UR/1454
ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES
& CHANGEMENTS GLOBAUX [EABX]

OFFRE DE STAGE

Développement d'une analyse morphométrique des diatomées tératologiques

L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) est un établissement public de recherche rassemblant une communauté de travail de 12 000 personnes, avec 268 unités de recherche, de service et expérimentales, implantées dans 18 centres sur toute la France. INRAE se positionne parmi les tout premiers leaders mondiaux en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal. Ses recherches visent à construire des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes.

CONTEXTE

- Les diatomées sont des microalgues présentes dans tous les types de milieux aquatiques, présentant une large diversité d'espèces aux sensibilités variables à la qualité de l'eau, permettant leur utilisation comme bioindicateurs de la qualité des eaux. L'utilisation d'indicateurs biologiques, intégratifs de l'exposition des organismes à la multitude de stress environnementaux (naturels et anthropiques), est complémentaire aux analyses chimiques de l'eau, dont la représentativité est souvent questionnée (variabilité temporelle, effets combinés, limites de quantification). Dans les plans d'eau, l'évaluation de la qualité du milieu à partir des diatomées est réalisée en suivant les protocoles de prélèvement et d'analyse de l'IBDL (Indice Biologique Diatomées en Lacs, Tison-Rosebery et al. 2023). Cet indice permet de révéler la présence de gradients de pression spécifiques (telles que les concentrations en azote et phosphore, la quantité de matières en suspension, ou la demande biologique en oxygène). Toutefois, à l'instar d'autres bioindicateurs, l'IBDL ne permet pas de qualifier l'exposition réelle des communautés aquatiques aux contaminants toxiques, du fait de la multitude de substances présentes dans le milieu, souvent même en limite de détection.
- En cours d'eaux, la présence de pourcentages plus élevés de diatomées déformées (tératologies) dans les milieux impactés par les contaminants a déjà été suggérée par divers travaux scientifiques (par exemple, Lavoie et al. 2017, Falasco et al. 2021), et contribue à déprécier la qualité des eaux dans l'Indice Biologique Diatomées en rivière (Coste et al. 2009). L'analyse de la distribution des tératologies dans les plans d'eau français (Lallement, 2026) a mis en évidence une variabilité spatiale et temporelle des recensements de tératologies, impactant une trentaine d'espèces. La majorité de ces espèces sont d'ores et déjà illustrées dans la Tératothèque (https://diatom-terato.eabx.inrae.fr/fr/), avec des anomalies de formes variables (contour, ornementation des frustules...). Lavoie et al. (2017) suggèrent que la stabilité ou la diversité des déformations dont chaque taxon peut être l'objet, ainsi que l'intensité des déformations, peuvent fournir des informations précieuses concernant le type, et le degré, de contamination des milieux. Des approches de morphométrie géométrique (Olenici et al. 2017, Cerisier et al. 2019) ont confirmé pour quelques espèces la corrélation entre intensité de déformation et niveaux de concentrations en micropolluants. Les méthodes utilisées dans ces études requéraient un travail laborieux de positionnement de points repères, qui peut aujourd'hui être allégé par des approches bioinformatiques d'analyse de symétrie et de texture appliquées aux photographies de diatomées détourées automatiquement (e.g. Chéron et al. 2025).

Références citées :

Cerisier A., Vedrenne J., Lavoie I., Morin S. 2019. Assessing the severity of diatom deformities using geometric morphometry. *Botany Letters* 166:32-40. DOI : 10.1080/23818107.2018.1474800

Chéron S., Felten V., Venkataramanan A., et al. 2025. Long-term effects of the herbicide glyphosate and its main metabolite (aminomethylphosphonic acid) on the growth, chlorophyll a and morphology of freshwater benthic diatoms. *Heliyon* 11:e43680. DOI : 10.1016/j.heliyon.2025.e43680

Coste M., Boutry S., Tison-Rosebery J., Delmas F. 2009. Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators* 9:621-650. DOI :

10.1016/j.ecolind.2008.06.003
Falasco E., Ector L., Wetzel C.E., Badino G., Bona F. 2021. Looking back, looking forward: a review of the new literature on diatom teratological forms (2010–2020). *Hydrobiologia* 848:1675–1753. DOI : 10.1007/s10750-021-04540-x
Lallement P. 2026. Etat des lieux de la biodiversité des diatomées déformées en lacs et potentiel de mise en évidence d'impacts toxiques. Master Risques et Environnement, Univ. de Reims Champagne-Ardennes, 92p.
Lavoie I., Hamilton P.B., Morin S., Kim Tiam S., … Taylor J.C. 2017. Diatom teratologies as biomarkers of contamination: Are all deformities ecologically meaningful? *Ecological Indicators* 82:539-550. DOI : 10.1016/j.ecolind.2017.06.048
Olenici A., Blanco S., Borrego-Ramos M., Momeu L., Baciu C. 2017. Exploring the effects of acid mine drainage on diatom teratology using geometric morphometry. Ecotoxicology 26:1018–1030. DOI : 10.1007/s10646-017-1830-3
Tison-Rosebery J., Boutry S., Bertrin V., Leboucher T., Morin S. 2023. A new diatom-based multimetric index to assess lake ecological status. *Environ. Monit. Assess.,* 195, 1202. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11855-w

VOTRE MISSION ET VOS ACTIVITÉS

- Ce stage va s'intéresser à proposer et tester une méthodologie d'analyse de morphométrie basée sur la détection automatique et la segmentation d'images (modèles YOLO, SAM). Les masques obtenus permettront à leur tour l'extraction de divers indicateurs morphologiques (par exemple avec la librairie OpenCV) décrivant la forme générale et la texture de l'image, dans l'hypothèse que ces indicateurs permettent d'évaluer une altération du contour ou des ornementations du frustule. En particulier, un défi sera le développement et/ou la sélection de descripteurs texturaux appropriés à la détection des anomalies d'ornementation.

