



Proposition de sujet de thèse

A partir de l'automne 2025

De l'individu à l'écosystème : croissance, filtration et impacts écologiques de la moule quagga, espèce ingénieuse envahissante, dans le Léman

Contexte

Les moules zébrées et quagga (*Dreissena polymorpha* et *D. rostriformis bugensis*) sont deux bivalves sessiles de la famille des Dreissenidés qui ont envahi un large éventail d'écosystèmes d'eau douce dans le monde entier. Bien que des recherches approfondies aient été menées sur la moule zébrée pendant plusieurs décennies, d'importantes lacunes subsistent dans les connaissances concernant la biologie, l'écologie et les impacts de la moule quagga sur les systèmes aquatiques. Cet écart de connaissances peut être attribué à l'introduction plus ancienne et à la propagation rapide de la moule zébrée, tandis que l'invasion de la moule quagga a progressé plus lentement et est arrivée bien plus tard en Europe occidentale, en 2011 seulement en France. Aujourd'hui, la moule quagga est reconnue comme l'une des espèces envahissantes d'eau douce les plus agressives, avec de profondes conséquences écologiques et économiques. La prolifération de la moule quagga constitue une menace importante pour la biodiversité. Aujourd'hui, son établissement relativement récent dans les grands lacs périalpins, comme le Léman, combiné à son fort potentiel de colonisation, soulève de nombreuses préoccupations, tant écologiques qu'économiques. Sur un plan écologique, la filtration induit en cascade un changement du fonctionnement trophique du lac alors que ses fortes densités épibenthiques modifient les conditions d'habitat pour les macroinvertébrés.

Le projet QUALAG (ANR-25-CE02-1280, <https://qualag.hub.inrae.fr/>) vise à (i) mieux évaluer la répartition et la dynamique de la population de la moule quagga, en termes de densité, taille et structure d'âges ; (ii) déterminer ses taux de croissance et la capacité de filtration de la population en réponse à des facteurs environnementaux clés ; et (iii) utiliser ces résultats pour initier un modèle d'évaluation des impacts potentiels de la moule sur le fonctionnement du lac Léman.

Sujet de doctorat

Pour déterminer l'impact de l'activité de filtration de la moule quagga sur la biodiversité et le fonctionnement du Léman, il est nécessaire de connaître son importance quantitative (densité,

biomasse) qui est directement reliée à certaines de ces capacités physiologiques (e.g. sa croissance, sa reproduction, sa vitesse et capacité de colonisation, etc.). Il est également intéressant d'évaluer les effets du changement de la qualité des habitats sur les macroinvertébrés benthiques. Dans le cadre de cette thèse, le doctorant aura pour missions :

- 1. d'évaluer les taux de croissance du bivalve tout au long d'une année et pour une variété d'environnements (e.g. profondeurs, habitats). Cette évaluation permettra de proposer un premier modèle précis de croissance de l'animal ;
- 2. de mettre à jour la cartographie de la distribution du bivalve à l'échelle du lac, en termes de densité, biomasse et biovolume. Cette carte sera la base d'une évaluation de la capacité de filtration globale théorique à l'échelle de l'écosystème ;
- 3. d'évaluer l'impact de la moule quagga sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques.

Dans ce but, le travail qui devra être effectué est le suivant :

- 1. participer au suivi de la distribution du bivalve effectué dans le cadre de la CIPEL et des projets DRILL et QUALAG. Le doctorant effectuera :
 - o le comptage des moules en distinguant la quagga de la zébrée ;
 - o des mesures de tailles, biomasses, volumes ;
 - o une cartographie des structure d'âges, densités et biomasses ;
 - o la modélisation d'une capacité globale de filtration à l'échelle du lac, la filtration étant biomasse-dépendante et différente selon la structure d'âges.
- 2. analyser une collection d'images prises en plongée ou par ROV. Le doctorant effectuera :
 - o l'estimation de taux de croissance à partir d'analyses d'images par comparaison avec des témoins *in situ* ;
 - o le calcul d'un modèle de croissance en fonction de paramètres environnementaux (e.g., température, profondeur) ;
 - o l'analyse de l'évolution tridimensionnelle d'agrégats.
- 3. étudier l'impact de la moule quagga sur d'autres compartiments biologiques. Le doctorant effectuera, en fonction du temps allouable à cet item :
 - o une synthèse bibliographique sur les invertébrés du Léman et d'autres lacs péri-alpins et comment la présence/absence de la quagga les impacte (processus de benthification et/ou de banalisation).
 - o l'effet potentiel de zone refuge que constitueraient les embouchures de rivières, par analyse comparée de la faune benthique *in situ* de ces espaces avec ceux adjacents envahis par la quagga ;
 - o des expériences ciblées de colonisation d'agrégats de différentes qualités placés *in natura* (e.g. substrats artificiels imitant des bancs de graviers, bancs de coquilles, bancs de moules) par comparaison avec des placettes manipulées en termes de qualité des habitats.

La stratégie et les moyens mis en place pour obtenir ces données et effectuer ces différentes tâches sont/seront les suivantes :

- Pour la cartographie : participation au modèle existant et réflexion sur son amélioration ou un modèle alternatif.
- Pour la mesure de tailles des individus : mesures au pieds à coulisse pour les prélèvements et analyses photogrammétriques pour les agrégats sous l'eau ;

- Pour la mesure de densité et de biomasse : mesures puis extrapolation à l'échantillon ; extrapolation à l'échelle du lac ;
- Pour le calcul théorique de la filtration : modélisation nourrie des résultats d'expériences réalisées par un autre doctorant (seconde thèse proposée dans le cadre de l'ANR QUALAG, co-encadrée par ENES-CARRETEL à Saint-Etienne) qui testera les effets de la température et de différentes conditions environnementales.
- Pour la mesure de la croissance individuelle : photogrammétrie avec logiciels dédiés ; analyse de la banque d'images existantes et de nouvelles données ;
- Pour le choix et balisage des agrégats profonds (ROV) : protocole à définir avec le doctorant et participation à l'acquisition.
- Pour l'analyse des invertébrés associés aux agrégats : tri puis détermination des individus avec une loupe binoculaire, microscopie, metabarcoding.

Candidature

- CV et lettre de motivation à envoyer à stephan.jacquet@inrae.fr et jn.beisel@engess.unistra.fr
- Entretien (en distanciel ou présentiel) devant les encadrants et membres externes du 1^{er} au 11 septembre 2025
- Décision le 12 septembre 2025
- Prise de fonction entre le 1^{er} et 30 octobre 2025

Encadrement

- Stéphane JACQUET, INRAE CARRETEL, Thonon-les-Bains
- Jean-Nicolas BEISEL, LIVE-ENGEEES, Strasbourg

Lieu de la thèse

- Thonon-les-Bains, INRAE CARRETEL, 75 bis avenue de Corzent
- Missions prévues à Strasbourg au cours de la thèse