

Intégration des indicateurs écotoxicologiques dans les modèles multi-échelles et multi-pressions pour améliorer la compréhension des liens pressions-impacts à l'échelle des bassins

Contexte

Les cours d'eau et leurs bassins versants sont des systèmes complexes et en équilibre dynamique. Si l'on connaît qualitativement assez bien la plupart des processus dont ils sont le siège (ex. transport de matière organique et de sédiments, transformation des litières, etc...), il est beaucoup plus difficile d'en avoir une représentation quantitative complète et pertinente compte tenu de l'emboîtement d'échelles des processus, des interactions entre le compartiment terrestre et les milieux aquatiques et surtout des différents facteurs de stress qui s'y combinent. Dans ce cadre, le laboratoire d'hydroécologie quantitative (LHQ) de l'UR MALY d'Irstea Lyon-Villeurbanne, qui accueillera ces travaux de thèse, s'attache à étudier les grands déterminismes du fonctionnement des cours d'eau et les effets de leurs altérations, appréhendés dans un cadre structuré au travers de la biologie, décrite à l'échelle des peuplements et des communautés. Pour co-encadrer ce travail, le laboratoire s'associe avec le laboratoire d'écotoxicologie de la même unité de recherche, qui développe des recherches sur le transfert et l'impact de la contamination chimique chez les organismes et les populations aquatiques d'eau douce.

L'objectif de ce sujet de thèse est d'introduire les outils d'écotoxicologie dans les démarches et travaux écologiques qui visent à mieux comprendre les relations pression – impacts à l'échelle des bassins. Plus précisément, les travaux réalisés s'organiseront autour de trois questions. La première question se focalisera sur un questionnement écotoxicologique et visera à proposer un modèle permettant d'établir un lien clair entre la pression (facteurs de forçage identifiés dans le modèle) et le niveau de contamination et/ou la toxicité des milieux. La seconde, en réponse au verrou identifié précédemment, consistera à construire et introduire une variable « toxicité chimique » dans le modèle pression-impact développé récemment par Villeneuve et al. (2018) et d'évaluer son importance comme source de dégradations observées au niveau des communautés biologiques. Enfin, la dernière question de ce travail, développée en collaboration avec le LIEC (Université de Lorraine, P. Usseglio-Polatera), consistera à rapprocher les travaux initiés dans le cadre d'une démarche de biosurveillance active sur l'établissement des relations entre niveaux de contamination et réponses biologiques au niveau des populations (Ciliberti et al., 2017) avec les développements réalisés dans un cadre de bio-indication (risque écologique) de nouveaux outils basés sur les traits, visant à aider à l'identification de l'origine des dégradations.

Descriptif des travaux

Axe 1 : Construire un formalisme pour établir les liens entre pression, contamination biodisponible et toxicité des milieux.

Dans cette première partie, le travail consistera à introduire en sortie du formalisme développé par le LHQ (système multi-échelles et multi-pressions, (Villeneuve et al., 2018)) les niveaux de contamination ou de toxicité observés sur les stations échantillonnées. Il sera pour cela nécessaire de construire un nouveau modèle permettant de comprendre l'impact et le rôle des forces motrices (hydromorphologie, occupation du sol, rejets urbains etc.) sur ces deux sorties et de le formaliser afin d'en proposer, le cas échéant, une approche prédictive. Concernant l'indicateur « toxicité », nous nous focaliserons sur les données de mesure d'inhibition du taux d'alimentation chez l'espèce sentinelle *Gammarus*, reconnue comme un paramètre sensible, répondant à une très large gamme de contaminants (Coulaud et al., 2011) et déployé aujourd'hui à large échelle dans les réseaux de

surveillance via une approche d'engagement (biosurveillance active). Pour la sortie « contamination », il s'agira de développer et proposer des indicateurs de contamination biodisponible construits à partir de données de bioaccumulation mesurée chez la même espèce sentinelle (Ciliberti et al 2017). Ces indicateurs seront le résultat d'une réflexion d'une part sur les typologies de contamination disponibles, mais également sur l'intégration des contaminants, de la même famille ou pas, selon notamment les profils et les corrélations existantes entre eux. D'autre part, l'intensité de la contamination sera calibrée en normalisant les teneurs en contaminants à l'aide des valeurs de référence associées. La proposition d'un tel système multi-échelles et multi-pressions devrait nous aider à mieux comprendre les niveaux de contamination et de toxicité (pour la faune invertébrée) des milieux aquatiques, mais offre également une approche prédictive d'un risque de contamination et/ou de toxicité de ces milieux. Ainsi une des sorties de ce travail sera de pouvoir proposer une cartographie, au niveau national et sur l'ensemble du réseau de surveillance, des stations présentant ou pas un risque de contamination et/ou de toxicité pour différentes familles de toxiques. Enfin et étant donné que ce travail repose sur une démarche multi-échelles, nous utiliserons les sorties de ce nouveau modèle pour ouvrir la question du changement d'échelle géographique, afin d'étendre à la masse d'eau les résultats obtenus à l'échelle de la station. Certains jeux de données obtenus à des échelles plus locales (plusieurs stations sur un même bassin versant) pourront être mobilisés dans ce cadre. Dans le cadre de ce travail de thèse, il n'est pas envisagé d'acquérir de données spécifiques autour d'une question donnée.