Une recherche dans l'iconographie existante des photos des taxons susceptibles à la déformation et recensés dans les inventaires des plans d'eau métropolitains sera mise en œuvre. Pour chaque taxon, un nombre minimal de photographies d'individus déformés est requis pour réaliser des analyses morphométriques robustes. Sur la base d'une recherche bibliographique, vous proposerez une classification des différents types de déformation du contour des cellules et de leur ornementation, afin d'annoter les photographies à analyser.

L'analyse morphométrique comparative de divers taxons d'intérêt permettra de vérifier d'une part, si le type de déformation est stable au sein d'une espèce, et d'autre part la gamme d'intensité de déformation existante dans l'iconographie disponible. Une étude détaillée des relations entre descripteurs morphométriques et type de déformation permettra, pour chacune des catégories d'altération, d'identifier le ou les descripteurs morphométriques associés, discriminant individus sains et tératologiques. Pour chacun de ces descripteurs, la capacité à mettre en évidence un gradient de réponse, lié à la gamme de variation de déformation, sera ensuite évaluée.

- Vous serez accueilli·e au sein de l'unité EABX (Ecosystèmes Aquatiques et changements globaux). L'unité EABX est une unité de recherche en écologie aquatique qui mène des activités sur la caractérisation et la compréhension des réponses de la biodiversité aquatique continentale (cours d'eau, lacs et estuaires) aux changements globaux à différentes échelles biologiques, spatiales et temporelles. EABX est composée de deux équipes, ECOVEA (Ecologie des COmmunautés VEgétales Aquatiques et impact des pressions multiples) et FREEMA (Fonctionnement et à la Restauration des Écosystèmes Estuariens et des populations de Migrateurs Amphihalins). Dans le cadre de ce stage, vous serez accueilli·e au sein de l'équipe ECOVEA. Les recherches de l'équipe ECOVEA sont centrées sur la connaissance de la biodiversité et du fonctionnement des communautés végétales (macrophytes, phytoplancton, phytobenthos) d'eaux douces, ainsi que sur leurs réponses aux perturbations naturelles et anthropiques. Vous contribuerez aux recherches du Pole Recherche et Développement Ecosystèmes Lacustres (EcLa), consortium scientifique rassemblant l'OFB, Inrae et l'Université Savoie-Mont-Blanc.
- Vous serez plus particulièrement en charge :
  - De réaliser une bibliographie sur les méthodologies d'analyse morphométrique appliquée aux diatomées, notamment impliquant de la détection automatique et de la segmentation d'images, ainsi que sur les indicateurs morphologiques de contour et de texture les plus pertinents pour évaluer une altération des individus et catégoriser les types de déformation ;

- De mettre en forme, de concaténer et de vous approprier l'ensemble des données iconographiques nécessaires à cette étude (issues de la Tératothèque) ;
- D'analyser ces données. Différentes analyses morphométriques et statistiques sont envisageables dans le cadre de ce stage, et nécessiteront l'utilisation du langage Python pour la préparation et les analyses du jeu de données.
- De rédiger un rapport de stage et un résumé opérationnel des résultats principaux du stage.

LE PROFIL QUE NOUS RECHERCHONS

- Formation recommandée : Master 2 en Biostatistiques ou Bioinformatique
- Connaissances souhaitées : écologie aquatique, écologie des micro-organismes, biostatistiques, morphométrie
- Expérience appréciée : écologie aquatique, analyse de données
- Aptitudes recherchées : rédaction, recherches bibliographiques, connaissance de Python ou connaissance approfondie de R (avec apprentissage de Python au cours du stage), connaissances de base en analyse d'images

VOTRE QUALITE DE VIE À INRAE

En rejoignant INRAE, vous pourrez bénéficier selon le type de contrat :

- Poste de travail fourni
- Frais de mission pris en charge
- Prise en charge possible de l'abonnement transports en commun domicile-travail, à raison de 75% et sur justificatif
- Restauration collective disponible à un tarif « stagiaire »
- Droit à congé de 2,5 jours par mois de stage effectué.

↘ Modalités d'accueil

- Unité EABX (Ecosystèmes Aquatiques et changements globaux)
- Adresse : 50 avenue de Verdun, 33162 Cestas
- Type de contrat : Stage
- Durée du stage : Jusqu'à 6 mois
- Date d'entrée en fonction : Le stage pourra débuter au plus tôt le 1er février 2027
- Gratification : 4.50€/h de présence effective (barème officiel connu en janvier 2026) soit environ 650€/mois

↘ Modalités pour postuler

Transmettre une lettre de motivation et un CV à : Soizic Morin et Pierre Villefourceix Gimenez

Par e-mail : soizic.morin@inrae.fr ; pierre.villefourceix-gimenez@inrae.fr

✖ Date limite pour postuler : **06/12/2026**