlemann, J.K.; Kaplan, I. 2013, Biosynthesis, Function and Metabolic Engineering of Plant Volatile Organic Compounds. *New Phytol.* 198, 16–32.
- Gao Y, Zhang Y, Wei Q, Qi X, Yin Q, Liu B, He K 2023. Response and synergistic effect of microbial community to submerged macrophyte in restoring urban black and smelly water bodies. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103906.
- Glostein AH et Galbally IE, 2007 Known and Unexplored Organic Constituents in the Earth's Atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 41, 1514–1521
- S. Latif, G. Chiapusio, L.A. Weston 2017. Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence In *How Plants Communicate with their Biotic Environment* Edited by Guillaume Becard. *Advances in Botanical Research* Volume 82, 19-54.
- Saha M, Gilon P, Verheggen F 2021. Volatile-mediated interactions with surface-associated microbes: A parallelism between phyllosphere of plants and eco-chemosphere of seaweeds. *Journal of Ecology* 109, 2823-2831.
- Scott, C.E.; Rap, A.; Spracklen, D.V.; Forster, P.M.; Carslaw, K.S.; Mann, G.W.; Pringle, K.J.; Kivekas, N.; Kulmala, M.; Lihavainen, H.; et al. 2014 The Direct and Indirect Radiative Effects of Biogenic Secondary Organic Aerosol. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 447–470
- Peng Q, Yang Y, Ou W, Wei L, Li Z, Deng X, Gao Q 2024 The characteristics and environmental significance of BVOCs released by aquatic macrophytes *Chemosphere* 361-142574
- Slater ES et al. Volatilomes of submerged macrophytes in an alpine lake. In prep *New Phytologist*
- Zuo Z 2019 Why algae release Volatile Organic Compounds-The emission and roles *Frontiers in microbiology* 10-491

## 8. CANDIDAT.E RECHERCHÉ.E :

Nous recherchons un.e étudiant.e, très motivé.e par le sujet ayant d'excellents résultats universitaires. Elle/il doit être intéressé.e par une approche pluridisciplinaire, avoir de l'intérêt à travailler en laboratoire (expériences, analyses chimiques biochimiques et microbiologiques) et sur le terrain (prélèvements). Elle/il sera encouragé.e à développer une ligne de recherche, notamment pour l'expérimentation en laboratoire, et donc être force de proposition.

La candidate, le candidat devra :

- présenter d'excellents résultats universitaires et un bon niveau en anglais,
- posséder une solide formation en sciences de l'environnement (biochimie, microbiologie, biologie moléculaire, écologie, statistiques) avec une spécialité dominante. Une collaboration avec des chimistes permettra d'acquérir les techniques de mesures des composés spécialisés et des polluants.
- présenter un intérêt pour le travail en laboratoire et sur le terrain,
- savoir travailler en collaboration,
- faire état d'une curiosité scientifique afin d'appréhender l'aspect pluridisciplinaire du sujet et les différentes échelles considérées dans ce projet.

**9. FINANCEMENT DE LA THÈSE :** *Le contrat doctoral fixe une rémunération principale, indexée sur l'évolution des rémunérations de la fonction publique. Arrêté du 26 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 29 août 2016 fixant le montant de la rémunération du doctorant contractuel NOR : ESRH2235820A - Article 1 - L'article 1er de l'arrêté du 29 août 2016 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes : « Art. 1er. – La rémunération mensuelle minimale des doctorants contractuels est fixée ainsi qu'il suit, sous réserve des dispositions prévues à l'article 2 du présent arrêté :« – à compter du 1er janvier 2025 : 2 200 euros brut (2 300 € brut en 2026).*

*Des heures d'enseignements peuvent être effectuées dans la limite de 64 heures équivalent TD par année universitaire après autorisation du président de l'université et rémunérées au taux fixé pour les travaux dirigés en vigueur. D'autres activités complémentaires au contrat doctoral sont prévues par l'article 5 du décret n° 2009-464 du 23 avril 2009 modifié. La durée totale des activités complémentaires aux activités de recherche confiées au doctorant dans le cadre du contrat doctoral ne peut excéder un sixième du temps de travail annuel.*

## 10. CONTACT :

Geneviève Chiapusio & Emilie Lyautey

Email : [genevieve.chiapusio@univ-smb.fr](mailto:genevieve.chiapusio@univ-smb.fr) / [emilie.lyautey@univ-smb.fr](mailto:emilie.lyautey@univ-smb.fr)

Tel : 04 79 75 81 07 / 04 79 75 88 61

AAP ADR's 2025 février 2025