Axe 2 : Construction d'un compartiment « toxicité » dans le modèle pression-impact (système multi-échelles et multi-pressions développé au LHQ).

Pour cette partie du travail, il s'agira d'explorer le rôle de la contamination chimique toxique dans le système multi-échelles et multi-pressions développé précédemment (Villeneuve et al., 2018). Pour cela il s'agira d'introduire dans une nouvelle version du modèle un indicateur de la toxicité en lien avec la pression des contaminants chimiques présents. Pour ceci, il est proposé d'utiliser des indicateurs de toxicité dits globaux, qui intègrent l'ensemble de la contamination toxique, c'est-à-dire non spécifiques d'une typologie de contaminants. Les indicateurs retenus pourraient être le taux de survie observé lors d'expérimentation *in situ* par encagement, mais surtout le taux d'alimentation pour les mêmes raisons que celles exposées précédemment. L'introduction de la contamination chimique toxique dans ce modèle permettra de quantifier le degré de liaison entre chacune des pressions déjà prises en compte dans le modèle et cette pression supplémentaire. Cela devrait également permettre de mieux connaître les relations inter-pressions avant de quantifier dans un second temps le lien entre intensité de la contamination et réponse des indicateurs biologiques. Ce travail visera aussi à quantifier l'effet hérité des échelles bassins versants et tronçons hydromorphologiques en relation avec l'occupation du sol.

Axe 3 : Revoir / qualifier expérimentalement la sensibilité de certaines métriques issues de la bio-indication (taxonomiques, traits biologiques etc.) à une source de contamination spécifique.

Parmi les développements actuels en bio-indication, basés sur l'observation des structures des communautés en place, une stratégie est d'identifier ou d'associer plus particulièrement certaines métriques à une pression ou un stress spécifique. Cette démarche s'inscrit dans la nécessité d'identifier les causes des dégradations observées, afin de pouvoir ensuite proposer des actions de conservation ou de restauration, dont les effets pourront être prédits à l'aide des approches développées notamment par le LHQ. Aujourd'hui, pour l'aspect pression « toxiques », les outils proposés sont basés uniquement sur l'analyse de données où la description de l'exposition aux toxiques ignore la notion de biodisponibilité des contaminants dans la qualification des stations étudiées pour définir et calibrer ces métriques. En collaboration avec le LIEC, il s'agira ici, d'utiliser notre base de données sur la contamination biodisponible des milieux afin de confronter / évaluer la spécificité des métriques biologiques actuellement utilisées dans le diagnostic écologique (voire de nouvelles métriques biologiques à définir) à certaines familles de contaminants. Il s'agira dans un premier temps d'utiliser la typologie des pressions toxiques proposées dans les études antérieures

(Mondy et Usseglio-Polatera, 2013). Pour chaque type de contaminant, le niveau de contamination sera évalué en intégrant l'ensemble des contaminants associés à ce type et en le normalisant sur la base des valeurs de référence disponibles. Si cela semble pertinent, cette approche pourra être réitérée sur la base des typologies définies dans l'axe 2, afin d'évaluer si de nouveaux traits/espèces sensibles peuvent être proposés. Ce travail devrait mener à une amélioration de l'outil diagnostic macro-invertébrés (Mondy et Usseglio-Polatera, 2013) dont certains modèles pourraient être revus et ciblés de manière plus précise les principales familles de toxiques.

Organisation

Directeur de thèse : Y. Souchon

Encadrement : Bertrand Villeneuve et Jérémy Piffady (équipe LHQ) et Olivier Geffard et Arnaud Chaumot (équipe écotoxicologie), P. Usseglio-Polatera (LIEC, université Lorraine)

Equipe d'accueil : Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, UR MALY

Ecole doctorale : E2M2, Université Lyon 1

Profil du candidat

Le ou la candidat(e) devra être titulaire d'un master 2 recherche dans l'un des domaines suivants :

- Ecotoxicologie
- Ecologie des milieux aquatiques
- Biostatistiques
- Modélisation des systèmes complexes

Il ou elle devra posséder des compétences affirmées en biostatistiques et/ou en modélisation statistique appliquée à la biologie.

Bibliographie

Ciliberti, A., Chaumot, A., Recoura-Massaquant, R., Chandesris, A., François, A., Coquery, M., Ferréol, M., Geffard, O. 2017. Caged Gammarus as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect gammarid densities at the French national scale. *Water Research*. 118:131-140.

Coulaud R., Geffard O., Xuereb B., Lacaze E., Quéau H., Garric J., Charles S., Chaumot A. 2011. In situ feeding assay with *Gammarus fossarum* (Crustacea): modelling the influence of confounding factors to improve water quality biomonitoring. *Water Research* 45(19): 6417-6429.

Mondy CP, Usseglio-Polatera P. Using conditional tree forests and life history traits to assess specific risks of stream degradation under multiple pressure scenario. *Science of the Total Environment* 2013; 461: 750-760.

Villeneuve B, Piffady J, Valette L, Souchon Y, Usseglio-Polatera P. Direct and indirect effects of multiple stressors on stream invertebrates across watershed, reach and site scales: A structural equation modelling better informing on hydromorphological impacts. *Science of The Total Environment* 2018; 612: 660-671.